A white outline map of Latin America is set against a blue background. Numerous small white dots are scattered across the map, representing sampling locations. The dots are most densely clustered in the Andean region of South America, particularly in Colombia, Ecuador, and Peru. Other dots are scattered throughout Central America and the northern part of South America. The text is printed in white on the left side of the map.

**Panel sobre
Suelos Derivados
de Cenizas Volcánicas
de América Latina**

6-13 JULIO, 1969

TURRIALBA, COSTA RICA

978p 1969

117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

**SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE AMERICA LATINA**



Este Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina tuvo lugar del 6 al 13 de julio de 1969 en el Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA), localizado en Turrialba, Costa Rica.



Su realización fue posible gracias a la cooperación financiera del Centro de Enseñanza e Investigación y la Escuela para Graduados del IICA y del Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, administrado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

En este volumen se presentan los trabajos presentados al Panel y las recomendaciones.



Centro de Enseñanza e Investigación del IICA
Turrialba, Costa Rica

1969

CONTENIDO

Antecedentes	i
Objetivos	i
Lista de Participantes	ii
Lista de Observadores	iv
Programa	vi
Funcionarios del Panel	ix
Palabras del Director General del IICA, Ing. A. Samper en la inauguración del Panel	xi
TRABAJOS PRESENTADOS:	
Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile	A. 1
A. Valdés	
Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú	A. 2
A. Zavaleta	
Aspectos genéticos de "andosoles" en Colombia	A. 3
C. Luna	
Distribución geográfica y características de suelos derivados de cenizas volcánicas en las Antillas	A. 4
S. McConaghy	
Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica	A. 5
J. A. Martini	
Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México	A. 6
N. Aguilera	
El uso de la 7a aproximación para la clasificación de suelos de ceniza volcánica	A. 7
K. Flach	
Suelos de cenizas volcánicas; excursión al Volcán Irazú	A. 8
E. G. Knox y F. Maldonado	
Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile	B. 1
E. Besoain	
Naturaleza de la fracción de arcillas de suelos	B. 2
F. Colmet—Daage	

Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas	B. 3
W. M. Forsythe, S. A. Gavande y M. González	
Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica	B. 4
H. W. Fassbender	
Mineralogía y contenido de elementos menores de los suelos de ceniza y pómez en el noroeste Pacífico de los Estados Unidos	B. 5
M. E. Harward	
Las actividades microbiológicas como un mecanismo de regulación ecológica en los suelos volcánicos hidromórficos del sur de Chile	B. 6
R. Schaefer	
Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas	B. 7
E. Bornemisza y R. Pineda	
Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia	B. 8
M. Blasco	
Problemas de la acidez en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas	B. 9
G. Schenkel	
Las propiedades de suelos derivados de cenizas volcánicas	B. 10
L. Swindale	
Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia ...	C. 1
M. López	
Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica	C. 2
H. W. Fassbender y R. Molina	
Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos chilenos (Trumaos), según resultados de ensayos de campo	C. 3
E. Letelier	
Uso actual y potencial de suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú	C. 5
C. Zamora	
Fertilización de suelos derivados de cenizas volcánicas en Hawaii	C. 6
R. L. Fox	

Recomendaciones

ANTECEDENTES

Los suelos derivados de cenizas volcánicas ocupan amplias extensiones de países localizados especialmente en las áreas de vulcanismo activo de los sistemas orogénicos alrededor del Océano Pacífico. En América Latina se encuentran suelos derivados de cenizas volcánicas en Argentina, Chile, Perú, Ecuador, Colombia, Venezuela, las Antillas, América Central y México.

Los conocimientos acerca de su distribución, morfología, clasificación, problemas relacionados con sus propiedades físicas y químicas, así como de su uso y fertilización, son aún escasos. Considerando su amplia distribución e importancia, se hace necesario el estudio coordinado de estos suelos en los países mencionados. Para ello se llevó a cabo el siguiente panel para evaluar los conocimientos y proponer la meta y orientación en las investigaciones a realizar.

OBJETIVOS

Los objetivos específicos del panel fueron:

1. Evaluar, a través de discusiones en tres grupos de trabajo, los conocimientos actuales en América Latina sobre los suelos derivados de cenizas volcánicas. Los tres grupos de trabajo se ocuparon de:
 - a. Distribución y clasificación
 - b. Propiedades físicas, químicas y biológicas
 - c. Fertilidad y uso
2. Proponer las metas y orientaciones en el estudio e investigación de estos suelos en los próximos años en América Latina.
3. Estudiar las posibilidades de la creación de un "Grupo de Trabajo sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas" que promueva y oriente estos aspectos en América Latina.



LISTA DE PARTICIPANTES

- AGUILERA, N.** Profesor de Suelos
Universidad de México, Laboratorios de Edafología de la
Facultad de Ciencias. México, D. F., México
- BESOAIN, E.** Coordinador de los Laboratorios y Jefe de la
Sección de Mineralogía, Ministerio de Agricultura de Chile,
Departamento de Agrología, División de Conservación de
Recursos Agrícolas, Servicio Agrícola y Ganadero
Santiago, Chile
- BLASCO, M.** Profesor de Suelos
Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- BORNEMISZA, E.** Edafólogo Adjunto
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA,
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
- COLMET—DAAGE, F.** Director de Investigaciones
Oficina de Investigación Científica y Técnica de Ultramar
Buró de Suelos
Fort de France, Martinica, Antillas Francesas
- McCONAGHY, S.** Profesor de Suelos, Jefe del
Departamento de Suelos, Universidad de las Indias Occidentales,
St. Augustine, Trinidad, W. I.
- FASSBENDER, H. W.** Químico de Suelos, Jefe del
Departamento de Fitotecnia y Suelos del Centro de Enseñanza e Investigación del IICA.
Asignado por el Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
administrado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricul-
tura (FAO). Coordinador del Panel
Turrialba, Costa Rica
- FLACH, K. W.** Investigador en Suelos
Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Servicio de Conservación de Suelos, Laboratorio de Reconocimiento de Suelos,
Riverside, California, Estados Unidos
- FORSYTHE, W. M.** Edafólogo Asociado (Física de Suelos)
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica
- FOX, R. L.** Profesor de Suelos
Departamento de Agronomía y Suelos, Colegio de Agricultura Tropical
Universidad de Hawaii, Honolulu, Hawaii, Estados Unidos
- HARWARD, M. E.** Profesor de Suelos
Universidad Estatal de Oregon, Departamento de Suelos
Corvallis, Oregon, Estados Unidos
- KNOX, E. G.** Especialista en Reconocimiento y Clasificación de Suelos
Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, administrado por la
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) Instituto
Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica

- LETELIER, E. Coordinador de Suelos
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Santiago, Chile
- LOPEZ, M. Jefe de la Sección de Química de Suelos
Federación Nacional de Cafeteros, Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE)
Chinchiná, Colombia
- LUNA, C. A. Jefe de la Sección de Investigaciones Edafológicas
Instituto Colombiano "Agustín Codazzi"
Bogotá, Colombia
- MALDONADO, F. Edafólogo Asistente
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica
- MARTINI, J. A. Especialista en Fertilidad de Suelos y Fertilizantes
Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo administrado por la
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Instituto
Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica
- MOLINA, R. Estudiante graduado
(Profesor de Suelos, Universidad Autónoma de El Salvador, San Salvador, El Salvador)
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica
- PINEDA, R. Estudiante graduado
(Profesor de Suelos, Universidad Nacional Técnica de Piura, Piura, Perú)
Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
Turrialba, Costa Rica
- SCHAEFER, R. Microbiólogo de Suelos
Proyecto de Estudio y Reconocimiento de Suelos de Chile
Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, FAO
Santiago, Chile
- SCHENKEL, G. Investigador
Instituto de Investigaciones Agropecuarias
Estación Experimental de Carillanca, Chile
- SWINDALE, L. D. Jefe de la
Sección de Recursos y Reconocimiento de Suelos
División de Desarrollo de Aguas y Suelos
Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO)
Roma, Italia
- VALDES, A. Jefe del Departamento de Agrología
Ministerio de Agricultura, Servicio Agrícola y Ganadero
Santiago, Chile
- ZAMORA, C. Jefe de la División de Suelos
Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales
Lima, Perú
- ZAVALETA, A. Profesor Principal de Suelos
Universidad Nacional Agraria, La Molina
Lima, Perú

PARTICIPANTES ESPECIALES EN LA SESION FINAL

(12 de julio de 1969)

SUAREZ DE CASTRO, Fernando, Director
 Centro de Enseñanza e Investigación
 Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
 Turrialba, Costa Rica

HOWE, Harold, Asesor Principal
 Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
 Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA
 Turrialba, Costa Rica

LISTA DE OBSERVADORES AL PANEL

BASTOS, Saulo, Unión Panamericana, Washington	Estados Unidos
CABALA, Percy, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Perú
CARLISLE, Víctor W., University of Florida, Gainesville, Fla.	Estados Unidos
CORDERO, Alvaro, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José	Costa Rica
CORNELIS, José, Experto Asociado, FAO, San José	Costa Rica
DAWSON, Ray F., Rutgers University, New Brunswick, N. J.	Estados Unidos
DELGADO DE LA FLOR, Luis, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Perú
DROSDOFF, Matthew, Consultor del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Cornell University, Ithaca, N. Y.	Estados Unidos
FUENTES, Raúl, Edafólogo Asistente, CEI/IICA	México
GONZALEZ, Carlos, Abonos Superior S. A., San José	Costa Rica
GRIMM, Sergio, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Brasil
GUZMAN, Virginia, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José	Costa Rica
GUERRERO, Ricardo, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Colombia
HERRERA, César, Fertilizantes Ecuatorianos, S. A., Guayaquil	Ecuador
LUZURIAGA, Carlos, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Ecuador
MACIAS, Marciano, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Bolivia
MANNIX, John, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José	Costa Rica
MARIN, Eduardo, Catastro e Inventario de Recursos Naturales, Managua	Nicaragua
MARINHO, Murilo, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Brasil
MAZARIEGOS, Francisco, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Guatemala
OLIVARES, Alfredo, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Chile
PACHECO, Jorge, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Nicaragua
PALMA, Gonzalo, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Venezuela
RAMIREZ, Carlos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José	Costa Rica
RIOS, Victoriano, Estudiante Graduado, CEI/IICA	Panamá

Jorge Pacheco, Estudiante Graduado CEI/IICA (Nicaragua)
Gonzalo Palma, Estudiante Graduado CEI/IICA (Venezuela)
Carlos Ramírez, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica
Victoriano Ríos, Estudiante Graduado CEI/IICA (Panamá)
José A. Roldán, Estudiante Graduado CEI/IICA (Costa Rica)
Reinmar Tejeira, Universidad de Panamá, Panamá
Ramón Trigoso, Estudiante Graduado, CEI/IICA (Perú)
Víctor Tunarosa, Estudiante Graduado, CEI/IICA (Colombia)
Orlando Vásquez, Estudiante Graduado, CEI/IICA (Nicaragua)
Saulo Bastos, Unión Panamericana, Washington, U.S.A.

PROGRAMA

Lunes 7 de julio

9:00

Inauguración solemne

11:00

Visita al Departamento de Fitotecnia y Suelos

Grupo de Trabajo

**DISTRIBUCION Y CLASIFICACION DE SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS**

Coordinador: N. Aguilera (México)

14:00 – 17:00

Conferencias

Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile.

E. Valdés (Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile)

Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú.

A. Zavaleta (Universidad Nacional Agraria, La Molina, Lima, Perú)

Aspectos genéticos de "andosoles" en Colombia.

C. Luna (Instituto Agustín Codazzi, Bogotá, Colombia)

Martes 8 de julio

7:30 – 12:00

Geographic distribution and characteristics of volcanic ash soils in the Antilles

S. McConaghy (Universidad de las Indias Occidentales, Trinidad)

Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica.

J. A. Martini (IICA/CEI, Turrialba)

Distribución geográfica y características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de México.

N. Aguilera (Universidad Nacional Autónoma, México)

The use of the 7th approximation for the classification of soils from volcanic ash.

K. Flach (USDA Soil Survey Laboratory, U.S.A.)

Discusión final del Grupo

Grupo de Trabajo

**PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS DE SUELOS
DERIVADOS DE MATERIALES VOLCANICOS**

Coordinador: L. Swindale (FAO), Roma)

14:00 – 17:00

Conferencias

Mineralogía de las arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile

E. Besoain (Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile)

Naturaleza de la fracción de arcillas de suelos

F. Colmet—Daage (Bureau des Sols des Antilles, Martinica)

Propiedades físicas de suelos derivados de cenizas volcánicas.

W. M. Forsythe, S. A. Gavande (IICA/CEI) y M. González (Universidad de Costa Rica)

Miércoles 9 de julio

7:30 – 10:00

Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de Centroamérica

H. W. Fassbender (IICA/CEI)

Mineralogía y contenido de elementos menores de los suelos de ceniza y pómez en el noroeste Pacífico de Estados Unidos

M. E. Harward (Oregon State University, U.S.A.)

Las actividades microbiológicas como un mecanismo de regulación ecológica en los suelos volcánicos hidromórficos del sur de Chile

R. Schaefer (FAO, Santiago, Chile)

10:00 – 12:00

Visita a dependencias del Centro de Enseñanza e Investigación

14:00 – 18:00

Minerales amorfos y mineralización de nitrógeno en suelos derivados de cenizas volcánicas

E. Bornemisza y R. Pineda (IICA/CEI)

Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia

M. Blasco (Universidad de Nariño, Pasto, Colombia)

Problemas de la acidez en suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas

G. Schenkel (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile)

Las propiedades de suelos derivados de cenizas volcánicas

L. Swindale (FAO, Roma)

Discusión final del Grupo

Jueves 10 de julio

Grupo de Trabajo

FERTILIDAD Y USO DE SUELOS DERIVADOS DE MATERIALES VOLCANICOS

Coordinador: L. Letelier (Chile)

7:30 – 12:00

Conferencias

Problemas de fertilización en suelos derivados de cenizas volcánicas de Colombia

M. López (CENICAFE, Colombia)

Influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica

H. W. Fassbender y R. Molina (IICA/CEI)

Respuesta a la fertilización de los suelos volcánicos chilenos (Trumaos), según resultados de ensayos de campo

E. Letelier (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile)

Uso actual y potencial de suelos derivados de cenizas volcánicas del Perú

C. Zamora (ONERN, Lima, Perú)

Fertilización de suelos derivados de cenizas volcánicas en Hawaii

R. L. Fox (University of Hawaii, Honolulu, Hawaii, U.S.A.)

14:00 – 18:00

Discusión final del Grupo

Suelos de cenizas volcánicas. Excursión de Turrialba al Volcán Irazú

E. G. Knox y F. Maldonado (IICA/CEI)

Viernes 11 de julio

Discusión final del Panel

7:00

Excursión al Volcán Irazú: Suelos derivados de cenizas volcánicas

Conducción: E. G. Knox y F. Maldonado (IICA/CEI)

Sábado 12 de julio

7:30 – 12:00

Sesión final para formular recomendaciones

14:00 – 16:00

Redacción de las recomendaciones

19:30

Clausura

FUNCIONARIOS DEL PANEL

Coordinador	Hans W. Fassbender Jefe, Depto. de Fitotecnia y Suelos Centro de Enseñanza e Investigación Turrialba, Costa Rica
Servicios Administrativos y Documentación	Carlos A. Ferreiro Encargado de Servicios Administrativos Centro de Enseñanza e Investigación
Secretaria del Panel	Marigold de Genis
Relaciones Públicas	Arnold L. Erickson Asistente del Coordinador del Contrato AID/IICA Centro de Enseñanza e Investigación Turrialba, Costa Rica
Interpretación	Carlos Díez CARDISO San José, Costa Rica
Operador del Equipo de Interpretación	Gerardo Lara CARDISO San José, Costa Rica
Secretaría de Documentación	Inés de Santisteban Lidiette Cordero Cecilia Murillo Ana Julieta Ulloa Carmen de Acuña Lucía W. de López
Labor Editorial	Edith Fernández
Impresión	Hernán Granados Jefe de la Imprenta del Centro de Enseñanza e Investigación Turrialba, Costa Rica

IMPORTANCIA DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE AMERICA LATINA*

Armando Samper**

La gran aventura del hombre en este planeta que denominamos la tierra, ha sido conocer y conquistar el suelo, el agua y el aire (clima), para sobrevivir y prosperar en competencia con las plantas, con los animales y consigo mismo.

La historia de la humanidad ha sido en realidad la lucha por el conocimiento y la conquista de los recursos naturales renovables. Esa lucha ha requerido, a su vez, el conocimiento y la conquista del ambiente cultural, económico, político y social. Ha requerido también la creación de instituciones capaces de satisfacer las necesidades del hombre en sociedad.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas han tenido una importancia clave en el desarrollo agrícola, que ha sido la base del crecimiento económico del continente americano. Basta señalar que las áreas de vulcanismo activo abarcan los sistemas montañosos que van desde la Patagonia hasta la Península de Alaska, incluyendo Las Antillas. Basta pensar lo que ha significado el café —cultivo típico de suelos derivados de cenizas volcánicas— para América Latina, no solamente como eje del desarrollo económico de la mayoría de los países sino también como factor de estabilidad social.

De ahí la importancia que le atribuimos a este Panel, que ha congregado a 25 de las autoridades más destacadas en este campo en el continente americano para: 1) evaluar los conocimientos actuales en América Latina sobre estos suelos en cuanto a su distribución y clasificación; sus propiedades físicas, químicas y biológicas; su fertilidad y su uso; 2) proponer metas y orientaciones en el estudio y la investigación de estos suelos en los próximos años en América Latina y 3) estudiar la creación de un grupo de trabajo que sirva como mecanismo permanente para promover y orientar estos estudios en América Latina.

En asocio de la FAO, y como parte de las actividades del Proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo —que en los últimos siete años ha sido un instrumento decisivo en el fortalecimiento de nuestra Escuela para Graduados— hemos organizado varios paneles para analizar la situación en América Latina en relación con el conocimiento en campos claves en el desarrollo agrícola de América Latina y mejorar nuestros programas de enseñanza en función de esa realidad. Hace un tiempo organizamos uno sobre los trópicos húmedos, que comenzó en Lima, Perú, continuó en Manaos, y terminó en Belén do Pará, Brasil. Este panel, que formó parte de una Reunión Interamericana sobre los Trópicos Húmedos, contribuyó al interés de los países del trópico sudamericano en organizar un Programa Cooperativo para el Desarrollo del Trópico Americano que fue aprobado por nuestra Junta Directiva en la Octava Reunión Anual, que tuvo lugar en Quito en abril de 1969.

En 1968 tuvo lugar aquí en el CEI un panel sobre la organización y las funciones del sector público agropecuario en América Latina. Tanto el IICA como la FAO han visto que es indispensable colaborar con los gobiernos en la realización de estudios que les permitan organizar más eficientemente los organismos públicos del sector agropecuario y darle a los Ministerios de Agricultura los instrumentos requeridos para que sean realmente los organismos rectores de la política agropecuaria.

Próximamente tendrá lugar en la Universidad Agraria, La Molina, Perú, un panel sobre ingeniería agrícola. La Universidad Agraria estableció la primera Facultad de Ingeniería Agrícola en América Latina, con la colaboración de la FAO a través de un proyecto del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. A través del proyecto para el fortalecimiento de nuestra Escuela para Graduados hemos colaborado con la Universidad Agraria en el establecimiento de un Programa para Graduados en Ingeniería Agrícola, que es también el primero en su género establecido en América Latina. Es también un programa clave porque la agricultura moderna necesita el apoyo de la ingeniería agrícola en asuntos tan importantes como las obras de riego y de drenaje de los suelos, las construcciones rurales, la maquinaria agrícola y el procesamiento de los productos agrícolas.

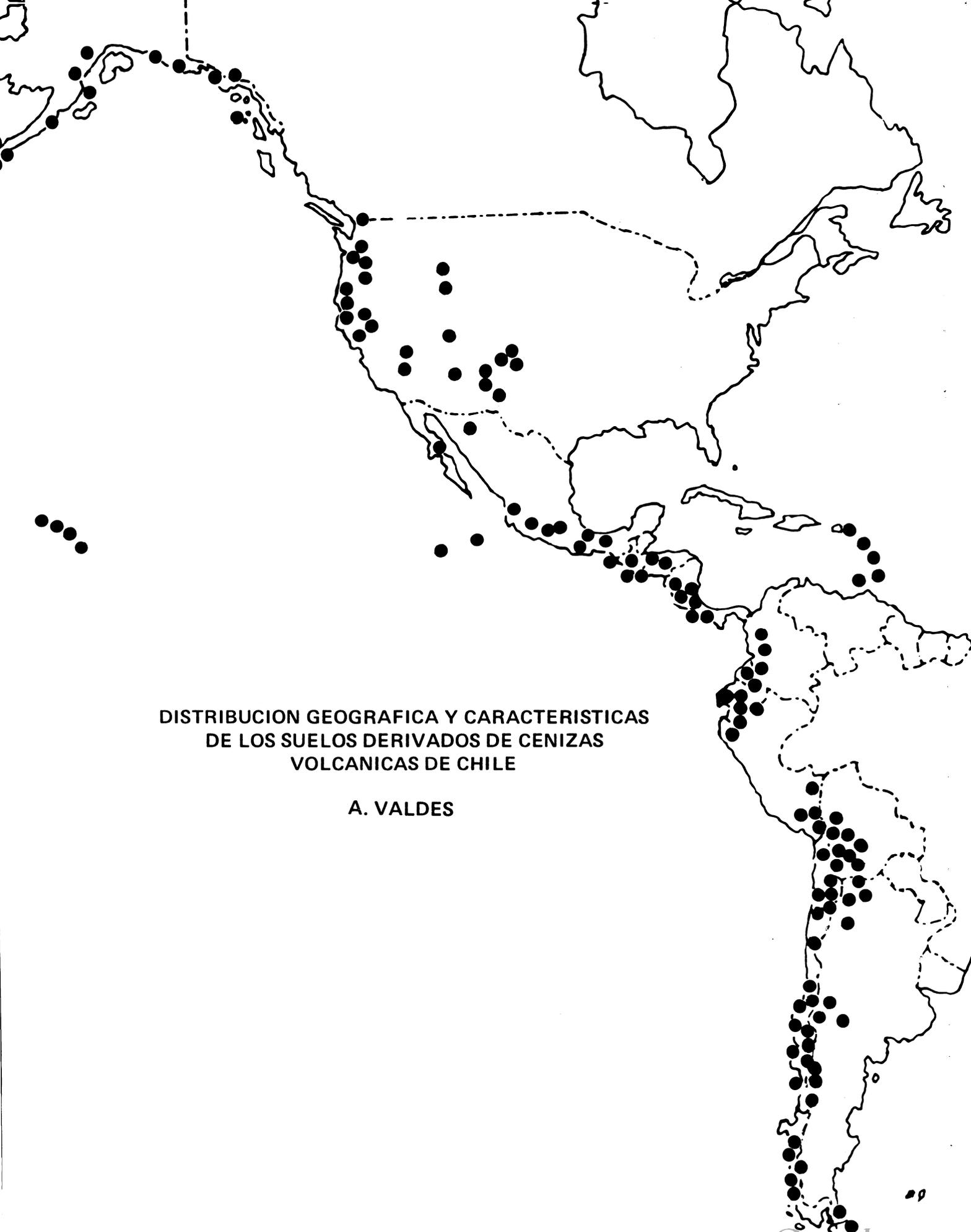
Aquí en el CEI tendrá lugar en agosto otro panel sobre la ganadería en los trópicos en América Latina. Es bien sabido que la ganadería tiene una importancia fundamental en la utilización de los trópicos. Por esta razón nuestra Junta Directiva acordó en Quito reforzar nuestros programas de investigación y enseñanza postgraduación en ese campo, con orientación hacia la empresa ganadera y hacia los programas de desarrollo. La FAO, el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Mundial y otras organizaciones internacionales están también intensificando su colaboración con los gobiernos interesados en incrementar el desarrollo de la ganadería.

* Palabras pronunciadas en la Sesión Inaugural del Panel sobre Suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina, Sala de Seminarios, Centro de Enseñanza e Investigación del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Turrialba, Costa Rica, julio 7, 1969.

** Director General del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA.

No es mi propósito demorar la iniciación de las importantes reuniones técnicas que ustedes tendrán en el curso de esta semana haciendo una explicación acerca del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Me limitaré a señalar que desde 1960, con el apoyo firme de nuestra Junta Directiva integrada por Representantes de los gobiernos de 20 Estados Americanos el IICA se ha convertido en un útil instrumento de desarrollo institucional. A través de programas cooperativos regionales que tienen a su cargo nuestras tres Direcciones Regionales, colaboramos con nuestros Estados Miembros en el fortalecimiento y mejoramiento de sus instituciones de educación avanzada, para difundir los conocimientos; de investigación, para crear conocimientos e innovaciones tecnológicas; y de desarrollo rural y reforma agraria, para aplicarlos en los programas de desarrollo rural al nivel local, regional y nacional. El Centro de Enseñanza e Investigación, sede de nuestra Escuela para Graduados, es una pieza clave como instrumento innovador en la formación de personal a nivel de postgraduación en campos nuevos de particular importancia para los países miembros; como centro de estudios y de comunicación para el intercambio de conocimientos y experiencias a nivel continental; y como fuerza unificadora y articuladora de nuestros programas regionales.

Al darles la bienvenida a nuestro Centro de Enseñanza e Investigación les deseo el mayor éxito en sus deliberaciones.



**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS
DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS DE CHILE**

A. VALDES

**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE CHILE***

Alberto Valdés F. **

INTRODUCCION

Chile es un país que, como aquéllos que se ubican en la cuenca del Pacífico, presenta una historia geológica caracterizada por la influencia de un intenso volcanismo, cuya actividad se mantiene hasta estos días (Antártica Chilena, erupción en Isla Decepción 1968–1969). Como consecuencia de esta realidad, es muy amplia la distribución de los materiales volcánicos que han dado origen a los diferentes tipos de suelos de este país. Estos se encuentran desde el límite norte (provincia de Tarapacá) hasta el extremo sur (provincia de Magallanes) (7, 8).

Esta distribución a lo largo del territorio chileno (19° – 56° L.S.) hace que estos materiales volcánicos estén ubicados en condiciones climáticas muy variables. La presencia de suelos en condiciones tan diferentes hace que los procesos de formación sean distintos y, por lo tanto, los perfiles resultantes presenten variaciones importantes en su morfología, características físico-químicas y mineralógicas.

En la región desértica, al norte del país, la formación de arcillas es incipiente y debido al alto contenido de bases del medio, es incierta la formación de alofán. Los perfiles dominantes presentan texturas arenosas.

La presencia de alofán u otros materiales amorfos se hace evidente en la región subhúmeda, que se inicia a los 35° L.S. (4). En esta latitud dichos materiales se encuentran en los valles cordilleranos en donde la precipitación anual es de 1000 mm y la distribución de las lluvias permite que los suelos presenten humedad durante ocho meses del año, aproximadamente (1).

Hacia el sur, desde esta latitud (35° L.S.), se hace evidente la dominancia de los suelos que contienen o están constituidos por materiales volcánicos y esta zona presenta un clima subhúmedo y húmedo. La cordillera de este sector se caracteriza por presentar un gran número de volcanes, los cuales tuvieron una gran actividad desde el período Cuaternario en adelante.

Debe señalarse que en la Isla de Pascua, posesión chilena del Pacífico, ubicada entre los 27° y 28° L.S., también se presentan suelos antiguos de origen volcánico (11, 28).

De lo anterior se desprende que estos depósitos se encuentran cubriendo parte de la cordillera de los Andes y de la costa, los sedimentos postglaciales del llano central sur, además de influir en la región continental e insular de Aisén y Magallanes.

*

Para una mejor comprensión de las características que presentan los suelos de origen volcánico, se les ha agrupado basándose en las propiedades que presenta, como resultante de la influencia de los factores de formación.

CUADRO 1. Agrupación de los suelos

1. Depósitos volcánicos en zona árida	Sector con cubierta de cenizas volcánicas (1a). Sector con material mixto (1b).
2. Trumaos	Cordillera de los Andes y valles cordilleranos (2a). Precordillera de los Andes (2b). Llano central (2c). Cordillera de la costa (2d). Terrazas litorales (2e). Isla de Pascua (2f).
3. Nadis	
4. Rojos arcillosos de origen volcánico	Llano central (4a). Costa (4b).
5. Región de influencia de materiales volcánicos (5).	

* El autor desea agradecer la colaboración de los Ings. Agrs. E. Meléndez, A. Mella, N. Mikenberg, y E. Serrano, del Departamento de Agrología, Proyecto de Suelos SAG/ONU/FAO, Santiago, Chile.

** Jefe del Departamento de Agrología, Ministerio de Agricultura de Chile, Co-gerente del Proyecto de Suelos SAG-ONU-FAO.

CUADRO 2. Clasificación tentativa de los suelos más representativos de cada agrupación de suelos (21, 22).

1.	1a) 1b)	Ustipsamment y Xeropsamment Ustifluent, Ustipsamment, Ustorthent
2.	2a) 2b) 2c) 2d) 2e) 2f)	Vitrandept (2a ₁ – 2a ₂ – 2a ₃ – 2a ₄) Typic Eutrandept (veg. natural) Typic Dystrandept (cultivado) Typic Dystrandept Typic Dystrandept Typic Dystrandept
3.	3)	Hydric Dystrandept – Hydric Eutrandept
4.	4a) 4b)	Udic Rhodustalf Udic Rhodustalf
5.	5)	Glossic Cryoboralf Typic Cryorthent Typic Cryumbrept

1. Depósitos volcánicos en zona árida

Este grupo se ha subdividido en:

- 1a. Sector con cubierta de cenizas volcánicas; y
- 1b. Sector con material mixto.

1a. Esta zona está a más de 3000 m de altura, con topografía muy variable.

La información climática es muy escasa; aun así, se sabe que el 85 por ciento de las lluvias se producen en verano (diciembre, enero y febrero) y el otro 15 por ciento en noviembre y marzo. Luego hay 7 u 8 meses secos. La precipitación oscila entre los 200 y 300 mm anuales, registrándose ciclos de años de sequía y lluviosos. Ocasionalmente cae nieve. Las heladas son frecuentes y pueden ocurrir en cualquier época del año. Las oscilaciones térmicas diarias son notables (15° – 28°C). El clima, según Köppen (10), corresponde al de "estepa de altura".

La vegetación ha sido descrita por Pisano (20) como "formación de estepa andina", con llareta (llareta compacta) y bofedales compuesto por Ephedra andina, Atriplex retusa, juncáceas y gramíneas.

El altiplano está cubierto de material coluvial y aluvial que proviene de los cerros colindantes, dando a la topografía un carácter ondulado; en las depresiones hay bofedales. El tipo de roca más común es la riolita. Los suelos del sector se derivan principalmente de arena y escoria volcánica, con abundante presencia de material pumicítico fino, proveniente de erupciones relativamente recientes (28); son de texturas arenosas de colores superficiales grisáceos a pardo pálido y en profundidad, el color es pardo a pardo rojizo de texturas franco arenosas y con presencia de gravas pumicíticas.

1b. Esta zona se encuentra a una altura de 2000 – 3500 m sobre el nivel del mar y su topografía está compuesta por los siguientes elementos: remanentes disectados de una peniplanicie y faldeos de montaña, con valles angostos y profundos. La cubierta rocosa dominante es de carácter riolítico. También son comunes las gravas pumicíticas mezcladas de sedimentos coluviales.

La información climática es prácticamente inexistente, el clima es menos riguroso que en la zona 1a. y más seco (100 – 250 mm); las variaciones diarias de temperatura son menos amplias. Debido a las características orográficas, se presenta una diversidad de microclimas en los valles protegidos.

La vegetación está descrita como de "matorral andino" o "tolar" (20); en los valles hay matorrales. Hay algunos árboles de baja altura (2 m) como la quiñoa (*Chuquiragua oppositifolia*).

La especie más común es la tola (*Bacharis tola*) asociada a otras como *Atriplex axillaris*, *Lippia deserticola*, *Fabiana ericoides*, *Senecio graveolens* y representantes de las familias *Opuntia* y *Cactaceae*.

Los suelos presentan una meteorización más avanzada y sus texturas se mantienen dentro del rango franco

A.1.3

arenoso a arenosos, de colores pardos en superficie y pardo rojizos en profundidad. Son comunes los substratos de arenas pumicíticas y la lava riolítica (28).

2. Trumaos

Generalidades

“Trumao” es un vocablo de origen araucano que significa “amontonamiento de cenizas”. Esto implica, para estos suelos, una serie de características generales:

- Todo el perfil es friable y blando.
- Se distinguen estratificaciones de colores diferentes.
- El horizonte superficial es negro o muy oscuro; aunque el suelo esté cultivado persiste este color, pues el contenido de materia orgánica se mantiene.
- Las texturas dominantes del suelo superficial son: franca, con arena o limo en cantidades variables; son ligeramente plásticos y ligeramente adhesivos.
- Los subsuelos se presentan de color amarillento, pardo–amarillento, rojo–amarillento y las texturas van de franca a franco arcillosa.
- El suelo húmedo tiene fluidez y suavidad al tacto.
- El subsuelo puede desarrollar estructura indicando la edad relativa.
- Densidad aparente baja (0,4 – 0,8 gr/cc), lo cual se traduce en que el suelo sea blando, los agregados muy porosos y cuando se secan es difícil mojarlos.
- Los horizontes superficiales presentan una gran capacidad para retener agua.
- En los horizontes superficiales existe una gran proliferación de raíces que en el subsuelo son más escasas.
- El pH de estos suelos es ácido y varía entre valores de 4,5 y 6,7.
- Poseen una alta capacidad total de intercambio catiónico, alta capacidad de intercambio aniónico y una gran capacidad de retención de fósforo (fijación).
- Son difíciles de dispersar. Si la dispersión es enérgica, la textura será arcillosa, aun cuando la textura de campo sea franca – franco arenosa fina.
- El nitrógeno total es alto aun en el subsuelo; también el carbono.
- Los análisis indican que el alofán es la arcilla dominante en este sistema.
- Presenta una elevada proporción de alúmina de intercambio.

Condiciones para su formación

Clima. Estos suelos se encuentran distribuidos en un amplio rango de latitud (35° – 55° L.S.) y, por tanto, de clima, dentro de los siguientes términos:

Precipitación: Alrededor de 1000 mm/año en el sector más seco y 5000 mm/año en el sector más húmedo; en algunas áreas cae nieve.

Temperatura: Las temperaturas medias anuales varían de 15°C a 8°C, con variaciones en el mes de julio de menos de 1°C a 8,5°C; en el verano el rango va de 12°C a 26°C. Las heladas son comunes.

Topografía. Estos depósitos se encuentran en la cordillera de los Andes y sus valles, en la precordillera y llano central, en la cordillera de la costa y terrazas litorales. Como se puede apreciar, los Trumaos pueden cubrir cualquier tipo de rasgo fisiográfico. Aun así, la topografía más característica es la de lomajes. En el valle y en topografía plana, estos materiales corresponden a depositaciones subáreas con marcada influencia de redepositaciones por efecto del agua (aluvium volcánico) y viento (loess volcánico).

A.1.4

Material generador. Los estudios efectuados (6) indican que, salvo excepciones, la mayoría de estas cenizas corresponden a materiales de tipo ácido o intermedio. La excepción más importante estaría representada por la zona de Los Angeles, en donde la acción volcánica predominante corresponde al volcán Antuco que ha producido lavas de carácter básico.

Vegetación. El elemento vegetacional más típico de la zona de Trumaos es el roble (*Nothofagus obliqua*), generalmente asociado con el laurel (*Laurelia sempervirens*). Dentro de esta formación hay especies como: canelo (*Drymys winteri*); ulmo (*Eucryphia cordifolia*). En zonas de montaña están el mañío (*Podocarpus nubigenus*), el coigüe (*Nothofagus dombeyi*) y el alerce (*Fitzroya cupressoides*). Más al sur (42,5° L.S.) además del coigüe, se encuentran el ñirre, la lenga (*Nothofagus antarctica*) y (*Nothofagus pumilo*), respectivamente, y otras especies como *Weimania* y *Saxegothea*.

En el extremo norte (35° L.S.) se hacen presente especies como el espino (*Acacia cavenia*), el boldo (*Boldea boldus*), el litre (*Lithraea caustica*), el maqui (*Aristotelia* sp), etc. (20).

Características microbiológicas

- Material parental común a todos ellos (cenizas volcánicas de tipo andesítico basáltico).
- Presencia de agregados redondeados en todo el perfil indica mecanismo eólico de transporte (17, 18).
- Estructura de “polvillo”, caracterizada por una alta proporción de espacio hueco (0,20 – 0,35%), especialmente en el horizonte superficial. Hay muchos agregados pequeños, estables, redondeados y con hidróxidos de hierro floclados.
- Favorable humificación de tipo “mull”.
- Se observa influencia termovolcánica, manifestada por fuerte meteorización del clasto, dando lugar a estructuras densas, de color amarillo intenso debido a la fuerte peptización de los hidróxidos de hierro.
- Los substratum tobíferos de los trumaos del llano central no guardan relación genética con el perfil del suelo y se encuentran relativamente meteorizados.
- Para el caso del Trumao Santa Bárbara (2b) las mediciones de agregados a base de fotogramas estructurales señala que el 40 por ciento corresponde a agregados de diámetro del rango 100 – 200 micrones, 23 por ciento al rango de 50 – 100 micrones y 19 por ciento al rango de 200 – 500 micrones. La diferencia de porcentaje se distribuye entre los diámetros de 20 – 50 y más de micrones.
- Casi todos los trumaos muestran en los horizontes superiores materiales que han sido movilizados por la fauna del suelo, desde los horizontes inferiores y viceversa.

Propiedades químicas:

La conducta de estos suelos con relación a su productividad ha motivado la investigación. Estos estudios señalan ciertas características de interés: alta capacidad de fijación y retención de fósforo (15, 25); baja disponibilidad de nitrógeno, no obstante su alto contenido de materia orgánica; elevada capacidad total de intercambio y su alto contenido de óxidos hidratados de hierro y aluminio. Con respecto a sus propiedades físicas: baja densidad aparente, alta porosidad y gran capacidad de retención hídrica.

Se observa que los suelos menos evolucionados presentan una mayor fijación (Trumao—Ñadi); esto se debe aparentemente a que en los suelos más evolucionados, el alofán ha derivado a formas cristalinas con menor superficie de reacción (Halloysitas, Imogolitas, Caolín) (6).

El contenido de nitrógeno aprovechable es bajo a pesar del contenido en materia orgánica (3).

La capacidad total de intercambio catiónico es alta, lo cual es común para los andosoles.

Los Cuadros 5 y 6 señalan el contenido de los principales macro y micronutrientes de series representativas (21a).

Al determinarse el contenido de Cu, Zn, Mn y Fe disponibles en nueve suelos de origen volcánico, no se encuentran deficiencias, salvo para el Mn (21).

Propiedades físicas

Las propiedades físicas más relevantes de los suelos volcánicos chilenos son: su baja densidad aparente, su alta porosidad y su gran capacidad de retención hídrica. Estas características, sin embargo, son más pronunciadas en aquellos suelos de evolución más reciente (Trumaos y Ñadis).

El Cuadro 7 señala algunos valores de densidad aparente para series representativas.

En nuestro país, la baja densidad aparente de los suelos derivados de cenizas volcánicas involucra una alta porosidad y, consecuentemente, una buena capacidad de retención hídrica. El Cuadro 8 indica algunos valores de humedad equivalente para algunas series representativas.

2a. Cordillera de los Andes y valles cordilleranos

Esta amplia zona puede subdividirse en cuatro subzonas:

- 2a1 Provincia de Curicó a Linares
- 2a2 Ñuble a Cautín
- 2a3 Valdivia a Chiloé Continental
- 2a4 Aisén a Magallanes.

Características generales:

- 2a1 Liger a lixiviación; vidrio volcánico escaso; presencia de alofán; texturas franco arenosas. Hay melanización en el horizonte A, el que contrasta con el color del subsuelo que es más claro. Moderado contenido de materia orgánica. pH 6,5. Los suelos pueden estar sobre distinto tipo de materiales, inclusive escoria volcánica, en vecindad de volcanes. Hay diferenciación del horizonte A. Por encontrarse dentro de un área de mayor actividad volcánica, los suelos presentan una profundidad mayor. Aisladamente se encuentran depósitos profundos (más de 2 m), constituyendo el piso del valle y los mejores suelos agrícolas de esta área. En topografía de cerro, la cubierta de cenizas no tiene gran espesor.
- 2a2 En esta región se hace más profunda la cubierta de cenizas volcánicas, la cual presenta un mayor contraste de color entre el horizonte superficial (oscuro) con abundante materia orgánica y el subsuelo, en donde el vidrio volcánico es escaso. Las texturas son franco arenosas a franco limosas. Los valles presentan suelos que son el producto de redepositación de estos materiales por el agua; los substratum presentan arenas y gravas volcánicas.
- 2a3 Esta región denota una marcada diferencia en cuanto a la profundidad de los depósitos, según sea la topografía. En condiciones de topografía menos escarpada (Área Puyehue), es posible observar suelos profundos donde se distinguen diversos estratos que corresponden a diferentes depositaciones de material volcánico. El contenido de materia orgánica y alofanos le confiere a la textura del horizonte superficial una untuosidad característica. La textura es limosa. El alofán es el mineral de arcilla dominante (4). El grado de melanización es importante. Los valles presentan las mismas características de 2a2. Son comunes los substratum constituidos por arenas gruesas y gravas finas de origen volcánico. Los suelos del sector sur de esta área presentan un mayor grado de lixiviación y la melanización se hace más notoria.
- 2a4 La región de Aisén participa de las características señaladas en el punto anterior y en Magallanes la presencia de cenizas volcánicas es evidente en las capas preservadas en las turberas (2). Aun así, no es el alofán el principal constituyente de estos suelos.

2b. Región de precordillera de los Andes

Esta zona es importante por su potencial agrícola—ganadero y se le ha denominado con el nombre de “secano interior”. La ocurrencia de depósitos de cenizas volcánicas dentro de características fisiográficas y climáticas semejantes, que cubren una gran extensión, son importantes para la agricultura y muy en especial desde el punto de vista de clasificación. Esta región se extiende desde el norte, en la provincia de Ñuble, hasta la provincia de Cautín por el sur (36° — 39° L.S.). Aquí se ubica la asociación de suelos Santa Bárbara. Estos suelos se han formado por la depositación subárea de cenizas y la influencia de loess volcánico. La depositación es profunda (más de 150 cm) y sólo se ve truncada por efecto de la erosión.

A.1.6

2c. Llano Central

Esta zona puede dividirse tentativamente en dos: la primera de Linares a Malleco y la segunda de Cautín a Puerto Montt (36° – 38° 38' – 42° L.S.). En la primera de estas zonas los suelos presentan una mayor influencia de la redepositación de cenizas volcánicas por el efecto de los ríos. Las diferencias morfológicas entre los suelos de estas zonas son moderadas, salvo el contraste de color entre el horizonte superficial y el subsuelo.

Se aprecia que este material proviene de la cordillera y se extiende en franjas asimétricas de este a oeste y que muchas veces no alcanzan a llegar al pie de la cordillera de la costa (27).

Las cenizas son de tipo andesítico (17), salvo aquéllas provenientes del volcán Antuco, en la provincia de Bío-Bío. La topografía general es plana a ligeramente ondulada, especialmente en las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue.

2d. Cordillera de la Costa

Esta zona se extiende desde el sur de la provincia de Concepción hasta Chiloé (37° – 43° L.S.). En ella la depositación de loess volcánico es escasa en su parte norte ya que, por ejemplo, en el departamento de Coronel de la provincia de Concepción, en los sectores más altos de la cordillera de la costa (660 m sobre el nivel del mar) se aprecia una capa delgada de 10 cm de cenizas. En sectores donde el bosque ha sido eliminado o la erosión es más activa, no se aprecia este recubrimiento. Aun así, y debido a la presencia de suelos de origen volcánico en la terraza y en general en la vertiente occidental de esta cordillera, es que es lógico pensar que estos suelos de topografía de montaña poseen abundante material de origen volcánico dentro de sus componentes mineralógicos.

En la región al sur de la provincia de Arauco (39° L.S.) el recubrimiento con cenizas volcánicas de esta cordillera es más profundo; coadyuva a esto el factor topográfico, que es notablemente más moderado. Se observa que en la cordillera de la costa, región de Valdivia y más al sur, no sólo hay recubrimiento de cenizas, sino que el batolito presenta potentes capas de materiales volcánicos evolucionados, dispuestos en capas de muchos metros de espesor.

2e. Terrazas litorales

Quizás las más extensas están en la provincia de Arauco en donde existen sobre sedimentos de origen marino y fluviales amplias zonas con suelos que son Trumaos típicos y otros cuyo estado de evolución los haría catalogarse en un grupo que describe Wright (28) como "arcillas rojas volcánicas", o como fueron designadas por Díaz, C. (12) con el nombre de "suelos rojos arcillosos", con iguales características morfológicas de aquellos suelos similares ubicados en el llano central.

2f. Isla de Pascua

Generalidades:

En nuestro territorio existen lo que pudiera llamarse "trumaos tropicales"; éstos son aquellos suelos descritos por Díaz y Wright en la Isla de Pascua.

Esta posesión chilena del Pacífico es una isla de forma triangular, con tres conos volcánicos. El piso de la isla está constituido por rocas volcánicas. El viento actúa erosionando los acantilados y deposita este material en el interior de la isla, el que se mezcla con el proveniente de cenizas que existen entre la escoria de los conos volcánicos. El ambiente climático de esta isla (precipitación media anual) ha sido denominado por Heyerdahl (1961) como "semi-tropical". Estos materiales evolucionan de tal manera que no se aprecia diferencia en cuanto a su naturaleza original.

– Vegetación. Está constituida por una cubierta muy pobre, en donde la pradera está representada por *Sporobolus* y ocasionalmente destacan árboles bajos de carácter arbustivo (*Sophora toromiro*) (11).

– Suelos. En general, las características de los suelos son las siguientes:

a) Suelo superficial

– Colores pardo a pardo rojizo, haciéndose esta coloración más intensa en profundidad.

A.1.7

- Texturas franco arenosa y friables.
- Bien estructurados.

b) Subsuelo

- Colores rojizos a pardo rojizos.
- Texturas arcillosas a franco arcillosas, plástico y adhesivo.
- Se hacen compactos a más profundidad

Es curioso observar que la meteorización de los materiales del subsuelo es intensa y, a pesar de ello, las texturas superficiales son franco arenosas; esto quizás se deba al aporte de abrasión eólica, al cual ya se ha hecho referencia. Estos suelos están fuertemente lixiviados y poseen las siguientes características:

- El material generador es predominantemente andesítico, si se toma en cuenta que el níquel y cromo están a niveles demasiado bajos como para ser suelos derivados de basalto; aun así, el titanio está a niveles demasiado altos. Esto indicaría un origen basáltico de los materiales a pesar de que hay magmas andesíticos que poseen estas características.
- El fierro total es alto en todos los suelos y el contenido de aluminio varía de bajo a normal.
- Los niveles de calcio, manganeso, bario y estroncio están muy bajos, lo cual indicaría una fuerte lixiviación.
- El fósforo disponible es menor en profundidad; el contenido de materia orgánica bajo.
- El pH oscila entre 5,0 y 5,9 (5, 28).

3. Ñadi

Generalidades

“Ñadi” es un vocablo de origen araucano que implica una condición de drenaje impedido muy característico, sin que constituya propiamente un pantano. Estos suelos se encuentran entre los 38° 30' y 43° L.S. y en condiciones naturales, invariablemente están cubiertos por bosque; representan una cubierta de ceniza volcánica sobre un substratum cementado que restringe totalmente el paso del agua de tal manera, que con la precipitación del área (sobre 1300 m), este material se sobresatura de agua durante un largo período del año (13, 14).

Topografía y material generador

Estos suelos se presentan ocupando la posición más baja y más plana dentro de la fisiografía general del área, que es ondulada. Por esta razón, están asociados a suelos de cenizas volcánicas que presentan buen drenaje (9).

El material subyacente puede ser de dos clases:

- a) terrazas fluviales constituidas por gravas y arena y
- b) material de relleno fluvio-glacial en donde las gravas no muestran ningún tipo de ordenamiento.

La depositación de cenizas volcánicas se estima que fue hecha en forma de un loess volcánico sobre las planicies de outwash glacial (provincias de Osorno y Llanquihue). Además, es probable que haya influido el agua en la redepositación, todo esto después de la última glaciación.

Clima

Según Almeyda (1) y tomando en cuenta el área de distribución de estos suelos, en su límite norte la precipitación es el orden de los 1200 – 1500 mm, y de 3000 mm en su sector sur.

La temperatura media anual es de 10° – 12°C, en el mes más caluroso, enero (17,5°C) y el mes más frío, julio (7°C). La cubierta de nubes llega a un 60 por ciento anual

Vegetación

La vegetación que se encuentra en los Ñadis es de composición variable y está formada por una asociación de

A.1.8

árboles, arbustos, juncáceas y ciperáceas, además de otras hierbas. El conjunto constituye un bosque denso. Dentro de las especies más características están el canelo (*Drymis winteri*), maqui (*Aristotelia chilensis*), tepa (*Tepualia stipularis*), pitra (*Mirceugenia pitra*), luma (*Myrtus luma*), ulmo (*Eucryphia cordifolia*), (*Nothofagus*, *Guevina*, *Saxegothea*, etc.) y especies como *Verbena*, *Baccharis*, *Juncus*, *Lomaria*, *Spagnum*, etc.

Características morfológicas

Existen distintos grupos de Ñadis, dentro de la amplia zona en donde se presentan estos suelos, básicamente diferentes debido a la naturaleza y disposición de los estratos. Aun así, un Ñadi se caracteriza por (9, 13):

- Capa superficial de color muy oscuro en húmedo, con estructura granular bien desarrollada.
- Entre esta capa superficial y el subsuelo hay una zona de transición de color pardo, para luego tomar un tono amarillento pardo amarillento muy característico. Este tono se puede hacer pardo—grisáceo o grisáceo—rojizo en la parte inferior del subsuelo.
- La estructura en húmedo es débil; en cambio en seco estos suelos se fisuran y la estructura se hace bien definida: bloques y hasta prismas bien desarrollados.
- Los moteados son muy escasos.
- Diferencia apreciable de la característica en seco del suelo superficial y el subsuelo.
- Difícil mojar los agregados en seco, especialmente de la capa superficial.
- En la zona de contacto entre el solum y el substratum, este último presenta una cementación con sílice y fierro, denominada localmente como “fierrillo”.

Si estos suelos están constituidos por cenizas volcánicas, los procesos y por ende sus características generales, hacen conveniente tratarlos aparte de los Trumaos.

Por ser suelos derivados de cenizas volcánicas, las características físico—químicas son similares a las de los Trumaos (21).

4. Suelos rojos arcillosos de origen volcánico

Generalidades

Al igual que lo que se ha señalado para los Ñadis, este grupo de suelos se encuentra relacionado geográficamente a los Trumaos y se les llama localmente como “rojos arcillosos” [Días y Roberts (2)]. También se les ha llamado “suelos pardo rojizo lateríticos”, más bien en atención a sus características morfológicas y no al clima en que actualmente se les encuentra.

Se ha propuesto el nombre de “suelos rojos arcillosos de origen volcánico”, para hacer un distinguo entre éste y el de “rojo arcilloso”, que es un nombre que implica un concepto muy amplio que se aplica tanto a suelos derivados de granito (serie Lo Vasquez, Cauquenes, San Esteban) como de micaesquisto (serie Nahuelbuta) y además a los de origen volcánico que cubren áreas importantes de la región del centro y sur de Chile (36° 30' y 40° 30' L.S.).

Es este grupo el que nos interesa dentro de la denominación genérica de suelos “rojos arcillosos” y, por lo tanto, se les describirá como “rojos arcillosos de origen volcánico”.

Se supone que originalmente este material fue loess o cenizas volcánicas con un alto porcentaje de vidrio volcánico, que formó parte del depósito del “drift” glacial.

Características ambientales

La zona en donde estos suelos se desarrollan presentan variaciones en cuanto a sus características climáticas. En cuanto a la vegetación que ella sustenta, ocupa un área de transición, pues en su límite norte de distribución está asociada a la formación de “estepa de acacia cavenia” (20) y más al sur esta zona biogeográfica emerge a la formación de “parque abierto”, con presencia de *Nothofagus* y *Laurelia sempervirens*. En la costa de Osorno y Llanquihue se encuentra la formación de “bosque valdiviano”.

A.1.9

Estos suelos aparecen en la región sur—oriental de la provincia de Talca y centro—oriente de Linares y Maule, se prolongan a Malleco y Cautín, ocupando normalmente una posición intermedia dentro del valle, con una topografía de lomajes que le es característica y que los hace destacar de los otros suelos. Solamente hacia la precordillera de los Andes, la topografía se hace de cerro y en esta situación la vegetación está compuesta por *Nothofagus*. En las provincias de Valdivia, Osorno y Llanquihue, ocupan extensas zonas de la cordillera de la costa.

Morfología

Suelo superficial: en los sectores protegidos de la erosión se encuentra evidencia que este suelo ha recibido aportes recientes de cenizas volcánicas. Este aporte hace a este horizonte menos denso, granular y de color pardo rojizo oscuro (24). La textura en estas condiciones es franco arcillo limosa y crea una discontinuidad entre este material alofánico y el que le sucede, el cual es abundante en arcillas cristalinas del tipo caolín (24).

Subsuelo: de color superficial, arcilloso, denso, con estructura prismática bien desarrollada; hay recubrimiento de arcilla en los agregados. El substratum está constituido por un conglomerado de origen volcánico, en donde los clastos presentan una fuerte meteorización de tipo orbicular.

Génesis del suelo

Por las características que presentan estos suelos, es aparente que su proceso de meteorización avanzada no corresponde a las condiciones climáticas actuales. Esto hace pensar que el material de depósito se meteorizó en condiciones de clima mucho más húmedo y cálido, de tal manera que esta hipótesis nos llevaría a ubicar su existencia durante uno o más períodos interglaciales, lo cual no sería extraño, pues la acción de los glaciales se hace evidente en las provincias de Osorno y Llanquihue, en donde en la sección oriental de la cordillera de la costa existen "suelos rojos arcillosos de origen volcánico" sobre material glacial.

Weischet (26), quien identifica cuatro tipos de materiales glaciales del Período Cuaternario, describe que la primera glaciación llevó materiales hasta la costa y en su retirada dejó materiales de tipo morrénico, glacio lacustrinos y glacio fluviales en los flancos de la cordillera de la costa. Los suelos asociados a estos depósitos están altamente meteorizados (serie Ñapeco).

Durante el segundo período, la influencia fue similar al de la primera glaciación y así los suelos que a ella se asocian (series Cudico y Fresia) están altamente meteorizados, con presencia de arcillas caoliníticas. En algunos casos, estos suelos se sobreponen a los de la primera glaciación.

El tercer período glacial influyó sobre las partes bajas y no hasta la costa; estos suelos presentan un menor grado de meteorización y hay una mayor proporción de halloysita, poco caolín y algo de alofán. El material que dejó esta glaciación ha sido recubierto por cenizas y, por tanto, sólo la capa en contacto con el material glacial revela el verdadero estado de meteorización del material, según el orden cronológico de no ocurrencia de allí hacia la superficie, habrían distintas edades según la superposición de capas de cenizas. Durante la cuarta y última glaciación, el hielo sólo alcanzó un poco más allá de los lagos actuales y los depósitos de cenizas o loess volcánicos asociados a estas morrenas han producido arcillas del tipo amorfo. El material fluvio—glacial y las planicies de "outwash" formadas en esta última glaciación, son las responsables de la formación de los Ñadis.

En esta forma puede proponerse una explicación en cuanto al génesis de estos suelos y fundamentar la presencia de arcillas del tipo caolín y halloysita, producto de una meteorización acelerada que dataría de uno o más períodos interglaciales.

Esta explicación da base para relacionar a estos suelos con sus vecinos, los Trumaos, que corresponden a un período postglacial y justifican su asociación geográfica aun con las profundas diferencias de evolución que presentan.

Así, pues, el material de depósito eólico rico en minerales de origen volcánico fue llevado de la zona periglacial y redistribuido sobre las formas glaciales debido a la acción de los vientos del oeste, produciéndose el loess volcánico, material generador de los Trumaos..

Para reforzar el aspecto de edad de estos suelos rojos, se puede señalar que en algunos de éstos se evidencian estratas de soliflucción, las que estarían correlacionadas con la segunda y tercera glaciación. Esta característica no existe en los Trumaos, pues presentan una gran habilidad para absorber agua y cuando se congelan, esta agua forma agujas que atraviesan la masa. En cambio, los "suelos rojos arcillosos de origen volcánico" no pueden desprenderse del agua tan fácilmente y, al pasar un período de frío, la masa del suelo superficial está húmeda y descansa sobre subsuelo helado, lo que hace, en condiciones de pendiente, que éste fluya en el sentido de la inclinación, produciéndose la soliflucción.

A.1.10

En el caso del límite norte de estos suelos, en la provincia de Talca, su presencia está asociada a tobas volcánicas y material glacial sin llegar estos depósitos hasta la cordillera de la costa. Para este caso puede suponerse redistribución del material por acción del agua o acción glacial.

Características químicas y físicas:

- La capacidad total de intercambio disminuye en profundidad (25 meq/100 en superficie a 13 meq/100 g en profundidad) (24).
- pH 5,1 – 4,8.
- Las bases de intercambio (meq/100 gr)

	Superficie	Profundidad
Na	0,58	0,39
K	0,96	0,60
Mg	3,93	2,94
Ca	3,51	4,16

- El contenido de arcilla aumenta en profundidad 10% – 32,7%.
- Un rango común a tres perfiles estudiados indica una ligera acumulación del calcio entre los 18 – 68 cm.
- El Mg y Na presenta fluctuaciones irregulares en el perfil.
- El K es la base más constante en el perfil.
- La mineralogía revela la existencia de los siguientes minerales principales: piroxeno, anfíbol (hornblenda), mica, vidrio vesicular, magnetita asociada con vidrio, hematita, microdina, labrador, ortoclasa, ópalo y cuarzo en proceso de oxidación.

5. Región de influencia de materiales volcánicos

Generalidades

Esta región comprende la provincia de Magallanes en su sector central, norte y nor-oriental; en ellas las condiciones de clima (baja pluviometría y temperatura) crean un ambiente poco favorable para la formación de arcillas amorfas (16, 28). Al oeste de Punta Arenas hay podsoles que están en parte formados por cenizas volcánicas, a pesar de lo cual el porcentaje de arcilla amorfa es muy bajo. En la mayor parte de las turberas, tanto en la región continental como en la Isla de Tierra del Fuego, se aprecian estratos muy bien preservados de cenizas volcánicas (2).

Clima

Corresponde a un "clima de estepa frío" (10) en donde la distribución de las lluvias es homogénea a lo largo del año, con un promedio de 400 mm. Los meses invernales tienen temperaturas bajas (julio 2,2°C, promedio) y cae nieve. El límite nor-oriental de esta zona es el más árido, con precipitaciones medias anuales de 270 mm.

Vegetación

Esta región corresponde a la Zona Higromórfica y Xeromórfica Patagónica (20) y en ellas se distinguen las siguientes formaciones vegetales: estepa patagónica, como formación dominante y las de tundra magallánica, bosque magallánico caducifolio y bosque magallánico siempre verde, como secundarias.

La composición florística de la estepa patagónica está representada por gramíneas que crecen formando campos (Festuca, Poa, Hordeum, Agropyron, etc.), y arbustos bajos (Berberis, Empetrum y Baccharis). Los árboles más importantes son: Nothofagus, betuloides, Nothofagus antarctica, Nothofagus pumilo, Maytenus magallánica, Libocedrus chilensis y Pilgerodendrum uviferum. En los sitios más secos estas especies están enanizadas y adquieren un carácter arbustivo.

La vegetación de cojín de la tundra magallánica está compuesta, principalmente, por Marsippospermum grandiflorum, Sphagnum acutifolium, Donatia fascicularis, etc.

Suelos

Los suelos de este amplio sector han sido descritos por Wright (28) y Díaz y Roberts (12) y ubicados tentativamente dentro de los siguientes grandes grupos: castaños, pradera y pradera—planosol. Como puede apreciarse, esta zona no presenta suelos derivados de cenizas volcánicas, pero sí existe evidencia de la presencia de estos materiales por lo que deberá estudiarse su influencia en el génesis de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

1. ALMEYDA, E. y F. SAEZ. 1958. Recopilación de datos climáticos de Chile y mapas sinópticos respectivos. DTICA, Proyecto 14, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.
2. AUER, V. 1950. Las capas volcánicas como base de la cronología post-glacial de Tierra del Fuego y Patagonia. Rev. de Investigaciones Agrícolas. Vol. 3, No. 2. Buenos Aires, Argentina.
3. BARRA, J. 1965. Fósforo orgánico en suelos trumaos. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, Chillán, Chile. (Tesis mimeografiada).
4. BESOAIN, E. 1958. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. Agricultura Técnica, Santiago, Chile XVIII(2):110–165.
5. BESOAIN, E., L. LEON y C. WRIGHT. 1964. Rapa Nui (Easter—Island). Soil mineralogy and soil genesis relationships. Trans. VIIIth. Int. Cong. Science. Bucharest.
6. BESOAIN, E. 1969. Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Aschen und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschland und Italicus. Inaugural Dissertation. Institut für Bodenkunde der Universität Bonn.
7. BRUGGEN, J. 1950. El volcanismo en Chile. Anales Fac. Ciencias Fis. y Mat. 7:61–68.
8. CASERTANO, L. 1962. Der Vulkanismus in Chile. Petermanns Geogr. Mitt. 106,2:106–110. Gotha, Alemania.
9. CORFO. 1961. Plan Ñadis. Informe preliminar sobre la habilitación de terrenos pantanosos en las provincias de Cautín, Valdivia, Osorno y Llanquihue. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile.
10. CORFO. 1950. Geografía Económica de Chile. Corporación de Fomento de la Producción. Santiago, Chile.
11. DIAZ, C. 1949. Asociaciones de suelos de la Isla de Pascua. Agric. Técnica, Santiago, Chile IX(2):115–126.
12. DIAZ, C. y R. ROBERTS. 1959. Los Grandes Grupos de Suelos de Chile. Agricultura Técnica, Santiago Chile XIX–XX:7–36.
13. DIAZ, C. 'et al'. 1958. Estudio sobre la habilitación de los Ñadis, o suelos húmedos del Departamento de Puerto Varas. Agric. Técnica, Santiago, Chile XVIII(2):412–486.
14. DIAZ, C. 'et al'. 1959. Reconocimiento de Suelos de las Provincias de Osorno y Llanquihue. Primera Revisión. Agric. Técnica, Santiago, Chile XIX–XX: 125–205.
15. ESPINOSA, W. 1967. Caracterización química de los Suelos Volcánicos de Ñuble. I Parte. Departamento de Suelos, U. de Concepción, Fac. Agronomía. Circular No. 19. Chillán, Chile, 27 p.
16. KANNO, I. 1962. Génesis and classification of Humic Allophane Soils in Japan. Prov. Int. Soil Conf. N. Z. Wellington, New Zealand.
17. LEON, L. 1962. Clay formation in some chilean soils under natural forest and under pasture. Proc. Int. Conf., New Zealand, Wellington, New Zealand.
18. MELLA, A. 1958. Estudio micromorfológico de algunos suelos volcánicos chilenos. Agric. Técnica. Santiago, Chile XVIII(2):166–184.

19. MELLA, A. y A. VALDES. 1969. Estudio micromorfológico de siete suelos volcánicos chilenos, Santiago, Chile. (En prensa).
20. PISANO, E. 1950. Mapa de las formaciones fitogeográficas de Chile. Geografía Económica de Chile. CORFO. Santiago, Chile
21. SCHALSCHA, E. 'et al'. 1968. Elementos traza en suelos derivados de cenizas volcánicas. Agric. Técnica, Santiago, Chile 28(4):137–143.
- 21a. SCHALSCHA, E. 'et al' 1969. Comunicación personal.
22. U. S. SOILS SURVEY STAFF. 1960. Soil Classification a Comprehensive System: 7th Approximation. Soil Conservation Service, U.S.D.A., Washington, U.S.A.
23. U. S. SOIL SURVEY STAFF. 1967. Supplement to Soil Classification System (7th Approximation). Soil Conservation Service U. S. Department of Agriculture. Washington, U.S.A. March.
24. VALDES, A. y W. LUZIO. 1965. Diferenciación genética de tres Suelos Rojos Arcillosos en la Zona Central de Chile. Tesis mimeografiada, Fac. de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
25. VALDES, A. y E. ACEVEDO. 1964. Determinación radioquímica de la fijación e intercambio de fosfato en el horizonte Ap de la Serie Trumao Osorno. Tesis mimeografiada, Fac. de Agronomía, Universidad de Chile. Santiago, Chile.
26. WEISCHET, W. 1958. Studien über den Glazid Bedingten Formensdratz der Südchilenischen Langssenke ist West–Ost–Profil Heiderseite Osorno. Sonderabdenck aus Petermanns Geographischen Mitteilunjen, 3 Germany.
27. WRIGHT, C. 1959. Observaciones sobre los suelos de la Zona Central de Chile. Agric. Técnica. Santiago, Chile XIX–XX:65–95.
28. WRIGHT, C. 1965. Report to the Government of Chile. The volcanic ash soils of Chile. Fao Report No. 2017. Roma, Italy.

A.1.13

CUADRO 3. Valores de fijación del fósforo (porcentaje) para algunas series representativas.

Serie	Ubicación (provincia)	Porcentaje de fijación (*)
Arrayán ♦	Ñuble	82,5
Santa Bárbara ♦	Ñuble	93,0
Collipulli ♦♦	Malleco	41,6
Osorno ♦	Osorno	87,3
Frutillar ♦♦♦	Llanquihue	91,0
Fresia ♦♦	Osorno	47,5

* Método Demolon. Cuando se agrega a un suelo una solución de KH_2PO_4 , equivalente a 20 T de $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$.

- ♦ Trumao
- ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico
- ♦♦♦ Ñadi

CUADRO 4. Valores de carbón orgánico (%O) y capacidad de intercambio catiónico para algunas series representativas

Serie	Ubicación (Provincia)	Carbono orgánico (%O)	CTIC meq/100 g
Arrayán ♦	Ñuble	58,2	37,4
Santa Bárbara ♦	Ñuble	42,3	31,7
Collipulli ♦♦	Malleco	32,2	32,0
Padre Las Casas ♦♦	Cautín	53,8	25,2
Osorno ♦	Osorno	73,2	42,7
Fresia ♦♦	Osorno	5,2	23,8
Corte Alto ♦	Osorno	87,5	65,6
Puerto Octay ♦	Llanquihue	113,5	67,0

- ♦ Trumao
- ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico

CUADRO 5. Macronutrientes de Series Representativas

Serie Representativa	pH	Macronutrientes		
		P ppm-s _a	S ppm-s _b	N ppm-s _c
Arrayán ♦	6,0	2,0	1,0	2,15
Santa Bárbara ♦	5,3	1,5	1,0	2,85
Collipulli ♦♦	5,3	6,5	3,0	1,20
Temuco ♦	5,4	7,2	0,0	1,10
Osorno ♦	5,6	2,3	0,0	3,20
Frutillar ♦♦♦	5,3	1,0	1,0	0,85

- ♦ Trumao
- ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico
- ♦♦♦ Ñadi
- a Método Olsen
- b Difosfato de K
- c Kjeldahl modificado

CUADRO 6. Micronutrientes de series representativas

Serie Representativa	pH	Mn Total ppm-s	% Fe Total	Mo Total ppm-s	Cu Total ppm-s	Zn Total ppm-s	B Total ppm-s
Arrayán ♦	6,0	1510	7,5	0,2	114	196	0,15
Santa Bárbara ♦	5,3	2530	10,3	0,3	137	640	—
Collipulli ♦♦	5,3	2510	10,2	—	94	387	0,17
Padre Las Casas ♦♦	5,2	3120	9,9	—	108	262	0,4
Temuco ♦	5,4	1610	8,3	—	93	295	—
Osorno ♦	5,6	2340	4,9	0,6	116	317	0,5
Puerto Octay ♦	5,3	2640	5,6	0,1	120	426	0,4
Frutillar ♦♦♦	5,3	720	4,9	—	154	1025	—
Paraguay ♦♦♦	5,1	510	3,8	0,2	110	695	—

- ♦ Trumao
- ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico
- ♦♦♦ Ñadi

CUADRO 7. Densidad aparente de series representativas

Serie representativa	Ubicación (provincia)	Densidad aparente g/cm ³
Arrayán ♦	Ñuble	0,91
Santa Bárbara ♦	Ñuble	0,48
Collipulli ♦♦	Malleco	1,37
Osorno ♦	Osorno	0,85
Corte Alto ♦	Osorno	0,80
Fresia ♦♦	Osorno	1,26
Puerto Octay ♦	Llanquihue	0,83
Frutillar ♦♦♦		0,97

- ♦ Trumao
 ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico
 ♦♦♦ Nadi

CUADRO 8. Humedad equivalente, en base seca, de algunas series representativas

Serie	% Humedad en B. S.
Arrayán ♦	50,20
Santa Bárbara ♦♦	49,35
Collipulli ♦♦	41,30
Corte Alto ♦	47,20

- ♦ Trumao
 ♦♦ Rojo arcilloso de origen volcánico

CUADRO 9. Recopilación climática de la Isla de Pascua (Estación Mataveri) – (27° 10' L. S., Long. 109° 26' W) 39 m sobre el nivel del mar.

Temperatura media anual (°C)	20,4	
Temperatura media máxima anual (°C)	24,3	
Temperatura mínima media anual (°C)	16,8	
Temperatura máxima absoluta (°C)	31,0	
Temperatura mínima absoluta (°C)	8,0	
Humedad relativa media del aire (%)	82	
Nubosidad (0 – 8)	5	
Precipitación anual (mm)	1.233	
Días con lluvia	153	
Días con llovizna	4,5	
Días con neblina	0,8	
Días con nubosidad	113,0	
Temperatura del suelo (°C) (promedio anual)	Promedio	
0 cm	7 am – 18,7 2 pm – 34,0 9 pm – 18,2	22,3
5 cm	7 am – 19,4 2 pm – 28,0 9 pm – 21,5	23,0
10 cm	7 am – 21,5 2 pm – 23,8 9 pm – 23,7	23,0
Horas de sol año	– 2443	

DISTRIBUCION GEOGRAFICA DE LOS SUELOS DERIVADOS DE MATERIALES VOLCANICOS CHILE - 1969



LEYENDA DESCRIPTIVA

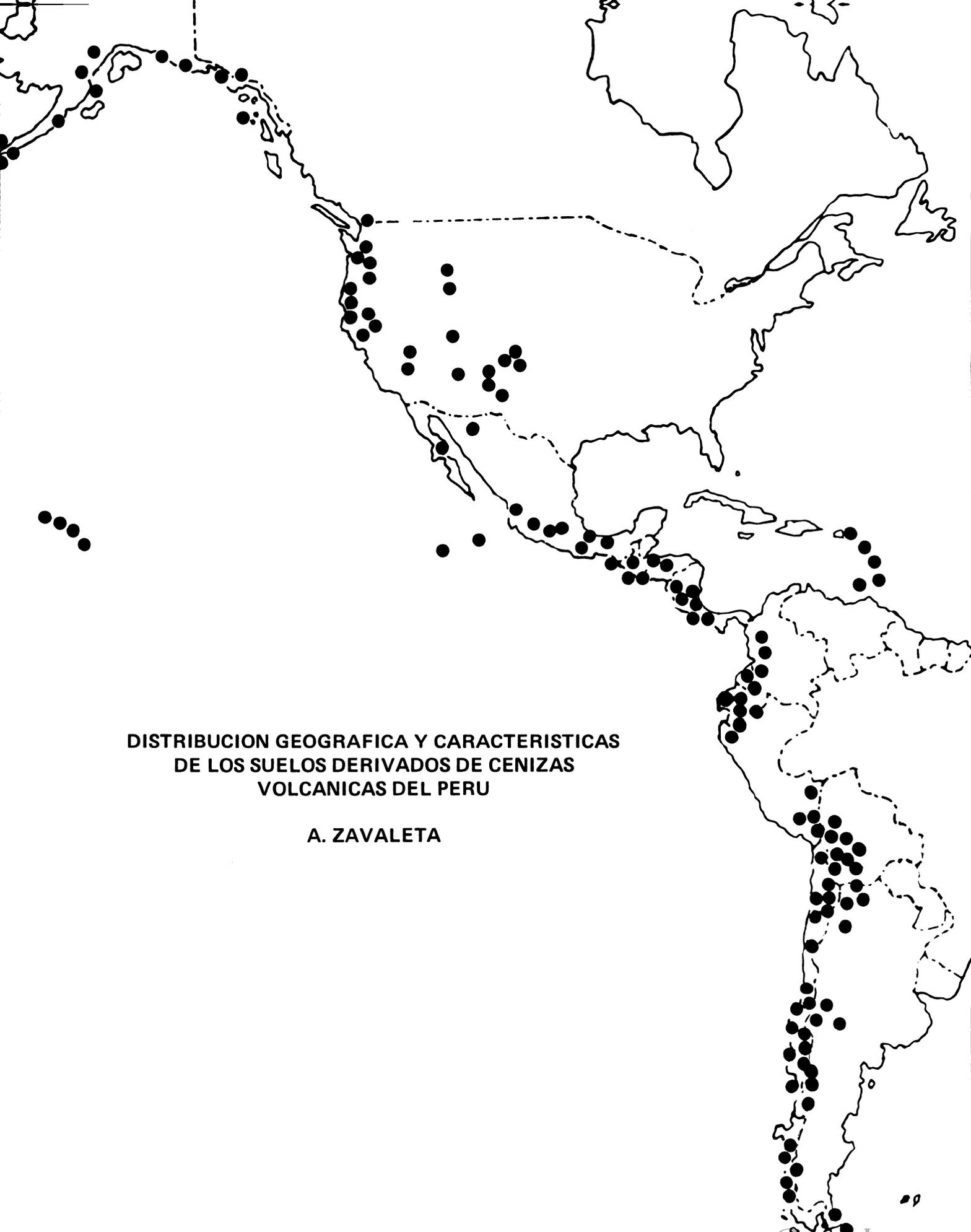
■	1	DEPOSITOS VOLCANICOS EN ZONA ARIDA
■	1a	
■	1b	
■	2	TRUENADOS
■	2a	Cordillera de los Andes
■	2b	Precordillera de los Andes
■	2c	Llano Central
■	2d	Cordillera de la Costa
■	2e	Terrazas Litorales
■	2f	Islas de Pasajes
■	3	RADIS
■	4	ROJOS ARCILLOSOS DE ORIGEN VOLCANICO
■	4a	Llano Central
■	4b	Costa
■	5	REGION DE INFLUENCIA DE MATERIALES VOLCANICOS
▲		VULCANES
—		LINEAS DE PLUVIOMETRIA

ESCALA 1 : 3 000 000

REALIZADO : ALBERTO VALDES F.
Ing. Agrónomo



DIB. CARTOGRAFICO Fm. ABELLOSA S.



**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS
DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS DEL PERU**

A. ZVALETA

DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DEL PERU

A. Zavaleta*

INTRODUCCION

En la Cordillera de los Andes, a lo largo de la costa sur peruana, se levanta una cadena de volcanes de norte a sur, el Chachani, Misti y Pichupichu en Arequipa; el Ubinas y el Omate o Huaynaputina en Moquegua y el Tutupaca, Yucamani y Tacora en Tacna; y en la sierra norte una serie de volcanes apagados que forman parte del anillo del círculo volcánico del Pacífico.

Los paisajes de origen volcánico en el Perú, incluyen no solamente los volcanes en sí mismos, sino también los paisajes producidos por afloraciones rocosas originadas por los volcanes y muchas formas de paisajes aluviales y coluviales como consecuencia indirecta de la actividad volcánica. Muchos paisajes de la costa sur y de la sierra peruana fundamentalmente están constituidos por formas de tierra de origen volcánico, cubierto por cenizas volcánicas o materiales derivados.

La fisiografía de los paisajes derivados de cenizas volcánicas muestran variaciones que están relacionadas con la cantidad de los depósitos de cenizas y por la topografía predominante antes de la deposición.

La edafización así como los procesos de los factores de formación están relacionados íntimamente con la topografía y el factor climático; en las zonas planas y húmedas como en la sierra los procesos aún no han llegado a una completa intensidad, debido a la baja temperatura, y en zonas calurosas y sin lluvia aún planas, como en muchas pampas o tablazos de la costa sur peruana, los procesos son también muy lentos, debido a la falta de agua, por lo tanto los suelos no han desarrollado características especiales.

Existe estrecha correlación entre la distribución del material volcánico y el desarrollo de los suelos; debido a la topografía completamente accidentada de la mayoría de la sierra peruana, solamente en áreas monticuladas se puede apreciar acumulación de material volcánico y que ha servido como material madre para el desarrollo de suelos; mientras que en áreas completamente empinadas y muy accidentadas existen sólo remanentes de cenizas volcánicas debido a la remoción de este material por efecto de erosión.

Suelos derivados de cenizas volcánicas prevalecen en la costa sur y en la sierra sur peruana fundamentalmente, entre los 12° latitud sur hasta las fronteras en Bolivia y Chile. El área donde la distribución de suelos derivados de cenizas volcánicas no es tan extensiva está situada entre la sierra central y sierra norte del país. En la selva aún no ha sido identificada; grandes extensiones de suelos derivados de cenizas volcánicas se presentan en regiones de importancia económica, en regiones áridas, semiáridas, subhúmedas y húmedas.

En la costa peruana pese a que la intensidad de los procesos es muy lenta hay marcada diferencia en características físicas y químicas con suelos asociados que no están influenciados por cenizas volcánicas; aquéllos derivados de cenizas volcánicas tienden a tener más alta capacidad de cationes de cambio y la sílice tiende a formar "harpans" completamente cementadas haciendo inapropiado para todo uso agrícola considerables extensiones que por su topografía plana deberían ser consideradas como aptas para la irrigación.

DISTRIBUCION DE CENIZAS VOLCANICAS EN EL PERU

En el Perú la mayoría de las cenizas volcánicas corresponden al Terciario y Cuaternario (1). En la sierra norte del país se encuentran remanentes de volcanes antiguos sin actividad, muchos de ellos formando al presente nevados; mientras que la sierra sur muestra material volcánico más reciente como resultado de la acción de cinco volcanes principales localizados en los Departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, las cenizas volcánicas, producto de la erupción alcanzó hasta las llamadas "pampas" o "tablazos" de la costa sur peruana; formando el material madre de suelos potencialmente productivos de futuras irrigaciones.

Distribución geográfica por Departamentos (ver Mapa)

1. Apurímac. Las formaciones del cretáceo están en parte cubiertas por derrames volcánicos compuestos de andesitas, riolitas, traquitas, etc. Estas rocas afloran en una gran extensión del oeste del Departamento, en la provincia de Aymaraes son de edad Terciaria hasta Cuaternaria.

* Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú

A.2.2

2. Arequipa. Las rocas volcánicas están ampliamente distribuidas, se componen de derrames y piroclásticos andesíticos, brechas de flujo, tufos y conglomerados.
3. Ayacucho. Las rocas de origen volcánico afloran ampliamente en todas las provincias del Departamento, cubriendo como un manto las formaciones mesozoicas. Están compuestas de derrames andesíticos, riolíticos, dacíticos y abundantes piroclásticos, brechas y tufos.
4. Cajamarca. En este Departamento las rocas volcánicas consisten en derrames andesíticos y riolíticos tufos y aglomerados que cubren gran parte del área central, y algunas áreas aisladas del norte y sur del Departamento.
5. Cuzco. La distribución está restringida a la parte meridional del Departamento y se compone de andesitas, basaltos, conglomerados y tufos correspondiendo a las unidades llamadas "Volcánicos Tacaza y Sillipaca" del sur del Perú.
6. Huancavelica. Son esencialmente derrames de andesitas, riolitas y basaltos con menores cantidades de tufos.
7. En la parte oriental del Departamento de Ica, a lo largo del flanco y estribaciones andinas hay afloramiento de rocas volcánicas compuesto de derrames y brechas, de andesitas, riolitas, etc.
8. Junín. Las rocas de origen volcánico están representadas por riolitas, andesitas y dacitas. Sus afloramientos están limitados a la parte nor-occidental del Departamento.
9. La Libertad. Las rocas volcánicas afloran principalmente en la parte central del Departamento, donde han sido estudiadas con la denominación "Volcánicas Calipuy" y consisten de potentes derrames y brechas de composición andesítica y riolítica; en la parte superior de los derrames se presentan brechas y tufos riolíticos.
10. Lima. Las rocas volcánicas afloran en una faja longitudinal de más de 20 km de ancho que se extiende por el lado oriental del Departamento. Están compuestas de derrames de lavas y piroclásticos de composición andesítica, dacítica y riolítica, principalmente en la cabecera de los valles de los ríos Mala, Rimac y Chillón; donde quedan muy bien expuestas en forma de potentes bancos alcanzando varios cientos de metros de espesor.
11. Moquegua. Las rocas de origen volcánico se encuentran ampliamente distribuidas. Las formaciones afloran en la parte baja y media del flanco andino. Los derrames son volcánicos andesíticos y riolíticos con intercalación de piroclásticos y miembros aislados de sedimentos detríticos. Las formaciones volcánicas más recientes se encuentran formando los conos volcánicos que existen en las partes altas de los Andes, consistentes en derrames y tufos riolíticos que cubren a las anteriores.
12. Pasco. Las rocas volcánicas afloran en una extensión considerable en las inmediaciones de Cerro de Pasco y luego se encuentran como pequeños remanentes en otras localidades del Departamento. Estas formaciones volcánicas se componen de derrames de espesor considerable, conglomerados y brechas de composición predominantemente andesítica.
13. Puno. Una gran extensión de la parte meridional del Departamento está cubierta por rocas volcánicas compuesta de derrames, conglomerados y tufos de composición basáltica, andesítica, dacítica y riolítica.
14. San Martín. Las rocas volcánicas afloran principalmente al sudoeste del Departamento, en las áreas limítrofes con La Libertad; están compuestas de derrames de andesitas, que se intercalan con conglomerados de la misma composición.
15. Tacna. Las formaciones volcánicas se componen de derrames volcánicos de composición andesítica, con textura porfirítica y de color gris verdoso y rojizo. Cabe mención el grupo Toquepala que está formado principalmente por rocas volcánicas que contienen intercalaciones de clásticos gruesos. La formación consiste de una serie potente de derrames volcánicos de litología variable entre andesitas y riolitas con esporádicas intercalaciones de sedimentos gruesos como conglomerados y areniscas. Las afloraciones principales de esta formación se exponen entre Toquepala y Tarata. La formación Tarata es una unidad litológica compuesta de intercalaciones de volcánicos y sedimentos que se extienden principalmente en los alrededores de Tarata. Las rocas volcánicas consisten de brechas y derrames andesíticos, pardos a rojizos, y los horizontes sedimentarios son areniscas y lutitas y capas de caliza. En las pampas o tablazos están distribuidas capas de arcillas rojizas con areniscas tufáceas grises a rojizas en la parte inferior y de areniscas gruesas grises con intercalaciones de conglomerados y bancos de tufos en la parte superior. La formación Huaylillas se compone de tufos dacíticos a

A.2.3

riolíticos de color blanco a rosado que se extiende ampliamente en la parte oriental y norte del Departamento. La formación Maure consiste de conglomerados en la base, tufos dacíticos blancos en la parte superior, en el norte y nor-oeste del Departamento. Los numerosos conos volcánicos que se alinean a lo largo de los Andes occidentales está constituido por derrames y piroclásticos de composición traquítica, traquiadesítica que corresponde a la formación Barroso. Y las cenizas volcánicas ampliamente distribuidas en todas las pampas de la costa sur peruana.

DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

La distribución de los suelos volcánicos del Perú se presentan en un mapa adjunto, bajo las siguientes agrupaciones:

- A. Suelos de regiones áridas y templadas
- B. Suelos de regiones semiáridas y templadas
- C. Suelos de regiones semiáridas y frías
- D. Suelos de regiones subhúmedas y húmedas

A. Suelos de regiones áridas y templadas (Cuadros 1 y 6)

Estos son de importancia económica y se encuentran ampliamente distribuidos en las denominadas "pampas" o "tablazos" de la costa sur peruana, bajo un clima muy caluroso y seco; en este ambiente los suelos están sujetos a una mínima edafización química, pero sí predominantemente física, los vidrios volcánicos en el material madre se desintegran muy lentamente. En muchos de estos suelos, el sílice se libera durante los procesos de edafización y se mueve lentamente, principalmente en las lomas y las áreas planas cercanas a éstas, produciendo cementación de horizontes del subsuelo; haciendo inapropiado para todo uso agrícola áreas extensas que por su topografía plana deberían ser consideradas como aptas para la irrigación. El lavaje de estos suelos es insignificante debido solamente a las lloviznas invernales y hay acumulación superficial de sales solubles debido a fuerte evaporación.

Como representante de estos suelos se presentan dos series bien conocidas: serie San José que incluye suelos desérticos bien drenados, desarrollado en tufo volcánico franco arenoso, de color gris claro y la serie Azúcar; ambas se diferencian en el campo por el color. La serie Azúcar es de color rosado, está compuesta fundamentalmente por vidrios y fragmentos pumíceos y contiene pequeñas cantidades de oligoclasa y biotita y raramente cuarzo. Sobre la superficie hay abundancia de cristales de sanidino, generalmente incoloro u ortoclasa de color blanco o rosado. Los suelos de la serie San José son de color blanco, libres de hematita, de consistencia más dura que el anterior y consiste fundamentalmente de axiolitas secundarias y cristales esferulíticos de feldespato potásico con poca cantidad de vidrios. Contiene cuarzo, oligoclasa y fragmentos de biotita (4).

Serie San José:

Se encuentra ampliamente distribuida en las pampas de La Joya, en las pampas de Majes y en las pampas de La Clemesí en áreas generalmente a nivel y planas. La pendiente varía entre 0 a 3 por ciento; el espesor del perfil es considerable. El drenaje interno medio, la escorrentía superficial media, la permeabilidad moderada. No existe vegetación natural alguna.

Localización: Pampas de La Joya (5)

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A ₁	0— 7	Arena franca fina, pardo amarillento grisáceo (10YR5/4) grano simple o estructura masiva; una característica en este suelo es la presencia de rajaduras en forma de "V" relleno con material similar al de la superficie con abertura de 5 a 30 cm de ancho en la superficie y desaparece a medida que alcanza el último horizonte. El material de estas rajaduras está compuesto por arena media, de color pardo amarillento (incluyendo granos de cuarzo), es masivo y duro cuando seco. Este material se deshace rápidamente en el agua. La génesis de esas rajaduras es desconocida. La reacción es neutra (pH 6.8), límite claro ondulado o irregular. Espesor 2 a 10 cm.
IIC ₁	7— 28	Franco arenoso fino, pardo amarillento gris claro (10YR6/2); estructura en bloques angulares grandes; neutro (pH 6.7); límite gradual suave.

A.2.4

Espesor 100 a 130 cm

IIC₂ 28–150+ Mezcla de grava angular y subangular con tufo volcánico no consolidado.

Del análisis mecánico se concluye que en este suelo domina la arena fina en todos los horizontes, y el porcentaje decrece con la profundidad a medida que el limo y la arcilla se incrementa. El limo alcanza valores comprendidos en la superficie 14.3 por ciento y la arcilla 5 por ciento; y en el subsuelo el limo aumenta a 25.4 por ciento y la arcilla a 12.5 por ciento. La densidad aparente muestra valores bajos 1.2 a 1.3. En este suelo se observa una distribución inversa de la porosidad capilar y porosidad de aereación en relación a otros suelos no derivados de cenizas volcánicas que se encuentran en el área.

Debido a su naturaleza volcánica era de esperar una alta capacidad de cationes de cambio, pero los valores mostrados fueron bajos. Esto posiblemente se deba a las limitaciones de los métodos usados en los análisis.

El catión dominante es el calcio.

Serie Azúcar:

Estos suelos deben su nombre a que se identificó por primera vez en las pampas de Azúcar, situada dentro de las amplias pampas de La Joya. Se encuentran también ampliamente distribuidos en las pampas de La Clemesí y en forma dominante en el norte, este y sur de las pampas próximas a la ciudad de Tacna.

Son suelos formados por tufo volcánico de color rosado de origen piroclástico–sedimentario, salino y yesoso, con textura franco arenosa y consistencia muy suave. Tiene además la particularidad de que la superficie está cubierta por abundante cantidad de cristales rojizos de cuarzo residual, proveniente de la destrucción de rocas ígneas del tamaño de los granos de arroz o de los cristales de azúcar rubia (2–3 mm), a esta particularidad se debe el nombre de la pampa.

Estos suelos fisiográficamente se han desarrollado sobre un área bastante plana con ligeras e insensibles depresiones y ondulaciones en las pampas de La Joya, La Clemesí y Tacna y en este último lugar también se encuentra además ocupando áreas monticuladas.

En general en estos suelos el espesor es considerable, el drenaje interno medio, la escorrentía superficial media, la permeabilidad moderada. Sin vegetación natural alguna.

Localización: Pampas de La Joya

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A	0	Cristales de cuarzo de 2 mm de tamaño, de color rojizo entre una capa de arena fina eólica, gris oscura.
A ₁₁	0– 08	Arena franca fina, gris oscura, sin estructura, algo masiva, suave, no calcárea, límite claro irregular.
A ₁₂	08– 30	Franco arenoso fino, pardo claro pálido, masivo, algo fibrosa, se disgrega fácilmente en agua; suave, no calcáreo, piedra pómez de 2 a 3 cm de tamaño, límite gradual y discontinuo.
		En ambos horizontes hay rajaduras en forma de "V" de 5 a 20 cm en la superficie y rara vez llega al último horizonte.
IIC	30–150+	Arena franca, rosada (7.5YR7/4), sin estructura, suelta, no calcárea, piedra pómez menor de 3 cm. Presencia de biotita y cristales de cuarzo y augita. Entre los 30 a 50 cm se encuentran pequeñas zonas endurecidas por sales.

Estos suelos son aptos para la irrigación y en el futuro serán incorporados a la agricultura varios miles de hectáreas.

B. Suelos de las regiones semiáridas y templadas (Cuadros 2 y 5)

Se han identificado en un ambiente de maleza desértica subtropical, en la vertiente occidental de la cordillera de

A.2.5

los Andes donde la temperatura promedio está entre 13 a 15°C y la precipitación alrededor de 300 mm que cae como chubascos durante los meses de enero, febrero y marzo, como extensión de las lluvias veraniegas generales de la sierra que crean un ambiente de humedad necesario para el desarrollo de una vegetación rala de diversas plantas xerofíticas, desprovistas de hojas, especialmente cactáceas; las asociaciones típicas se componen fundamentalmente de estas especies de los géneros *Cereus*, *Cephalocereus*, *Melocactus* y *Opuntia*, variando su tamaño normal desde unos pocos centímetros hasta 3 ó 4 metros de altura.

La fisiografía es de quebradas accidentadas, con declive marcado entre 30 a 70 por ciento de pendiente. Los suelos formados corresponden a litosol desérticos con exposición superficial de piedra y roca madre. Los suelos son de poca profundidad en promedio, poca capacidad retentiva y de escorrentía superficial muy rápida, por consiguiente la erosión es muy intensa. Se presenta algunos perfiles típicos de estos suelos derivados de cenizas volcánicas.

Serie Sol de Oro:

Localización: a 29 km sobre la carretera Nazca—puquio

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A ₁₁	0— 20	Arena fina franca, pardo pálido (10YR6/3) en seco, y pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo, estructura en bloques subangulares, medios y débiles, que se rompen en estructuras granulares muy finas y débiles; firmes, muy buena distribución de raíces; abundante porosidad muy fina; límite abrupto y suave.
A ₁₂	20— 50	Arena fina franca, pardo gris oscuro (10YR4/2) cuando seco y pardo gris muy oscuro (10YR3/2) cuando húmedo; estructura en bloques subangulares medios y débiles que se rompen en estructuras granulares finas y débiles; friable; muchos poros intersticiales finos; abundancia de raíces; límite abrupto y claro.
C	50—200	Tufo volcánico franco arenoso, blanco (10YR8/2) cuando seco y pardo pálido (10YR6/3) cuando húmedo, estructura en bloques, medias y moderadas, muy dura; ocasionalmente poros medios, presencia de calcáreo.

Los suelos de los horizontes superiores formados de cenizas volcánicas muestran formaciones de alofano, pero éstas toman la forma de limo antes que de arcilla. Posiblemente los coloides de aluminio amorfos se hinchan para formar por unión partículas más grandes bajo intervalos largos de condiciones muy secas que siguen a períodos muy cortos de lluvia que ha humedecido el suelo suficiente como para permitir procesos de edaficación formando partículas compuestas de tamaño del limo, las cuales parecen ser más resistentes a mayores humedecimientos (3). En estos suelos se ha observado movimiento hacia abajo de este tamaño de partículas de limo, acumuladas en fisuras interiores o en agrietamientos dejados por las raíces de las plantas, en el tufo volcánico.

Otro perfil representativo de suelos derivados de cenizas volcánicas en una región semiárida en el sur del Perú.

Serie Tarata:

Localización: a 70 km de Tacna en la carretera hacia Tarata

Altitud: 2010 m

Relieve: ondulado

Material madre: cenizas volcánicas entremezcladas con riolita pumicea

Vegetación natural: cactáceas

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A ₁₁	0— 20	Franco, pardo a pardo oscuro (10YR4/3) en seco y pardo amarillento oscuro (10YR3/4) cuando húmedo; prismáticas media y débil, que se rompe en bloques subangulares medios, débiles, friable, abundancia de poros medios; límite suave y claro.
A ₁₂	20— 48	Franco arenoso medio (10YR5/3) cuando seco y (7.5YR4/4) cuando húmedo, estructura prismática media, fina y débil; que se rompe en bloques subangulares muy finos y moderados; abundancia de poros medios, muy friable; límite suave y claro.
C ₁	48— 72	Franco arenoso, pardo amarillento oscuro (10YR3/4) cuando seco y pardo oscuro (7.5YR3/2) cuando húmedo; estructura en bloques subangulares medios, moderada, friable, abundancia de raíces, pocos poros; límite suave y claro.

A.2.6

- C₂ 72–200+ Tufo volcánico mezclado, franco arenoso medio, 20 por ciento de grava interna subangular, riolita, sin estructura, grano simple, suelta. Entre la capa C₁ y C₂ hay una capa de arena gruesa.

Estos suelos tal como se presentan están limitados por la topografía, por consiguiente su uso no tiene ningún significado económico en el Perú.

C. Suelos de regiones semiáridas y frías (Cuadros 2, 3, 5 y 7)

Entre las regiones semiáridas y subhúmedas existen suelos derivados de cenizas volcánicas, desarrollados bajo un ambiente ecológico de maleza desértica montano bajo y maleza desértica montano y forman una faja casi continua por la vertiente occidental de los Andes sur peruanos; en esta región hay lluvia veraniega durante los meses de verano cuya intensidad y frecuencia varían de año a año, aunque la temperatura es templada durante el día, pero en la noche baja algunos grados bajo cero en ciertos meses del año; junio y agosto presentan un aspecto vegetativo entre semidesértico y subhúmedo predominando la pacpa (*Fourcroya* spp.) las achupallas (*Puya* spp. y *Pitcarnia* spp.) y plantas de la formación maleza desértica montana tales como chilhua (*Franseria fructicosa* Phil.), la tola (*Lepidophyllum quadrangulare* Meyen) Benth, un buen grupo de hierbas anuales y perennes, y gramíneas anuales y efímeras (2). La poca humedad y la baja temperatura se manifiestan en el desarrollo del perfil, mostrando mayor cantidad de arcilla dentro del mismo. Este material ha originado suelos pardo andinos.

Perfil representativo de un suelo volcánico en esta región.

Serie Santiago:

Localización: a 73 km de Nazca en la carretera hacia Puquio

Altitud: 2100 m

Relieve: monticulado a fuertemente montañoso

Material madre: tufo volcánico. En otros el material es consolidado (sillar).

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A	0– 20	Franco, pardo (10YR5/3) en seco, estructura granular fina y fuerte, porosa, ligeramente dura, límite suave y claro.
AC	20– 40	Franco, pardo muy pálido (10YR7/4), estructura masiva porosa, ligeramente dura; algo de raíces; límite difuso y suave.
C	40–250+	Franco, pardo pálido (10YR6/3) estructura masiva, porosa, ligeramente dura, escasas raíces.

El uso de estos suelos está limitado fundamentalmente al pastoreo estacional; por falta de agua los cultivos alimenticios solamente se realizan aprovechando el afloramiento de agua en áreas muy restringidas —generalmente en hondonadas, entre cerros— pues cuando el suelo llega a saturarse completamente se produce deslizamiento de grandes extensiones, cuando el material madre es volcánico.

En un ambiente semiárido, donde hay lluvia durante tres meses al año, las cuales en enero o febrero son más intensas, la temperatura durante el día llega a 10°C, ocasionalmente a 20°C, pero durante la noche baja hasta 0°C; el tipo de vegetación dominante corresponde al típico de la “puna” o “páramo”, las gramíneas comprenden especies perennes que corresponden a los géneros *Festuca*, *Poa*, *Bromus* y *Calamagrostis*, y desde los 3600 m sobre el nivel del mar se han desarrollado en las planicies del sur del Perú suelos sobre material volcánico asociados con otros desarrollados sobre material lacustre o aluvial.

Perfil representativo de un suelo volcánico dominante:

Serie Yaurihuirí:

Localización: a 45 km sobre la carretera Puquio—Chalhuanca

Altitud: 3600 m

Relieve: monticulado

Material madre: tufo volcánico

A.2.7

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A ₁₁	0— 7	Franco pardo amarillento oscuro (10YR4/4) en húmedo, bloques subangulares medios que se rompen en granular fina y débil, porosa, firme; límite suave, ligeramente ondulado. Grava interna pequeña menor de 10 por ciento.
A ₁₂	7— 50	Franco pardo muy oscuro, en húmedo, pardo muy oscuro (10YR2/2), bloques subangulares que se rompe en granulares medios, firme; límite difuso.
AC	50— 57	Franco limoso, en húmedo, pardo amarillento oscuro (10YR3/4), bloques subangulares medios estables, ligeramente duro; límite claro.
C	57—120+	Franco a franco arcilloso, en húmedo, pardo amarillento oscuro (10YR4/4), masivo, que se rompe en bloques subangulares medios, firme.

A continuación se presenta un perfil de suelo derivado de cenizas volcánicas. Tiene importancia debido a que se ha identificado en el altiplano de Puno en la frontera con Bolivia y se extiende hacia dicho país.

Serie Mazo Cruz:
 Localización: Mazo Cruz
 Altitud: 4100 m
 Relieve: plano
 Material madre: Tufo volcánico

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A	0— 40	Franco, pardo a pardo oscuro en seco (10YR4/3, y en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR3/4), prismática grande y débil que se rompe en bloques subangulares, friable, suave.
C ₁	40— 70	Franco a franco limoso, prismas medianos que se rompen en bloques subangulares, friable; límite difuso.
C ₂	70—120	Franco, en seco gris claro (10YR7/2), y en húmedo pardo a pardo oscuro (10YR4/3), prismas medianos que se rompen en bloques subangulares, friable, difuso.
R		Tufo volcánico, en seco amarillento pardo (10YR6/8), en húmedo pardo amarillento (10YR5/8), prismas medios que se disgregan en granos simples.

Todos estos suelos volcánicos están dedicados al presente al pastoreo extensivo, tan solamente hay áreas muy reducidas que se siembran con cultivos alimenticios de autoabastecimiento. El factor limitante es la altitud. Pero el desarrollo de nuevas variedades genéticas de cultivos resistentes a las heladas y la introducción de prácticas modernas de agronomía podrán elevar el nivel de vida en esa amplia región (Cuadro 4).

D. Suelos de Regiones Subhúmedas y húmedas (Cuadros 4 y 8)

En asociación con los suelos antes descritos se han identificado también otros suelos volcánicos que ocupan grandes extensiones en los Departamentos de Ayacucho y Apurímac, se han desarrollado sobre un ambiente de mayor humedad. Se encuentran en forma considerable cubriendo áreas ligeramente monticuladas y sobre los 4000 metros de altura sobre el nivel del mar. La vegetación natural es similar a la anterior. Los efectos de la erosión en estos suelos son más acentuados.

Perfil representativo típico de un suelo volcánico.

Serie Pampamarca:
 Localización: Pampamarca (Ayacucho), 133 km sobre la carretera Puquio Challeuaua
 Altitud: 4000 m
 Relieve: ligeramente monticulado
 Material madre: Tufo volcánico

A.2.8

Horizonte	Prof. cm	Descripción
A	0— 20	Franco arenoso, en húmedo pardo amarillento oscuro (10YR3/4), granular, medio, débil, friable, difuso.
AB	21— 33	Franco, en húmedo pardo amarillento oscuro, granular medio, débil, friable, difuso.
B	33— 49	Franco limoso, en húmedo pardo amarillento (10YR5/6) bloques subangulares medios, que se rompe en granular, medio, débil, friable, difuso.
C	49— 72	Franco arenoso a franco limoso, en húmedo pardo pálido (10YR6/3) laminar, friable, difuso.
R	72—400+	Tufo volcánico, en húmedo blanco (7.5YR8/0), sin estructura, masiva, que se rompe en laminar, friable.

Estos suelos se encuentran también asociados con el pardo andino, la pradera andina y litosoles; en ciertas áreas se ve que estos suelos han sido enterrados por rocas consolidadas tales como andesita.

Serie Aimaraes:

Son suelos muy similares a la serie Azúcar, pero se diferencian de ésta en que se han desarrollado sobre material volcánico consolidado. Se observa desde 4600 m sobre el nivel del mar hasta 2850 m en el Departamento de Aparimac.

E. En los cuadros se acompaña análisis físico y químico de suelos volcánicos y de suelos no volcánicos, que por estar relacionados a ellos servirán como comparación.

GENESIS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Los análisis de caracterización de estos suelos muestran algunas particularidades especiales que no se observan en otros suelos del mundo y se hace referencia por ahora a una de ellas.

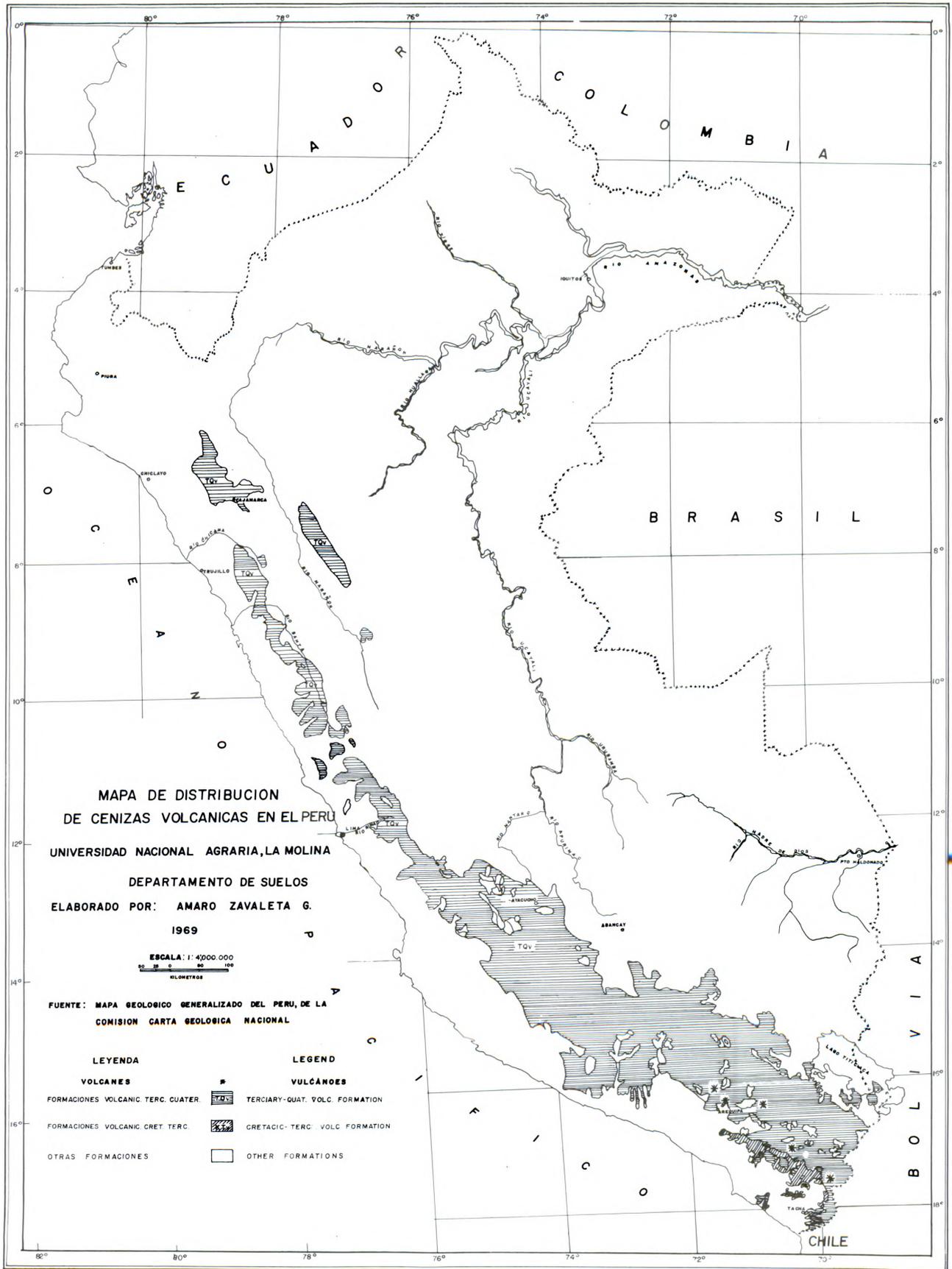
Análisis de arcillas

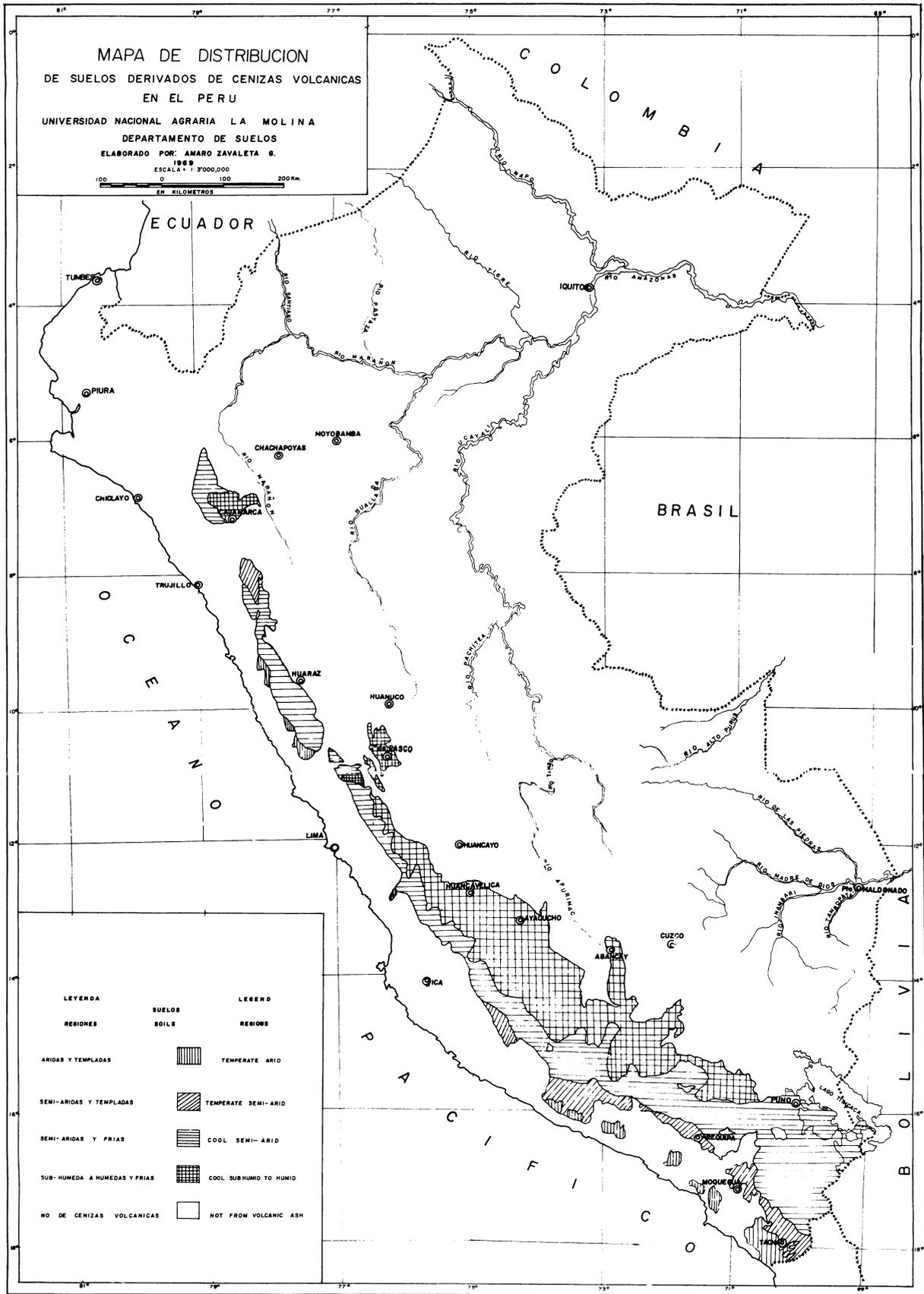
En la identificación de arcillas en el perfil San José se aprecia que hay una marcada diferencia en la naturaleza de las mismas en los dos horizontes. El horizonte A muestra moderadas cantidades de mica y vermiculita y estratificación randomizada mica-vermiculita junto con feldespato. La arcilla tratada con glicerol y saturada con Mg del horizonte IIC₁ da un pico fuerte definido a 12.3Å que es completamente diferente a cualquier arcilla hasta ahora conocida. Los picos más pequeños en el mismo horizonte indican espaciamentos a 9.82 Å, 7.4 Å, 4.98 Å, 4.44 Å, 3.77 Å, 3.57 Å, 3.37 Å y 3.33 Å y otros (el último es del cuarzo que corresponde a la lámina usada en la difracción de los rayos-X) cuando la misma muestra de la arcilla fue saturada con K y secada al aire, los rayos X mostraron casi el mismo patrón. El pico principal a 12.3 Å mantiene el mismo espacio basal y solamente incrementa ligeramente en intensidad. Después de calentar a 300°C el espaciamento basal mantiene su valor e intensidad y empieza a acercarse hacia 10 Å y los otros picos secundarios permanecen generalmente los mismos. Después de calentar a 550°C el pico principal a 12.3Å colapsa y se acerca hacia 10Å, y los picos débiles 7.1Å, que aparece cuando es saturado con K, desaparece completamente (3).

Debido a que los patrones de rayos X no corresponden a ninguna de las arcillas conocidas, se necesita investigación adicional para su caracterización.

BIBLIOGRAFIA

1. COMISION DE LA CARTA GEOLOGICA NACIONAL. 1968.
2. TOSI, J. A. Jr. 1960. Zonas de vida natural en el Perú. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Zona Andina.
3. WRIGHT, C. H. 1964. Supplement to the final report of the asesor in soils, FAO, Chile. Dirección de Agricultura y Pesca, Departamento de Conservación de Suelos, Santiago, Chile.
4. ZAVALA, A. 1965. Soil survey of Las Pampas de La Joya, Fiquas and Majes, etc. Ministerio de Fomento y Obras Públicas, Lima. (Sin publicar)
5. ZAVALA, A. y E. P. WHITESIDE. 1967. Genesis, morphology and classification of Michigan alfisols and peruvian entisols. Thesis M.S. Michigan State University. 170 p.





A.2.11

CUADRO 1. Análisis químico de suelos volcánicos en regiones áridas.

Horizonte	Profundidad cm	Cond.Elec. Ext. Sat. mmhos/cm	pH 1:1	Calcáreo total %	C %	C/N %	P disponible ppm	K ₂ O kg/ha	Capacidad cationes cambiabiles (me/100 g)				
									Total de cambio	Na	K	Ca	Mg
San José													
A ₁	0- 7	1,25	6,8			1,0	10,8		6,2	1,03	0,89	17,28	0,90
IIC	7-128+	3,20	6,7			1,6	7,3		5,0	2,61	1,07	115,80	1,23
Azúcar													
A	0- 30	14,8	7,0	0	0,2	33,3	7,0	408	2,6	0,08	0,63	4,00	0,31
IIC	30-200+	4,0	7,0	0	0,2	25,0	1,7	340	2,4	0,10	0,43	4,80	0,22
Clemesí													
A	0- 5	9,6	7,9	0,3	0,2	36,4	3,8	340	2,6	0,10	0,40	6,00	0,14
IIC	5- 50+	11,0	7,5	0	0,2	17,1	0,8	340	2,6	0,10	0,42	5,20	0,19

CUADRO 2. Análisis químico de suelos volcánicos en regiones semiáridas.

Horizonte	Profundidad cm	Cond.Elec. Ext. Sat. mmhos/cm	pH 1:1	Calcáreo total %	C %	C/N %	P disponible ppm	K ₂ O kg/ha	Capacidad cationes cambiabiles (me/100 g)				
									Total de cambio	Na	K	Ca	Mg
Sol de Oro													
A ₁₁	0- 20	0,81	7,4	0,40	0,44	25,88	5,3	340	12,00	0,17	0,51	10,20	0,71
A ₁₂	20- 50	0,52	7,5	0,10	0,44	22,00	3,8	310	22,80	0,38	0,72	18,40	0,89
C	50-200+	0,73	8,4	18,80	0,24	40,00	5,5	204	25,92	0,86	0,07	42,00	0,19
Santiago													
A	0- 20	0,37	7,5	0	0,44	17,71	7,0	370	11,60	0,18	0,77	8,90	0,80
B	20- 45	0,51	7,9	0	0,28	25,45	5,0	272	13,12	0,20	0,28	9,80	0,79
C	45-250	0,38	8,8	0,10	0,20	25,00	4,6	340	16,24	1,94	0,52	12,00	0,82
Tarata													
A ₁₁	0- 20	8,0	7,1	0,1	0,4	16,4	6,3	272	13,1	0,22	0,32	16,30	1,00
A ₁₂	20- 48	20,0	7,9	0	0,4	31,4	3,4	185	11,6	0,22	0,09	12,80	0,96
C	48- 72	17,0	7,9	1,1	0,4	21,1	6,0	272	17,2	0,34	0,33	19,20	1,00
R	72-200+	18,0	7,8	2,9	0,3	25,5	2,9	310	6,4	0,15	0,43	22,00	0,49

CUADRO 3. Análisis químico de suelos volcánicos en regiones semiáridas.

Horizonte	Profundidad cm	Cond.Elec. Ext. Sat. mmhos/cm	pH 1:1	Calcáreo total %	C %	C/N %	P disponible ppm	K ₂ O kg/ha	Capacidad cationes cambiabiles (me/100 g)				
									Total de cambio	Na	K	Ca	Mg
Puquio													
A		1,4	7,6	0,4	0,8	9,9	25,5	408	24,2	0,52	4,80	26,80	0,84
AB		3,1	7,2	0,2	0,4	6,4	6,7	425	29,0	0,60	4,30	32,40	0,93
B		6,7	7,0	0	0,3	8,2	6,3	415	23,5	0,48	1,82	14,40	0,91
C		4,1	7,0	0	0,3	7,8	8,4	415	17,8	0,40	1,37	12,10	0,84
Yaurihuiri													
A ₁₁	0- 70	0,8	5,7	0	4,1	18,5	12,5	340	17,6	0,32	0,57	11,90	0,80
A ₁₂	7- 50	0,7	5,4	0	1,7	15,1	7,7	272	9,6	0,12	0,40	3,60	0,61
AC	50- 57	0,3	5,8	0	1,3	12,4	10,5	204	17,1	0,24	0,28	1,60	0,80
C	57-120+	0,4	6,0	0	0,6	11,4	8,4	272	5,5	0,12	0,24	1,80	0,84
Parihuana													
A	0- 29	0,3	5,3	0	0,8	19,0	7,0	310	4,4	0,10	0,39	1,20	0,41
AC	27- 32	0,3	5,3	0	0,4	12,9	6,3	340	3,8	0,10	0,32	1,20	0,38
C	32-300+	0,3	6,5	0	0,2	25,0	5,3	340	4,2	0,10	0,59	0,80	0,42

A.2.12

CUADRO 4. Análisis químico de suelos volcánicos en regiones subhúmedas y húmedas.

Horizonte	Profundidad cm	Cond. Elec. Ext. Sat. mmhos/cm	pH 1:1	Calcáreo total %	C %	C/N %	P disponible ppm	K ₂ O kg/ha	Capacidad cationes cambiabiles (me/100 g)				
									Total de cambio	Na	K	Ca	Mg
Pampamarca													
A	0- 27	0,3	5,3	0	0,8	19,0	7,0	310	4,4	0,10	0,39	1,20	0,41
AC	27- 32	0,3	5,3	0	0,4	12,9	6,3	340	3,8	0,10	0,32	1,20	0,38
C	32-200+	0,3	6,5	0	0,2	25,0	5,3	340	4,2	0,10	0,59	0,80	0,42
Aimaraes													
A	0- 35	0,3	5,4	0	4,1	16,4	10,5	340	10,8	0,14	0,54	1,40	0,64
C	35-250+	0,3	7,0	0	0,3	20,0	4,6	272	2,0	0,07	0,11	0,80	0,14
Abancay													
A ₁₁	0- 33	0,4	5,3	0	2,0	17,1	33,3	370	9,4	0,11	0,67	1,20	0,71
A ₁₂	33- 45	0,4	4,8	0	1,5	18,5	22,2	272	8,6	0,09	0,29	1,60	0,80
AC	45- 55	0,4	4,8	0	1,0	16,1	13,8	204	8,6	0,12	0,26	1,40	0,71
C	55-150	0,2	5,3	0	0,2	17,1	9,3	185	3,0	0,08	0,06	0,80	0,27
R	150+	0,6	5,8	0	0,2	9,2	25,5	204	4,3	0,08	0,21	1,20	0,55
Mazo Cruz													
A	0- 40	1,2	6,0	0	0,7	25,1	15,1	340	18,8	0,26	0,82	22,10	0,77
C ₁	40- 70	1,0	8,0	12,3	0,3	22,9	11,7	340	7,4	0,19	0,48	12,40	0,80
C ₂	70-120	0,8	8,0	0,11	0,2	14,3	5,3	310	8,0	0,14	0,50	12,40	0,77
R	120-180	0,5	8,0	0	0,2	30,0	8,7	340	6,8	0,12	0,46	8,40	0,71
Saywite													
A	0- 35	0,2	4,6	0	6,04	24,8	18,1	155	27,1	0,14	0,14	1,70	0,18
AB	35- 50	0,3	4,7	0	2,64	17,5	5,8	155	20,8	0,19	0,14	1,50	0,14
B	50-200+	0,2	5,2	0	0,40	8,5	15,8	272	10,1	0,08	0,10	1,20	0,17
Carahuasi													
A	0- 49	0,5	6,9	0	2,00	15,0	3,4	185	13,9	0,10	0,17	8,60	0,52
B	49- 87	0,3	6,3	0	1,00	9,7	3,4	204	15,2	0,22	0,16	5,80	0,76
AC	82-100	0,3	6,3	0	0,64	11,4	6,0	185	13,2	0,16	0,18	5,80	0,86
C	100-150+	0,2	6,5	0	0,52	8,1	8,1	204	14,1	0,16	0,18	8,20	0,80
Cuzco													
A ₁₁	0- 16	0,7	7,8	6,2	1,28	14,2	28,6	204	12,8	0,20	0,38	14,10	0,63
A ₁₂	16- 35	0,6	7,9	5,9	1,20	13,8	10,0	204	14,0	0,26	0,27	16,00	0,42
B ₁₁	35- 80	1,1	7,8	6,5	0,80	12,5	5,5	155	13,4	0,20	0,17	13,80	0,31
B ₁₂	80-129	0,9	7,6	14,6	0,52	13,3	7,2	185	18,6	0,34	0,16	21,40	0,26
B ₁₃	129-180	0,9	7,3	3,9	0,40	10,3	7,2	204	11,8	0,14	0,15	13,60	0,28

CUADRO 5. Características de humedad, densidad aparente, peso específico y porosidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en regiones semiáridas.

Horizontes	Profundidad cm	0,06	1/3	5	15	Agua disponible %	Densidad		Porosidad		Sólidos totales %
		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.		Aparente	Real	total %	capilar %	
Sol de Oro											
A ₁₁	0- 20	22,29	14,45	6,70	5,10	15,59	1,46	2,57	43,19	32,54	56,80
A ₁₂	20- 50	26,43	20,37	12,65	9,60	16,83	1,34	2,50	46,35	35,41	53,65
C	50-200	29,69	24,47	15,34	9,58	20,11	1,32	2,53	47,55	39,42	52,44
Santiago											
A	0- 20	31,61	22,40	12,20	9,80	21,82	1,10	2,44	54,75	34,89	45,24
BC	20- 45	34,50	24,03	11,52	9,32	25,18	1,65	2,40	31,47	56,92	68,52
C	45-250	39,14	25,12	12,54	9,76	29,38	1,24	2,40	48,42	48,61	51,57
Tarata											
A ₁₁	0- 20	20,36	15,25	6,51	5,28	15,08	1,47	2,53	41,66	30,07	58,33
A ₁₂	20- 48	20,18	9,08	5,51	4,44	15,74	1,02	2,59	60,40	20,76	39,59
C	48- 72	16,28	12,60	9,27	8,02	8,26	1,19	2,48	52,01	19,37	47,98
R	72-200	21,44	14,00	6,56	5,31	16,13	0,83	2,50	66,80	17,79	33,20

A.2.13

CUADRO 6. Características de humedad, densidad aparente, peso específico y porosidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en regiones áridas.

Horizonte	Profundidad cm	0,06	1/3	5	15	Agua disponible %	Densidad		Porosidad total %	Porosidad capilar %	Sólidos totales %
		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.		aparente	Real			
San José											
A ₁	0- 7	14,5	5,4	2,8	2,2	3,2	1,26	2,35	46,4	18,2	53,6
IIC	7-128	38,0	13,8	7,0	5,6	8,2	1,13	2,35	51,9	43,0	48,1
Azúcar											
A	0- 30	29,75	10,26	3,45	3,04	26,71	0,72	2,38	69,53	21,56	29,73
C	30-200	32,59	13,94	7,68	6,11	26,48	0,98	2,49	60,31	32,23	39,68
Clemesí											
A	0- 05	15,42	6,05	4,95	3,67	11,75	1,29	2,72	52,66	19,89	47,39
C	5- 50	29,42	16,50	7,80	6,46	22,96	1,78	2,68	33,50	52,42	66,49

CUADRO 7. Características de humedad, densidad aparente, peso específico y porosidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en regiones semiáridas.

Horizonte	Profundidad cm	0,06	1/3	5	15	Agua disponible %	Densidad		Porosidad total %	Porosidad capilar %	Sólidos totales %
		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.		aparente	real			
Puquio											
A	0- 40	38,02	29,30	23,22	17,51	20,51	1,25	2,46	49,04	47,82	50,95
AB	40- 60	47,51	37,79	30,90	23,68	23,83	1,27	2,44	47,95	-	52,04
B	60- 90	44,55	35,67	25,95	21,74	22,81	1,11	2,32	48,23	-	47,74
C	90-200	40,55	33,45	23,40	18,10	22,45	1,00	2,35	57,48	40,55	42,51
Yaurihuirí											
A ₁₁	0- 7	35,81	25,75	18,90	17,34	18,47	1,22	2,17	43,69	-	56,30
A ₁₂	7- 50	26,73	17,58	11,90	10,02	16,71	1,23	2,46	50,18	32,87	49,81
AC	50- 57	36,73	26,05	16,52	13,22	23,51	1,34	2,43	44,97	-	55,03
C	57-120	33,38	18,90	15,64	13,29	20,09	0,98	2,38	58,82	32,71	41,17
Parihuana											
A	0- 27	21,07	10,09	8,30	7,00	14,07	1,29	2,35	45,10	27,18	54,89
AC	27- 32	18,77	10,09	7,42	6,25	12,52	1,14	2,35	51,32	21,47	48,68
C	32-200	30,60	17,51	4,82	4,68	25,92	0,97	2,38	59,16	29,83	40,84

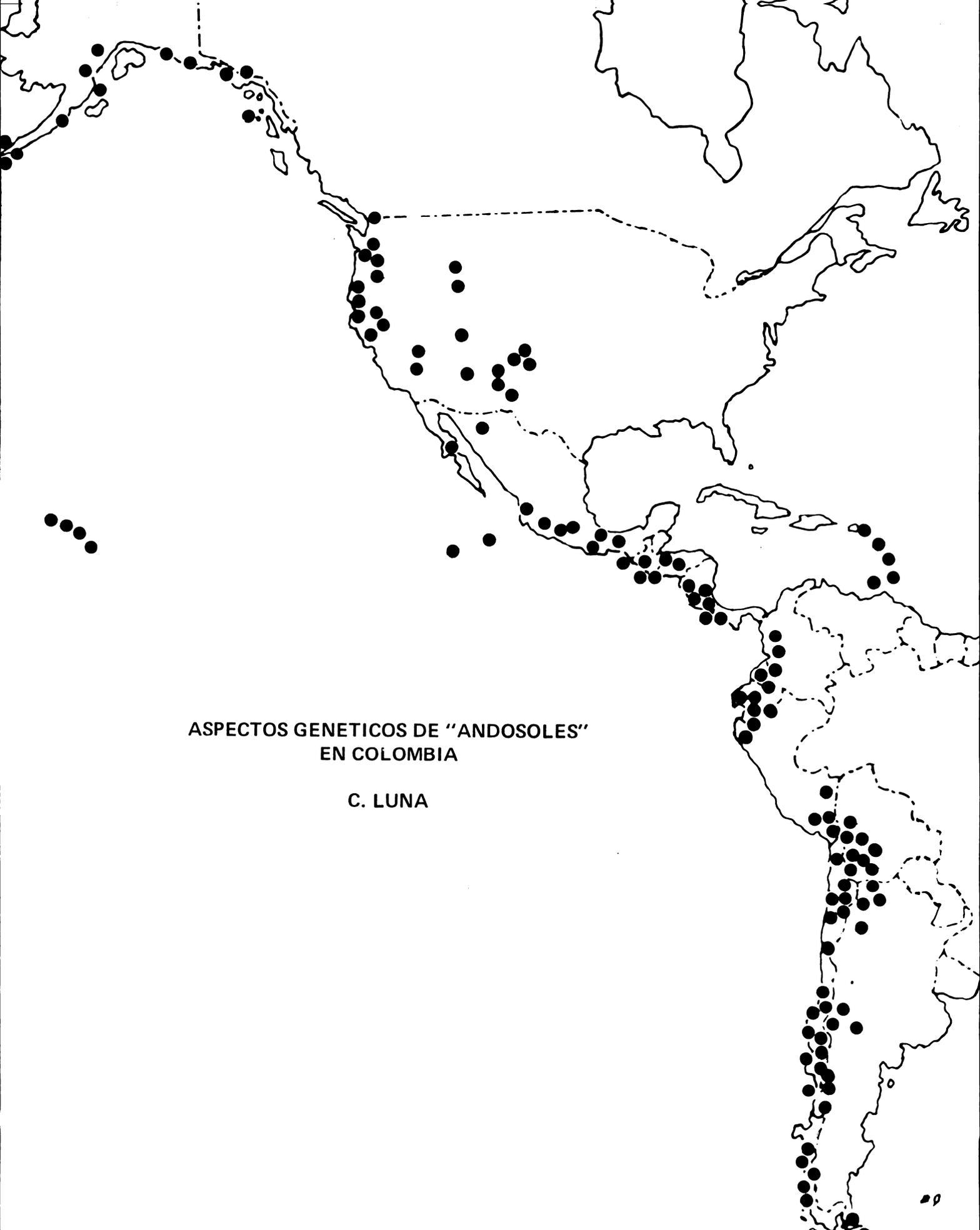
A.2.14

CUADRO 8. Características de humedad, densidad aparente, peso específico y porosidad de suelos derivados de cenizas volcánicas en regiones subhúmedas y húmedas.

Horizonte	Profundidad cm	0,06	1/3	5	15	Agua disponible	Densidad		Porosidad		Sólidos totales
		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.	%	aparente	real	total %	capilar %	%
Pampamarca											
A	0- 21	31,02	17,89	9,95	9,45	21,57	0,94	2,29	59,05	29,18	40,94
AB	21- 33	28,92	19,36	11,08	10,65	18,27	0,81	2,25	64,00	23,42	36,00
B	33- 49	64,09	51,10	20,85	19,69	44,40	0,77	2,00	61,45	49,02	38,55
C	49- 72	62,81	33,75	13,03	12,96	49,85	9,76	2,22	65,56	48,04	34,50
R	72-400	50,42	36,55	14,86	14,07	36,35	1,41	2,00	29,50	-	70,50
Aymaraes											
A	0- 35	47,05	26,48	15,47	15,04	32,01	0,77	2,32	66,66	36,46	33,33
C	35-250	30,42	20,97	6,74	5,26	25,16	1,13	2,15	47,51	33,85	52,48
Abancay											
A ₁₁	0- 33	27,40	20,12	11,60	11,08	16,32	0,94	2,56	63,10	25,89	36,81
A ₁₂	33- 45	28,47	20,83	12,54	8,52	19,95	0,78	2,47	68,38	22,23	31,61
AC	45- 55	28,93	19,77	10,32	7,62	21,31	1,07	2,50	57,00	30,60	43,00
C	55-150	19,83	13,75	4,33	3,33	16,50	1,11	2,59	57,06	22,11	42,94
R	+ 150	23,98	19,50	8,63	6,49	17,49	1,29	2,59	50,13	31,05	49,86
Mazo Cruz											
A	0- 40	29,67	23,75	14,89	11,41	18,26	1,05	2,49	57,83	31,15	42,16
C ₁	40- 70	33,13	31,98	9,87	5,95	27,18	1,05	2,49	57,83	34,78	42,16
C ₂	70-120	22,30	20,18	8,35	5,71	16,59	0,93	2,41	61,41	20,76	38,59
R	120-180	20,90	19,02	7,85	5,47	15,43	2,20	2,44	9,83	45,98	90,16

CUADRO 9. Características de humedad, densidad aparente, peso específico y porosidad de suelos relacionados con derivados de cenizas volcánicas en regiones húmedas y subhúmedas.

Horizonte	Profundidad cm	0,06	1/3	5	15	Agua disponible	Densidad		Porosidad		Sólidos totales
		Atm.	Atm.	Atm.	Atm.	%	aparente	real	total %	capilar %	%
Saywite											
A	0- 35	44,40	42,80	29,25	25,43	18,97	1,26	2,06	38,98	-	61,01
AB	35- 50	35,84	35,15	25,35	20,38	15,46	1,35	2,26	40,04	-	59,95
B	50-200	33,25	29,27	18,38	14,37	18,88	1,32	1,56	48,24	38,78	51,76
Curahuasi											
A	0- 49	40,43	20,55	14,77	12,47	27,96	1,11	2,40	53,51	45,20	46,49
B	49- 82	20,48	19,78	15,08	13,23	7,25	1,27	2,50	49,20	26,00	50,80
BC	82-100	24,33	21,45	16,15	14,22	10,11	-	2,56	17,96	-	84,00
C	100-150	28,39	24,10	17,67	15,21	13,18	-	2,50	2,80	68,98	97,20
Cuzco											
A ₁₁	0- 16	25,55	24,25	12,60	9,54	16,01	1,43	2,59	44,71	36,63	55,28
A ₁₂	16- 35	36,72	23,60	12,71	9,99	26,73	1,82	2,44	25,36	66,86	74,63
B ₁₁	35- 80	27,93	23,40	12,25	9,78	18,15	1,89	2,43	22,05	52,89	77,94
B ₁₂	80-129	36,15	22,75	11,73	9,43	26,72	1,24	2,49	50,20	44,82	49,79
B ₁₃	129-180	23,57	18,10	10,41	8,49	15,08	1,81	2,43	25,43	42,73	74,56
La Raya											
A	0- 60	19,94	11,28	4,74	3,16	16,78	1,56	2,59	39,93	31,10	60,06
C	60-110	9,46	6,78	3,93	3,05	6,41	1,08	2,63	58,67	10,30	41,32



ASPECTOS GENETICOS DE "ANDOSOLE'S"
EN COLOMBIA

C. LUNA

ASPECTOS GENÉTICOS DE "ANDOSOLE" EN COLOMBIA

Carlos Luna Zambrano*

INTRODUCCION

Los suelos derivados de ceniza volcánica son de gran importancia en Colombia, por cuanto una extensión considerable de ellos —que se encuentra sobre las cordilleras andinas— tienen como material parental ceniza, tobas y lava volcánica.

El estudio presenta cierta complejidad ya que intervienen factores importantes como clima, topografía, presencia de formaciones geológicas que no son de origen volcánico y el tiempo de meteorización o intemperización de las rocas. Estos factores han influido en la formación de los suelos, por lo cual es indispensable hacer un breve examen de ellos.

El clima es muy variado como consecuencia de la topografía de Colombia, consistente en montañas elevadas y valles angostos. La temperatura se halla relacionada con la altura: al nivel del mar se tiene aproximadamente 29°C, operándose una disminución de 6°C de temperatura por cada 1000 m de elevación. Las corrientes de aire influyen en la temperatura y en la precipitación local. El clima influye notoriamente en la vegetación, la cual es especialmente variada. En el estudio de "Formaciones Vegetales de Colombia", del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2), se contemplan 29 formaciones ecológicas correspondientes a los pisos térmicos: cálido (0 — 800 m), templado (800 — 2100 m), frío (2100 — 3200 m) y páramo (de 3200 m en adelante). Dentro de cada piso térmico se consideran diferentes formaciones, con base en la temperatura y la precipitación. En la faja tropical se contemplan seis formaciones, en el piso de clima templado cinco y así, comenzando con las formaciones que requieren menor precipitación y terminando con las que precisan precipitaciones altas.

La geología de Colombia es compleja y variada: se encuentran presentes rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, pertenecientes a diferentes edades geológicas. En la cordillera Occidental predomina material sedimentario; en la cordillera Central, las formaciones ígneas y metamórficas ocupan una extensión considerable y en la Oriental hay predominio de material sedimentario con manchas ígneo—metamórficas aisladas.

El basamento andino, en lo que respecta a zonas de volcanismo, se halla compuesto por las siguientes formaciones: en el Departamento de Nariño (en la frontera con el Ecuador), andesitas, basaltos y tobas del Cenozoico; continuando en dirección norte, en el Departamento del Cauca, se encuentran sedimentos no diferenciados (tobas, ceniza, lava, etc.), igualmente del Cenozoico; en el Departamento del Valle, se encuentran formaciones ígneas, metamórficas y sedimentarias pertenecientes a distintas edades geológicas; en los Departamentos de Risaralda, Tolima, Quindío, Caldas y Antioquia, preferentemente las formaciones metamórficas del Paleozoico e ígneas del Cenozoico; en el Departamento de Cundinamarca, sedimentos del Terciario y Cuaternario (11)

La importancia del conocimiento de la geología regional en el estudio genético de los suelos derivados de ceniza volcánica, radica en que algunos se han formado por una mezcla de ceniza y otras rocas no volcánicas. El caso se presenta en pendientes fuertes (relieve mayor del 40%), en donde los fenómenos de erosión, solifluxión y coluviación han influido notoriamente en el desarrollo de los suelos.

Los Andosoles que pudieran considerarse típicos, se hallan preferentemente sobre topografía suave, ligeramente ondulada, y a alturas comprendidas entre los 1300 y 3000 m sobre el nivel del mar. Los hay también sobre topografía pendiente, a elevaciones superiores o inferiores a las indicadas, en cuyo caso las características morfológicas, físicas, químicas y mineralógicas típicas de los andosoles, se hallan muy poco marcadas.

Los estudios sobre ceniza volcánica y sobre volcanismo en general son muy limitados en Colombia; la mayoría de los datos encontrados en la literatura se refieren a erupciones ocurridas en determinadas épocas, sin suministrar mayores detalles en cuanto a cantidad de materiales depositados y mucho menos en lo que se refiere a la composición del material piroclástico. Es de suponer que Colombia fue en el pasado el centro de un intenso volcanismo, a juzgar por el gran número de volcanes (pasan de 30) localizados en las cordilleras andinas y a alturas superiores a los 3000 m sobre el nivel del mar. Las informaciones sobre actividades volcánicas suministradas por testigos presenciales de los hechos se remontan al año de 1595 y se refieren a una violenta erupción ocasionada por el volcán Ruiz (hoy es un nevado) y durante la cual se depositó una capa de 20 cm de ceniza (10). Desde esa época a la presente, se ha tenido noticia por la prensa y por artículos en publicaciones técnicas, de muchas otras erupciones de los volcanes en Colombia.

* Químico, Jefe Sección Investigaciones Edafológicas Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Dirección de Agronomía, Laboratorio de Suelos, Bogotá, Colombia, S. A.

A.3.2

El dato más antiguo sobre deposición de ceniza, se refiere a un material recolectado en el Departamento de Tolima y cuya edad se determinó en 7000 años por carbón 14 (van der Hammen 1967). Es de suponer que las lluvias de ceniza debieron ocurrir a partir del Terciario superior, coincidiendo con el levantamiento de los Andes. En los Departamentos de Tolima y Caldas se encuentran depósitos de ceniza que tienen más de 40 m de espesor. Muchos de los depósitos volcánicos han sufrido meteorización intensa en climas húmedos tropicales; otros depósitos han sido trabajados por los ríos y por la acción de la lluvia antes de que sirvieran como material parental de los suelos.

Por estudios geológicos llevados a cabo especialmente por el Instituto Geológico Nacional, se tienen informaciones sobre localización y composición mineralógica de algunos depósitos volcánicos como tobas y lavas.

En estudios aislados efectuados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, sobre suelos derivados de ceniza volcánica (7, 8), se ha encontrado que la mayor parte de esos suelos derivan de cenizas ricas en rocas riolíticas, dacíticas y en menor proporción de rocas andesíticas ricas en hiperestena y hornblenda. El vidrio volcánico encontrado es por lo general ácido (incolore, con índice de refracción 1.50).

CARACTERÍSTICAS MORFOLOGICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS DE ANDOSOLES EN COLOMBIA

a. Características morfológicas

Las características morfológicas de los Andosoles en Colombia, en general, se identifican con aquéllas establecidas en otros lugares del mundo: en el Japón por Kanno (5, 6), en Nueva Zelandia por Birrel (1), en Hawaii por Swindale y Sherman (1964), en Chile por Wright (12), etc. Sin embargo, estos suelos presentan en Colombia ciertas peculiaridades que los distinguen de los suelos de otras latitudes. Aun dentro del mismo territorio, los suelos presentan diferencias originadas por condiciones climáticas, topográficas, tiempo de deposición de la ceniza y quizá a causa de la composición del material piroclástico.

Los colores oscuros predominan en los horizontes del perfil (especialmente en los horizontes superiores). Se encuentran colores más claros en el primer horizonte, en suelos pertenecientes a regiones de clima templado, como son aquéllos de la zona cafetera de Caldas. En algunos de estos suelos es posible distinguir los diferentes estratos o capas de ceniza correspondientes a tiempos distintos de deposición.

El horizonte superior posee, por lo regular, textura franca, algo arenosa, llegando a ser más pesada en las etapas más avanzadas de meteorización; los límites inferiores indican infiltración de materia orgánica en el subsuelo, consistencia no plástica y no pegajosa.

El sub-suelo tiene colores más claros que el horizonte superior; la textura es franco a franco arcillosa y por lo regular, con un alto contenido de limo ligeramente plásticos y pegajosos.

b. Características mineralógicas

1. Pequeña cantidad de vidrio volcánico y abundantes fitolitos en las fracciones de limo y arena fina.
2. Alofano es el principal constituyente de la fracción arcilla en la parte superior del solum: halloysita hidratada, kaolinita y gibsita se encuentran por lo general en los horizontes inferiores.

c. Características físico-químicas

- 1 pH ácido a ligeramente ácido.
2. Saturación baja de bases.
3. Capacidad catiónica de cambio alta y capacidad de intercambio aniónico relativamente alta.
4. Baja carga permanente y baja capacidad de cambio variable.
- 5 pH superior a 9.4 al tratar 1 g de suelo con 50 ml de NaF 1M luego de 1 minuto (4).
6. Contenido alto de materia orgánica.
7. Dispersión difícil
8. Retención de humedad por encima del 20 por ciento, a 15 atmosferas.

d Características especiales de algunos Andosoles

Los Andosoles en el Departamento de Nariño (en el sur de Colombia), se encuentran a alturas superiores de 2800 m sobre el nivel del mar; estos suelos han recibido adiciones de ceniza reciente, provenientes del volcán Galeras Simons—citado por Wright (12)— hace mención de suelos derivados de ceniza volcánica en la faja tropical de la costa del Pacífico; esos suelos no han sido estudiados. Los de la altiplanicie de Túquerres (en la frontera con el Ecuador), presentan interés: se encuentran alrededor de los 3000 m de altitud, con temperatura que oscila entre 6° y 11°C durante el día y más baja durante la noche; la precipitación es de 500 a 1000 mm por año. El suelo se ha desarrollado sobre una capa de ceniza volcánica de 130 cm de espesor, de color oscuro; las capas subadyacentes son depósitos de arena y arcilla de colores más claros.

El examen granulométrico de las arenas del suelo en el primer horizonte, permite distinguir tres capas diferentes (Cuadro 1). Los resultados del análisis mineralógico de las arenas indican un alto contenido en cuarzo y menor proporción de feldespatos alcalinos y hornblenda o hiperestena. Se trata de material dacítico—andesítico. El vidrio volcánico es ácido. El material dominante de la fracción arcilla es alofano en el primer horizonte y minerales caoliniticos (meta-halloysita) en los horizontes sub-adyacentes. La relativa alta proporción de minerales meteorizables en el perfil y la naturaleza de los minerales componentes de la arcilla, indican que se trata de un suelo poco desarrollado comparado con otros similares de los Departamentos de Caldas y Antioquia.

Los suelos desarrollados sobre ceniza volcánica en los Departamentos del Cauca y Valle no han sido estudiados en detalle. De los pocos perfiles llegados al Instituto Geográfico para análisis en el laboratorio, se ha encontrado que la mayor parte de las propiedades físico—químicas se identifican con las de los Andosoles; la arcilla tiene como componente principal alofano. No se ha efectuado análisis mineralógico de las arenas (Cuadro 2).

En los Departamentos de Caldas, Risaralda, Quindío y el Tolima, los suelos desarrollados sobre ceniza volcánica presentan gran interés, por encontrarse en esas regiones que a lo largo del centro del mayor volcanismo en Colombia. Se han desarrollado aparentemente sobre material Andesítico proveniente del Ruiz (9). En los alrededores de este antiguo volcán se han encontrado suelos sepultados hasta en número de doce, correspondientes a diferentes periodos de actividad volcánica.

En líneas generales, estos suelos tienen un primer horizonte orgánico de 30 a 60 cm de espesor, de consistencia friable, no pegajosa, con pH entre ácido y fuertemente ácido. El segundo horizonte se encuentra formado por arenas moderadamente finas y gruesas a muy gruesas. El tercer horizonte es de textura mediana y estructura en bloques angulares de finos a medios. Las características del segundo horizonte se han tomado como base para dividir estos suelos en tres tipos bien definidos (9). (Cuadros 4 y 5).

En el Departamento de Cundinamarca (Sabana de Bogotá), se han encontrado algunos suelos con las características físico—químicas de los Andosoles; la arcilla es principalmente amorfa, del tipo alofánico y las arenas tienen vidrio volcánico y una gran cantidad de fitolitos (Cuadro 3).

Los suelos de Antioquia (en el norte de Colombia) han sido quizá estudiados con mayor detalle desde el punto de vista del génesis, que el resto de los suelos en Colombia. Se los encuentra en una amplia faja de 100 km de largo por 40 km de ancho, aproximadamente, que se extiende en dirección sur—oeste desde Sonsón hasta el Valle del río Medellín. Los Andosoles se han localizado en esta zona a altitudes comprendidas entre los 1900 y 2500 m, en climas húmedos y muy húmedos subtropicales y en climas húmedos de tierra fría. La vegetación se halla compuesta, en gran parte, por pastos naturales y helechos; en algunos lugares existen aun restos de bosque (*Quercus* sp). La ceniza tiene abundante cuarzo, escasos feldespatos alcalinos y es rica en hornblenda e hiperestena; el vidrio volcánico es escaso. El material proclástico es una mezcla de riolita, dacita y andesita. La capa de ceniza es de 130 cm aproximadamente, en partes planas a ligeramente onduladas y de menor profundidad en las pendientes. Algunos suelos se han desarrollado sobre una mezcla formada por la ceniza y por material coluvial de otras rocas. Este es el caso, como se dijo anteriormente, de los suelos desarrollados en pendientes fuertes.

Se presentan a continuación dos perfiles desarrollados en diferentes condiciones de pendiente:

Perfil 19

El perfil 19 se encuentra a 2150 m de altitud, en la pendiente oriental del valle del río Medellín. El clima es muy húmedo subtropical, la precipitación de 2000 mm aproximadamente y la temperatura de 18°C. La vegetación es de restos de bosque, pastos naturales y numerosos helechos; la pendiente es del 40 por ciento. La ceniza volcánica se encuentra sobre anfibolita (Cuadro 6).

Es un suelo poco desarrollado en lo que respecta a diferenciación de horizontes; en ello parece haber influido el factor topográfico. El efecto del relieve se manifiesta por fenómenos coluviales y probablemente por fenómenos de solifluxión en vista del grado de pendiente. El efecto coluvial se puede apreciar en el campo por el gran número de

ocas (anfíbolitas) de diferente tamaño, distribuidas al random sobre el terreno. El fenómeno de soliflucción es explicable por la pendiente y el diferente grado de adherencia de los materiales, a saber: un material duro, subadyacente, formado por la roca metamórfica y el otro muy liviano, muy poroso, formado por la ceniza volcánica. A pesar de las condiciones climáticas favorables, la meteorización de los minerales primarios es relativamente lenta, posiblemente debido a adiciones del material coluvial. Alofano es el componente principal de la arcilla, asociada con cuarzo y cristobalita. En el horizonte C se encuentran, además de los minerales mencionados, pequeñas cantidades de gibsita y meta-halloysita. La proporción de alofano es mayor en los horizontes superiores y puede corresponder al tipo "A" descrito por Fieldes (3). El análisis total de arcilla indica movilización de alúmina lo cual se refleja en el aumento de gibsita y de meta-halloysita encontrados en los horizontes subadyacentes. Es menor la movilización de sílice y de óxidos de hierro.

Se trata de un suelo ácido, de baja saturación, con bases donde el complejo de cambio se halla dominado por hidrógeno. La mayor parte de los sitios de intercambio de la capacidad de cambio variable están ocupados por cargas de acidez variable (Hv), las cuales se encuentran aún en mayor proporción en el primer horizonte. La capacidad de cambio permanente es baja y la capacidad de cambio variable, o dependiente del pH, es alta. La materia orgánica es alta, sobre todo en los primeros horizontes. La relación de ácidos húmicos a fúlvicos es menor que la unidad, pero los valores no son tan bajos como los encontrados para otros suelos en Antioquia, lo cual indica que la formación de compuestos aromáticos y de compuestos alifáticos guarda cierto equilibrio. Estos suelos se los puede considerar como suelos alofánico-húmicos, lixiviados y mediana a ligeramente meteorizados. En la clasificación Neo Zelandesa quizá correspondería a los fulviformes y a nivel inferior en el grupo de los "alvicos", o moderadamente meteorizados.

En la 7a Aproximación se han clasificado entre los Dystrandpts.

Perfil 23

Por razón de altitud (2500 m) y posición fisiográfica, este perfil pertenece al Batolito. El clima es húmedo (2500 mm por año) y la temperatura es de 14°C. El relieve es suave con pendientes hasta del 25 por ciento. La capa de ceniza es mayor de 130 cm en algunos lugares. La roca subadyacente es anfíbolita (Botero, 1963) (Cuadro 7).

Debido a las condiciones climáticas y del relieve, anteriormente indicados, la alteración de la ceniza volcánica ha llevado un ritmo menos acelerado que en otros lugares (Rionegro, perfil 18). El examen mineralógico de las arenas indica que existen apreciables cantidades de minerales meteorizables (feldespatos, hornblenda, hiperstena). El componente principal de la arcilla es alofano; hay, además, altas cantidades de cuarzo, cristobalita y una proporción de gibsita y de metahalloysita.

Se trata de un suelo ácido, muy pobre en bases y de baja saturación. El hidrógeno representa más del 60 por ciento del complejo de cambio. La capacidad de cambio permanente es muy baja, en especial en los horizontes superiores. Las cargas provenientes del A13+ intercambiable son relativamente altas para el primer horizonte. Los valores de fósforo fijado son mayores que los del fósforo intercambiable.

El contenido en materia orgánica es alto, especialmente en los primeros horizontes. Los ácidos fulvicos son los compuestos dominantes en la materia orgánica humificada, lo cual hace que sea pequeña la relación de ácidos húmicos a fúlvicos. El coeficiente de humificación es bajo, indicando un proceso lento, debido a condiciones poco propicias (clima, elementos minerales, etc.) que faciliten la descomposición de la materia orgánica. La humificación puede corresponder a un tipo ácido, posiblemente "Moder".

El examen micromorfológico, efectuado en secciones delgadas correspondientes a material sin alterar, indican una fábrica formada por un plasma de aspecto poroso y de carácter isotrópico. Este tipo de fábrica se ha descrito tentativamente como fábrica amórfica (Mejía, 1968). En el tercer horizonte (30-60 cm) aparentemente hay una ligera tendencia a formar películas de arcilla, lo cual corrobora el pequeño aumento de ésta encontrado en dicho horizonte por el análisis granulométrico. El análisis total indica movilización preferencial de alúmina a sílice, cuyo valor aumenta con la profundidad en el perfil. Esta circunstancia favorece la formación de Alofano y de Gibsita.

La formación de minerales secundarios (arcilla) en el perfil sigue la siguiente secuencia: en la superficie, en general, hay predominio de material amorfo (Alofano), cristobalita y cuarzo; a medida que se profundiza en el perfil, se encuentran minerales de estructura cristalina (meta-halloysita). El tipo de alofano parece corresponder al descrito por Fieldes (3) como Alofano "A".

Estos suelos pudieran considerarse como alofánico-húmicos fuertemente lixiviados y débilmente meteorizados. En la clasificación de Nueva Zelanda pudiera incluirse los entre los subálvicos. En la 7a Aproximación se los ha clasificado como Typic Dystrandpts.

ALGUNOS ASPECTOS DE LOS ANDOSOLES DE COLOMBIA (ESPECIALMENTE DE ANTIOQUIA) Y DE ANDOSOLES DE OTRAS PARTES DEL MUNDO

Del análisis mineralógico y de las determinaciones físico-químicas llevadas a cabo conjuntamente en perfiles de Colombia y muestras de suelos procedentes de Chile, Nueva Zelanda y Japón, se ha llegado a algunas conclusiones: 1) La proporción de vidrio volcánico es menor en los suelos de Colombia que en los de las otras regiones del mundo arriba indicadas. La composición mineralógica es diferente en cada caso. 2) Para los suelos estudiados el pH es ácido a ligeramente ácido. El complejo de cambio, especialmente en los suelos más jóvenes, se encuentra dominado por hidrógeno. La mayor carga iónica depende del pH (Cuadro 8). La capacidad aniónica es alta, especialmente en los primeros horizontes y la fijación de fósforo puede calificarse de elevada. El carbón orgánico es alto. Los valores encontrados para el primer horizonte son los siguientes: perfil de Chile, 18 por ciento, perfiles de Colombia, 13 por ciento (en promedio), de Nueva Zelanda y Japón, 9 por ciento.

El nitrógeno total es muy alto (sobre todo en el primer horizonte). Se encontró una correlación significativa entre el carbón orgánico y el nitrógeno total (esto únicamente en suelos de Colombia). La retención de humedad a 15 atmósferas es alta, a excepción de la encontrada para el perfil de Nueva Zelanda, que es del orden de 10 para los primeros horizontes, a causa de la pequeña cantidad de arcilla (Cuadro 10).

Existe una alta proporción de compuestos orgánicos alifáticos, lo cual hace que la relación de ácidos húmicos a fúlvicos sea inferior a la unidad, sobre todo en los horizontes inferiores. En el suelo del Japón, la relación de ácidos húmicos a fúlvicos es del orden de 6 para el primer horizonte, lo cual indica un índice alto de compuestos aromáticos. En el perfil de Nariño, en el sur de Colombia, se encontró una composición similar a la encontrada en el perfil del Japón, aunque de orden menor. En todos los suelos estudiados se encontró una correlación altamente significativa entre los ácidos húmicos totales y el porcentaje de carbón orgánico (Cuadro 9).

Sin discutir el mecanismo de la formación de alofano a partir de la ceniza volcánica, se puede admitir que existen por lo menos dos formas de alofano, a saber: Una incipiente que produce una reacción endotérmica entre los 150 y 200°C (ATD) y una forma en la cual el sílice y alúmina se encuentran más organizadas y que produce, como en el primer caso, un endoterma a baja temperatura (150 – 200°C) y un exoterma a temperatura elevada (800 – 900°C). Parece que esta última forma es la precursora de la formación de meta-halloysita y de otros minerales similares presentes en la arcilla. La formación incipiente de sílice y alúmina, se encuentra en suelos jóvenes, en tanto que la forma más organizada aparece en los suelos cuyos horizontes se encuentran más desarrollados.

RESUMEN

Los suelos derivados de ceniza volcánica en la República de Colombia, ocupan una extensión considerable, principalmente en las cordilleras Andinas Central y Occidental. La ceniza volcánica es una mezcla de rocas andesítico-dásíticas, en donde la hornblenda es el mineral dominante entre el grupo de los minerales pesados. Se da una breve idea sobre formaciones geológicas, clima, vegetación y volcanismo. Las características morfológicas y físico-químicas salientes de los Andosoles en Colombia se presentan en forma esquemática, así como también algunas características especiales según su localización. Especial referencia se hace a los suelos de Antioquia, en el noroeste del país. En las conclusiones aparecen algunos de los resultados del estudio comparativo de suelos de Colombia con suelos de otras latitudes, derivados de ceniza volcánica.

ABSTRACT

In the Republic of Colombia, South America, the soils derived from volcanic ash are mainly found in the Andian cordilleras Central and Occidental. The volcanic ash consists of a mixture of andesitic-dacitic rocks. Hornblenda is the most conspicuous mineral. A brief idea is given on the general geology, climate, vegetation, and volcanism in the whole country. The outstanding morphological characteristics, as well as the physico-chemical properties of the Andosols in Colombia, are presented. The soils of Antioquia, in the northwest of the country, is the main subject. Some of the results from the studies of soils developed on volcanic ash found in other countries are presented for comparison.

BIBLIOGRAFIA

1. BIRRELL, K. S. 1965. Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. World Soil Resources Reports No. 14 "FAO".
2. ESPINAL, S. y E. MONTENEGRO. 1962. Formaciones Vegetales de Colombia. Departamento Agrológico, Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá.

A.3.6

3. FIELDS, M. 1955. Clay Mineralogy of New Zealand Soils. Part 2. Allophane and related mineral colloids. N. Z. J. Sci. Tech. B. 37:336-350.
4. FIELDS, M. e I. PERROT. 1966. The nature of Allophane in soils. Part 3. Rapid Field and Laboratory test for Allophane. N. Z. J. of Sci. 93:623-629.
5. KANNO, I. 1956. A Pedological Investigation in Japan. Bull Kyushu Agri. Exp. St. IV:81-84.
6. KANNO, I. 1962. Genesis and Classification of Humic Allophane Soils in Japan. International Soil Conference, New Zealand. 422-447.
7. LUNA, C. 1963. Minerales amorfos en suelos de Antioquia. Trabajo presentado al III Congreso Nacional de Químicos e Ingenieros Químicos. Barranquilla, Colombia.
8. LUNA, C. 1968. A Pedological Study of Soils of Antioquia, Colombia with particular reference to Andosols". Tesis aceptada en la Universidad de Utrecht, Holanda (Ined).
9. MADERO, A., A. GRISALES, M. POLO, C. VENCE y P. RAMIREZ. 1962. Levantamiento Agrológico de la Zona Cafetera Central de Caldas. Publicación No. L. D. 6. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", Bogotá.
10. RAMIREZ, J. E. 1957. Serie C. Geología, Boletín 6. Instituto Geofísico de los Andes, Bogotá.
11. SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL. 1962. Mapa Geológico de Colombia. Ministerio de Minas y Petróleos, Colombia.
12. WRIGHT, A. C. S. 1963. Colombian and Ecuatorian Volcanic Ash Soils. Extract from diaring.

A.3.7

CUADRO 1. Análisis físico-químicos - Perfil: 29908/913 - Procedencia: Nariño, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
908	0 - 19	58	28	14	5.6	12.7	9.01	0.89	10.0
909	19 - 62	58	28	14	5.7	13.5	7.31		
910	62 - 124	68	24	8	5.7	10.4	6.33		
911	124 - 136	74	22	4	5.9	8.6	4.38		
912	136 - 149	76	12	12	6.4	3.3	0.34		
913	149 - X	28	50	22	6.0	11.1	0.77		

No. Lab.	Complejo de cambio - m.e./100 g								ST %
	CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
908	61.7	13.0	9.6	2.4	0.6	0.3		48.0	21
909	51.0	6.0	3.5	2.0	0.2	0.3		45.0	12
910	43.3	6.0	3.8	1.4	0.1	0.3		37.0	14
911	38.0	6.0	4.8	0.8	0.1	0.3		32.0	16
912	12.1	4.0	2.5	0.4	0.4	0.5		8.0	33
913	31.9	12.0	7.6	2.4	0.4	0.7		19.0	38

No. Lab. Arcillas

908	(MH,K) x	A	xxxx	MH =	Meta-halloysita
909	(MH,K) x	A	xxxx	K =	Caolinita
910	(MH,K) x	A	xxxx	A =	Alofano
911	(MH,K) x	A	xxxx	x =	pequeña cantidad
912	(MH,K) xxx	A	xx	xx =	mediana cantidad
913	(MH,K) xxxxx	A	x	xxx =	grande cantidad
			xxxx	xxxx =	dominante cantidad

Composición mineralógica de la fracción arena (500 μ - 50 μ)
Resultados en porcentaje de minerales transparentes. Nariño, Colombia

Minerales pesados

No. Lab.	Profundidad cm	Min. opacos	Circonio	Hornblenda	Horn. basáltica	Hiperstena	Ming. ligeros %	Min. pesados %	Min. magnéticos
908	0 - 19	14	tr	86	tr	11	89.3	11.7	7.2
909	19 - 62	26	tr	89	tr	5	89.2	10.8	4.4
910	62 - 124	-	-	-	-	-	-	-	-
911	124 - 136	24	tr	100	tr	tr	86.6	13.4	12.3
912	136 - 149	35	tr	100	tr	tr	77.7	22.3	7.9
913	149 - X	15	tr	72	7	7	92.1	7.9	5.1

Minerales ligeros

No. Lab.	Cuarzo	Vidrio	Fitolitos	Feldespato K	Feldespato Na, Ca	Prod. meteoriza
908	-	30	8	tr	36	20
909	tr	40	10	-	31	19
910	-	36	10	-	32	22
911	-	36	3	-	36	25
912	-	12	-	13	35	22
913	-	-	-	-	-	-

Observaciones:
Algunos minerales tienen bordes de vidrio volcánico. Los feldespatos en los horizontes inferiores se hallan muy alterados. En la muestra 912 hay además moscovita (18).

A.3.8

CUADRO 2. Análisis físico-químicos – Perfil: Bella Inés 29183/186 – Procedencia: Valle del Cauca, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
183	0 – 26	44	44	12	6.1	11.7	8.28	0.74	11
184	26 – 66	70	21	9	6.5	22.1	2.49	0.38	7
185	66 – 130	70	21	9	6.4	15.9	0.83		
186	130 – X	20	19	61	5.2	1.2	0.07		

No. Lab.	Complejo de cambio – m.e./100 g								ST
CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H		%
183	44.0	5.8	2.6	2.2	0.5	0.5			13
184	45.8	6.9	4.9	1.4	0.3	0.3			15
185	35.9	6.0	4.1	1.3	0.3	0.3			17
186	7.3	6.2	4.2	1.5	0.3	0.2			85

CUADRO 3. Análisis físico-químicos – Perfil: Serie Corzo 1010/14 – Procedencia: Cundinamarca, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
10	0 – 33	25	56	19	7.0	7.8	4.99	0.68	7
11	33 – 50	23	69	8	8.1	11.9	3.62	0.39	9
12	50 – 66	27	68	5	8.6	13.6	2.47	0.24	10
13	66 – 100	35	60	5	8.3	9.8	0.79	0.10	8
14	100 – 150	63	36	1	7.3	21.8	3.94	0.15	26

No. Lab.	Complejo de cambio – m.e./100 g								ST
CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H		%
10	45.3	43.3	24.8	12.0	5.6	1.1			96
11	53.4	53.4	28.1	18.7	4.1	2.5			99
12	53.2	60.2	21.8	23.5	4.6	10.2			Sat
13	34.3	47.3	9.7	22.0	4.8	10.8			Sat
14	68.8	59.8	12.6	32.2	45.6	10.4			87

CUADRO 4. Análisis físico-químicos – Perfil: 91/8 – Procedencia: Chinchiná, Caldas, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
1	0 – 35	51	42	7	5.5		4.48	0.32	
2	35 – 50	52	44	4	5.8		3.70	0.28	
3	50 – 85	50	46	4	6.0		1.93	0.17	
4	85 – 120	63	32	5	6.2		1.53	0.12	
5	120 – 130	57	40	3	6.2		1.18	0.13	
6	130 – 170	67	26	7	6.2		0.72	0.07	

No. Lab.	Complejo de cambio – m.e./100 g								ST
CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H		%
1	28.5	1.2	0.93	0.11	0.12				6
2	22.7	1.4	0.75	0.55	0.10				7
3	24.7	1.0	0.73	0.19	0.10				5
4	26.3	1.0	0.70	0.24	0.13				5
5	22.0	0.9	0.77	0.09	0.12				5
6	16.1	0.9	0.82	0.00	0.09				7

A.3.9

CUADRO 5. Análisis físico-químicos – Perfil: 100/3 – Procedencia: Serie Malabar, Caldas, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
100	0 - 50	55	41	4	5.4	5.3			
101	50 - 75	35	33	32	5.9	1.4			
102	75 - 90	78	19	2	5.8	1.7			
103	90 - X	63	31	6	6.2	1.0			

No. Lab.	Complejo de cambio – m.e./100 g.								ST %
	CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
100	15.0	7.7	5.5	1.7	0.5				51
101	15.0	8.5	5.6	1.9	1.0				57
102	20.0	9.6	6.0	2.0	1.5				48
103	17.0	8.9	5.2	1.9	1.7				52

CUADRO 6. Análisis físico-químicos – Perfil: 19 16393/395 – Procedencia: Antioquia, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia Orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
393	0 - 40	21	54	25	5.12	12.6	13.9	0.9	15
394	40 - 50				5.85	13.6	7.3	0.7	11
395	50 - 150				6.35	12.0	1.9	0.3	7

No. Lab.	Complejo de cambio – m.e./100 g.								ST %
	CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
393	78.8	0.48	0.22	0.17	0.07	0.02	2.54	78.3	0.6
394	59.6	0.47	0.20	0.19	0.04	0.04	0.44	59.2	0.8
395	48.7	0.43	0.25	0.14	0.02	0.02		48.3	0.9

No. Lab.	Arcillas
393	Gb x
394	Gb xx
395	MH x

	Gb	A	Cr	Q
	x	xx	xx	xxx
	xx	xx	xx	xxx
	xxx	x	x	xxx

Gb = Gipsita
 MH = Meta-halloysita
 A = Alofano
 Cr = Cristobalita
 Q = Cuarzo

Composición mineralógica de la fracción arena (500μ – 50μ)
 Resultados en porcentaje de minerales transparentes – Perfil 19

Minerales pesados

No. Lab.	Profundidad cm	Min. opacos	Circonio	Hornblenda	Horn basáltica	Min. ligeros %	Min. pesados %	Min magnéticos	Min. alterados
393	0 - 40	19	tr	89	7	56.4	43.6	3.6	–
394	40 - 50	17	–	87	tr	51.4	48.6	5.0	3
395	50 - X	35	–	90	2	62.3	37.7	3.7	–

Minerales ligeros

No. Lab.	Cuarzo	Vidrio	Fitolitos	Feldespatos K	Feldespatos Na, Ca	Prod. meteoriza
393	59	2	3	11	21	4
394	48	3	12	12	21	4
395	51	3	–	10	31	3

Observaciones:
 Los granos de hornblenda tienen aspecto fresco y son de tamaño mayor que el resto de los minerales.

A.3.10

Perfil número: 19 16393/395.

Localización: Flanco oriental del valle del río Medellín, a 9 km de la ciudad de Medellín, por la carretera que conduce a "La Ceja".

Elevación: 2150 m

Vegetación: Helechos, arbustos y pastos naturales.

Topografía: Ondulada.

Precipitación: 2600 mm por año (bosque húmedo subtropical, bosque húmedo montano bajo).

Material parental: Ceniza volcánica y coluvio de anfíbolita.

Clase de drenaje: Bien drenado.

393 A ₁	0–40 cm	Color en húmedo, negro (10YR2/N), gris muy oscuro (10YR3/1 s), orgánico, franco limoso; estructura prismática, moderada, que se rompe en agregados medianos; consistencia friable; no plástica, no pegajosa; abundantes raíces; pH 5.5; límite ondulado, gradual a:
394 B ₂	40–50 cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR3/2), pardo grisáceo oscuro (10YR4/2 s); orgánico, franco; estructura prismática, moderada, media; consistencia friable, no plástica, no pegajosa; escasas raíces; pH 6.0; límite ondulado, gradual a:
395 C	50–x cm	Color pardo oscuro en húmedo (7.5YR4/4), pardo fuerte (7.5YR4/4 s), franco; masivo; consistencia muy friable, muy poroso; no plástico y no pegajoso; carencia de raíces; pH 6.0.

Perfil número: 23 16425/431.

Localización: A 1 km del "Retén", en la carretera (margen izquierda) que conduce de la ciudad de Medellín a "La Ceja". Elevación: 2500 m.

Topografía: Ondulada, pendiente convexa del 15 por ciento.

Precipitación: 2500 mm por año (bosque muy húmedo, montano bajo).

Vegetación: Helechos, pasto natural y arbustos.

Material parental: Ceniza volcánica sobre anfíbolita.

Clase de drenaje: Bien drenado.

425 A ₁	0–10 cm	Color negro en húmedo (10YR2/2), gris oscuro (10YR4/2 s), húmico, franco arenoso; estructura blocosa, muy fina, débil; consistencia muy friable, muy porosa, no plástica ni pegajosa; abundantes raíces; pH 5.5; límite ondulado, difuso a:
426 A ₂	10–30 cm	Color pardo grisáceo muy oscuro en húmedo (10YR3/2), pardo oscuro (10YR4/3 s) húmico, franco arenoso; estructura blocosa, subangular, media, moderada; consistencia friable, no plástica, débilmente pegajosa; recubrimientos orgánicos en las cavidades dejadas por macroorganismos; comunes fragmentos de roca (3 a 4 cm de diámetro); pedotúbulos; presencia de raíces; pH 5.0; límite ondulado y gradual a:
427 B _{2.1}	30–60 cm	Color pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR4/3) orgánico, franco arenoso; estructura blocosa subangular media, moderada; consistencia friable, no plástica, débilmente pegajosa; poros tubulares dejados por raíces y macroorganismos; escasas raíces; pH 5.8; límite ondulado y claro a:
428 B _{2.2}	60–80 cm	Color pardo en húmedo (7.5YR4/4), orgánico, franco arenoso, débilmente moteado de gris oscuro (10YR4/1); estructura prismática mediana, débil, que rompe en bloques subangulares de finos a medios; consistencia friable, no plástica ni pegajosa; prisma de poros tubulares; escasas raíces; pH 5.8; límite ondulado y gradual a:
429 CI	80–120 cm	Color oliva pálido en húmedo (5YR6/4) franco arenoso; masivo; plástico y pegajoso; pequeños fragmentos de raíces; pH 4.5; límite ondulado y claro a:
430 IIC ₂	120–125 cm	Línea de piedras pequeñas (5 cm de diámetro).
431 IIC ₃	125–X cm	Color en húmedo, amarillento (10YR5/8) arcilloso, sin estructura; consistencia firme, plástica y pegajosa; pH 4.4.

A.3.11

CUADRO 7. Análisis físico-químicos – Perfil 23 16425/431 – Procedencia: Antioquia, Colombia

No. Lab.	Profundidad cm	Granulometría			pH 1:1	Humedad %	Materia Orgánica		
		A	L	Ar			C%	N%	C/N
425	0 – 10	57	31	12	4.90	12.3	12.9	0.9	14
426	10 – 30	64	28	8	5.45	18.1	7.1	0.5	14
427	30 – 60	68	26	16	5.55	16.1	1.6	0.3	13
428	60 – 80	80	18	2	5.70	20.3	3.6	0.3	12
429	80 – 120	78	17	5	5.75	17.6	3.5	0.3	12
430	120 – 125	70	23	7	5.55	8.5	1.3	0.1	9
431	125 – X	10	23	67	4.95	5.6	0.5	0.1	8

No. Lab.	Complejo de Cambio – m.e./100 g								ST %
	CCC	BT	Ca	Mg	K	Na	Al	H	
425	67.4	1.9	0.3	0.9	0.17	0.25	3.78	65.7	2
426	60.5	1.1	0.4	0.6	0.12	0.04	0.48	59.4	2
427	61.2	0.8	0.2	0.5	0.11	0.04		60.4	1
428	62.3	0.8	0.4	0.4	0.07	0.03		61.4	1
429	62.0	0.9	0.4	0.5	0.07	0.03		61.1	1
430	34.4	0.9	0.2	0.5	0.06	0.03		33.6	2
431	27.4	1.5	0.5	0.8	0.05	0.08		15.1	5

No. Lab.	Arcillas				
425	MH x	Gb x	Cr xxx	A xxx	Q xxx
426	MH x	GB x	Cr xxx	A xxx	Q xxx
427	MH x	Gb x	Cr xxx	A xxx	Q xxx
428	MH x	Gb x	Cr xxx	A xxx	Q xxx
429	–	–	–	–	–
430	–	–	–	–	–
431	MH xxx	Gb x	Cr xx	A –	Q xxx

Composición mineralógica de la fracción arena (500 μ – 50 μ)
Resultados en porcentaje de minerales transparentes – Perfil 23

Minerales pesados

No. Lab.	Profundidad cm	Min. opacos	Circonio	Hornblenda	Horn. basáltica	Hiperstena	Ming. ligeros	Min. pesados	Min. magnéticos
425	0 – 10	9	–	92	3	5	67.8	32.2	–
426	10 – 30	5	tr	78	2	20	65.5	34.5	–
427	30 – 60	11	–	91	4	5	88.8	11.2	–
428	60 – 80	5	–	99	tr	tr	82.0	18.0	–
429	80 – 120	16	–	98	tr	tr	84.1	15.9	–
430	120 – 125	34	–	97	tr	tr	75.8	24.2	–
431	125 – X	76	–	91	2	2	81.8	18.2	–

Minerales ligeros

No. Lab.	Cuarzo	Vidrio	Fitolitos	Feldespató K	Feldespató Na, Ca	Prod. meteoriza
425	70	8	5	2	13	2
426	58	10	tr	13	19	–
427	43	7	2	13	32	3
428	31	–	–	16	53	–
429	77	–	–	7	12	4
430	85	–	–	10	3	–
431	70	–	–	2	–	28

Observaciones:
Algunos granos (hiperstena) se encuentran rodeados de una aureola de vidrio volcánico. Los granos de hornblenda son de tamaño grande.

A.3.12

CUADRO 8. Caracterización de cargas iónicas

No. laboratorio	Profundidad cm	mo - %										%	
		Al ³⁺	Hv	Han	CECp	CECv	AEC	AEC Delta	Delta	CEC _m	CEC ₈₋₂	Sat	CEC _p
Antioquia Colombia P - 19	0 - 40	3.1	32.5	0.0	12.5	37.5	32.3	12.9	19.4	69.4	50.0	35	25
	40 - 50	0.5	19.5	0.0	2.0	38.0	27.2	13.3	23.9	63.9	40.0	50	5
Antioquia Colombia P - 23	10 - 30	2.1	21.2	0.0	9.0	35.0	26.1	10.1	16.0	6.0	44.0	53	53
	30 - 60	0.5	24.5	0.0	2.0	25.5	34.9	0.0	37.2	6.5	27.5	9	7
Japón		2.5	0.7	0.0	6.0	43.0	37.1	0.0	52.2	101.2	49.0	93	12
		1.3	27.0	1.5	5.8	27.0	32.7	5.2	31.9	63.9	32.0	12	16
Nueva Zelanda	25 - 15	0.8	23.0	4.8	9.6	26.4	14.4	0.0	19.0	55.0	36.0	20	26
	15 - 25	0.1	3.3	0.0	6.4	16.4	14.4	0.1	14.3	42.5	22.8	85	28
Ecuador		0.2	8.5	9.1	30.5	8.5	3.2	0.0	21.5	60.5	39.0	77	78
		1.6	7.0	2.2	15.5	19.5	3.6	0.0	5.0	40.0	35.0	75	44

CUADRO 9. Composición de la materia orgánica en suelos de Colombia (Antioquia y Nariño), Japón y Nueva Zelanda

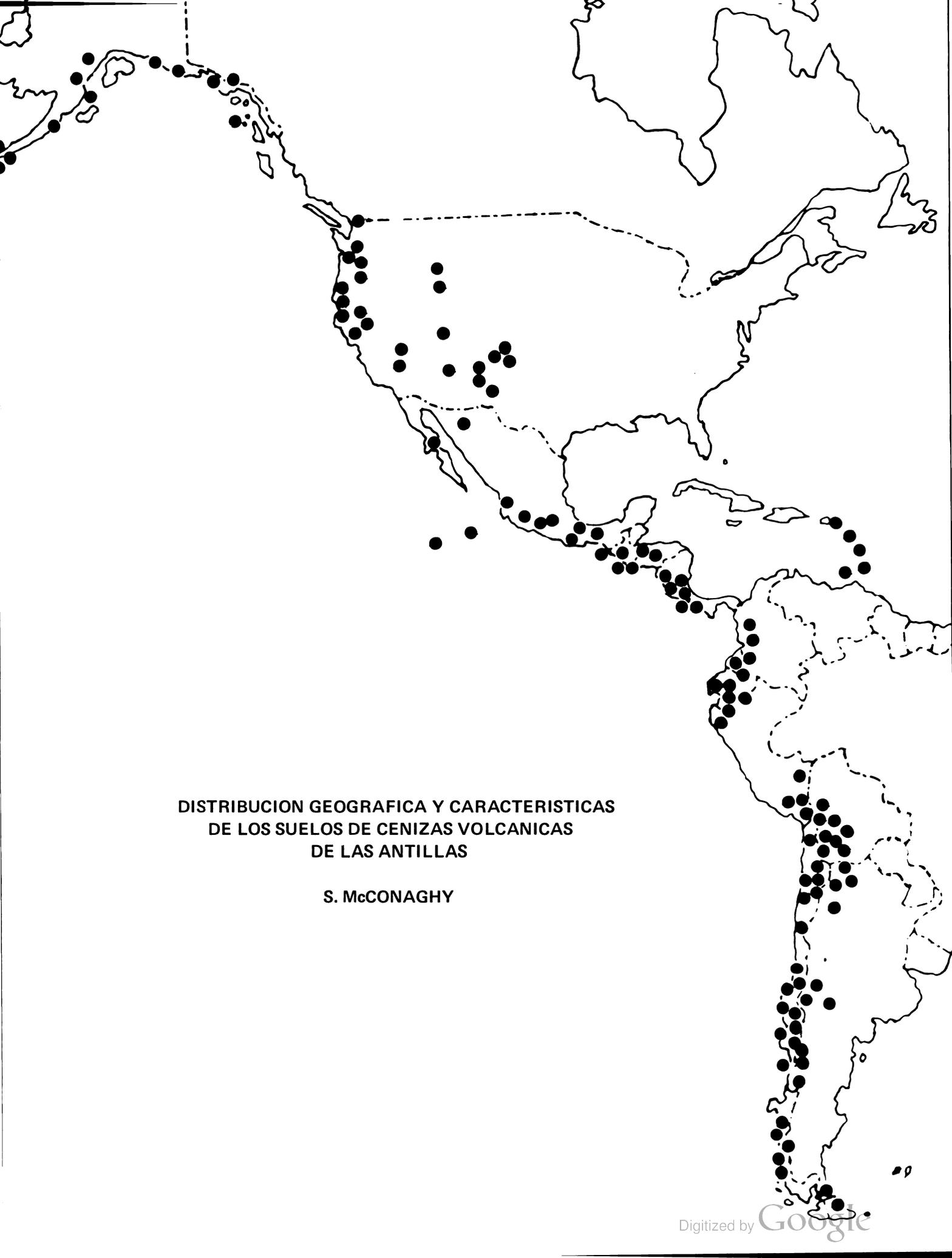
Procedencia	Profundidad cm	Resultados en porcentaje					
		AHT	AH	AF	AH/AF	C Hm	MO
Antioquia Colombia P - 23	0 - 10	8.84	1.81	7.03	0.25	51.51	17.16
	10 - 30	3.43	0.37	3.06	0.12	36.18	9.48
	60 - 80	0.51	0.04	0.47	0.08	8.20	6.16
	80 - 120	0.44	0.05	0.39	0.12	9.07	4.85
Nariño Colombia	0 - 19	6.03	3.73	2.30	1.62	50.33	11.98
	19 - 62	4.76	3.41	1.35	2.52	48.97	9.72
	62 - 124	3.48	1.16	2.32	0.50	41.33	8.42
	124 - 136	3.79	1.87	1.92	0.97	65.12	5.82
Japón		3.26	2.81	0.45	6.26	25.89	12.59
		4.77	2.85	1.92	1.48	40.65	11.76
		4.56	2.10	2.46	0.84	58.53	7.79
		0.41	0.15	0.26	0.57	17.59	2.33
Nueva Zelanda	2.5 - 15	2.23	1.14	1.09	1.04	36.92	6.04
	15 - 25	0.86	0.18	0.68	0.26	37.80	2.27
	32 - 40	0.41	0.31	0.31	0.32	28.87	1.42

AHT	=	Acidos húmicos totales
AH	=	Acidos húmicos
AF	=	Acidos fúlvicos
AH/AF	=	Relación de ácidos húmicos a fúlvicos
C Hm	=	Coefficiente de humificación
MO	=	Materia orgánica (C % x 1.73)

A.3.13

CUADRO 10. Retención de humedad a 15 atmósferas en suelos de Colombia, Japón, Nueva Zelanda y Chile.

Procedencia	Profundidad cm	Humedad
Resultados en porcentaje		
Antioquia	0 – 30	27.09
Colombia	30 – 50	20.42
Perfil 18	50 – 120	22.07
Antioquia	0 – 5	40.38
Colombia	5 – 39	34.23
Perfil 25	39 – 64	29.74
	64 – 79	25.87
	79 – 104	27.19
	104 – 108	31.99
Japón		26.39
		27.98
		21.82
		25.93
		26.26
Nueva Zelanda	2 – 15	11.76
	15 – 25	6.33
	32 – 40	5.38
	35 – 52	4.58
	60 – 70	4.51
	75 – 90	13.95
Chile	0 – 8	41.26
	8 – 18	29.24
	18 – 43	25.29
	43 – 74	24.75
	74 – 128	25.22



**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS
DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE LAS ANTILLAS**

S. McCONAGHY

DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE LAS ANTILLAS

S. McConaghy*

Las islas volcánicas a las que se refiere este artículo se encuentran dentro de las Antillas Menores; son un grupo de islas que forman un arco de alrededor de 40 millas, desde los 12° a los 17° de latitud norte, y están situadas al este del Mar Caribe. Los principales miembros volcánicos (Figura 1) son Granada, las Granadinas, San Vicente, Santa Lucía, Martinica, Dominica, Guadalupe, Montserrat, Nevis, San Kitts, San Eustaquio y Saba. Estas islas son, principalmente, el resultado de actividad volcánica, en especial de los períodos Pleistocénico y reciente, a lo largo de una cordillera de pliegues en el Mar Caribe, que forma parte de una deformación mucho más extensa de la corteza terrestre en el lado occidental de la América del Norte, pasando por México, América Central y siguiendo hacia el sur por los Andes (Figura 2).

Los restos y los volcanes más viejos de esta cordillera del Caribe se han erosionado mucho, en parte posiblemente, durante los períodos de sumersión en el Mioceno y Pleistoceno, pero todavía están expuestos en algunos lugares y generalmente forman la base para los materiales volcánicos más nuevos. Ha habido varios períodos de emersión y sumersión, el último de los cuales —la fusión de los casquetes de hielo polares— aisló algunas islas que anteriormente formaban largas fajas de tierra a lo largo de la cordillera del Caribe. No obstante, se pueden encontrar varios afloramientos de calizas del Oligoceno o posteriores, a elevaciones hasta de más o menos 350 m (3, 4) dentro de la región, lo que indica el alcance de la emersión desde que se depositaron las calizas. No es posible que todos estos afloramientos sean sólo el resultado de actividad volcánica que arrastró la caliza desde las profundidades en las épocas de las erupciones.

Características de los materiales ígneos

Ahora las islas tienen tamaños que van desde 8 millas cuadradas (20,72 km², Saba) hasta más o menos 500 millas cuadradas (1295 km², Guadalupe). En el Cuadro 1 se dan las áreas aproximadas y se muestra el principal carácter de los constituyentes volcánicos.

Los tipos de rocas van desde las dacitas ácidas hasta las lavas básicas; pero aunque los materiales básicos, sea como lavas, sea como materiales piroclásticos se encuentran en Granada, San Vicente, St. Kitts, Montserrat, no ocupan grandes extensiones, siendo los materiales volcánicos más comunes los de composición intermedia andesítica. En general, no parece que los productos piroclásticos difieran mucho en su composición química de las lavas con las cuales pueden estar asociados (2). Hay también indicios (7) de que los productos piroclásticos más recientes de cualquier isla difieren muy poco químicamente de los materiales producidos por erupción, en el mismo sitio, en épocas anteriores. No obstante, hay diferencias claras en la composición de los materiales volcánicos dentro de cualquier isla en particular. El Cuadro 2 muestra la composición química principalmente de los materiales piroclásticos de algunas islas entre las Antillas Menores. La mayor parte de las cenizas volcánicas son andesíticas, con contenidos de sílice que van de 56 a 59 por ciento, aunque las cenizas recogidas a bordo de dos barcos, en épocas diferentes durante las erupciones de la Martinica en 1902, muestran más bien tipos más ácidos, con contenidos de sílice de 60 y 63,2 por ciento y algunas de las cenizas recogidas de las erupciones de 1902 en San Vicente presentaban contenidos de sílice de un poco más de 50 por ciento. La composición mineral consta principalmente de una pasta muy silícea con plagioclasas, minerales ferromagnésicos, magnetita y trazas de apatito. Los feldespatos van desde la anortita y el labrador, pasando por formas menos ricas en calcio, hasta el feldespato sódico (albita); la mayor parte de ellos contienen un poco de potasio, aunque el contenido total de potasio es generalmente muy bajo y mucho menor que el contenido de sodio (Cuadro 2).

Los materiales básicos contienen anortita, augita y olivino y también contenidos mayores de apatito que los materiales volcánicos ácidos. Los análisis hechos por R. A. Hamilton (1) en la fracción de arena fina de suelos de San Vicente, muestran contenidos de feldespatos y otros minerales livianos, que van de 60 a 75 por ciento, con 20 a 30 por ciento de minerales pesados y 5 a 15 por ciento de magnetita. Es interesante anotar también (9) una notable uniformidad en la composición mineralógica de las fracciones de arena fina aisladas de suelos de series claramente diferentes a través de toda la isla. Los depósitos recientes de ceniza pueden ser responsables de tal uniformidad en las fracciones de arena fina (aunque la cantidad de arena fina puede variar enormemente de un lugar a otro y con la profundidad en el perfil).

Características físicas de los materiales piroclásticos

Las erupciones volcánicas en las Antillas Menores han dado como resultado, generalmente, escasos mantos de lava y la producción de grandes cantidades de materiales piroclásticos: bloques, bombas, piedras, escorias, arenas, ceniza

* Departamento de Ciencia de Suelos, Universidad de Indias Orientales

A.4.2

y polvo. Los polvos, cenizas y materiales de caída fueron llevados fuera de los conos volcánicos y depositados a menudo en capas estratificadas como derrubios y "glacis". Los materiales depositados cerca de los conos estuvieron sujetos con frecuencia a un lavado y ordenamiento considerables, ocasionados por las lluvias que transportaron las fracciones finas a niveles inferiores. Las corrientes de lodo cálidas y frías (de erupciones de lagunas en los cráteres) produjeron grandes movimientos de materiales piroclásticos mezclados con productos de la erosión, cuesta abajo de las pendientes, a regiones más bajas y valles, con cantidades variables de ordenamientos a través del curso del movimiento. A veces los depósitos de esta naturaleza no difieren de los materiales de morrenas u otros glaciales ordenados en el agua, de las regiones templado-frías del mundo. Ejemplos de corrientes de lodo volcánicas (lahars) de esta naturaleza se encuentran en varias islas de las Antillas, por ejemplo: Dominica, Montserrat, Santa Lucía, Nevis. Las lluvias de ceniza, de materiales finos secos, han sido llevadas por grandes distancias desde los volcanes en erupción, con frecuencia para enriquecer mucho los suelos de territorios distantes. Por supuesto que han ayudado también a rejuvenecer los suelos localmente y a complicar en cierto modo el estudio de la pedogénesis en esas regiones. Otros depósitos comprenden ceniza aluvial que puede encontrarse a profundidad considerable en los valles y llanuras más bajas. Ejemplos de todos estos materiales volcánicos se encuentran en muchas de las islas de las Antillas Menores anotadas en este artículo. Los suelos ya desarrollados o en proceso de desarrollo en tales depósitos, dependen en gran parte del carácter específico y de la edad de los depósitos, las características topográficas, las condiciones climáticas, la cobertura vegetal y, hasta cierto punto, de los efectos de la acción humana.

Clima de las Antillas Menores

La temperatura media es de alrededor de 26°C (79°F) en el nivel del mar y de 19,5°C (67°F) en las montañas y la temperatura máxima rara vez es superior a 34°C (94°F) o es menor de 24°C (75°F). Los vientos predominantes son los alisios del noreste y durante julio, agosto, setiembre, hay cierta posibilidad de que se presenten huracanes. La precipitación es de convección y sobre el mar tiene un promedio de 35 pulgadas (88 cm) por año. Esta es más o menos la precipitación mínima de las islas y representa condiciones semiáridas. La precipitación máxima varía con la altitud, aumentando más o menos 5 a 10 pulgadas por 100 pies (12 – 25 cm/30 m). Las islas son de forma generalmente ovalada u oblonga, con las principales masas montañosas a lo largo del eje mayor, generalmente alrededor de ellas son simétricas las líneas de igual precipitación. En las regiones de montañas más altas hay una pequeña estación seca o no la hay en absoluto y las condiciones del suelo son continuamente húmedas, pero con la disminución de la altitud se observa más claramente una estación seca. La magnitud de la precipitación máxima varía de una isla a otra: en Dominica excede de 300 pulgadas (750 cm); la duración de la estación seca también varía de una isla a otra. La precipitación para la región se ha clasificado generalmente en cinco categorías de acuerdo con la intensidad de la estación seca (Cuadro 3).

En este sistema, cuando la cantidad de la precipitación excede continuamente la evapotranspiración potencial, el clima se describe como continuamente mojado; es el caso de las partes más altas de casi todas las islas. Cuando la evapotranspiración excede la precipitación durante más o menos un mes, se dice que el clima tiene una estación seca pequeña. El límite inferior de la precipitación, para un mes mojado, es de más o menos 4 pulgadas (10 cm). La humedad llega rara vez a menos de 50 por ciento durante el día, aun en las tierras bajas secas y en la noche puede llegar a 100 por ciento.

Desarrollo del suelo

Al estudiar el desarrollo del suelo en terrenos volcánicos, es necesario prestar especial atención a los paisajes variables, la erosión y los movimientos de tierras y apreciar la influencia rejuvenecedora de los materiales piroclásticos. En muchas de las islas que nos ocupan, hay poca extensión de tierras planas y éstas son generalmente aluviales, provenientes de cenizas volcánicas viejas o recientes o con más frecuencia de una gran variedad de constituyentes (incluyendo corrientes de lodo volcánico o lahars), a veces meteorizados hasta grados muy diferentes, generalmente mezclados y seleccionados en alguna etapa por la acción del agua. Las tierras planas reciben menos lluvia (tienen estación seca bien diferenciada) pero pueden recibir soluciones de productos de meteorización de los niveles más altos y tener mantos freáticos altos; asimismo, pueden estar afectadas por el agua salada cerca de las costas.

En terrenos más altos, las complicaciones de los materiales de partida mezclados debido al volcanismo periódico, se acrecientan más aún con los movimientos de tierras en las pendientes empinadas. El trabajo del que hace levantamientos de suelos es, generalmente, practicado por intereses agrícolas más que edafológicos y, como lo ha señalado Wright (10), esto puede limitar a veces al grado en el cual se seleccionan los perfiles del suelo para un examen desde un punto de vista puramente edafológico. Por estas razones, las formas de evolución en las Antillas Menores no se han comprendido completamente.

A.4.3

Características de los suelos derivados de materiales piroclásticos

Los materiales jóvenes no meteorizados son generalmente sueltos, no consolidados ni cementados y entre ellos encontramos arenas, gravas, cenizas, polvo, con bloques y piedras o sin ellos. Los depósitos más viejos pueden ser consolidados y cementados. Por esto se pueden ver los efectos de todas las etapas de meteorización, desde la ceniza fresca hasta suelos fuertemente meteorizados, aunque no siempre dentro de una sola isla.

Cuando las condiciones del suelo son húmedas, la meteorización se realiza rápidamente, con liberación de subproductos silíceos y bases que son lixiviados desde el solum con drenaje libre y mientras continúan las condiciones de humedad.

Las alofanas, de composición variable, se forman en etapas relativamente jóvenes y pueden estabilizarse; de otro modo se desarrollan arcillas caoliníticas cristalinas o los alofanoides pueden representar una etapa intermedia hacia el desarrollo de arcillas "kandoides". En ciertas condiciones pueden llegar a ser cada vez más gibsíticos, esencialmente si el contenido en sílice del medio no es abundante o si la sílice es extraída rápidamente por los procesos de meteorización. La sílice y las bases lixiviadas del solum, en condiciones húmedas pero con buen drenaje, pueden enriquecer los suelos o elevaciones inferiores, en las llanuras o allí donde el movimiento del agua a través del solum es lento o retardado. Tales condiciones dan como resultado el desarrollo de arcillas "smectoides". Hardy y sus colegas han clasificado los principales suelos dentro de las islas anteriormente británicas del Caribe Oriental y en las islas volcánicas han reconocido y descrito los grupos siguientes:

1. Suelos de ceniza volcánica fresca
2. Suelos jóvenes de ceniza volcánica
3. Suelos "Brown Earth"
4. Suelos "Yellow Earth"
5. Suelos "Red Earth"
6. Suelos "Terras"
7. Suelos de bajíos (Shoal Soils)
8. Suelos "Terra Grasse"

Los suelos "terras" y los de bajíos contienen arcillas montmorilloníticas ("smectoides"). Las "terras" que se han derivado de ceniza volcánica diversamente cementada representan una etapa intermedia hacia la formación de "bajío", con un horizonte B de capa endurecida de arcilla (clay pan) y con cementación de sílice. Estos suelos de bajío son similares a las "arcillas grises montmorilloníticas" de la Martinica. Las "Red Earths" representan los suelos latosólicos más maduros y los latosoles; las "Yellow Earths" involucran la mayor parte de los suelos de alofanoides y son similares a los suelos "yellow allophanate" de Colmet—Daage (10) de la Martinica. El término "Brown Earth" fue usado intencionalmente por Hardy para suelos relativamente jóvenes de color pardo y que generalmente se desarrollan a partir de materiales básicos (a menudo de aglomerados más bien que de cenizas), con un contenido de bases bastante bueno y que no muestran diferenciación dentro del perfil. Estos suelos se encuentran especialmente en Santa Lucía, Montserrat y Granada y son parecidos a algunos de los pardos basálticos del noreste de Irlanda, a pesar de las condiciones climáticas diferentes. Wright (10) ha descrito suelos pardos ferruginosos de origen similar y con alto contenido de bases en Martinica; también describió algunos suelos "pardos ferralíticos" (Brown ferralitic) en esta isla, pero las relaciones son inciertas. El término "ferralítico" sugiere que éstos son más "latosólicos" que las "Brown Earths" de Hardy.

Los estudios recientes de los suelos en las islas volcánicas, hechos por el Regional Research Centre, University of the West Indies, han sido para fines de capacidad de uso de la tierra, principalmente, pero han ayudado a la comprensión al menos de algunos de los procesos edafogénicos que intervienen en la meteorización de los materiales de cenizas volcánicas. Podemos referirnos especialmente el trabajo en Santa Lucía (8), San Kitts—Nevis (4), Montserrat (5), Dominica (5). Aunque los principales objetivos de este trabajo no eran los estudios de génesis del suelo, se ha prestado atención en ellos a:

- a) el carácter de los materiales de partida de cenizas
- b) la etapa de meteorización
- c) el grado de lixiviación
- d) la naturaleza y las cantidades de los minerales
- e) arcillosos o los productos amorfos o los dos
- f) las características del perfil

Lang (6) ha clasificado los suelos de cenizas volcánicas en grupos que no difieren mucho de los de Hardy, pero encontró posibilidades para reconocer y cartografiar claramente diferentes suelos dentro de cada uno de estos grupos, como se indica en el Cuadro 4. En este sistema se determina la meteorización en una escala de cuatro etapas principales: 0, 1—2, 2—5, 5—6.

Protosols

Los "Protosols" (regosoles y litosoles) comprenden los materiales de ceniza no meteorizados y los suelos que se encuentran en los primeros estados de meteorización, constituidos principalmente por minerales primarios. Los más jóvenes pueden tener poco o ningún desarrollo orgánico y de arcillas. Son suelos AC. Conforme aumenta el desarrollo se forma un horizonte más orgánico, especialmente en las regiones de tierras altas, más frías y húmedas. Sin embargo, en los niveles más bajos, donde es común una estación seca durante parte del año, puede empezar a acumularse la sílice dentro del horizonte "C" (C/B?). Los tipos de tierras altas tienden a ser ligeramente más ácidos que los de tierras bajas. La saturación en bases es alta, bajando desde 100 hacia 60 por ciento, conforme la capacidad de intercambio de cationes del suelo aumente con el desarrollo de arcilla y humus.

Suelos jóvenes

Los minerales alterables todavía dominan en el material de los suelos de este grupo, aunque la meteorización es intensa y la lixiviación de la sílice es rápida. La capacidad de intercambio de cationes de estos suelos es generalmente 20 a 25 me por cien gramos de suelo, pero la saturación en bases puede variar apreciablemente de acuerdo con los grados de lixiviación, desde 70 hasta 30 por ciento. Dentro de este grupo pueden distinguirse los suelos también por su desarrollo de arcilla alofanóide no adherente o por el desarrollo de arcilla plástica adherente, encontrándose la primera en las condiciones más húmedas. También se pueden hacer distinciones dentro del grupo entre los suelos que muestran indicios de acumulación de sílice (CSi pan) en el horizonte C y los que no los muestran.

Suelos de alofanoides

Estos suelos están en una etapa "intermedia" de meteorización (etapa 2+) y contienen no más de alrededor de 40 – 50 por ciento de minerales alterables. Se reconocen dos tipos principales:

- 1) los de grandes alturas con condiciones más frías y continuamente húmedas (120 pulgadas por año) desarrollan un horizonte aluvial Ae y los horizontes aluviales B de los podzoles
- 2) los de condiciones menos húmedas (alrededor de 100 pulgadas por año en Dominica) con arcillas que tienen relaciones sílice—alúmina, generalmente menores de 2,0. Se los describe como latosoles alofánicos.

Todos tienen horizontes de superficie oscuros o pardos y horizontes (B) uniformes, son grasos o esponjosos al tacto, tienen estabilidad estructural alta, alta retención de agua y un contenido de materia orgánica más bien alto, aun dentro del horizonte B. Tienden a secarse irreversiblemente y es difícil dispersarlos por los métodos normales.

Pueden ser incluidos dentro del grupo de "Yellow Earths" de Hardy, aunque muchos (en Dominica) tienen pH mucho más bajos y un grado de saturación en bases menores que las de las "Yellow Earths" descritas por Hardy, en San Vicente (Cuadro 4). Estos latosólicos alofanoides son considerados por Lang (5) como los mismos que los "hydrol humic latosols" del Cline y con seguridad son los mismos que las arcillas "yellow allophanatic" de Martinica, descritas por Colmet—Daage. Con una meteorización más avanzada, las alofanas pueden ser reemplazadas por arcillas "kandoides" y gibsita o puede ser que aun una corta estación seca baste para suprimir el desarrollo de la alofana. En resumen, parece que los suelos latosólicos kandoides se encuentran generalmente en condiciones ligeramente más secas que las formas alofanoides.

Suelos de arcillas "kandoides" rojo—pardos y rojos: latosólicos y latosoles

Estos también son suelos que han alcanzado etapas de meteorización medias a avanzadas en condiciones húmedas, pero no continuamente mojadas. Se han dividido en dos grupos principales: latosólicos kandoides y latosoles kandoides más maduros y seniles y son el equivalente de las "Red Earths" de Hardy. Los miembros más maduros son muy meteorizados y de color rojo o rojo pardo. El perfil muestra generalmente uniformidad dentro del horizonte (B), pero puede presentar concreciones de bióxido de manganeso que indican períodos ocasionales de sequía dentro del perfil. Son comunes en Dominica, Santa Lucía, Granada y no lo son tanto en Montserrat. Tienen una fuerte reacción ácida con pH que va de 4,2 a 5,5 pero, por lo general, menor de 5,0, una capacidad de intercambio de cationes de alrededor de 20 me por ciento y un porcentaje bajo de saturación en bases, generalmente menor de 10 por ciento.

Suelos de arcillas "smectoides"

Estos suelos se encuentran principalmente en las tierras costeras planas o poco onduladas de las islas orientales del Caribe, en regiones con estación seca clara. Por esta razón, reflejan los efectos de enriquecimiento en bases por medio de las soluciones de elevaciones mayores y lixiviación imperfecta debido a la capa freática alta o la permeabilidad lenta que a menudo es limitada por la acumulación de sílice o de arcilla en capas dentro del perfil (clay pan). Sus propiedades reciben la influencia muy grande de las arcillas de retículo de dilatación y de otras formaciones de capas duras. Tienen una capacidad de intercambio de cationes relativamente alta, casi todos ellos son bien saturados, en especial con calcio y magnesio. Este último ion tiende a dominar cuando el drenaje se vuelve más imperfecto.

Este grupo incluye las "terras" y los suelos de bajío descritos por Hardy (3) que distinguió entre bajíos geológicos y "bajíos edáficos" (pedological shoals) que se desarrollan a partir de ceniza volcánica por acumulación de arcilla en capas, seguida del impedimento de drenaje.

Análisis de arcillas

Las arcillas "smectoides" tienen relaciones sílice—sesquióxidos altas y las tierras rojas del Caribe generalmente presentan valores de sílice—alúmina de más o menos 2,0, de acuerdo con su carácter de "kandoide—hematíticos" (como los "low humic latosols"). Las tierras amarillas del Caribe pueden contener muy poca gibsita (Cuadro 5B) aunque Wright (10) ha informado que las arcillas amarillas alofánicas de la Martinica pueden tener relaciones sílice—alúmina hasta de 1,0, más parecidas a los "hydrol humic latosols" de Hawaii.

Proporciones de los grupos principales en las islas

Es imposible ilustrar diagramáticamente en este artículo la distribución de los principales suelos que se desarrollan en cenizas volcánicas en cada isla de las Antillas, pero el Cuadro 6 muestra, para ciertas islas británicas, las proporciones relativas de los principales tipos descritos anteriormente.

Adjuntos se encuentran también diagramas (Figuras III, IV, V) que ilustran la manera en que las zonas climáticas, que son sorprendentemente distintas dentro de áreas tan pequeñas, han influido en el desarrollo del suelo. Debemos aclarar, por supuesto, que aun los suelos más maduros de la región han tenido enriquecimientos periódicos de ceniza volcánica en los tiempos históricos y recientes. Barbados, 100 millas (161 km) al este de las islas volcánicas, recibió, según se estima, 1,7 millones de toneladas (7) de ceniza volcánica llevada por vientos contraalísios, de la erupción de la Soufriere en San Vicente, en mayo de 1902. Esto fue suficiente para mejorar apreciablemente los rendimientos de caña en Barbados en los años posteriores.

BIBLIOGRAFIA

1. HAMILTON, R. A. 1933. The application of mineralogical methods in the study of tropical soils. Unpublished thesis, in part fulfillment of requirements for AICTA, St. Augustine.
2. HARDY, F., C. K. ROBINSON & G. RODRIGUES. 1934. Studies in West Indian soils. The agricultural soils of St. Vincent. p. 9.
3. HARDY, F. 1961. Soil formation in the caribbean volcanic islands. Unpublished.
4. LANG, D. M. & D. M. CARROLL. 1966. Soil and Land—Use Surveys No. 16, St. Kitts—Nevis. Regional Research Centre, The University of the West Indies.
5. LANG, D. M. 1967. Soil and Land—Use Surveys No. 22, Montserrat. Regional Research Centre, The University of the West Indies.
6. LANG, D. M. 1967. Soil and Land—Use Surveys No. 23, Dominica. Regional Research Centre, The University of the West Indies.
7. ROBSON, G. R. & J. F. TOMBLIN. 1966. Catalogue of the active volcanoes of the world, including Solfatara Fields, Part XX: West Indies. Ed. International Assoc. of Volcanology, Rome, Italy.
8. STARK, J., P. LAJOIE & A. J. GREEN. 1966. The Regional Research Centre, Soil and Land—Use Surveys No. 20, St. Lucia. The University of the West Indies.
9. WATSON, J. P., J. SPECTOR & T. A. JONES. 1958. Soil and Land—Use Survey No. 3. St. Vincent, p. 28—29; Regional Research Centre, The University of the West Indies.
10. WRIGHT, A. C. S. 1959. A New Zealand pedologist in the Caribbean. Unpublished memoir.

A.4.6

CUADRO 1. Carácter de las materias ígneas

Isla	Superficie km ²	Carácter de los materiales ígneos	
Granada	308,21	Principalmente cenizas piroclásticas y aglomerados con un poco de lavas	Andesíticos y básicos
Granadinas	64,75	Principalmente cenizas y aglomerados	Andesíticos
San Vicente	340,47	Aglomerados y cenizas	Andesíticos y básicos
Santa Lucía	603,47	Principalmente piroclásticos: aglomerados, cenizas, tobas; con algo de lava	Algo de dacitas pero principalmente andesíticos, algunos básicos
Martinica		Piroclásticos: cenizas, pómez, aglomerados y lavas	Principalmente andesíticos, algunos ácidos (dacíticos)
Dominica	787,36	Más antiguos: principalmente mantos de lava basáltica y andesítica. Recientes: principalmente piroclásticos; con algunas lavas (Costa de Sotavento)	Principalmente andesíticos; dacíticos y básicos
Guadalupe	1495	Piroclásticos: cenizas, aglomerados, tobas; pómez y lavas	Principalmente andesíticos, algunos dacíticos
Montserrat	82,88	Lavas y piroclásticos; aglomerados, tobas escoriáceas, pómez, cenizas	Principalmente andesíticos y básicos, con algo de dacíticos
Nevis	129,50	Piroclásticos: principalmente aglomerados, con cenizas y un poco de lava	Casi todos andesíticos; no hay básicos
St. Kitts	176,12	Piroclásticos; los más antiguos: principalmente aglomerados y tobas; los más recientes son especialmente cenizas, arenas, escorias con aglomerados, rara vez lava.	Andesíticos, rara vez básicos
San Eustaquio	31,08	Piroclásticos: con un poco de lava	Andesíticos
Saba	20,72	Piroclásticos: lavas	Andesíticos

CUADRO 2. Composición de la ceniza volcánica y rocas de algunas islas de las Antillas Menores

San Vicente: Ceniza	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
1. Tamaño aprox. (Ceniza)	50–58	13–22	6.5–15	0.6–1.1	6–10	2–6	0.3–0.7	2–4
2. Promedio de 9 (Ceniza)	51.4	18.3	10.8	1.0	9.6	5.1	0.6	3.0
3. Promedio de mantos de lava	54.4	18.2	8.9	0.8	8.7	4.7	0.7	3.3
Cenizas volcánicas de:								
4. St. Kitts	58.4	18.2	7.2	0.7	7.1	2.0	0.6	3.9
5. Martinica	60.0	17.5	7.7	0.5	6.8	2.8	0.9	3.4
6. Guadalupe	57.8	15.7	9.5	0.8	6.5	3.3	0.7	2.1

1,2,3: Citado por Hardy 'et al' (2)

4: Análisis por Baker, P. E. (1963; Tesis para Ph.D., Oxford) (Basado en datos citados por Robson y Tomblin (7))

5: Análisis por Hillebrand

6: Análisis por Patureau

CUADRO 3. Clasificación de la precipitación en las Antillas Menores (Sistema de Mohr)

Clase	No. de meses		Precipitación anual (cm)
	mojados	secos	
Continuamente mojado	12	0	750–250
Continuamente húmedo	9	0	250–175
Estación seca pequeña	8	1	175–150
Estación seca acentuada	7	2	150–100
Estación seca intensa	5	4	100– 75

CUADRO 4. Clasificación de los suelos de ceniza volcánica

Protosols	Etapas de meteorización O: suelos Ac o (A) C
Suelos jóvenes	Etapas de meteorización 1–2, con horizontes B, (B) o (B)/C rudimentarios a bien desarrollados y subdivisiones en el balance meteorización–lixiviación: subdivisiones de acuerdo con la ausencia o presencia de una capa endurecida con sílice.
Suelos de alofanoides (por lo menos 40 por ciento de los minerales alterables se han alterado)	Etapas de meteorización 2+, con arcilla alofanoides – gibsita i con horizontes Ae y B: latosólicos de alofanoides ii con horizontes (B): Etapa 2–5: latosólicos de alofanoides iii con horizonte (B) Etapa 5+: latosoles de alofanoides
Suelos "kandoides"	Etapas de meteorización: 2+ i con horizontes Ae y B: podzólicos "kandoides" ii con horizonte (B), etapa 2–5: latosólicos "kandoides" iii con horizonte (B), etapa 5+: latosoles "kandoides"
Otros suelos arcillosos	Etapas de meteorización: 2+
Suelos de arcillas "smectoides" (por lo menos 40 por ciento de los minerales alterables se han alterado)	Etapas de meteorización: 2–4 i sin horizonte "CSi" ii con horizonte "CSi" y gleificación consiguiente

CUADRO 4 (A). Características químicas de suelos derivados de materiales de cenizas volcánicas (basados principalmente en estudios de los suelos de Dominica)

	pH	Carbono orgánico %	C.I.C. (suma) me/100 g	Iones intercambiables me/100 g				Porcentaje de saturación de bases
				Ca	Mg	K	Na	
Protosols:								
A	6.5	1	18	12	2	0.5	0.6	84
C	6.3	—	12	7	2	0.3	0.5	82
Suelos jóvenes								
i Alta saturación en bases	A 6.0	3	21	11	3	1.0	0.7	74
(B)	6.0	0.5	16	8	3	0.3	1.5	80
ii Baja saturación en bases	A 5.7	4	29	9	2	0.6	1.2	44
(B)	6.0	0.6	22	2.5	3	0.5	1.2	33
C	6.0	0.2	20	2	1	0.6	0.6	21
Suelos de alofanoides:								
Suelos:	H 4.5	5	35	1	0.3	0.3	1	8
i Podzólico	Ae 5.0	0.5	20	0.8	0.4	0.2	1	12
B	5.5	0.8	15	1.0	0.2	0.3	0.7	17
ii Latosólicos	A 5.0	4.5	35	2	1	0.5	1.3	14
(B)	5.4	1.5	15	0.5	1	0.5	1.5	17
Suelos de Arcillas "kandoides"								
Latosólicos	A 5.3	4	25	6	2	0.4	0.8	37
(B)	5.0	< 0.5	18	2	2	0.4	1.0	30
(B) C	5.1	—	20	2	2	0.3	1.0	26
Suelos de Arcillas "smectoides":								
i	A 6.0	4	52	30	15	0.5	2.0	92
B/G	6.3	0.5	53	20	25	0.5	3.0	92
ii	A 6.1	4	37	24	8	0.5	1.0	90
B/G	6.3	0.3	38	15	20	0.5	1.5	98

A.4.8

CUADRO 4 (B). Relaciones Sílice/Sesquióxidos de las arcillas de tierras amarillas y rojas

		$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	Porcentaje en la arcilla
I Tierras amarillas (Yellow Earths)				
San Vicente: Nivel bajo				
	Yellow Earths	3.0	2.1	41.9
	Unión entre 'Yellow Earth' y 'Terras'	3.0	2.2	42.6
	Al nivel de las 'Terras'	2.3	1.9	41.5
San Vicente: Nivel alto				
	0-3"	2.3	1.7	35.8
	12-15"	2.2	1.7	37.6
	44-60"	2.3	1.8	39.9
Dominica				
	0-23"	1.7	1.5	23.0
	23-46"	2.9	2.5	42.5
La Plaine				
	36-44"	2.8	2.6	37.5
	64-96"	3.7	2.8	45.3
II Tierras Rojas (Red Earths)				
Dominica				
	0-9"	2.1	1.6	38.6
	24-34"	2.1	1.6	41.5
Lindford Hill				
	44-54'	2.2	1.8	42.4
	72-90"	2.2	1.8	43.1

Nota: Las muestras de San Vicente fueron analizadas por G. Rodríguez (2).

Las muestras de Dominica fueron analizadas por N. Ahmad U. W. I, 1969 (Comunicación personal).

CUADRO 5. Superficies relativas de los diferentes tipos de suelo en las islas volcánicas de las Antillas Menores (según Hardy, 1961) (miles de ha).

	Suelos recientes de cenizas (regosoles y litosoles)	Brown Earths (principalmente suelos jóvenes)	Yellow Earths (inclusive suelos alofánicos)	Red Earths (principalmente latosólicos y latosoles rojos y pardos)	Arcillas "Smectoides" (Terras y suelos de bajíos)	Suelos aluviales
Granada	—	3.3	—	36	34.9	3.8
Granadinas	—	1.4	—	—	10.5	2.6
San Vicente	40.3	—	35.4	—	9.5	3.6
Sta. Lucía	—	16.5	—	63.1	60.3	14.6
Dominica	3.4	—	58.2	83.8	31.5	3.7
Montserrat	1.8	6.1	1.5	1.9	8.1	0.3
Nevis	7.2	—	—	—	18.1	—
St. Kitts	24.1	—	9.2	—	5.7	—

FIG. I ANTILLAS MENORES

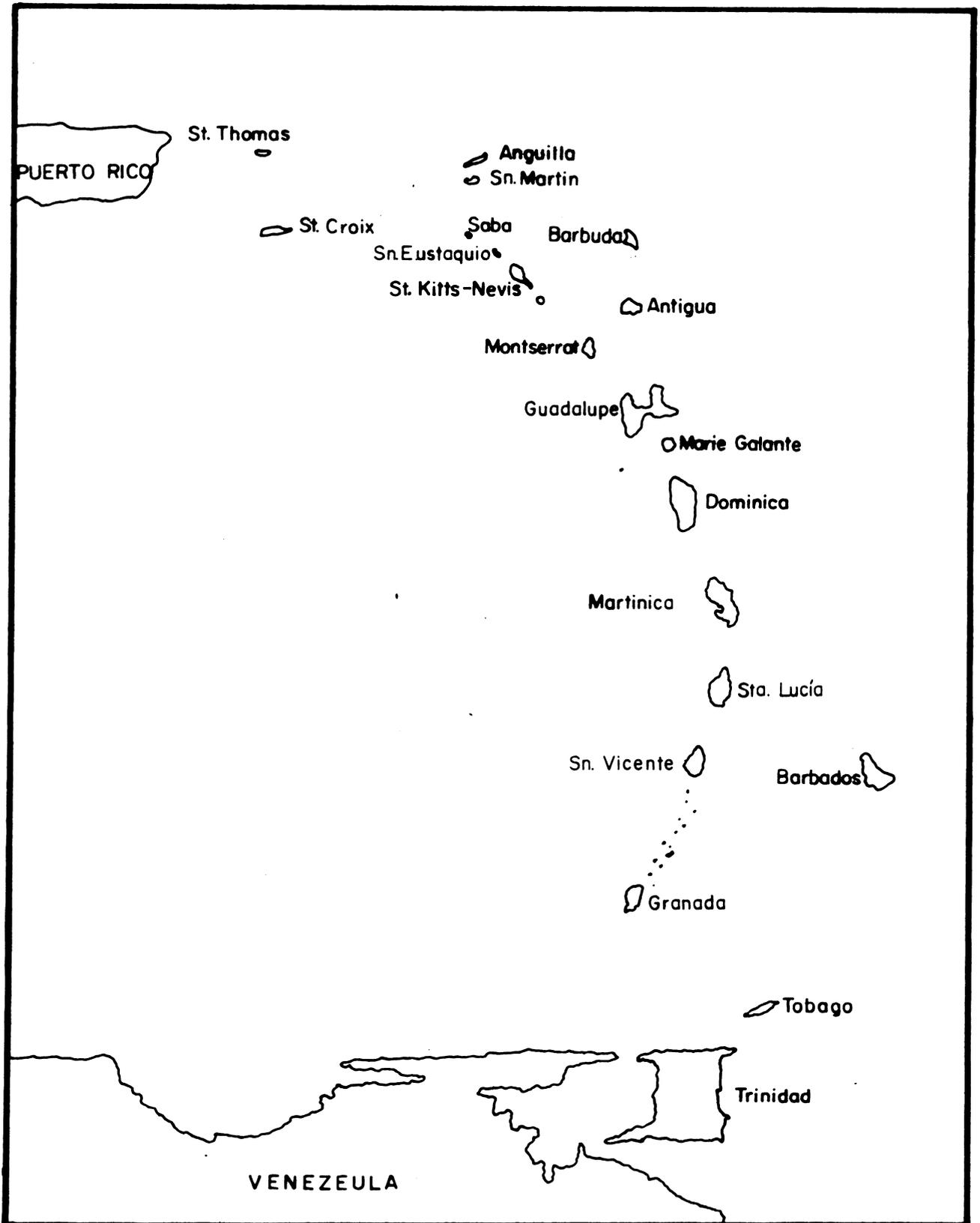


FIG. II
PLEGAMIENTO CONTINENTAL
CON EL CUAL SE ASOCIA EL VULCANISMO

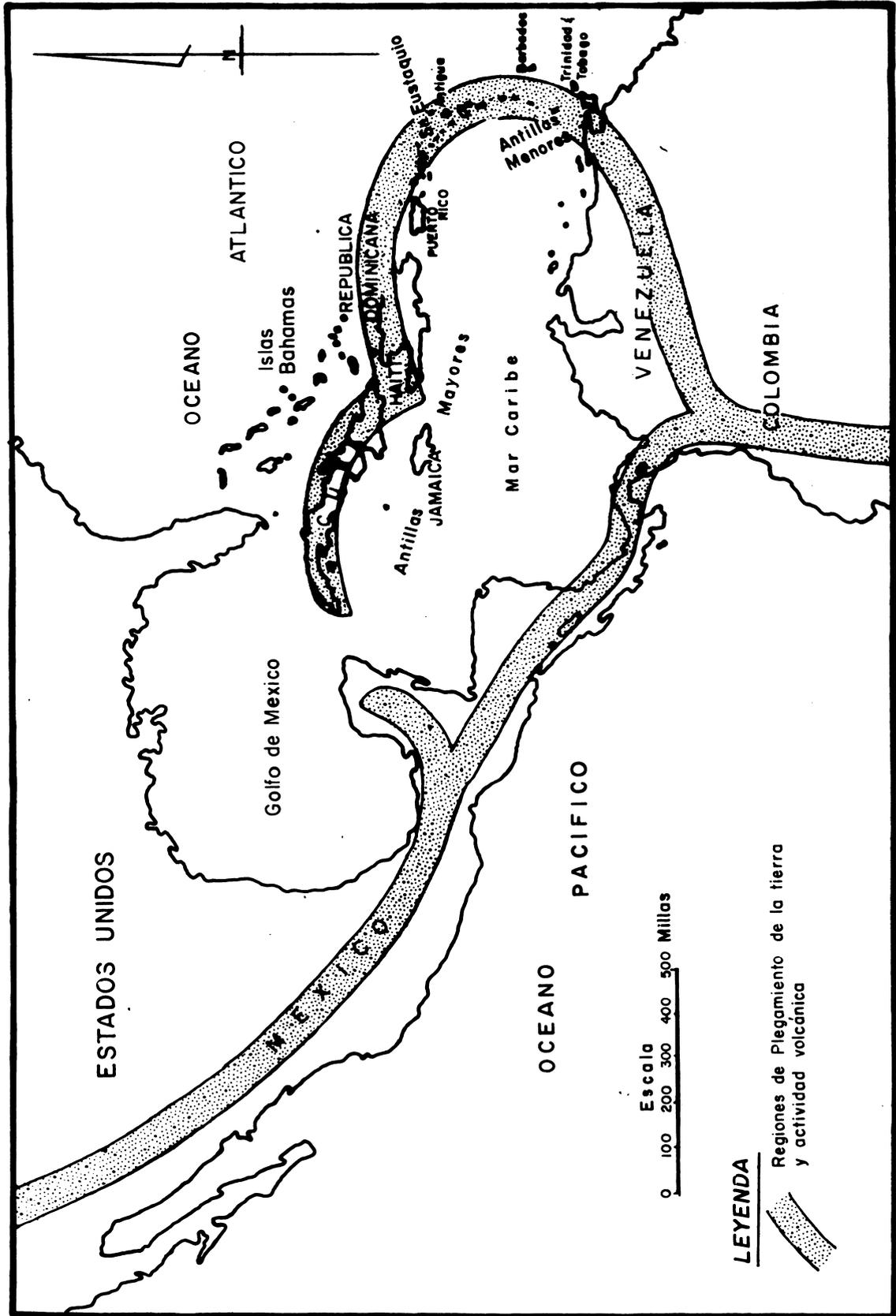


FIG. III GRANADA

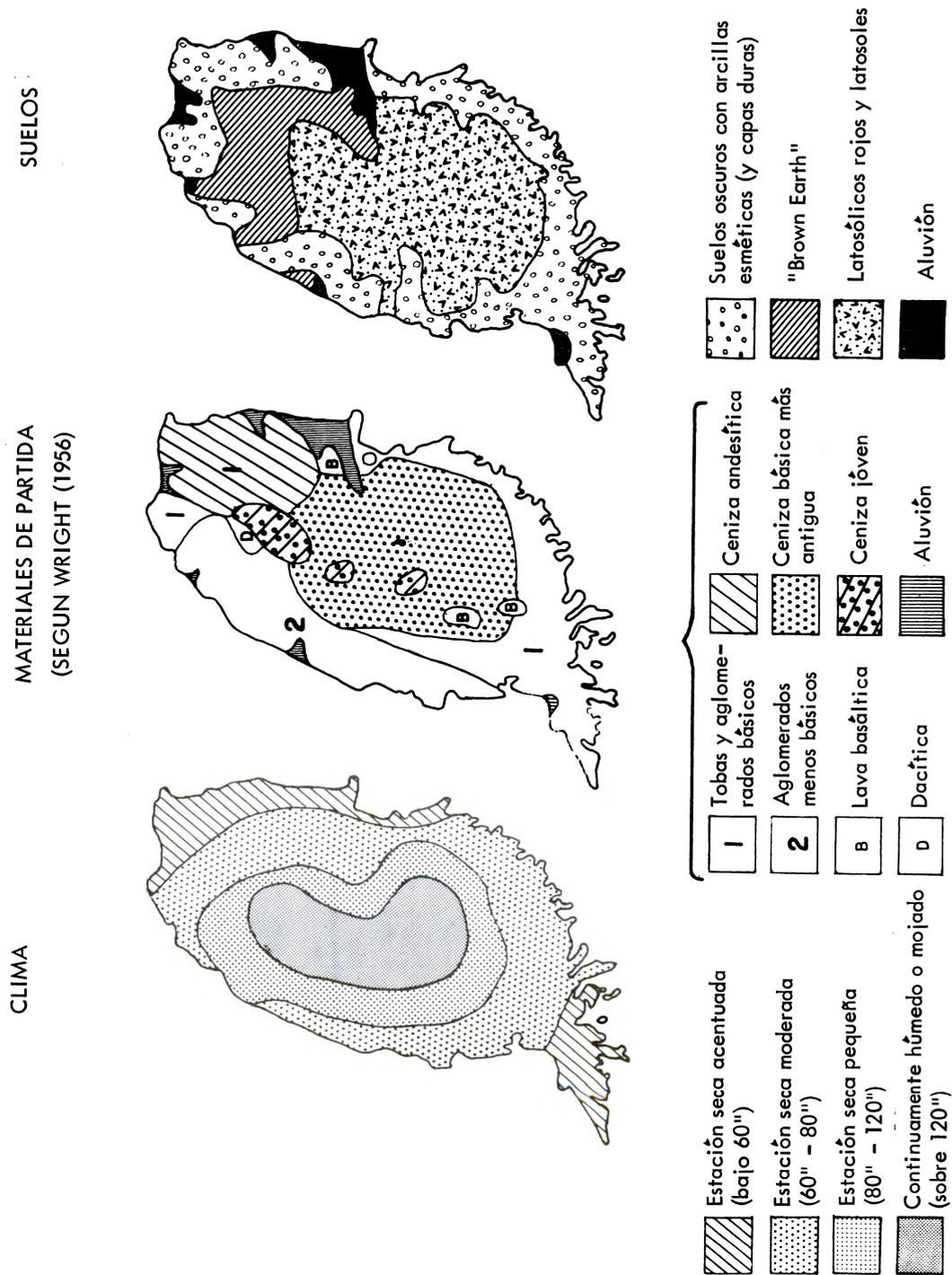
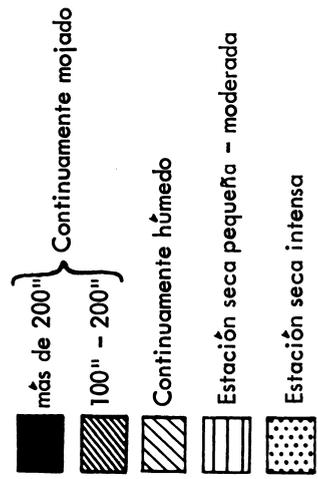
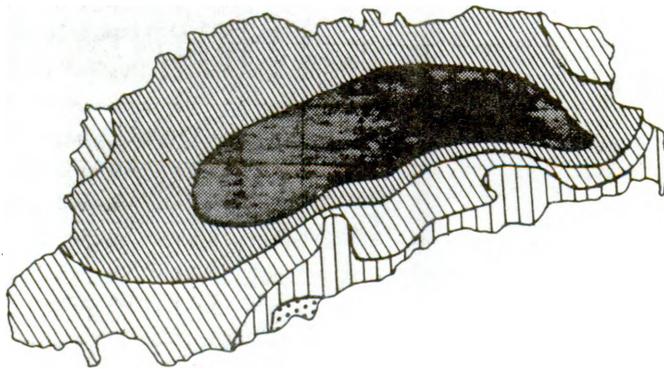


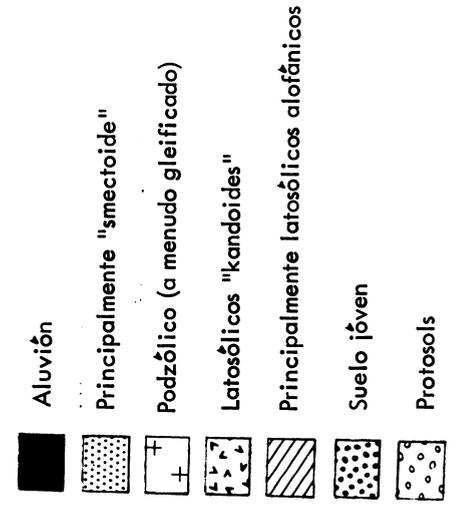
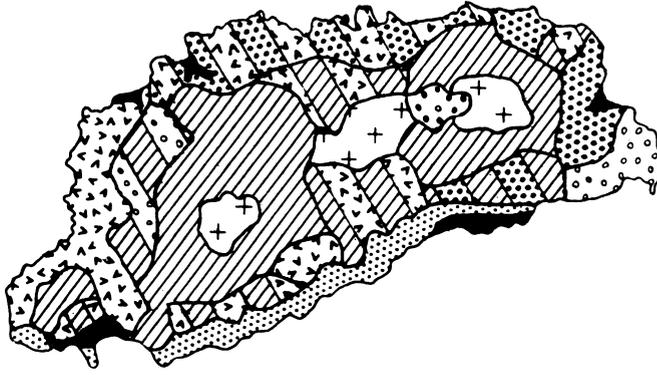
FIG. IV DOMINICA

A.4.12

ZONAS CLIMATICAS



SUELOS



FORMA DEL PAISAJE

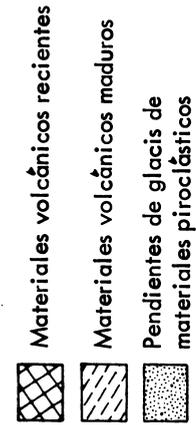
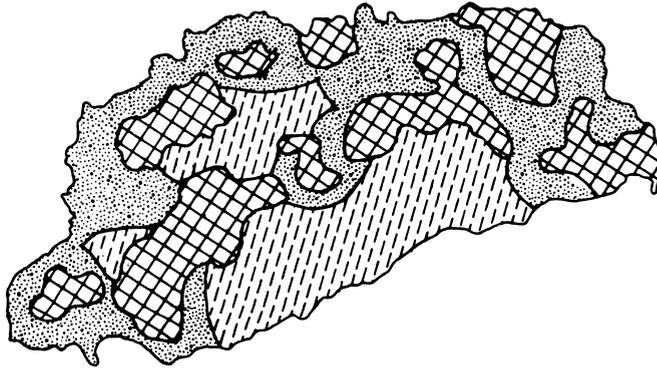


FIG. V

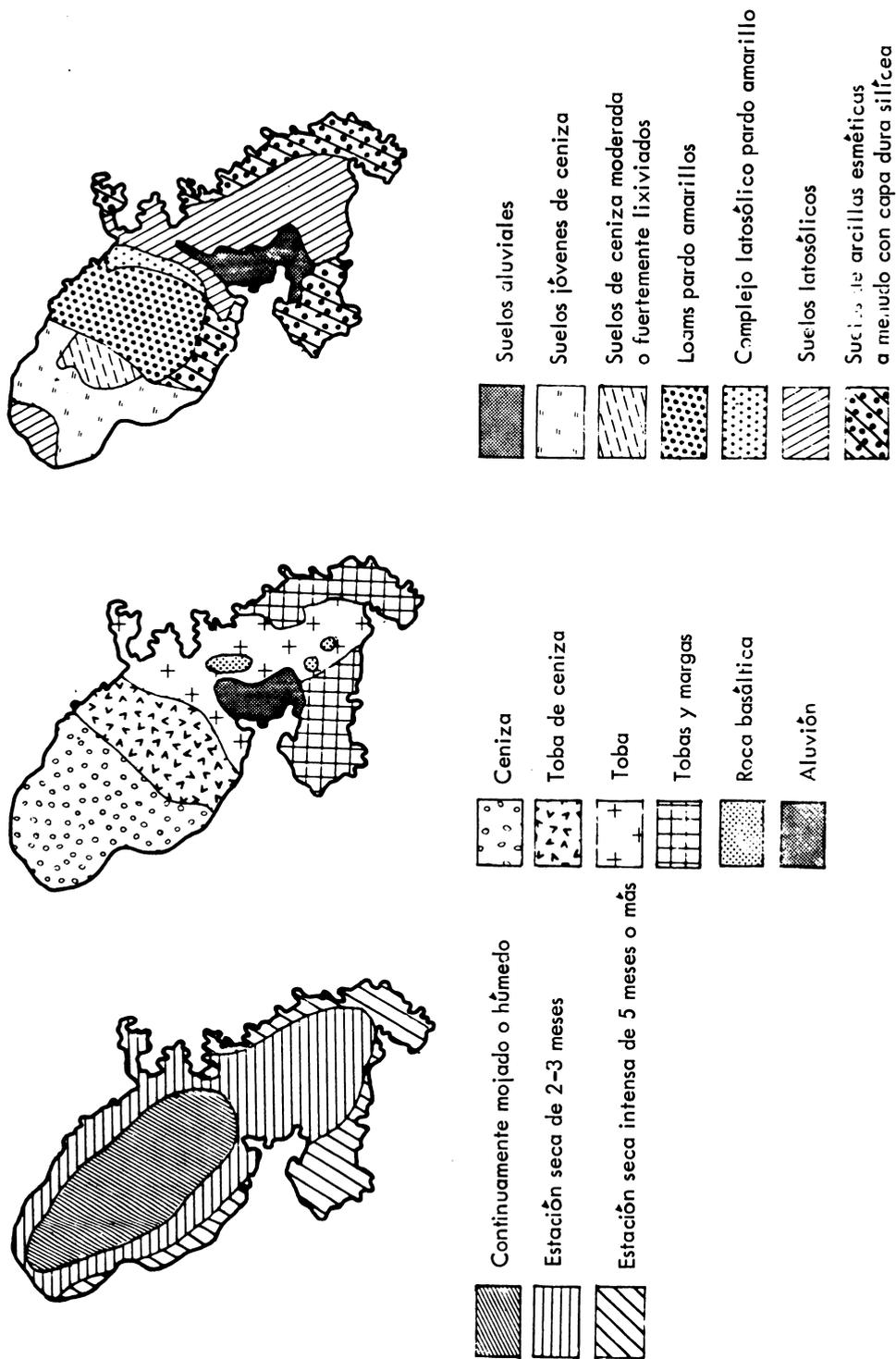
MARTINICA

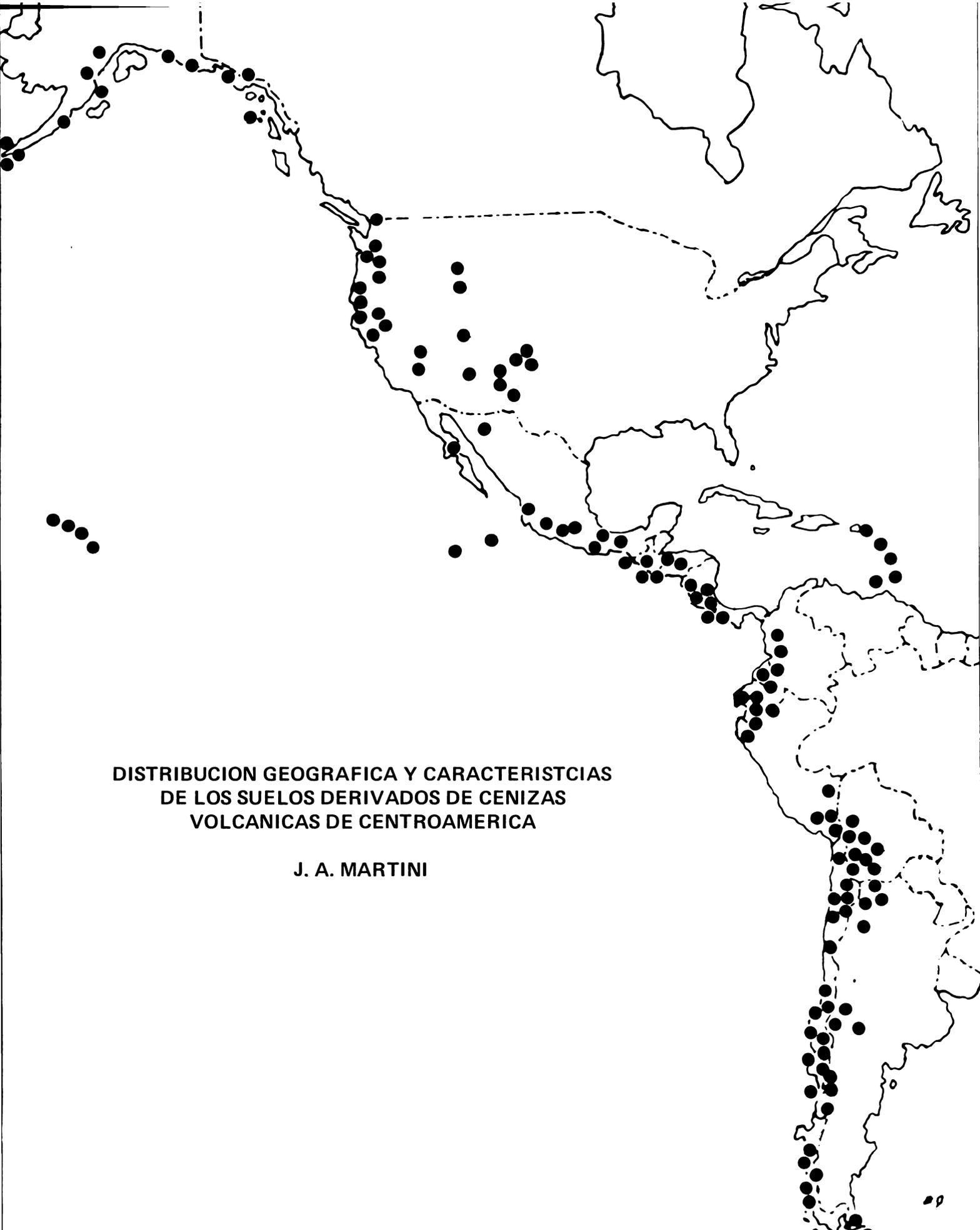
SUELOS

MATERIALES DE PARTIDA

(SEGUN COLMET-DAAGE Y WRIGHT (1959))

CLIMA





**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICIAS
DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS DE CENTROAMERICA**

J. A. MARTINI

DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS EN CENTROAMERICA

J. A. Martini*

INTRODUCCION

Una presentación sobre suelos derivados de cenizas volcánicas tiene como prerequisite definir los "suelos" y "cenizas volcánicas" a fin de lograr un enfoque más detallado y resultados concluyentes, ya que hay ideas muy variadas en este respecto.

En el "World Soil Resources Report No. 14, 1965" de la FAO, Swindale (53), Ohmasa (44), Flach (25), Taylor (56), Besoain (3) y otros, hacen notar que las cenizas volcánicas son el material parental de una gran diversidad de suelos, algunos de los cuales pueden originarse también de otros materiales parentales, siempre y que las condiciones pedogenéticas de clima, topografía, vegetación y tiempo sean propicias (27). De allí que los suelos derivados de cenizas volcánicas han sido clasificados en América Central (15, 48, 51), América del Sur (3), Estados Unidos de América (25, 54), Japón (44, 45), Nueva Zelandia (56) e Indonesia (55) como regosoles, andosoles, pardo forestales, aluvio y lacustro-volcánicos, latosoles, podzoles, suelos de praderas y otros más. Sin embargo, entre todos éstos, hay un grupo de suelos que sí se identifica con materiales parentales volcánicos, ya que condiciones pedogenéticas especiales han permitido una mayor expresión del material parental a través de propiedades muy características y a su vez diagnósticas. Los suelos comúnmente denominados como "andosoles" (58) representan la unidad modal más característica de los suelos derivados de cenizas volcánicas.

En cuanto a lo que representan las cenizas volcánicas, es preciso definir el estado físico, la composición química o mineralógica y su edad.

Estado físico:

Predomina la idea de que ceniza volcánica es todo material fino no consolidado que ha sedimentado en aire. Sin embargo, hay autores (5, 36) que hacen notar la formación de suelos volcánicos muy similares a los andosoles, sobre materiales volcánicos como lavas, piedra pómez, brecha, tobas y aglomerados. Aparentemente, la formación de andosoles es favorecida, por lo menos dentro de ciertos límites de tiempo, por la gran superficie de contacto, el alto contenido de vidrios volcánicos y el libre desagüe que ocurre en las cenizas finas no consolidadas.

Las cenizas sedimentadas en agua o retransportadas por aire o agua pueden resultar en contaminaciones que impiden la formación de un andosol típico (44).

Composición química y mineralógica:

Hay un acuerdo general de que las cenizas andesíticas altas en vidrios volcánicos y bajas en cuarzo, silicio, hierro y bases, favorecen la génesis de suelos bajos en cuarzo, silicio y hierro, ácidos y altos en materiales amorfos que se estabilizan con la materia orgánica para dar el color oscuro, la textura media, la estructura esponjosa, la consistencia grasosa y la alta capacidad de cambio, típica de los andosoles.

Las cenizas basálticas, altas en plagioclasa, piroxenos y anfíboles y elementos como hierro, calcio y magnesio, tienden a originar suelos arcillosos, bajos en cuarzo, altos en hierro y ligeramente ácidos, que evolucionan rápidamente para formar suelos como los latosoles.

Las cenizas riolíticas altas en cuarzo y feldespatos y elementos como silicio, potasio y sodio, tienden a formar suelos arenosos, altos en cuarzo, grises y ácidos, que evolucionan rápidamente para formar suelos como podzoles.

Edad de las cenizas:

Hay un consenso de opiniones en cuanto a que las cenizas que datan del presente hasta fines del Terciario, con predominancia en el Plioceno, son las responsables de la abundancia de andosoles. El autor considera que los andosoles son en cierta forma un accidente de tiempo y que la edad de la ceniza juega un papel tan importante como la composición química y mineralógica, a la cual se le da tanta importancia en la formación de los andosoles.

La edad de la ceniza parece determinar el grado de alteración de los vidrios volcánicos, la acumulación de alofano, la fijación de la materia orgánica, el desarrollo del perfil y el grado y dirección en que deben actuar los demás

* Especialista en Fertilidad de Suelos y Fertilizantes, asignado al IICA dentro del Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Turrialba, Costa Rica.

A.5.2

factores pedogenéticos. De aquí se establece que, bajo las condiciones pedogenéticas existentes en las áreas de andosoles, el límite máximo de tiempo para la formación de estos suelos en el Terciario tardío con un límite mínimo relativamente corto de decenas o quizás centenas de años.

En el presente trabajo se consideró como material parental, principalmente, las cenizas finas, no consolidadas y relativamente recientes. Se incluyó como suelos derivados de cenizas volcánicas a los regosoles sobre cenizas, los andosoles y a los suelos volcánicos viejos, de una génesis más avanzada. Esto se hizo a fin de dar una mayor perspectiva a la presentación y hacer las comparaciones que permiten establecer más claramente los límites de la definición y propiedades del suelo volcánico modal "andosol".

DESCRIPCION DEL AREA

América Central, situada en el trópico del hemisferio norte, tiene una superficie de 569.142 km², poco más de 13 millones de habitantes y una densidad promedio de 28 personas por km².

Por lo general, el clima es cálido desde el nivel del mar hasta aproximadamente 600 m, templado de 600 a 1500 m y frío a más de 1500 m. En la vertiente del Pacífico caen de 1000 a 2500 mm de lluvia anualmente, distribuidos entre 6 y 9 meses. La estación lluviosa comienza más o menos en mayo y tiene dos períodos acentuados de lluvia, uno en junio—julio y otro en octubre—noviembre. La estación seca se inicia más o menos en diciembre. La precipitación pluvial tiende a aumentar con la elevación. En vista de que los vientos alisios provienen del este, la vertiente del Atlántico es mucho más lluviosa, recibiendo más de 2500 mm y alcanzando niveles hasta de 5 m, bien distribuidos en los 12 meses del año.

La geología del Istmo Centroamericano es relativamente reciente y consiste en gran parte de formaciones volcánicas, ígneas y sedimentarias, que datan principalmente del Cuaternario y Terciario (14, 57, 61, 62). Un mayor rejuvenecimiento ha sido ocasionado por las continuas actividades volcánicas que han moldeado gran parte de la fisiografía y que son determinantes en las clases de suelos y agricultura que predomina hoy día.

En Panamá comienza con el volcán Barú un sistema montaño con más de cien conos volcánicos, que parece extenderse hacia el noroeste por toda América Central, hasta el sur de México. La altitud de este sistema volcánico aumenta desde 3350 m en el volcán Barú de Panamá, hasta casi 4300 m en el volcán Tajumulco de Guatemala. La actividad volcánica del sistema también parece adquirir actualidad a mayores latitudes.

En cuanto a su composición, las cenizas de Panamá, Costa Rica y Nicaragua tienden a ser más básicas, en gran parte andesíticas y las cenizas de El Salvador, Guatemala y Honduras más ácidas.

Debido a que los vientos predominantes vienen del este, la mayor parte de las cenizas se han localizado en la vertiente del Pacífico. Los andosoles ocurren principalmente en las tierras altas de la provincia de Chiriquí, en Panamá, en la Meseta Central de Costa Rica, en el área entre Granada y Chinandega en Nicaragua y en los valles intermontanos y laderas del Pacífico en El Salvador, Guatemala y Honduras.

Los suelos derivados de cenizas volcánicas son de gran importancia agropecuaria, ya que en ellos se concentra gran parte de los cultivos hortícolas, cultivos industriales como el café, caña de azúcar, algodón, banano, tabaco y la ganadería mejorada de leche.

SUELOS

Nomenclatura

Los suelos derivados de cenizas volcánicas han recibido muchos nombres según el país o el sistema de clasificación utilizado.

América Central: Latosol, pardo forestal, suelo de Talpetate, andosol.

América del Sur: Suelo volcánico, negro andino (Ecuador), suelo de páramo, trumao (Chile y Argentina), suelo alofánico húmico, andosol.

Estados Unidos de América: Pardo forestal, suelo de pradera, andosol, andepto, latosol húmico hidrólico (Hawaii).

A.5.3

Japón: Suelo volcánico negro, pardo forestal, Kurotsuchi, Kuroboku*, suelo alofánico húmico**, andosol***.

Nueva Zelanda: Suelo franco pardo amarillento, suelo amórfico (56), alvisol (56).

Indonesia: Suelo de montaña, andosol.

De todos éstos, el más comúnmente utilizado es el de andosol, nombre escogido también durante la reunión sobre "Clasificación y Correlación de Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas", auspiciada por FAO-UNESCO en Tokio, Japón (1964).

Según Dudal (16) todos estos nombres representan suelos similares con muchas propiedades en común. Sin embargo, el peligro estriba en que diferentes nombres tienen diferentes definiciones y límites que producen un margen de error considerable al hacer comparaciones.

Definición

En el presente estudio se tuvo como marco de referencia la definición establecida durante la reunión sobre "Clasificación y Correlación de los Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas", auspiciada por FAO-UNESCO, en Tokio, Japón, 1964****

Los andosoles han sido definidos como: suelos minerales en que la fracción activa es dominada por materiales amorfos (mínimo, 50%). Estos suelos tienen una alta capacidad de retención, un horizonte A oscuro, friable, relativamente grueso; poseen un contenido alto de materia orgánica, una densidad aparente baja y poca pegajosidad. Pueden tener un horizonte B sin mostrar cantidades significativas de arcilla iluvial. Ocurren bajo condiciones climáticas húmedas y subhúmedas.

Morfología

Andosoles

Los andosoles son suelos volcánicos maduros. Aun cuando ocurren bajo condiciones climáticas variables, poseen una morfología relativamente uniforme, que refleja en gran parte la influencia de materiales amorfos derivados de vidrios volcánicos presentes en el material parental (5, 26, 44, 53, 63). La influencia del clima y otros factores pedogenéticos se dejan ver más en algunas propiedades químicas y físicas.

El perfil consiste en una secuencia A(B)C, en donde el horizonte A es profundo, mayor de 50 cm y algunas veces mayor de 100 cm; oscuro, variando dentro del horizonte o entre perfiles de 10YR1/1 a 10YR3/2 en húmedo; en seco, el valor y la croma tienden a aumentar de 1 a 3 unidades, adquiriendo un matiz gris oscuro en lugar de negro. Este fuerte cambio de color en función de la humedad parece ser característico de los andosoles. La textura es media y puede variar de franco-arenosa a franca, franco-limosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillosa o franco-arcillo-limosa; la estructura es granular o bloque subangular, moderada y fina o muy fina; la consistencia ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado y friable o muy friable en húmedo; sin motes, concreciones, revestimiento o piedras y con abundantes raíces. La alta actividad biológica se nota en el grado de descomposición de la materia orgánica y la presencia de crotovinas, que resultan una mezcla considerable del subsuelo con el suelo.

El horizonte A puede subdividirse en A_{11} y A_{12} o en A_1 y A_3 , según el espesor, color y estructura. Este horizonte corresponde, en la 7ª aproximación del sistema de clasificación del USDA (52), a un epipedon úmbrico, aunque también puede ser mólico o hístico.

El límite entre los horizontes A y (B) es generalmente abrupto, aunque puede ser más gradual en áreas con muy alta precipitación pluvial.

* Kuroboku, del idioma japonés: "kuro" negro y "boku" friable.

** Alofánico húmico: Introducido por Kanno (31) en el Japón.

*** Andosol: Utilizado por primera vez por pedólogos norteamericanos en el Japón, Richie (47). Viene del idioma japonés: "an" oscuro y "do" suelo.

**** Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, 1965. p. 141.

A.5.4

El horizonte (B) es de color claro, pardo amarillento, pardo gris o gris amarillento con valores y cromas de 4 a 6; comúnmente el color varía entre 10YR5/3 y 10YR7/6 en húmedo; en seco los colores también tienden a ser más claros. La textura es media, similar al apipedon; la estructura es de bloque subangular, débil, fina o media, poco visible en húmedo pero mucho más evidente en seco; la consistencia es ligeramente plástica y ligeramente pegajosa en mojado y friable o firme en húmedo; en mojado da una sensación grasosa o resbalosa y de poseer una gran capacidad de retención de agua que se exprime con los dedos. Sin motes, concreciones o piedras y con pocas raíces.

Este es en efecto un horizonte diagnóstico de fácil formación que corresponde a un B de color o a un horizonte cámbico en la 7ª aproximación del USDA (52).

El horizonte C de los andosoles consiste generalmente de cenizas grises, posiblemente andesíticas y materiales pumíceos.

Los andosoles de áreas relativamente secas se rajan y las grietas tienden a agrandarse con la profundidad, alcanzando mayor tamaño en el subsuelo, según sea el contenido de materiales amorfos (63). Cuando el perfil es expuesto y se logra secar, como en cortes de carretera, este secamiento es bastante irreversible, en cuanto a que se hace difícil rehumedecer la muestra y lograr una consistencia tan pegajosa y plástica y una textura tan fina como lo era inicialmente. Esto es particularmente cierto en suelos de áreas muy lluviosas, donde el perfil se mantiene húmedo todo el año.

La estructura de los andosoles tiende a ser débilmente desarrollada y no es muy aparente en el suelo húmedo, exceptuando la estructura granular de suelos en pastos. Al secarse la estructura de bloque del subsuelo, también se hace más evidente y puede adquirir una forma columnar debido a la formación de grietas. Aparentemente, el alto contenido de alofanos y materia orgánica y, por consiguiente, de agua, es responsable de esta estructura débil, del agrietamiento de los suelos al secarse bajo condiciones de campo y del desmoronamiento de los terrones al secarse en el laboratorio. El alto contenido de materiales amorfos, ópticamente isotrópicos, también impide la orientación unidireccional de las partículas de arcilla, manteniendo la estructura débil (54, 59). En los latosoles húmicos caoliníticos del Hawaii, el grado de la estructura está directamente relacionado con el contenido de arcillas ópticamente anisotrópicas que tienden a orientarse bien (54).

Aun cuando el perfil es bien drenado, no hay revestimientos de arcilla debido a su bajo contenido o a la poca dispersión en agua de estas arcillas, predominantemente amorfas. Sin embargo, sí se observa alguna clase de revestimientos, quizás de materia orgánica u óxidos libres, porque el color de los terrones o "peds" se hace más claro o amarillento al ser desmenuzado entre los dedos. En algunos casos, el horizonte B parece tener más arcilla que el A. Aunque esta variación puede ser real, también puede ser ficticia y deberse a diferencias en la dispersión de las arcillas para los diferentes horizontes. Algunos de los suelos volcánicos viejos, al igual que los andosoles, poseen un alto contenido de limo por determinación al tacto. En el laboratorio, los valores fluctúan entre 20 y 55 por ciento. Esto puede estar asociado con la baja dispersión de las arcillas y la formación del pseudolimo. Algunos de los andosoles también muestran, al tacto, una textura muy arenosa debida en gran parte a pseudoarenas que desaparecen si se frota con tenacidad entre los dedos. Las arenas pumíceas pueden comportarse también como si fueran pseudoarenas. Generalmente, no hay sales solubles o carbonatos libres en el perfil debido al buen desagüe y alta precipitación pluvial.

El grado de desarrollo y, por consiguiente, la morfología de los andosoles de América Central, varía con las condiciones climáticas, particularmente la precipitación pluvial, similarmente a como lo describe Wright para América del Sur (63) y Swindale y Sherman para Hawaii (54).

A medida que la precipitación aumenta:

1. La morfología cambia de AC a A(B)C y ABC.
2. Los límites entre horizontes se hacen más difusos, especialmente entre el A y el B.
3. La relación C/N aumenta particularmente a grandes elevaciones, donde el epipedon úmbrico puede aparecer como hístico.
4. El contenido de materia orgánica y su penetración en el subsuelo aumenta dando al suelo y subsuelo colores más oscuros. Sin embargo, en áreas con cenizas más viejas y temperaturas más altas, el contenido de materia orgánica disminuye y el de hierro aumenta, dando al perfil matices rojizos.

A.5.5

5. Los agregados del suelo se hacen más fuertes y la estructura de bloque del subsuelo más débil.
6. La textura tiende a ser más fina y hay más revestimientos de óxidos o de materia orgánica.
7. El pH y el porcentaje de saturación de bases disminuye.
8. El secamiento irreversible se hace más fuerte.
9. La relación Si/Al disminuye.
10. La densidad aparente disminuye.

Regosoles volcánicos

Los regosoles son suelos volcánicos jóvenes, con perfiles AC. El horizonte A es poco profundo, menor de 20 cm; oscuro, negro a pardo oscuro; bien estructurado, friable, ligeramente plástico y ligeramente pegajoso; de textura media, franco—arenosa a arena—franca y abundante en raíces. El horizonte C es similar al de los andosoles.

Suelos volcánicos viejos

Los suelos volcánicos viejos son comúnmente llamados "latosoles", en América Central. El nombre de latosol es inapropiado para gran parte de los suelos volcánicos viejos si se usa el concepto modal propuesto por Kellogg (32). Estos suelos tienen perfiles ABC que exhiben un mayor desarrollo pedogenético que los andosoles y muestran algunas propiedades comunes a latosoles o podzoles. El horizonte A consiste generalmente de los subhorizontes A₁ y A₃, es relativamente delgado, menor de 25 cm; de color pardo a pardo—rojizo, con una estructura bloque subangular moderada, media a fina, de consistencia pegajosa, plástica en húmedo y firme en seco, de textura media a pesada, franco—arcillo—limosa a franco—arcillosa y con menos raíces que en los dos suelos anteriores.

El horizonte B es grueso y puede subdividirse fácilmente con base al color, consistencia, estructura o textura. Tiende a ser de color rojizo, con una estructura bloque subangular fuerte, gruesa, muy pegajosa, muy plástico en húmedo y firme en seco y de textura pesada, franco—arcillosa a arcillosa. Aún cuando este horizonte posee más arcilla que el sobrepuesto, éste no muestra revestimientos de arcillas de fácil identificación. Aparentemente, aún en estos suelos volcánicos viejos, la arcilla es poco dispersable en agua; de allí que con frecuencia el horizonte no es un B textural bien desarrollado (25). El horizonte C es similar al de los otros suelos volcánicos. Sin embargo, con frecuencia no se logra observar por su profundidad.

Los suelos de origen volcánico, especialmente aquéllos derivados de cenizas, tienen perfiles más complejos que otros suelos transportados como los aluviales y con frecuencia exhiben toda clase de irregularidades, tales como: perfiles enterrados por una capa de ceniza lo suficientemente gruesa como para originar un nuevo perfil superior; perfiles parcialmente alterados o rejuvenecidos por deposiciones delgadas de cenizas que únicamente logran afectar o contaminar significativamente al horizonte superficial; substratos volcánicos consistentes de varias capas de cenizas, provenientes de uno o más volcanes. La ocurrencia en grupos de los conos volcánicos en América Central y de erupciones alternadas, se deja ver frecuentemente en los perfiles a través de una estratificación que se confunde con los horizontes genéticos y hace difícil reconocer el material parental y su origen.

Otro componente importante en la morfología de los suelos volcánicos corresponde a las capas más o menos duras de diversos orígenes, como el talpetate en América Central, la cangagua en Ecuador y la kora en el Japón.

El talpetate, que corre paralelo a la superficie del terreno, puede ser un suelo enterrado o una capa geológica sedimentada en agua y luego enterrada. Casi toda la evidencia favorece la segunda suposición (41) por cuanto que, mientras el contenido de materia orgánica es bajo (0,4%), la capacidad de intercambio catiónico tiende a ser alta (23 meq/100 g). Hay talpetates suaves y duros. En el caso del talpetate duro, se ha sugerido (41) que este endurecimiento es producido por la cementación con el silicio, que se lixivia de las cenizas depositadas posteriormente sobre esta capa. El talpetate posee, frecuentemente, fósiles de hojas y otros residuos orgánicos que sugiere una sedimentación en agua.

La cangagua* es también una capa geológica paralela a la superficie del terreno y endurecida o cementada con silicio.

* Cangagua: del dialecto indio, que significa "tierra dura".

A.5.6

Factores en la formación de los andosoles

Mediante un análisis retrospectivo, podríamos decir que si los andosoles son suelos altos en materiales amorfos y materia orgánica, bien estructurados y drenados, poco meteorizados y con perfiles jóvenes, es porque los factores pedogenéticos así lo han impuesto.

Por ejemplo, para lograr un alto contenido de aofano, aparentemente, se requiere un material parental rico en vidrios volcánicos, con relaciones Si/Al relativamente bajas y aluminio en una coordinación tetraedra. Los andosoles más profundos en América Central (36) ocurren en áreas de volcanismo activo, en donde erupciones periódicas rejuvenecen el material parental aportando nuevas reservas de estos vidrios.

Para un alto contenido de materia orgánica se requiere un clima que favorezca un buen crecimiento vegetativo y una descomposición orgánica lenta. De allí que los andosoles centroamericanos tienden a concentrarse en áreas de clima húmedo y fresco. El clima que más favorece la formación de un andosol depende, dentro de ciertos límites de tiempo, de la edad de la ceniza y de su susceptibilidad a la meteorización. Por esta razón, no se está seguro si la predominancia de andosoles en América Central, a elevaciones mayores de 700 m, es una función del clima o de la edad de la ceniza. A menor elevación el clima es más cálido y puede ocasionar una pedogénesis más avanzada, pero las cenizas también tienden a ser de erupciones violentas más antiguas.

Aparentemente, los suelos volcánicos pueden ocurrir a cualquier elevación, siempre que haya cenizas relativamente recientes. Los límites de elevación adquieren importancia en cenizas viejas, donde el material parental es más difícil de reconocer y el desarrollo del perfil puede ser muy avanzado para clasificar como andosol.

Los andosoles de América Central (36) se forman predominantemente bajo una vegetación de bosques. Sin embargo, en otros lugares (44) se reportan también bajo una vegetación gramínea. Esto depende de la fertilidad del suelo y de los niveles de materia orgánica requeridos para mantener un balance positivo de acumulación.

La abundancia de minerales primarios meteorizables y los perfiles jóvenes con pocos horizontes genéticos de fácil formación y débil expresión son entre otras cosas, el resultado de un tiempo efectivo corto de transformación.

En cuanto a la topografía, es preciso tener sitios bien drenados donde no hay acumulación de sales o sedimentos, ni una erosión excesiva. Por esta razón, los andosoles más característicos en América Central se observan en áreas montañosas con un declive que varía entre 5 y 20 por ciento.

Todas las condiciones antes mencionadas de material parental, clima, tiempo, vegetación y topografía, son conducentes a que los andosoles adquieran las propiedades que se ajustan al concepto modal.

Génesis

Los suelos que se han desarrollado sobre viejas cenizas en áreas de volcanismo muerto sin sufrir contaminaciones durante la formación del perfil, se forman de arriba hacia abajo, mediante los procesos pedogenéticos normales de lixiviación, iluviación, transformación y cierta acumulación de materia orgánica. Los suelos acumulativos (56) en áreas de volcanismo activo se forman también de abajo hacia arriba, mediante la deposición periódica de nuevas cenizas. En esta forma, el suelo superficial sufre un constante rejuvenecimiento y tiende a alcanzar gran espesor, mayor de 100 cm y un alto contenido de materiales orgánicos y amorfos. Este rejuvenecimiento del horizonte superficial se deja ver también en los análisis de laboratorio (Cuadros 1, 2 y 3). En el caso de suelos volcánicos jóvenes se nota un aumento en el contenido de arenas y/o limo y una disminución en el contenido de arcilla, materia orgánica, capacidad de cambio, bases cambiables, hierro libre y aluminio extraíble. En el caso del rejuvenecimiento de un suelo volcánico viejo, se notan los mismos cambios, excepto que la materia orgánica, la capacidad de cambio y las bases cambiables también aumentan. De los suelos estudiados en América Central, más o menos el 50 por ciento daban muestras de algún grado de rejuvenecimiento.

La génesis que se presenta a continuación es para los suelos derivados de cenizas en áreas de volcanismo activo. A fin de tener un marco de referencia más amplio, se incluyó además de andosoles, la génesis de los regosoles como precursores y la génesis de los latosoles como posibles sucesores.

En la Figura 1 se presenta una secuencia tentativa para el área centroamericana. No se pretende que los nombres usados sirvan para fines de clasificación.

A.5.7

En la génesis de los suelos volcánicos (Figura 1) se observa en primer lugar la formación de regosoles con perfiles AC, No. 1, poco profundos. Los cambios principales que han ocurrido hasta aquí son: lixiviación de bases y silicio, formación de alofanos, acumulación de materia orgánica y formación de una estructura granular débil y fina. Luego aparecen los andosoles con perfiles A(B)C, No. 2, 3 y 4, en cuyo caso el B representa un horizonte cámbico o un B de color que más adelante adquiere espesor y se divide en B_{21} y B_{22} , con base a diferencias en estructura, Perfil No. 5 en adelante. Nótese que los perfiles adquieren espesor tanto debido a la alteración del sustrato como a la deposición de nuevas cenizas que se transforman para formar horizontes A. Como una consecuencia de esto, los horizontes A existentes adquieren espesor y se dividen en A_{11} y A_{12} , A_{31} y A_{32} , con base al contenido de materia orgánica, color, estructura y raíces, perfil No. 8. Aparentemente los horizontes A más profundos se transforman en B, perfiles No. 9 y 10, debido a la descomposición de la materia orgánica y subsecuentes alteraciones de color y estructura.

El perfil No. 8 es quizás el andosol más completo, con mayor expresión del material parental y que más se asemeja al concepto modal. El contenido de materia orgánica, alofanos y la capacidad de cambio y el espesor del horizonte A oscuro y bien estructurado, alcanzan su máximo; el pH y la saturación de bases alcanzan el mínimo. De aquí en adelante, la materia orgánica, el alofano y la capacidad de cambio tienden a bajar y, por consiguiente, el porcentaje de saturación de bases sube, aun cuando el contenido de bases cambiables disminuye. La estructura también se hace más fuerte, el color más claro y la textura más pesada. Estos cambios producen los suelos volcánicos viejos o "latosoles", en donde el espesor del horizonte B aumenta a expensas del horizonte A. La mayor diferencia entre los latosoles incipientes o jóvenes y los latosoles maduros y viejos, consiste en el espesor del horizonte argílico y la composición mineralógica. En los latosoles jóvenes, el B textural es delgado y la fracción de arcilla contiene minerales de arcilla del tipo 2:1 y 1:1. En los latosoles más avanzados, el B textural se hace más grueso y las arcillas del tipo 1:1 y sesquióxidos predominan. Otra diferencia está en la presencia de revestimientos de arcillas en el B textural. Estos abundan en los latosoles jóvenes y desaparecen en los latosoles viejos, debido a la transformación de los minerales de arcilla a sesquióxidos.

En los perfiles No. 11 y 12 comienzan a aparecer los B texturales o argílicos al nivel del B_2 , debido a la acumulación de arcillas iluviales. En el perfil No. 13 el horizonte B_1 adquiere una textura pesada debido a la transformación de limos a arcillas y a los procesos de iluviación de arcillas. En el horizonte No. 14 no hay mucha diferencia textural entre horizontes debido a que todos tienden a ser muy pesados, incluyendo el horizonte A. El alto contenido de arcilla en el horizonte A se debe más que todo a la transformación de los minerales primarios a minerales de arcilla, del tipo 1:1 y a sesquióxidos.

Los latosoles viejos, o latosoles propiamente dicho, son poco comunes, predominando en Panamá y el sur de Costa Rica. Es posible que muchos de estos latosoles viejos no sean de origen volcánico, sino más bien desarrollados sobre rocas sedimentarias o sedimentos marinos y aluviales del Terciario o Cuaternario. El constante rejuvenecimiento por erupciones sucesivas ha evitado la formación de latosoles fuertemente meteorizados en el Istmo Centroamericano, tal como ocurre en el Brasil, África y otros lugares con superficies muy viejas de una geomorfología avanzada.

En cuanto a la génesis de la fracción orgánica, se ha notado que el contenido de humus aumenta y luego disminuye con la meteorización de las cenizas y la evolución de los suelos. En los regosoles volcánicos ligeramente meteorizados, con poco alofano, el contenido de humus es relativamente bajo (Cuadro 2); en los andosoles moderadamente meteorizados y altos en alofano el nivel de humus es máximo (Cuadro 1); en los suelos volcánicos viejos, bajos en alofano y altos en minerales de arcilla, particularmente caolinita, el contenido de humus se reduce considerablemente (Cuadro 3). Kobo (34) sugiere que con la transformación del alofano a caolinita, el humus fijado en el complejo organo-mineral es liberado y expuesto a los procesos de descomposición.

El grado de humidificación de la materia orgánica también aumenta y la relación carbón/nitrógeno disminuye, a medida que se meteorizan las cenizas. Birrell (5) anota que con la meteorización la relación de ácidos, húmico/fúlvico, aumenta en el suelo superficial. Esto debe favorecer la formación de andosoles, altos en aluminio, ya que los ácidos fúlvicos facilitan la lixiviación del aluminio en lugar del hierro (55). Esta relación de ácidos orgánicos se considera tan importante en Indonesia (55) que se ha utilizado como criterio de clasificación.

La génesis de la fracción mineral comprende los procesos de mayor importancia en la formación de los suelos volcánicos y es responsable de las propiedades más características de estos suelos.

Las cenizas y, por consiguiente, los suelos volcánicos, poseen los minerales primarios comúnmente encontrados en otros suelos, tales como feldspatos, piroxenos, anfíboles, olivino, magnetita y cuarzo. Sin embargo, abundan también los vidrios volcánicos pero tienden a ser bajos en micas (5, 54). Esta composición corresponde también a la

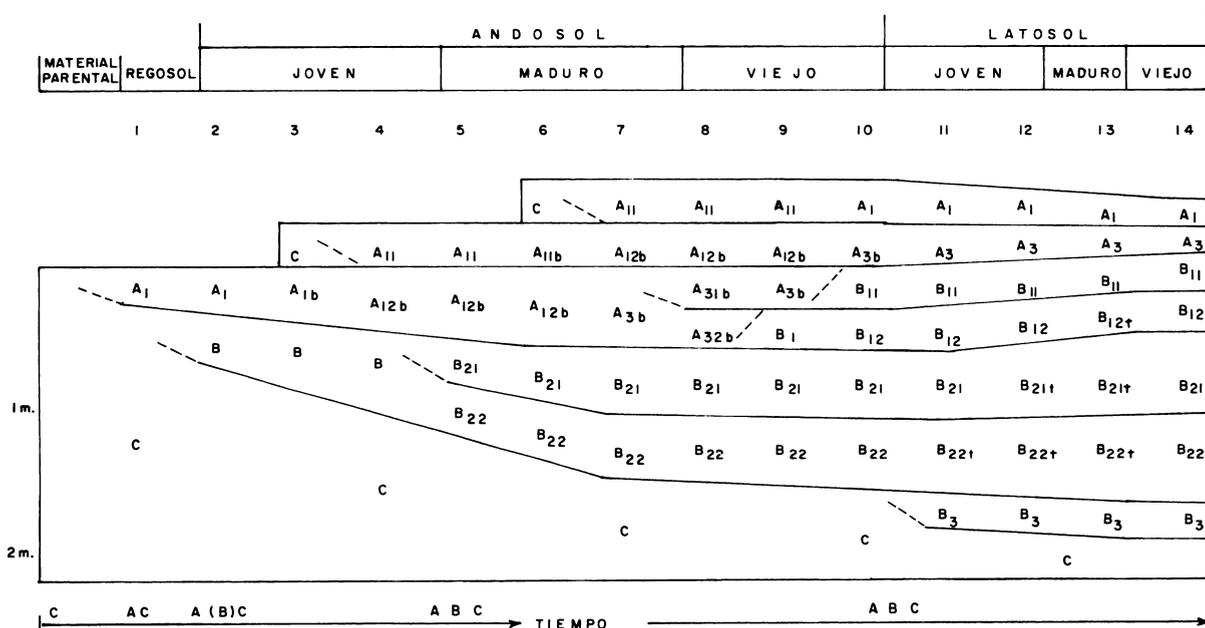


FIGURA 1. Secuencia de tiempo tentativa en la génesis de perfiles de suelos derivados sobre cenizas volcánicas

mineralógica de las arenas. En los limos predominan los mismos minerales primarios pero además se encuentran algunos minerales secundarios y materiales amorfos. En algunos andosoles de Panamá se encontraron cantidades significativas de alofanos en la fracción limo (37, 38). Las arcillas consisten, predominantemente, de minerales secundarios, amorfos a los rayos-X (37).

Fieldes y Swindale (24) han sugerido, como secuencia de meteorización, primero la descomposición de las rocas básicas y los ortosilicatos como el olivino, luego la meteorización del piroxeno y anfíboles, después los feldespatos y vidrios volcánicos y por último el cuarzo, que es el silicato primario más resistente. Esta secuencia va de acuerdo a la serie de reacción de Bowen (10) en la que durante la diferenciación de los magmas se forman primero el olivino y luego los piroxenos, anfíboles, feldespatos y, por último, el cuarzo. A través de este proceso el número de oxígenos de los tetraedros de silicio que se comparten, aumenta hasta lograr la estructura compacta del cuarzo con todos los oxígenos compartidos y altamente resistentes a los agentes de meteorización. En este trabajo Fieldes y Swindale encuentran que los vidrios volcánicos son relativamente resistentes a la meteorización; sin embargo, Egawa (18) cataloga a los vidrios volcánicos como muy inestables, debido quizás a una composición diferente.

En relación a la evolución de los vidrios volcánicos y el alofano, parece haber un consenso de opiniones que va de acuerdo también con nuestras observaciones en América Central (37, 38). El vidrio volcánico se transforma, a través de la meteorización de los silicatos, en un silicato de aluminio amorfo corrientemente denominado alofano. Taylor (56) nos habla de la formación inicial de una gelatina de silicio y aluminio o una protoalofano. Fieldes (21) hace notar la formación de al menos dos clases de alofanos, A y B, siendo la primera de una estructura muy compleja. Ambas formas son amorfas a los rayos-X, pero se logran distinguir a través del análisis DTA y por absorción infrarroja. Aparentemente, el alofano es producto de la coprecipitación de las gelatinas de silicio y aluminio (5, 34, 44, 53). En el caso de los andosoles, esta reacción se justifica por la presencia de los vidrios volcánicos que a su vez determinan la relación en que se encuentra el silicio y aluminio, generalmente entre 1 y 2, y el estado mineralógico. Aparentemente el aluminio aparece aquí en una coordinación tetraedra y no en la forma octaedra (23) común en los filosilicatos. A la coordinación tetraedra del aluminio se atribuyen (23) las propiedades características del alofano, alta capacidad de cambio, fijación de fosfatos y retención de agua y la formación de complejos organo-minerales estables.

Según Birrell (5) el vidrio basáltico tiende a meteorizarse bajo un desagüe limitado en palagonita, mineral que se parece químicamente a la montmorillonita.

La naturaleza del alofano no ha sido establecida claramente, principalmente debido a la dificultad de separarla, químicamente pura. Según Egawa (18) las características encontradas para el alofano son bastante variables dependiendo de la contaminación con otros minerales, particularmente los minerales de arcilla. Aun si el material fraccionado como alofano es amorfo a los rayos-X, éste puede tener contaminación de otros materiales amorfos como ciertos óxidos hidratados de aluminio, hierro y silicio. Estos materiales amorfos pueden o no considerarse como alofano. Se hace obvio aquí que la definición del alofano es un interrogante. Algunos autores consideran que cualquier material amorfo es alofano; otros, que el alofano es uno de los materiales amorfos que se distingue por ser un coloide mineral, secundario, hidratado, amorfo a los rayos-X, con una relación Si/Al de 1 a 3 y una gran superficie activa (53).

La fuerte acción estabilizadora "buffer", del aluminio (12) es aparentemente responsable de la persistencia de los materiales amorfos y orgánicos y la larga duración de los andosoles. Con la pérdida del aluminio mediante una meteorización avanzada, el incremento de la relación Si/Al a valores mayores de 2 ó 3, el alofano se transforma en los minerales de arcillas. Los climas que permiten el humedecimiento y secamiento alternado de los suelos parece favorecer el proceso de cristalización (5). Hay consenso de opiniones en cuanto a que en su forma más simplificada, la meteorización del alofano sigue la secuencia haloisita, caolinita, gibsita y óxidos amorfos de hierro y aluminio (3, 5, 21, 25, 34, 44, 56). De allí que los andosoles evolucionan para formar suelos pardo forestales, latosoles y otros.

Colmet-Daage (13), trabajando con suelos derivados de cenizas volcánicas en Nicaragua, encontró mayor contenido de haloisita en los suelos aluvio-volcánicos y suelos volcánicos viejos, que en andosoles. El autor (37) ha encontrado en Panamá una predominancia de alofanos en andosoles profundos sobre cenizas del Plioceno (40). En los andosoles degradados o suelos aluvio-lacustro-volcánicos hay, además de alofano, caolinita, vermiculita y trazas de montmorillonita. También se encontró en un latosol (37, 38) 12 por ciento de alofano mediante el método de Jackson (30) lo cual explica en parte los altos contenidos de materia orgánica que comúnmente se encuentra en estos suelos. Se ha observado que algunos latosoles con un alto contenido de materia orgánica, hasta un 8 por ciento, poseen un color rojo marcado. Esto sugiere que el color de la materia orgánica es enmascarado por el color rojo de los óxidos de hierro libre o que la materia orgánica, sola o como parte de complejos organo-minerales, no produce en estos suelos colores muy oscuros, como en el caso de los andosoles.

Propiedades

En el Cuadro 1 se presentan algunas propiedades de 35 suelos volcánicos maduros, andosoles, de América Central.

El contenido promedio de alofano determinado por el valor "delta" de Jackson (30) para seis perfiles característicos fue de 23,7, 16,2 y 4,3 por ciento para los horizontes A, B y C, respectivamente. Como se puede ver, hubo una disminución en la profundidad, lo cual sugiere una menor meteorización de los vidrios volcánicos en los horizontes inferiores. Estos contenidos de alofano son relativamente altos si se expresan como porcentaje de la fracción activa. Las variaciones entre los valores mínimos y máximos fueron bastante altas para todos los horizontes, lo cual se debe en gran parte a diferencias en el material parental y su grado de alteración.

El contenido promedio de materia orgánica, determinada por digestión húmeda con ácido crómico (7) fue de 9,6, 3,1 y 0,1 por ciento para los horizontes A, B y C, respectivamente. Estos valores son relativamente bajos quizás porque el ácido no la pudo descomponer o porque muchos de los suelos están poco desarrollados y cubiertos de cenizas recientes. No obstante, se alcanzan valores hasta de 36 por ciento en el suelo y 10 por ciento en el subsuelo. Es sorprendente que el subsuelo, con colores tan claros, posea tanta materia orgánica. Por esta razón se asume que el estado químico de la materia orgánica en el suelo y en el subsuelo es diferente o que algún compuesto mineral está enmascarando el color de la materia orgánica. Los altos niveles de materia orgánica en andosoles representan una intrazonalidad impuesta por un material parental rico en vidrios volcánicos que producen el alofano, el cual fija la materia orgánica en tal forma, que es poco accesible a la acción de los microorganismos. No se está seguro si este bloqueo de los microorganismos es de carácter físico o químico, o ambos. Lo cierto es que hay muchos andosoles que han estado bajo cultivo por decenas de años y aún mantienen hasta 20 por ciento o más de materia orgánica, que es generalmente mucho mayor al contenido de los suelos adyacentes no derivados de cenizas volcánicas (26, 56, 63).

La gran cantidad de materia orgánica se debe también a la buena fertilidad y alta capacidad de retención de agua de estos suelos que produce mucho crecimiento vegetativo y al clima húmedo templado, bajo el cual abundan los andosoles, y que resulta en una descomposición orgánica lenta.

A.5.10

El alto contenido de materia orgánica reduce el pH y el punto isoeléctrico (34) y correlaciona bien con la alta capacidad de retención de agua (53) y de capacidad de intercambio catiónico (46, 49). La materia orgánica y alofano también producen en los andosoles densidades aparentes del orden de 0,5 g/cc o menor, cuando el volumen se toma con una humedad correspondiente a la capacidad de campo. Es preciso tener esto en cuenta al compilar los resultados analíticos en que se asume un peso de dos millones de kilogramos por hectárea, en una capa de suelo de 15 – 20 cm de espesor (capa arable). De lo contrario, los resultados para N, P, K y otros, serán dos o tres veces mayores que los valores reales y las recomendaciones de abonos tenderán a ser muy bajas.

Ciertos autores japoneses (29, 44) han encontrado que los actinomicetos y las bacterias anaeróbicas predominan en la microflora de los andosoles. Esto puede sugerir que aun cuando los suelos son porosos y bien drenados, sufren de pobre aeración. Las razones pueden ser un clima muy húmedo que mantiene el suelo cerca de la capacidad de campo y/o una capacidad de retención de agua tan alta que produce mala aereación dentro de las unidades estructurales con alta microporosidad. Es decir, que pueden existir dentro del suelo micro—ambientes muy diferentes en cuanto al grado de aereación. Esto explica, en parte, los altos niveles de materia orgánica.

El contenido de humedad en muestras de andosoles secados al aire fue de 11,1 por ciento (0,6 – 67,4), 14,6 por ciento (1,5 – 42,0) y 1,6 por ciento (0,8 – 3,4) para los horizontes A, B y C, respectivamente. Por esta razón, es imperativo expresar los resultados analíticos con base al peso del suelo secado al horno para reducir el error de computación.

El N—total promedio, determinado por el método semimicro Kjeldahl (7), fue de 0,42, 0,12 y 0,01 por ciento para los horizontes A, B y C, respectivamente. Estos son valores relativamente altos pero debido a la estabilidad de la materia orgánica, los andosoles tienen poco N disponible para los cultivos y, por lo tanto, responden bien a los abonos nitrogenados, especialmente en tierras a gran altitud (1500 m o más).

La relación C/N promedio fue de 14, 17 y 3 para los horizontes A, B y C, respectivamente. Contrariamente a muchos suelos no volcánicos, los andosoles muestran aquí una relación C/N mayor en el subsuelo que en el suelo. Esto puede deberse a la presencia de suelos enterrados o a la alta fijación de la materia orgánica por los materiales amorfos del subsuelo. Los altos valores para la relación C/N están generalmente asociados con niveles altos de materia orgánica poco descompuesta, debido a las constantes adiciones de nuevas reservas por una vegetación nativa exuberante, a su fijación por el alofano y a condiciones climáticas desfavorables para su mineralización.

La capacidad de intercambio catiónico total promedio, determinada con acetato de amonio pH 7,0 (7) fue de 35,6, 32,5 y 7,2 meq/100 g de suelo para los horizontes A, B y C, respectivamente. Se registró así una disminución con la profundidad, lo cual coincide con la disminución paralela en los contenidos de alofano y materia orgánica. La capacidad de cambio correlacionó bien con el contenido de materia orgánica ($r = 0,70^{**}$) y el contenido de limo más arcilla ($r = 0,70^{**}$). Esta alta capacidad de cambio se debe, como hemos visto, al alto contenido de alofano y materia orgánica y a veces algo de arcillas del tipo 2:1. Además, las determinaciones se hacen a pH 7,0 o mayor, que resultan en valores artificialmente altos, ya que la capacidad de cambio es altamente dependiente del pH (5, 25, 55). El pH nativo del suelo oscila entre 4,5 y 6,5, con predominancia alrededor del pH 5,0. Los japoneses han encontrado menor fijación del catión saturador, resultando en capacidades de cambio relativamente altas (34, 42). Una mayor retención del acetato puede dar también minerales mayores. Según Birrell y otros (6, 60) la determinación de la capacidad de cambio por la suma de bases, más acidez cambiante (H y Al) da valores más reales que por determinación directa donde se incluyen los errores debidos a variaciones en el pH, a la retención de cationes saturadores y a la pérdida de estos últimos en el lavado con alcohol.

La capacidad de cambio promedio de la materia mineral, después de sustraer la capacidad de cambio de la M. O. (% M. O. $\times 2$) fue de 17,0, 26,3 y 7,1 meq/100 g de suelo, para los horizontes A, B y C, respectivamente. La capacidad de cambio de la M. O. varía entre 150 y 250 meq. Las diferencias en capacidad de cambio entre los horizontes A y B tienen varios orígenes. Una razón puede ser, como ocurre en muchos casos, que el horizonte B corresponde a un suelo enterrado por una capa de ceniza fresca; o que la fracción mineral es más activa en el subsuelo debido a que está menos revestida de materia orgánica; otra, que la materia orgánica tenga menor capacidad de cambio a mayor profundidad. La mayor capacidad de cambio de la materia mineral en el subsuelo puede sugerir también que siempre hay algo de iluviación de la fracción activa del suelo. La capacidad de cambio de la materia mineral en el horizonte B es mayor aun cuando el contenido de alofano disminuye; esto sugiere que si hay iluviación no es tanto de alofano sino de minerales de arcilla cristalinos que se dispersan mejor en agua.

Al comparar la capacidad de cambio total del suelo con la de la fracción mineral, podemos determinar aproximadamente que 48, 81 y 99 por ciento de ésta se puede atribuir a la fracción mineral activa y 52, 19 y 1 por ciento se puede atribuir a la fracción orgánica activa en los horizontes A, B y C, respectivamente. Como se puede ver, la fracción orgánica contribuye significativamente a la capacidad de cambio de los horizontes A y B; de allí que ésta sea en gran parte dependiente del pH a que se realice la determinación en el laboratorio (5, 25). Por esta misma razón, la capacidad de cambio se reduce fuertemente cuando se destruye la materia orgánica con H_2O_2 .

A.5.11

El pH determinado en agua (relación suelo/líquido 1:1) fue de 4,6 – 7,3 - 5,2 – 7,2 y 6,8 – 7,8 para los horizontes A, B y C, respectivamente. Aun cuando aquí se registran variaciones considerables, la mayoría de los horizontes A y B tienen pHs que varían de 4,5 a 6,5. La acidez tiende a disminuir con la profundidad. El pH medido en CaCl_2 fue siempre menor por unos cuantos décimos, pero guardó una correlación altamente significativa con el pH medido en agua ($r = 0,89^{**}$).

Aparentemente, el pH de los andosoles está fuertemente estabilizado "buffer", alrededor del punto isoeléctrico, pH 5,0, debido a la presencia del alofano y otros compuestos amorfos de aluminio (5, 53, 56). De aquí que, tanto el pH como el porcentaje de saturación de bases sean indicadores poco confiables del requerimiento de cal de estos suelos (5), los cuales tienden a responder poco a las aplicaciones de cal, a menos que la acidez cambiante sea muy alta (5). Más aún, el encalado puede causar deficiencias, especialmente de algunos elementos menores, debido a las grandes cantidades necesarias para corregir un pH tan fuertemente estabilizado.

El pH del suelo depende grandemente de la precipitación pluvial ($r = -0,57^{**}$). De allí que a medida que ésta aumenta con la elevación del terreno, el pH tiende a disminuir. La abundancia de las lluvias en las áreas con andosoles contribuye, sin duda, a la alta acidez de estos suelos. Según Birrell (5) el pH es afectado también por la mineralogía del suelo, siendo de débil a fuertemente ácido cuando predomina el alofano y casi neutro cuando abunda la palagonita o la montmorillonita.

El porcentaje de saturación de bases varió de 44 a 42 y 79 por ciento para los horizontes A, B y C, respectivamente. La disminución de saturación de bases en el horizonte B se debió principalmente a un menor contenido de calcio. Aun cuando el contenido de bases disminuyó, la saturación del horizonte C aumentó debido a una baja capacidad de cambio. La saturación de bases y la precipitación pluvial dieron una correlación negativa lineal altamente significativa ($r = -0,72^{**}$). En algunos casos, la saturación de bases fue también muy baja para el pH obtenido. Este fenómeno ha sido notado por muchos otros investigadores (5, 25, 44, 63, 56, 63). Aparentemente, esto se debe a una alta capacidad de cambio que resulta cuando ésta se determina a pH alto (7,0 o mayor) dando una saturación de bases artificialmente baja. Por el contrario, los valores de pH tienden a mantenerse relativamente altos debido a la alta capacidad amortiguadora de la fracción activa de los andosoles. Sin embargo, la correlación entre el pH y la saturación de bases fue alta ($r = 0,69^{**}$). La saturación de bases y la materia orgánica dieron también una correlación negativa altamente significativa ($r = -0,52^{**}$) debido a que esta última resulta en una mayor capacidad de cambio catiónico.

El contenido promedio de calcio extraído con acetato de amonio pH 7,0 (7) fue de 9,9, 7,4 y 3,6 meq/100 g de suelo para los horizontes A, B y C, respectivamente. Este fue el catión más abundante. El contenido promedio de magnesio extraído con acetato de amonio pH 7,0 (7) fue de 2,0, 2,2 y 1,2 meq/100 g de suelo para los horizontes A, B y C, respectivamente. Estos niveles de calcio y magnesio, como el pH fuertemente estabilizado, explican en gran parte por qué los andosoles tienden a no responder al encalado en América Central.

El contenido promedio de potasio extraído con acetato de amonio pH 7,0 (7) fue de 1,6 1,8 y 0,9 meq/100 g de suelo para los horizontes A, B y C, respectivamente. Estos niveles son adecuados para los requerimientos de varias cosechas, de ahí que los suelos tienden a no responder o responden negativamente al abonamiento potásico.

Las fuertes variaciones en el contenido de calcio, magnesio y potasio se debieron principalmente a diferencias en material parental y precipitación pluvial.

Los resultados para los diferentes horizontes muestran que el potasio y magnesio se lixivian más rápidamente que el calcio; de allí que las relaciones Ca/Mg, Ca/K y Ca+Mg/K tienden a ser más bajas en los horizontes inferiores. Esta baja relación entre cationes bivalentes y cationes monovalentes puede ser otra explicación de la falta de respuesta a los abonos potásicos.

El contenido promedio de aluminio extraído con acetato de amonio pH 4,8 (7) fue de 4,8, 3,6 y 1,7 meq/100 g de suelo para los horizontes A, B y C, respectivamente. El contenido de aluminio disminuyó con la profundidad, tal como ocurrió para el alofano y la capacidad de cambio y correlacionó bien con el contenido de materia orgánica ($r = 0,64^{**}$) y la capacidad de cambio ($r = 0,72^{**}$). Esto sugiere que un aumento en el contenido de aluminio resulta en mayor fijación de materia orgánica y, por consiguiente, en una capacidad de cambio más alta.

El contenido de hierro libre promedio, extraído con ditionito de sodio (30), fue de 2,1, 2,6 y 0,5 por ciento para los horizontes A, B y C, respectivamente. Esta disminución con la profundidad es muestra de una menor meteorización en los horizontes inferiores, asumiendo un material parental uniforme.

El contenido promedio de fósforo extraído con la solución Bray-1 (50) fue de 6,0, 1,3 y 2,4 ppm para los horizontes A, B y C, respectivamente. Estos niveles bajos de fósforo disponible se deben a que la mayor parte ocurre en forma fijada, especialmente como fosfatos de aluminio (19, 25, 34, 55) y son responsables de que los andosoles respondan bien al abonamiento fosfatado.

Cuanto más bajo el pH y mayor la acidez cambiante, mayor la capacidad del suelo para fijar los fosfatos. Los suelos volcánicos maduros tienden a fijar más fósforo que los volcánicos jóvenes (17), volcánicos viejos (19), latosoles y suelos aluviales (19). Aparentemente, en suelos no abonados es preciso aplicar grandes cantidades de fosfatos a fin de suplir los requisitos de fijación del suelo y quede un excedente lo suficientemente alto para lograr un incremento en las cosechas (5). Según Taylor (56), una cantidad considerable de los abonos fosfatados, potásicos y cálcicos, entran en la formación de nuevos minerales en el suelo; por ejemplo, la transformación de alofano a taranakita en presencia de fósforo y potasio y a crandalita en presencia de fósforo y cal.

La fijación de fosfatos puede reducirse mediante la aplicación de materia orgánica (8, 34, 56) para revestir las partículas de alofano y/o de aluminio amorfo, disminuyendo así la superficie activa. También se ha notado que algunos silicatos reducen la fijación compitiendo con el fósforo por los sitios de fijación y reduciendo la actividad del aluminio (1, 5, 20, 33, 56). Esto es quizás más efectivo que la aplicación de cal, ya que es difícil reducir un pH tan fuertemente estabilizado (43). Aparentemente, la aplicación en banda o la aplicación de fosfatos poco solubles (no solubles o solubles en citrato) reduce la superficie de contacto y disminuye también la fijación de los fosfatos (9, 34).

En el Cuadro 2 se presentan algunas propiedades de siete suelos volcánicos jóvenes, regosoles sobre cenizas.

Al comparar estos resultados con los de los andosoles (Cuadro 1) se observan las mismas tendencias. Sin embargo, los valores en el horizonte A de los suelos volcánicos jóvenes, son menores para todas las propiedades exceptuando la saturación de bases que aumentó debido a una menor meteorización que se refleja en un mayor o igual contenido de bases y una capacidad de cambio menor. El contenido de fósforo disponible también aumentó debido a la disminución del aluminio y hierro. Contrariamente, en el horizonte C, los valores de varias propiedades tendieron a aumentar quizás por la influencia más directa del horizonte A.

En estos regosoles se determinó también el contenido de alofano con un método rápido, semicuantitativo, de Fieldes y Perrott (22). Los resultados fueron menores a los de los andosoles. Los valores de alofano fueron divididos en cuatro categorías: nada = 0; bajo = 1; medio = 2; y alto = 3.

En el Cuadro 3 se presentan algunas propiedades de 30 suelos volcánicos viejos, comúnmente denominados, en América Central, como "latosoles". Al comparar estos resultados con los de los andosoles (Cuadro 1) se registran más o menos las tendencias, con la diferencia de que, mientras en los andosoles las bases aumentan y el aluminio disminuye, con la profundidad, en los suelos volcánicos viejos ocurre lo contrario. Tanto en el horizonte A como B de los suelos volcánicos viejos, los valores para capacidad de cambio, magnesio, para las relaciones Ca/K, Mg/K y Ca+Mg/K y el hierro libre, son mayores que en los andosoles. La mayor capacidad de cambio indica que estos suelos no son tan meteorizados y ciertamente que gran parte no se deben clasificar como latosoles. Posiblemente, la disminución en el contenido de materia orgánica resulta en menores cantidades del complejo órgano-mineral o la fracción mineral activa está menos revestida de materia orgánica y, por consiguiente, la capacidad de cambio tiende a aumentar. La presencia de arcillas 2:1 puede contribuir también. El aumento en las relaciones de cationes bivalentes a monovalentes muestra que el potasio se lixivia más rápidamente, asumiendo que el material parental es similar. Esto explica por qué los suelos volcánicos viejos responden mejor al abonamiento potásico que los andosoles (35, 36).

El contenido de alofano por el método rápido de Fieldes y Perrott (22) fue menor que el de los otros suelos volcánicos.

En el Cuadro 4 también se comparan las propiedades de algunos andosoles derivados de cenizas claras y cenizas oscuras. En general, no hubo grandes diferencias; sin embargo, los valores de materia orgánica, N-total, capacidad de cambio, pH, calcio, relaciones Ca/Mg, Ca/K, Mg/K, Ca+Mg/K, aluminio extraíble, óxidos libres de hierro y fósforo solubles, fueron mayores para los suelos sobre cenizas oscuras. En el caso de los subsuelos, se observaron las mismas tendencias generales.

Los resultados analíticos del horizonte A, para todos los suelos volcánicos, fueron correlacionados con la elevación (Gráfico 1), teniendo en cuenta que a medida que aumenta la altitud, en América Central, aumenta también la precipitación pluvial y disminuyen las temperaturas.

Las correlaciones muestran que a medida que la elevación aumenta:

1. El contenido de materia orgánica aumenta de 5 por ciento a 200 m hasta 25 por ciento a 2000 m y luego disminuye al 10 por ciento a 3000 m debido a un crecimiento vegetativo limitado a mayores alturas.

2. La capacidad de cambio disminuye de 35 meq/100 g a 200 m hasta 20 meq a 800 m, aumenta a 70 meq a los 2000 m y disminuye nuevamente a 50 meq a los 3000 m.
3. El porcentaje de saturación de bases disminuye de 60 a 200 m hasta 10 a 2000 m y luego aumenta a 40 a los 3000 m debido a una meteorización menos activa, como resultado de las bajas temperaturas.
4. El pH (H₂O) disminuye similarmente a la saturación de bases de 6,5 a 200 m hasta 5,5 a 2000 m y luego aumenta a 6,5 a los 3000 m.
5. El contenido de aluminio extraíble hace lo opuesto al pH y porcentaje de saturación de bases. Aumenta de 1 meq/100 g a 200 m hasta 15 meq a 2000 m y luego disminuye a 4 meq a los 3000 m.

Se realizaron ensayos con macetas en el invernadero, utilizando la técnica del elemento faltante y tomate como planta indicadora para 15 suelos y 15 subsuelos de andosoles. Los resultados se resumen en el Cuadro 5. En los suelos, las deficiencias para los diferentes nutrimentos fueron: 79 por ciento para N, 93 por ciento para P, 14 por ciento para K, 36 por ciento para Ca, 0 por ciento para Mg, 21 por ciento para S y 14 por ciento para los elementos menores en conjunto. Para los subsuelos las deficiencias fueron: 100 por ciento para N, 100 por ciento para P, 23 por ciento para K, 46 por ciento para Ca, 38 por ciento para Mg, 23 por ciento para S y 54 por ciento para los elementos menores. Los subsuelos fueron más deficientes en nutrimentos y, por lo general, produjeron menos que el suelo. En un 30 por ciento de los casos se obtuvo un efecto negativo de la aplicación de K, Ca, Mg y S.

De estos resultados de invernadero se deduce —y los trabajos de campo así lo confirman— que los andosoles responden bien, bajo condiciones de campo y para cultivos anuales, a las aplicaciones de N y P. Bajo un cultivo intensivo o para cultivos perennes, también es necesario aplicar otros elementos, especialmente azufre y ciertos elementos menores, como boro y zinc.

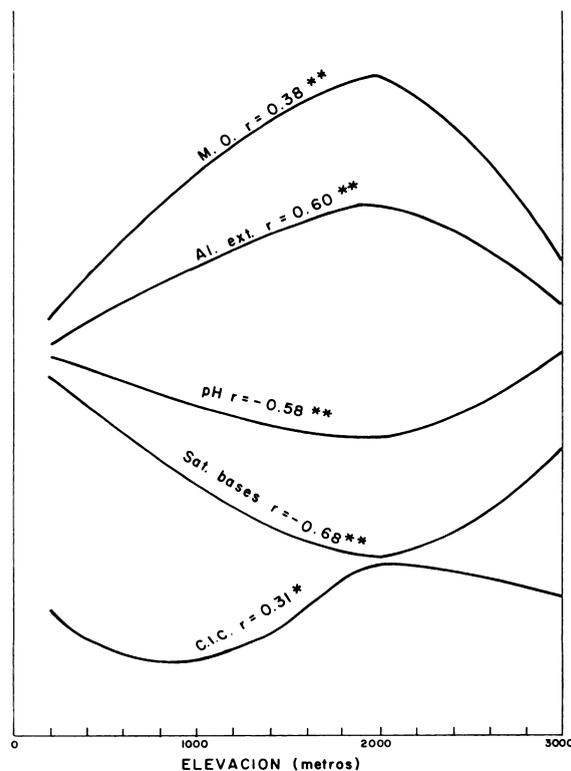


GRAFICO 1. Relación entre la elevación del sitio y algunas propiedades del suelo

BIBLIOGRAFIA

1. BECKWITH, R. S. and R. REEVE. 1963. Studies on soluble silica in soils. I. The absorption of silic acid by soils and minerals. *Australia Journal of Soil Research* 1:157–168.
2. BESOAIN, E. 1955. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *Agric. Técnica* XVIII(2):110–165. Santiago, Chile.
3. BESOAIN, E. 1964. Volcanic ash soils of Chile. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14*, FAO, Rome, 1965. pp. 92–93.
4. BIRRELL, K. S. 1961. Ion fixation by allophane. *New Zealand Jour. Sci.* 4:393–404.
5. BIRRELL, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14*, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 74–81.
6. BIRRELL, K. S. y M. GRADWELL. 1956. Ion exchange phenomena in some soils containing amorphous mineral constituents. *Jour. Soil Sci.* 7:130–147.
7. BLACK, C. A. 1965. Methods of soil analysis. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin. pp. 1372–1376.
8. BORNEMISZA, E. 1966. El fósforo orgánico en suelos tropicales. *Turrialba* 16:38, IICA, Turrialba, Costa Rica.
9. BOULDIN, D. R. 'et al'. 1960. Interaction between dicalcium and monoammonium phosphates granulated together. *Ag. and Food. Chem.* 8:470.
10. BOWEN, N. L. 1956. The evolution of the igneous rocks. Dover Publications, New York, U.S.A.
11. BUDOWSKI, G. 1965. The choice and classification of natural habitats in needs of preservation in Central America. *Turrialba* 15:238–246, IICA, Turrialba, Costa Rica.
12. COLEMAN, N. T. y W. T. GRANT. 1967. The basic chemistry of soil acidity. In Pearson, R. W. ed. *Soil acidity and liming*. American Society of Agronomy No. 12, Madison, Wisconsin, U.S.A. p. 1–41.
13. COLMET–DAAGE, F. 'et al'. 1968. Caracteristiques de quelques sols derives de cendres volcaniques de la cote pacifique du Nicaragua. ORSTOM des Antilles. Trabajo mimeografiado. 69 p.
14. DARRAH, W. C. 1945. A geological sketch of Central America and the Antilles. In Verdoon, Frans, ed. *Plants and plant science in Latin America*. Waltham, Chronica Botanica Co. 153–156.
15. DONDOLI, C. y J. A. TORRES. 1954. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. Ministerio de Agricultura, San José, Costa Rica.
16. DUDAL, R. 1964. Correlation of soils derived from volcanic ash. Report on the Meeting on Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14*, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 134–138.
17. DURING, C. 1964. The amelioration of volcanic ash soils in New Zealand. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 129–133.
18. EGAWA, T. 1964. Mineralogical properties of volcanic ash soils in Japan. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, Japan. FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 89–91.
19. FASSBENDER, H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rican soils. *Agrochimica (Italia)* XII:512–521.

20. FASSBENDER, H. W. y L. MULLER. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicaciones de metasilicato de sodio. *Turrialba* 17:371–375, IICA, Turrialba, Costa Rica.
21. FIELDES, M. 1955. Clay mineralogy of New Zealand soils. Pt. 2. Allophane and related mineral colloids. *N. Z. J. Sci., Tech., B.* 37:336–350.
22. FIELDES, M. y K. W. PERROTT. 1966. The nature of allophane in soils. Part 3. Rapid field and laboratory test for allophane. *N. Z. Jour. Sci.* 9:623–629.
23. FIELDES, M. y R. K. SCHOFIELD. 1960. Mechanism of ion absorption by inorganic soil colloids. *N. Z. Jour. Sci.* 3:563–579.
24. FIELDES, M. y L. D. SWINDALE. 1954. Chemical weathering of silicates in soil formation. *N. Z. Jour. Sci. Tech. B.* 36:140–154.
25. FLACH, K. 1964. Genesis and morphology of ash derived soils in the United States of America. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14.* FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 61–70.
26. FLACH, K. 1964. The classification of ash derived soils in the United States of America. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14.* FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 111–114.
27. GLINKA, K. D. 1963. Treatise on soil science. Transl. A. Gourevitch. Published for The National Science Foundation and USDA by the Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem. 674 p.
28. HOLDRIDGE, L. R. 1957. The vegetation of main land Middle America. *Proc. 8th Pacific Sci. Congr.* 4:148–161.
29. ISHIZAWA, S. 1964. Microbiology of volcanic ash soils in Japan. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14,* FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 87–88.
30. JACKSON, M. L. 1956. Soil chemical analysis, Advanced course. Published by the author. University of Wisconsin, Madison, Wisconsin. U. S. A. 991 p.
31. KANNO, I. 1961. Genesis and classification of main genetic soil types in Japan. I. Introduction of humic allophane soils. *Bull Kyshu Agr. Exp. Sta.* VII:1–185.
32. KELLOGG, C. E. 1949. Preliminary suggestion for the classification and nomenclature for great soil groups in tropical and equatorial regions. *Comm. Bur. Soil Sci. Tech. Comm.* 46:76–85.
33. KHAN, D. H. y A. C. ROY. 1964. Growth, P–uptake and fiber cell dimensions of jute plants as affected by silicates treatment. *Plant and Soil* 20:331–336.
34. KOBO, K. 1964. Properties of volcanic ash soils. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. *World Soil Resources Report No. 14,* FAO, Rome, Italy, 1965. pp. 71–73.
35. MARTINI, J. A. 1966. Caracterización del estado de potasio en seis suelos de Panamá. *Fitotecnia Latinoamericana* 3:163–186.
36. MARTINI, J. A. 1967. Principales grandes grupos de suelos de América Central y México. *Fitotecnia Latinoamericana* 4:57–79.
37. MARTINI, J. A. 1969. Mineralogía de las arcillas, limos y arenas en seis suelos de Panamá. *Turrialba* 19:199–207.
38. MARTINI, J. A. 1969. Allocation of cation exchange capacity to soil fractions in seven surface soils from Panama and the application of a cation exchange factor as a weathering index. *Soil Science* (submitted).

39. MATHEWS, E. O. y L. E. GUZMAN. 1955. The soils and agriculture of the Llanos de Cocle. SICAP, Ministry of Agriculture, Panama.
40. MATHEWS, E. O., L. E. GUZMAN y E. D. HANSEN. 1960. Clasificación agrológica, capacidad de las tierras y agricultura del suroeste de la provincia de Chiriquí. SICAP, Ministerio de Agricultura, Panamá.
41. MIKENBERG, N. 1966. Informe al gobierno de Nicaragua sobre "Génesis, clasificación y levantamiento cartográfico de los suelos de Nicaragua". Informe No. 2021, FAO, Roma, Italia.
42. MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY, JAPAN. 1964. Volcanic ash soils in Japan. 211 p.
43. MONTEITH, N. H. y G. D. SHERMAN. 1963. The comparative effect of calcium carbonate and of calcium silicate on the yield of Sudan grass grown in a ferruginous latosol and a hydrol latosol. Tech. Bull. Hawaiian Exp. Sta. No. 53. 40 p.
44. OHMASA, M. 1964. Scope of volcanic ash soils; their extent and distribution. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 7–8.
45. OYAMA, M. 1964. Soil survey and soil classification in Japan. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14. FAO, Rome, Italia. 1965. pp. 94–100.
46. POPENOE, H. 1959. The influence of the shifting cultivation cycle on soil properties in Central America. Proc. 9th Pacific Sci. Congr. 7:72–77.
47. RICHIE, T. E. 1951. Reconnaissance soil survey of Japan. Natural Resources Section Report 110–1, Tokyo, Japan.
48. RICO, M. 1964. Report on soils of volcanic ash origin in El Salvador. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 23–29.
49. RIOS, V., J. A. MARTINI y R. TEJEIRA. 1968. Efecto del encalado sobre la acidez y el contenido de aluminio y hierro extraíble en nueve suelos de Panamá. Turrialba 18:139–146, IICA, Turrialba, Costa Rica.
50. SAIZ DEL RIO, F. y E. BORNEMISZA. 1961. Análisis químico de suelos. Turrialba, Costa Rica, IICA. 107 p.
51. SIMMONS, C. S., J. M. TARANO y J. H. PINTO. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Ministerio de Agricultura, Guatemala.
52. SOIL SURVEY STAFF. 1960. Soil Classification, a Comprehensive System. 7th Approximation. USDA. 265 p.
53. SWINDALE, L. D. 1964. The properties of soils derived from volcanic ash. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 82–86.
54. SWINDALE, L. D. y D. SHERMAN. 1964. Hawaiian soils from volcanic ash. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy, 1965. pp. 36–49.
55. TAN, K. H. 1964. The andosols in Indonesia. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 30–35.
56. TAYLOR, N. 1964. The classification of ash derived soils in New Zealand. Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan. World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy, 1965. pp. 101–110.
57. TERRY, ROBERT A. 1956. A geological reconnaissance of Panama. Occasional Papers No. XXIII, California Academy of Sciences. 91 p.

58. THORPE, J. y G. D. SMITH. 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great soil. *Soil Sci.* 67:117–126.
59. UEHARA, G., K. W. FLACH y G. D. SHERMAN. 1962. Genesis and micromorphology of certain soils structural types in Hawaiian latosol and their significance in agricultural practice. *Transl. Joint Meeting Comm. IV and V. Intern. Soc. Soil Sci., New Zealand.* pp. 264–269.
60. WADA, K. y H. ATAKA. 1958. The ion uptake mechanism of allophane. *Soil and Plant Food* 4:12–18.
61. WEYL, R. 1961. *Die Geologie Mittelamerikas*, gebrüden Borntraeger, Berline, Nikolassee, Germany. 226 p.
62. WHITMORE, F. C. y R. H. STEWART. 1965. Miocene mammals and Central American seaways. *Science* 148:180–185.
63. WRIGHT, A. C. S. 1964. The “andosols” or “humic allophane” soils of South America. *Report on the Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan.* World Soil Resources Report No. 14, FAO, Rome, Italy. 1965. pp. 9–22.

CUADRO 1. Propiedades de algunos suelos volcánicos maduros, andosoles*

Propiedades	Horizontes								
	Min.	A Max.	Prom.	Min.	B Max.	Prom.	Min.	C Max.	Prom.
Alofano (%)	7.8	57.3	23.7	2.2	27.3	16.2	1.2	7.4	4.3
M. O. (%)	1.3	35.6	9.6	0.3	10.2	3.1	0.0	0.3	0.1
N total (%)	0.02	1.78	0.42	0.01	0.44	0.12	0.0	0.30	0.01
C/N	9	30	14	4	48	17	0	12	3
CIC total (meq/100 g) (%)	2.3	88.1	35.6	6.6	64.0	32.5	4.4	10.3	7.2
CIC mm (meq/100 g)	0.0	54.2	17.0	4.7	62.2	26.3	4.4	9.7	7.1
pH(H ₂ O)	4.6	7.3	—	5.2	7.2	—	6.8	7.8	—
pH(CaCl ₂)	4.2	6.8	—	4.7	6.2	—	5.7	7.1	—
Sat. bases (%)	1	86	44	2	86	42	62	99	79
Ca (meq/100 g)	0.1	26.0	9.9	0.2	29.2	7.4	1.6	5.7	3.6
Mg (meq/100 g)	0.1	8.9	2.0	0.1	11.3	2.2	0.8	1.6	1.2
K (meq/100 g)	0.1	5.4	1.6	0.3	3.5	1.8	0.3	2.0	0.9
Ca/Mg	1.0	13.2	5.2	0.9	8.1	3.6	1.5	6.2	3.5
Ca/K	0.3	44.2	9.6	0.1	26.6	6.6	2.1	7.1	5.3
Mg/K	0.1	6.9	1.8	0.1	10.3	2.0	0.5	4.3	2.2
Ca + Mg/K	0.3	51.1	11.4	0.1	36.8	8.6	2.8	11.2	7.5
Al (meq/100 g)	0.2	25.1	4.8	0.3	13.1	3.6	0.3	7.8	1.7
Fe ₂ O ₃ libre (%)	0.3	5.0	2.1	0.7	6.1	2.6	0.3	0.7	0.5
Fósforo (ppm)	0.2	47.1	6.0	0.1	6.3	1.3	0.8	3.8	2.4

* Los resultados son el promedio de 35 perfiles, con excepción del alofano que se hizo solamente para seis perfiles característicos. Estos resultados provinieron en su mayoría de la tesis de grado del Ing. Julio A. Palencia, estudiante del autor en el IICA, Turrialba, Costa Rica.

CUADRO 2. Propiedades de algunos suelos volcánicos jóvenes, regosoles*

Propiedades	Horizontes					
	Min.	A Max.	Prom.	Min.	C Max.	Prom.
M. O. (%)	3.7	13.3	7.4	0.3	0.9	0.5
N-total (%)	0.17	0.49	0.31	0.01	0.05	0.02
C/N	11	17	14	8	21	12
CIC total (meq/100 g)	9.8	22.7	16.3	7.9	14.7	11.8
CIC mm (meq/100 g)	0	8.5	4.6	7.3	12.9	10.9
pH(H ₂ O)	5.9	7.0	—	6.2	6.6	—
pH(CaCl ₂)	5.3	5.9	—	5.5	5.8	—
Sat. bases (%)	26	79	57	35	83	65
Ca (meq/100 g)	1.9	10.1	6.7	1.5	8.1	5.2
Mg (meq/100 g)	0.4	1.8	1.4	0.4	1.4	1.1
K (meq/100 g)	0.2	2.4	1.3	0.8	2.2	1.6
Ca/Mg	3.9	7.0	5.0	3.3	6.3	4.7
Ca/K	3.1	18.6	8.0	1.9	4.5	3.1
Mg/K	0.6	3.9	1.7	0.5	0.8	0.6
Ca + Mg/K	3.9	22.5	9.6	2.4	5.2	3.7
Al (meq/100 g)	0.5	3.3	1.5	0.5	0.7	0.5
Fe ₂ O ₃ libre (%)	0.4	1.3	0.7	0.3	0.5	0.4
Fósforo (ppm)	1.8	19.3	9.2	0.9	2.3	1.4
Alofano	0	3	1.6	1	2	1.4

* Los resultados son el promedio de siete perfiles y provienen en su mayoría de la tesis de grado del Ing. Julio A. Palencia, estudiante del autor en el IICA, Turrialba, Costa Rica.

CUADRO 3. Propiedades de algunos suelos volcánicos viejos*

Propiedades	Horizontes					
	Min.	A Max.	Prom.	Min.	B Max.	Prom.
M. O. (%)	2.3	8.8	5.3	0.4	4.2	1.6
N total (%)	0.12	0.49	0.30	0.01	0.15	0.08
C/N	6	14	11	5	35	12
CIC total (meq/100 g)	15.7	58.9	37.5	23.1	68.3	39.0
CIC mm (meq/100 g)	9.8	49.9	26.9	21.9	64.7	35.8
pH(H ₂ O)	4.5	6.5	—	4.4	6.2	—
pH(CaCl ₂)	3.5	5.7	—	3.3	5.5	—
Sat. bases (%)	9	63	32	3	57	23
Ca (meq/100g)	1.8	21.0	8.0	0.5	22.0	6.4
Mg (meq/100 g)	0.6	13.3	4.2	0.1	16.5	3.7
K (meq/100 g)	0.1	3.7	1.1	0.1	1.1	0.4
Ca/Mg	0.9	5.0	2.2	0.8	16.3	2.9
Ca/K	2.8	102.9	12.9	1.4	92.0	24.5
Mg/K	1.3	44.2	6.4	0.2	56.7	13.3
Ca + Mg/K	4.1	147.5	19.2	1.6	144.5	40.4
Al (meq/100 g)	0.1	8.3	1.4	0.1	12.5	2.2
Fe ₂ O ₃ libre (%)	1.7	5.7	3.8	2.5	5.4	3.9
Fósforo (ppm)	0.2	3.9	1.2	0.1	1.6	0.3
Alofano	0	3	1.7	0	3	2.0

* Los resultados son el promedio de 30 perfiles y provienen en su mayoría de la tesis de grado del Ing. L. R. Jaramillo, estudiante del autor en el IICA, Turrialba, Costa Rica.

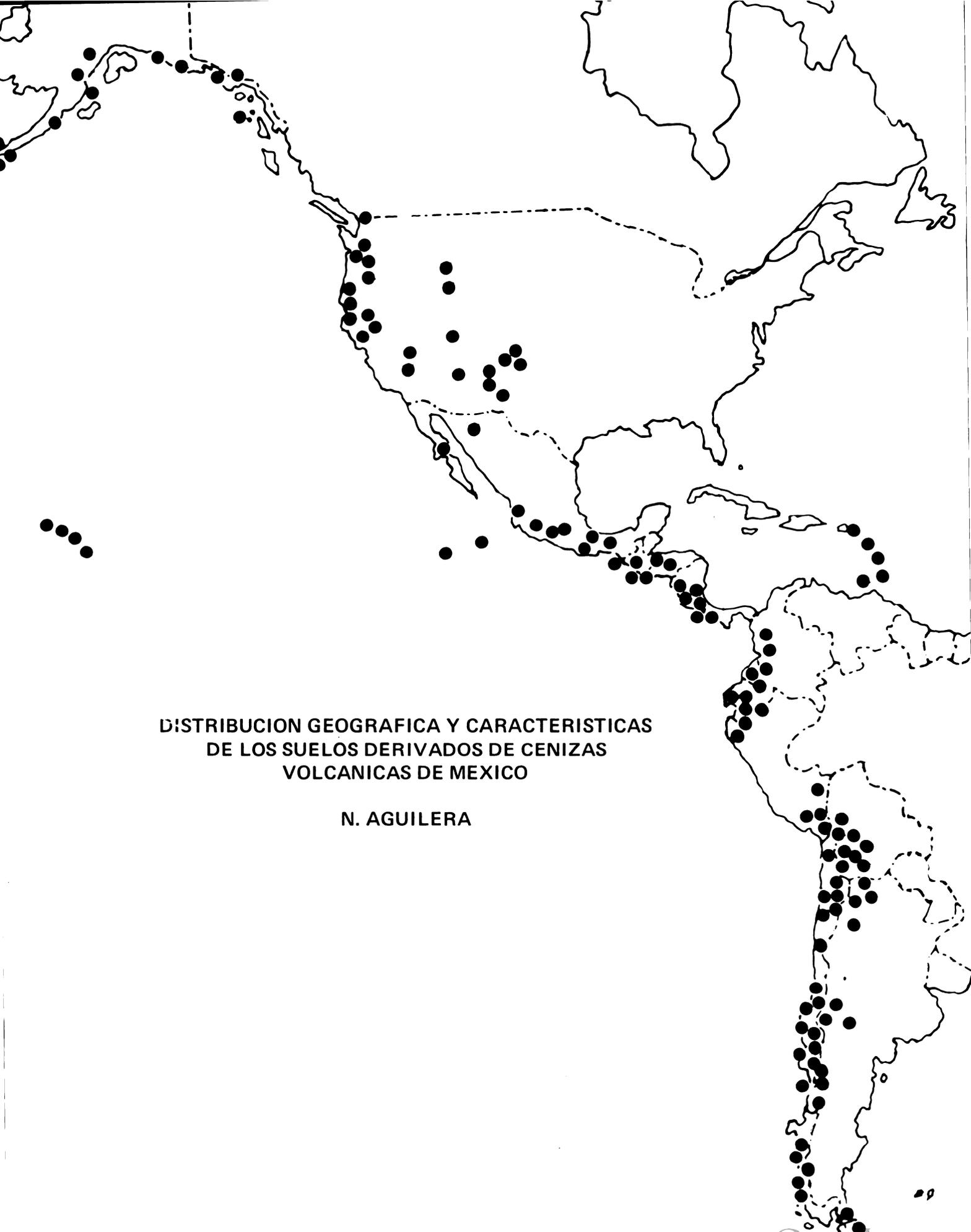
CUADRO 4. Propiedades de algunos andosoles sobre cenizas claras y cenizas oscuras*

Propiedades	Suelos Cenizas		Subsuelos Cenizas	
	Claras	Oscuras	Claras	Oscuras
M. O. (%)	5.3	8.7	1.0	0.9
V-total (%)	0.22	0.35	0.05	0.05
C/N	14	14	11	18
CIC total (meq/100 g)	23.1	25.6	18.9	30.8
CIC mm (meq/100 g)	12.5	11.7	16.9	29.0
pH(H ₂ O)	5.9–6.4	6.3–7.0	5.9–6.3	6.4–7.2
Sat. bases (%)	61	54	65	52
Ca (meq/100 g)	9.2	10.4	6.9	10.3
Mg (meq/100 g)	2.4	2.0	2.5	3.0
K (Meq/100 g)	2.2	0.9	2.1	2.5
Ca/Mg	4.2	6.1	3.9	3.8
Ca/K	4.2	16.5	3.4	4.6
Mg/K	1.1	2.8	1.1	1.2
Ca + Mg/K	5.3	19.3	4.5	5.8
Al (meq/100 g)	0.7	2.4	0.5	1.8
Fe ₂ O ₃ (%)	1.6	1.8	0.9	2.4
P (ppm)	6.7	11.1	1.3	1.3

* Los resultados son el promedio de cinco andosoles sobre cenizas claras y cinco andosoles sobre cenizas oscuras. Estos resultados provienen de la tesis de grado del Ing. Julio A. Palencia, estudiante del autor en el IICA, Turrialba, Costa Rica.

CUADRO 5. Porcentaje de suelos y subsuelos deficientes en diferentes nutrientes

	Nutrientos						E.M.
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Suelos	79	93	14	36	0	21	14
Subsuelos	100	100	23	46	38	23	54



**DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS
DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS DE MEXICO**

N. AGUILERA

DISTRIBUCION GEOGRAFICA Y CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE MEXICO

Nicolas Aguilera Herrera*

INTRODUCCION

La fisiografía de México nos indica que es un país rico en aparatos volcánicos. Los volcanes por la espectacularidad de su formación y significación en la historia de la tierra, han sido estudiados por geógrafos, geólogos, geofísicos, geoquímicos y recientemente por pedólogos. En efecto, hay que recordar las descripciones de una erupción del Vesubio por el naturalista romano Plinio el Joven, en el año 79 A.C. que costó la vida a miles de seres y sepultó para siempre a las ciudades de Pompeya y Herculano. Durante siglos se han acumulado observaciones sobre la actividad volcánica en el mundo; al descubrirse el Continente Americano, se agregó una inmensa extensión de tierra cuya orilla occidental puede considerarse sometida a sus efectos, desde Alaska hasta la Tierra del Fuego.

Las regiones con suelos derivados de cenizas volcánicas y materiales ígneos en México cubren aproximadamente una cuarta parte de los 1,963,000 km² de la superficie total del país.

Por la posición geográfica de México, los suelos derivados de cenizas volcánicas se localizan en climas fríos, templados, semiáridos, áridos, tropicales y del trópico húmedo. El país está atravesado, casi en su totalidad, por la Sierra Madre Occidental por el lado del Océano Pacífico, la Sierra Madre Oriental por el lado del Golfo de México, al sur por la Sierra Madre del Sur y en la parte septentrional por el eje transversal de Anáhuac. Este eje está formado por una serie de volcanes que se levantan desde las costas del Océano Pacífico y terminan en las costas del Golfo de México. Los volcanes más importantes por su tamaño son: el Nevado de Colima 4,304 m.s.n.m.; Tancitaro 3,400 m.s.n.m.; Nevado de Toluca 4,558 m.s.n.m.; Ajusco 3,952 m.s.n.m.; Popocatepetl 5,452 m.s.n.m.; Iztaccihuatl 5,286 m.s.n.m.; La Malinche 4,960 m.s.n.m.; Citlaltepetl 5,757 m.s.n.m.; (Cuadro 1)

En general, la mayoría de los fenómenos vulcanológicos de México, incluyéndose diversas series de rocas volcánicas, aparecieron desde el Eoceno, con varias épocas críticas que coincidieron con importantes manifestaciones tectónicas.

El volcanismo del terciario ha tenido una evolución compleja, esquematizada inicialmente por el proceso de "propilitización" con rocas extrusivas desde variedades riolíticas con sus derivados pumíticos, hasta los basaltos durante el terciario. La Paleovolcanología del cinturón volcánico transmexicano indica que empezó en el terciario medio y, posteriormente, en el plioceno aparecieron los volcanes andesíticos como se observa en la Sierra de las Cruces y la Sierra Nevada. Durante el terciario y cuaternario se desarrollaron los alineamientos del sur, formándose la sierra basáltica del Chichinautzin, los volcanes del Iztaccihuatl y el Popocatepetl. Recientemente, en febrero de 1943, nació el volcán Parícutín en suelos que se preparaban para cultivar maíz.

MEDIO AMBIENTE

Los suelos derivados de cenizas volcánicas se localizan desde el nivel del mar en la región de los Tuxtlas, hasta los 5,747 m.s.n.m. Las temperaturas medias anuales van de 7°C hasta 27°C; las lluvias medias anuales varían de 50 a 4,500 mm.

En las partes altas de los volcanes aumenta la lluvia de 200 a 2,000 mm y en las partes más bajas, las lluvias pueden ser del orden de 200 a 500 mm. Arriba de los 4,100 m empiezan las nieves perpetuas como se observa en el Nevado de Colima, el Popocatepetl, Iztaccihuatl y el Citlaltepetl o Pico de Orizaba.

La vegetación que se desarrolla en estos suelos es de cactáceas: Opuntia spp, Agaves spp, Yuca spp, Gramíneas, Bromus spp, Muhlenbergia spp, Festuca spp y Agrostis spp; Coníferas, Abies religiosa, Abies concolor, Pinus radiata, P. oaxacana, P. leiophylla, P. hartwegii, P. michoacana, P. montezumae, P. ayacahuite, P. lumholtzii, Quercus spp y Salix spp. La vegetación que forma parte de los cultivos básicos y que se desarrolla en los suelos de origen magmático son: maíz, trigo, cebada, frijol, alfalfa, chile, patata, hortalizas, café, cacao, papaya, piña, mango, aguacate, cítricos, plantas medicinales como la Dioscoreas spp y hongos alucinantes.

Por lo anterior, podemos notar que las regiones con suelos derivados de cenizas volcánicas, según su posición geográfica, constituyen un recurso natural de interés económico. Recientemente en México se están desarrollando investigaciones para aprovechar los geysers naturales y artificiales y las aguas termales para generar energía eléctrica.

* Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de México, México

Los suelos se forman en condiciones topográficas desde planos, ligeramente ondulados, muy ondulados y pendientes muy marcadas; en estas condiciones los suelos están sujetos a drenajes deficientes, regulares, buen drenaje y excesivo drenaje. La toposecuencia es muy interesante en los suelos de cenizas volcánicas porque condiciona series de suelos importantes. También influye en los criterios de clasificación de las categorías superiores de Orden Suborden y Grandes Grupos. Los suelos ligados con la toposecuencia son aquellos que se localizan en las partes superiores planas y concavas de los conos cineríticos y que se caracterizan por tener drenaje deficiente; esto influye en las propiedades de los perfiles de los suelos, condicionando desarrollos de especies de gramíneas y chaparrales. En las regiones onduladas, los suelos poseen buen drenaje y en ellos se desarrollan bosques de regiones templadas de Pináceas y Quercus, en los tropicales bosques de las regiones tropicales, en las semi-áridas y áridas Prosopis spp gramíneas y cactáceas.

MORFOGENESIS DE LOS SUELOS.

La génesis y morfología de los suelos derivados de cenizas volcánicas presenta en algunos casos serias dificultades, particularmente cuando se comparan algunas características: la morfología del perfil del suelo con la fertilidad, penetrabilidad de las raíces de las plantas, las propiedades de la materia orgánica, las fracciones húmicas, la mineralización del nitrógeno, el complejo de cambio, el contenido mineral arcilloso, la fijación del fósforo, la toxicidad del aluminio y las relaciones Fe, Cu, Zn y Mo.

Por otra parte, el perfil del suelo siempre se altera por nuevos depósitos de cenizas volcánicas, formando perfiles estratificados o bien se presentan contaminaciones aluviales y coluviales por efectos de relieve. El origen del perfil es fácil de identificar por la presencia de los volcanes, conos cineríticos y el material parental que los origina. Sin embargo, no sabemos si los suelos derivados de materiales magmáticos litificados evolucionan en igual forma a los suelos derivados de cenizas volcánicas, aunque el intemperismo en estos últimos es mayor por el estado físico del material parental.

Los estudios de campo y de laboratorio generalmente revelan la presencia de cenizas volcánicas, ricas en materiales piromagnesianos, particularmente piroxenas, hornblenda, cuarzo, labradorita, magnetita, plagioclasa, augita, cristobalita y vidrio volcánico. Estos materiales se encuentran en las capas profundas de los perfiles o en las capas superiores si se trata de suelos jóvenes, o bien por contaminaciones de recientes emisiones de cenizas. Estos fenómenos del volcanismo originan dos o más perfiles y es frecuente en algunos sitios que los perfiles estén separados por una capa de material pumítico (palagonita). En estas condiciones, los suelos están bien drenados y aireados y poseen alta porosidad. Estas propiedades, unidas a los altos contenidos de materia orgánica, condicionan las bajas densidades.

Los perfiles presentan generalmente los horizontes A-C, A(B)C y A-B-C. Los horizontes A son negros por efectos de materia orgánica o bien por las cenizas volcánicas; si el suelo es más intemperizado, el color es pardo oscuro y los horizontes inferiores de color rojizo claro o amarillentos. Por las cenizas volcánicas y la relativa rapidez de la intemperización de estos, las texturas son generalmente de migajones arenosos y limosos, migajones arcillosos y francos. La consistencia puede ser firme o friable, la estructura en bloque y en bloque subangular; los suelos del horizonte B pueden estar cementados por material translocado de arcilla iluviada (Bt) o bien por material amorfo (Bx), (Bxt). Estos horizontes duros y frágiles forman la capa de fragipan.

Por la presencia del material mineral arcilloso especial, estos suelos se sienten untuosos y sedosos al tacto.

Los horizontes B y C de algunos perfiles con drenaje impedido presentan moteado por la presencia de hierro y manganeso. En los perfiles someros de los conos cineríticos con horizonte A-C la capa C corresponde a la toba volcánica; esta presenta moteado muy notable. Cuando el material se litifica es duro por cementación, originando el tepetate.

Mineralogía de los suelos y de las fracciones arcillosas menores de 2μ

Los suelos de cenizas volcánicas de basaltos de olivino contienen piroxenas, hornblenda, augita, feldespatos y vidrio volcánico (suelos del Popocatepetl, Parícutín).

Las cenizas volcánicas de andesita corresponden a andesita de labradorita y de hiperstena (suelos del Iztaccihuatl).

Las cenizas volcánicas de hialoandesita originan los suelos del Nevado de Toluca, de los valles cercanos y de la ciudad de Toluca.

Los suelos del Valle de Puebla derivan de cenizas volcánicas de riodacita, labradorita y dacita.

En la Sierra Tarahumara las cenizas volcánicas son de andesita de hiperstena. En las regiones del norte y parte central del país dominan las cenizas de rilita.

Los productos del intemperismo originan materiales minerales arcillosos como la haloisita, metahaloisita y la caolinita. Los coloides minerales arcillosos dominantes en suelos con mayor intemperismo son la haloisita y la caolinita; en suelos más jóvenes domina el alofano. La gibsita se encuentra en los suelos que contienen haloisita. Las muestras arcillosas que contienen alofano son amorfas a los rayos X y los difractogramas no muestran más que alteraciones en el ruido de fondo. Esta observación con las altas pérdidas de agua que se observa en las curvas de los análisis térmicos totales y análisis térmicos diferenciales, indican la presencia de este material amorfo.

Los estudios de microscopía electrónica en las muestras arcillosas indican la presencia de haloisita y cristales hexagonales de caolinita generalmente pequeños.

En los complicados mecanismos del intemperismo de estos suelos, el alofano origina haloisita y caolinita según las condiciones de sequía o humedad. Sudo (10), Aomine y Wada (4)

Los suelos de bajo intemperismo contienen micas y montmorilonita, como en los del Gran Grupo Durandéptico. En los suelos del Gran Grupo Mollandéptico se identifican vermiculita y montmorilonita; son suelos andéptos de pH ligeramente alcalinos.

Los suelos del Gran Grupo Vitrandéptico contienen alofano, caolinita y gibsita.

Análisis Químicos de los suelos y de las fracciones arcillosas menores de 2 μ

Las principales propiedades de los inceptisoles investigados poseen pH de 4.0 a 8.2, contienen de 4 a 15 por ciento de materia orgánica, los porcentajes de nitrógeno van de 0.2 a 0.8 por ciento, las capacidades de intercambio catiónico fluctúan de 14 a 50 me/100 g; el aluminio intercambiable varía de 200 a 1,500 ppm.

Las fracciones arcillosas menores de dos micras se analizaron por el método de fusión alcalina y ácida de Corey y Jackson (7). Los óxidos e hidróxidos de hierro del suelo total y de las fracciones arcillosas menores de dos micras se eliminaron por el método de Aguilera y Jackson (2).

Las relaciones de sílice/alúmina van de 1.5 a 4.2; estos valores son un poco mayores que los reportados en la literatura. Estas diferencias posiblemente se deban a mayores contenidos de sílice en el alofano, por las relativas bajas concentraciones de éste, o bien por la presencia de montmorilonita, haloisita y caolinita. Las relaciones sílice/sesquióxidos van de 1.2 a 3.7.

Las correlaciones de los análisis de pH(s) ácidos de 4 a 5, las altas capacidades de intercambio iónico, la alta fijación del fósforo y el alto aluminio intercambiable, los elevados porcentajes de agua que se pierden en las fracciones arcillosas, el área de las endotermas de los 150–200°C y 330°C de los análisis térmicos diferenciales, la amorfidad de los difractogramas y las relaciones sílice/alúmina de 1.0 a 3.9, indican la presencia de alofano y de alúmina hidratada.

BIBLIOGRAFIA

1. AGUILERA, H. N. 1949. Estudio de arcillas y algunos suelos de México en el microscopio electrónico. Tesis profesional, México. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional.
2. AGUILERA, H. N. y M. L. JACKSON. 1953. Iron oxide removal from soils and clays. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17:359–364; 18:223–350.
3. AGUILERA, H. N. 1965. Suelos de Ando. Génesis, Morfología y Clasificación. Serie de Invest. No. 6. Esc. Nat. de Agricultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo, Méx. Pág. 1–12.
4. AOMINE, S. y K. WADA. 1962. Differential weathering of volcanic ash and pumice resulting in formation of hydrated halloysite. Am. Mineral No. 32:1024–1048.
5. BESOAIN, E. 1955. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. Agric. Técnica. Año XVIII, No. 2:110–165. Santiago, Chile.
6. BIRRELL, K. S. y M. FELDES. 1952. Allophane in volcanic ash soils. J. Soil Sci. 3:156–166.

7. COREY, B. R. y M. L. JACKSON. 1953. Silicate analysis by a rapid semi-microchemical system. *Anal. Chem.* 25:624-628.
8. DUDAL, R. y M. SOEPRAPTOHARDJO. 1960. Some considerations on the genetic relationships between latosols and andosols in Java (Indonesia). *Trans. 6th Int. Cong. Soil Sci., Madison IV*:229-237.
9. FLACH, K. 1964. Genesis and morphology of ash-derived soils in the United States of America. Report on the "Meeting on the Classification and correlation of soils from volcanic ash". *World Soil Resources Report No. 14*, FAO, Rome 1965.
10. SUDO, T. 1956. X-ray and thermal data for clay minerals formed by alteration of volcanic materials. *Sci. Rep. Geol. and Min. Inst. Tokyo Univ. of Education. Sec. C.*, No. 43.
11. TAMURA, T., M. L. JACKSON y G. D. SWINDALE. 1953. Mineral content of low humic, humic and hydral humic latosols of Hawaii. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.* 17:343-346.

CUADRO 1. Cronología del volcanismo de algunos volcanes de México

Volcán	Ubicación	Altura m.s.n.m.	Erupciones
Las Vírgenes	Península de Baja California	3,400	1766, 1857 (?)
Bárceñas	Archipiélago de las Revillagigedo	900	1952- 1956
Ceboruco	Estado de Nayarit	2,164	1870- 1876
Colima	Estados de Jalisco y Colima	4,304	¿ A. C. — 1590, 1611, 1749, 1770, 1795, 1806, 1808, 1818, 1869, 1909, 1913, 1922, a 1932 (dentro del cráter), 1945, 1963, 1965.
Parícutín	Estado de Michoacán	2,575	1943-1952
Jorullo	Estado de Michoacán	1,300	1759-1774 ?
Tancitaro	Estado de Michoacán	3,400	A. C. ?
Quinceo	Estado de Michoacán	2,750	A. C. ?
Sierra de San Andrés	Estado de Michoacán		1872 ?
Teutli	Distrito Federal	3,600	A. C. ?
Xitle	Distrito Federal	3,000	500-1000 A. C.
Popocatepetl	Estados de México, Puebla y Morelos	5,400	1347, 1354, 1519, 1530, 1539, 1542, 1548, 1571, 1592, 1642, 1664 a 1667, 1697, 1720, 1802 a 1804, 1920 a 1926, 1935.
Pico de Orizaba	Estado de Veracruz	5,747	1545, 1566, 1630, 1687
La Malinche	Estados de Tlaxcala y Puebla	4,960	A. C. ?
San Martín los Tuxtlas	Estado de Veracruz	0 a 1,200	1664, 1793, 1829, 1922
El Chichón	Estado de Chiapas	2,400	1350
Tacaná	Frontera Guatemala-México	2,700	1855, 1878, 1903, 1949

CUADRO 2. Análisis químico de rocas volcánicas*

%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	59,50	62,00	58,93	63,29	62,82	62,70	62,08	67,80	56,00	50,27
TiO ₂	0,81	0,80	1,14	0,72	0,20	0,03	0,80	0,90	0,86	0,95
Al ₂ O ₃	18,76	19,51	18,00	19,10	19,63	19,91	18,14	13,91	15,01	17,89
Fe ₂ O ₃	1,11	1,30	1,15	1,36	2,54	0,00	2,93	4,20	7,78	3,50
FeO	4,37	3,23	4,28	2,78	2,44	3,85	2,00	0,58	1,34	3,15
MnO	0,02	0,06	0,08	0,03	0,04	0,17	0,14	0,02	0,07	0,08
MgO	3,48	2,14	5,30	2,04	0,00	1,88	0,00	0,62	1,88	0,14
CaO	5,02	5,01	5,31	4,37	4,16	4,54	4,96	3,64	7,49	5,07
Na ₂ O	4,50	4,27	3,65	4,27	4,30	4,30	4,80	2,70	3,98	5,60
K ₂ O	2,25	1,78	1,57	1,78	1,55	1,40	2,20	2,20	1,85	1,90
P ₂ O ₅	0,19	0,18	0,18	0,16	0,17	0,26	0,24	0,32	0,07	0,24
CO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,27	0,00
SO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	0,09	0,00	0,54	0,00	1,84	0,75	0,71	1,80	3,00	1,50
H ₂ O	0,20	0,00	0,008	0,00	0,80	0,48	0,40	0,96	0,39	1,40
Totales	100,30	100,28	100,21	99,90	100,49	100,27	99,40	100,15	99,99	100,69

* Datos obtenidos de la Dra. Schlaefler, Instituto de Geología, Universidad de México.

1. Riodicita: Colectada en San Rafael. Iztaccihuatl
2. Dacita: Paso de Cortés, Paraje Diego de Ordaz
3. Dacita: Parte intermedia del Popocatepetl
4. Dacita: Parte inferior del Popocatepetl, lava intercalada con ceniza
5. Dacita clara: Dinamos, Contreras
6. Dacita: Sierra de las Cruces
7. Dacita clara: Camino San Bartolo-Toluca
8. Riodicita: Pozo Texcoco I. Profundidad 816 m.
9. Traquiandesita: Pozo Texcoco I. Profundidad 840 m.
10. Basalto de Olivino y Andesina: Pozo Texcoco I Profundidad 1,480 m.

A.6.6

CUADRO 3. Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil del suelo topia migajón arenoso. Localización: Sierra Madre Occidental, Durango, Mpio. Topia. Roca Madre: Riolita. Topografía: ondulada a 2,400 m.s.n.m. Vegetación: pino-encino. Temperatura media anual: 15.5°C. Lluvia media anual: 1,200 mm.

A₁ 0–10 cm. Gris a negro 10YR2/1, migajón arenoso, estructura granular.

A₁₂ 1–30 cm. Gris rojizo 5YR5/2, migajón arenoso, estructura granular, abundantes raíces.

C 30a+ cm. Pardo amarillento 10YR5/8, migajón arenoso, consistencia friable, estructura en bloque.

Horizonte	Prof. en cm	Color		% arc.	Textura		pH	%	%	C.I.C. me/100	P asimilable
		seco	húmedo		% limo	% arc.					
A ₁	0–10	10YR5/1	10YR2/1	60.4	21.4	8.2	5.5	12.00	0.25	37.7	7.0
H ₁₂	10–30	5YR7/2	5YR5/2	62.4	24.4	13.2	5.6	1.70	0.06	20.5	3.8
C	30+	10YR8/3	10YR5/8	18.6	18.6	18.0	5.8	0.95	0.03	26.5	1.0

CUADRO 4. Descripción del perfil del suelo coeneo franco. Localización: San Jerónimo, Mich. Roca Madre: Cenizas volcánicas de basalto. Topografía, ondulada a 2,260 m.s.n.m. Vegetación: pino-encino. Temperatura 16.5°C. Lluvia: 2,000 mm.

Horizonte	Profundidad en cm	Características									
O ₁	3–0	Litter, restos de hojas y vegetales									
A ₁₁	0–16	Amarillo rojizo, franco, estructura laminar, friable, sin plasticidad, presenta efervescencia con el H ₂ O ₂ , pH de 6.2 a 6.3, abundantes poros									
B	16–48	Amarillo rojizo, migajón arcilloso, estructura bloque, friable cuando está seco, con plasticidad cuando está húmedo, efervescencia con el H ₂ O ₂ , pH de 6.65, abundantes poros									
C	48–110	Amarillo rojizo claro, arcilloso, estructura bloque subangular, plástico cuando está húmedo, efervescencia con el H ₂ O ₂ , pH de 7.3 a 7.6. A mayor profundidad se encuentra la roca de basalto.									

Horizonte	Profundidad en cm	% Arena	Textura % Limo	% Arcilla	Color escala Munsell	pH	% M–O	% C	% N	Relac. C/N	C.I.C. me/100 g
A ₀	0–3	58	31	11	5YR4/4	6.25	8.95	5.19	0.41	12.8	32.3
A ₁	3–16	49	30	21	5YR4/6	6.45	2.88	1.67	0.14	12.2	29.8
B	16–48	33	35	32	5YR5/6	6.65	0.98	0.57	0.05	11.6	29.2
C	48–110	19	22	59	5YR4/8	6.75	0.88	0.51	0.05	9.8	28.2
	0–10	45	34	21	5YR4/4	6.30	4.55	2.64	0.23	11.8	30.0
	10–20	43	22	25	5YR4/4	6.25	3.59	2.08	0.21	10.1	29.3
	20–30	33	35	32	5YR4/6	6.55	2.09	1.21	0.12	10.1	29.1
	30–40	32	32	36	5YR5/6	6.70	1.46	0.85	0.09	0.6	28.2
	40–50	20	28	52	5YR5/6	7.05	1.49	0.86	0.09	9.7	29.1
	50–60	17	21	62	5YR4/6	7.30	0.78	0.45	0.05	0.5	25.6
	60–70	15	23	62	5YR4/6	7.30	0.27	0.16	0.02	8.0	26.2
	70–80	17	20	63	5YR4/6	7.30	0.34	0.20	0.02	8.3	28.5
	80–90	15	22	63	5YR4/4	6.30	0.74	0.43	0.05	8.6	27.5
	90–100	17	21	62	5YR5/6	7.50	0.57	0.33	0.04	8.0	24.2
	100–110	18	20	62	5YR5/6	7.60	0.13	0.08	0.01	8.0	23.0

A.6.7

CUADRO 5. Algunas propiedades físico-químicas de las cenizas del Parícutín, San Juan Parangaricutiro.

Profundidad en cm	Textura			Color escala Munsell	pH	% M-O	% N	C.I.C. me/100 g
	% Arena	% Limo	% Arcilla					
0 - 30	93.2	6.8	00.0	2.5Y2.5/0	6.7	0.74	0.15	0.12
30 - 60	92.2	7.8	00.0	2.5Y2.5/0	6.9	0.20	0.00	0.18

Análisis químico total por fusión de la roca de basalto, cenizas volcánicas y de la fracción arcillosa menor de dos micras

	Basalto*	Cenizas*	Cenizas volcánicas, San Juan Parangaricutiro	Arcilla < 2 San Jerónimo
SiO ₂	53.57	53.12	51.53	42.15
Al ₂ O ₃	22.53	18.63	23.45	28.82
Fe ₂ O ₃	6.19	7.70	8.51	19.65
FeO	5.40	—	—	—
TiO ₂	0.80	1.01	0.95	2.70
MnO	0.10	0.01	0.12	—
MgO	1.11	3.85	5.63	0.90
CaO	6.50	9.80	3.43	0.45
Na ₂ O	2.08	3.91	1.90	0.57
K ₂ O	1.07	0.53	1.00	0.89
H ₂ O	—	—	—	15.85
SiO ₂ /R ₂ O ₃	—	—	—	1.71

* Análisis hecho por los químicos Rodolfo del Corral y Esperanza Schroeder, Instituto de Geología de la UNAM, México.

A.6.8

CUADRO 6. Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil de la Guardia, Mpio. Quiroga, Michoacán. Roca madre: ceniza volcánica de basalto. Topografía: ondulado, 14 por ciento a 2,250 m.s.n.m. Vegetación: gramíneas, pino y encino. Temperatura anual: 16.5°C. Lluvia: 1,600 mm.

Horizonte	Profundidad cm	Descripciones y características				
Ap	0 – 15	Migajón arenoso, estructura bloque subangular y medio granular; friable (húmedo); ligeramente duro cuando está seco. 7.5YR3/2, café oscuro (húmedo), 10YR5/3, café (seco), poros finos.				
A ₁₂	15 – 20	Migajón arenoso, estructura bloque subangular, muy friable a friable (húmedo); blando (seco); 7.5YR3/2 café oscuro (húmedo), 10YR5/3, café (seco); poros finos y medios.				
B ₁	20 – 34	Migajón arenoso, estructura bloque subangular, muy friable (húmedo), blando (seco); 5YR4/4 café rojizo (húmedo) 7.5YR5/6 café oscuro (seco); poros finos abundantes y pocos poros medios.				
B ₂₁	34 – 62	Franco, estructura bloque subangular, muy friable (húmedo), de blando a duro (seco); 5YR4/5, rojo amarillento (húmedo), 7.5YR5/6 café oscuro (seco), poros finos abundantes y muy pocos poros medios.				
B ₂₂	62 – 75	Franco, estructura bloque subangular, muy friable (húmedo), menos friable que el horizonte B ₂₁ , blando o ligeramente duro (seco); 7.5YR4/6 café oscuro (húmedo), 10YR5/6 café amarillento (seco), pocas películas de arcilla sobre los Peds, poros finos abundantes y pocos poros medios.				
Cm	75 – 93	Discontinuo, masivo, 7.5YR4/2, café a café oscuro (húmedo), 10YR7/4 café claro en la superficie y 10YR7/6 amarillo en el interior (seco).				
Ab ₁	93 – 110	Franco pesado, estructura bloque, firme (húmedo) muy duro (seco), 7.5YR4/4 café a café oscuro (húmedo) 10YR6/4 café amarillento (seco), poros finos y medios.				
Bb ₁	110 – 133	Migajón arcilloso, estructura bloque y dura, muy firme (más que Ab) (húmedo), muy duro (seco) 7.5YR4/4 café a café oscuro, 10YR4/4 café amarillento (seco); pocos poros finos y los poros medios son comunes.				
Cmb ₁	133 – 165	Masivo, muy firme (húmedo), extremadamente duro (seco) cementado, 7.5YR4/2 café a café oscuro (húmedo), 10YR6/3 café claro (seco), pocos poros finos y son comunes los poros medios.				
IIBb ₂	165 – 210*	Migajón arcilloso pesado; estructura bloque subangular, friable (húmedo), muy duro (seco), 5YR4/6 amarillo rojizo (húmedo), 5YR5/6 amarillo rojizo (seco), pocos poros finos y poros medios.				

Horizonte y Profundidad en cm		Ap(0–15)	B ₂₁ (34–62)	B ₂₂ (62–75)	Bb ₁ (110–133)	IIBb ₂ (165–210)
		%				
Textura	arena	42	43	48	59	73
	limo	43	43	42	11	4
	arcilla	15	14	10	30	23
Color	húmedo	7.5YR3/2	5YR4/5	7.5YR4/6	7.5YR4/4	5YR4/6
	seco	10YR5/3	7.5YR5/6	10YR5/6	10YR4/4	5YR5/6
pH		6.0	7.3	7.0	6.9	6.5
% M–O		5.69	1.58	1.39	2.26	0.48
% N		0.24	0.08	0.07	0.05	0.03
C.I.C.	me/100 g	16.7	12.0	–	–	–
Análisis químico por fusión del suelo total %						
	SiO ₂	49.22	47.08	45.48	48.15	47.61
	Al ₂ O ₃	19.95	19.49	17.23	18.13	17.68
	Fe ₂ O ₃	17.50	14.50	14.40	15.00	13.59
	TiO ₂	1.67	1.72	1.55	2.12	2.00
	Na ₂	1.28	0.95	0.61	0.41	0.27
	K ₂ O	0.60	0.36	0.66	0.48	0.36
	CaO	1.04	0.80	1.22	0.04	0.67
	MgO	1.00	0.37	0.76	0.70	0.43
	H ₂ O	8.05	13.78	19.15	13.48	17.21
	Total	100.31	98.85	101.06	99.51	99.82
Análisis for fusión de la arcilla menor de 2 m						
	SiO ₂	34.78	33.17	42.80	35.84	32.10
	Al ₂ O ₃	20.85	12.69	10.88	13.60	19.49
	Fe ₂ O ₃	11.31	14.64	10.71	14.04	13.81
	TiO ₂	1.17	1.34	0.38	1.39	1.45
	Na ₂ O	0.34	0.30	0.07	0.20	0.07
	K ₂ O	0.24	0.30	0.36	0.18	0.12
	CaO	0.28	0.35	0.48	0.38	0.39
	MgO	0.30	0.32	0.35	0.40	0.30
	H ₂ O	30.28	38.22	34.56	37.61	27.75
	Total	99.55	99.33	100.99	103.64	95.48
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	Suelo total	4.2	4.1	4.5	4.6	4.6
	Arcilla < 2 m	2.8	4.3	5.6	4.5	2.8
SiO ₂ /R ₂ O ₃	Suelo total	2.7	2.8	2.9	2.9	3.1
	Arcilla < 2 m	2.1	2.6	3.7	2.6	1.9
C.I.C.	Suelo total	16.7	12.0	–	–	–
	ARcilla < 2 m	61.4	49.3	–	58.3	32.4

CUADRO 7. Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil del suelo ventura franco, San Luis Potosí. Roca madre: ceniza volcánica de basalto. Topografía: 5 por ciento a 2,100 m.s.n.m. Vegetación: Prosopis spp., matorral espinoso, Opuntia spp. Temperatura media anual: 15°C. Lluvia media anual: 400 mm.

Horizonte y Profundidad en cm		Descripciones y características
A ₁	0–25	Textura franca, color 10YR4/2 pardo oscuro grisáceo (seco) 10YR2/2 pardo muy oscuro (húmedo); estructura bloques angulares moderadamente débiles, consistencia ligeramente dura, no hay reacción al Hcl. Buena penetración de raíces. Hay tendencia hacia estructura escamosa en la superficie.
A ₁₂	25–45	Textura franca, color 10YR4/3. Pardo oscuro (seco) 10YR3/4 pardo oscuro amarillento (húmedo); estructura bloques subangulares medios de poco desarrollo, consistencia friable. No hay reacción al Hcl. Presencia escasa de raíces.
B ₁	45–60	Textura arcillosa, color 7.5YR4/2 pardo oscuro (seco) y 7.5YR4/2 pardo oscuro grisáceo (húmedo) estructura masiva, escasas raíces, consistencia friable. Hay reacción al Hcl.

	Textura	H ₂ O	pH Kcl IN	C E.	% M–O	% N
A ₁	0–25 Franco	6.95	5.75	0.374	3.30	0.18
A ₁₂	25–45 Franco	6.80	5.55	0.430	1.70	0.10
B ₁	45–60 Arcilloso	6.60	5.50	0.304	0.41	0.05

Análisis químico por fusión suelo total y roca madre

	SiO ₂	% Al ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃	% TiO ₂	% Na ₂ O	% K ₂ O	% CaO	% MgO	% MnO	% H ₂ O	Total	
A ₁	0–25	54.43	15.91	4.71	1.09	0.93	1.68	0.76	1.40	0.18	13.91	95.00
A ₁₂	25–45	53.29	17.28	5.43	0.93	0.99	1.73	0.50	1.30	0.18	12.82	95.45
B ₁	45–60	44.66	20.00	7.14	0.46	0.34	1.30	0.53	0.96	0.12	19.81	95.32
Roca basal		43.59	14.28	13.79	2.88	2.46	2.42	6.68	6.38	0.37	2.53	95.38

Minerales arcillosos identificados en las fracciones C₂H

	C.I.C. me/100 g		
A ₁	0–25	montmorilonita, mica, cuarzo y haloisita	42.0
A ₁₂	25–45	montmorilonita, mica, cuarzo, haloisita y caolinita	38.2
B ₁	45–60	montmorilonita, cuarzo, mica, haloisita	39.2

CUADRO 8. Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil del suelo de Citaltepeti (Pico de Orizaba), arena. Localización: al sur de la Sierra Negra, Veracruz. Roca madre: ceniza volcánica de andesita. Topografía: moderada a 4,250 m.s.n.m. Vegetación: Gramíneas, páramo de altura. Clima: frío E(T)H.

Profundidad en cm	C O L O R		húmedo	T E X T U R A				pH	%			C/N me/100g	C.I.C.	
	seco			D.A.	D.R.	% Are.	% Li.		% Arc.	M-O	N			%
* 0-10	10YR5/1.5 café grisáceo		10YR3/1.5 café gris. muy oscuro	1.27	2.35	89.0	8.8	2.2	Arena	5.6	2.35	.092	15	8.5
* 10-20	10YR5/2 café grisáceo		10YR3/2 café gris. muy oscuro	1.37	2.49	87.4	11.4	1.2	Arena	6.1	1.24	.060	12	7.4
20-30	10YR5/3 café		10YR3/3 café oscuro	1.37	2.52	88.1	10.0	1.9	Arena	6.5	1.20	.061	12	7.4
30-40	10YR5/3 café		10YR3/3 café oscuro	1.37	2.52	84.5	13.0	2.5	Arena migajosa	6.5	1.38	.070	12	8.4
40-50	10YR5/2 café grisáceo		10YR3/2 café gris. muy oscuro	1.40	2.52	87.8	10.0	2.2	Arena	6.6	1.36	.074	11	9.8
50-60	10YR5.5/2 gris café claro		10YR3/2 café gris muy oscuro	1.53	2.55	87.1	10.9	2.0	Arena	6.4	0.99	.044	13	7.2
60-70	10YR6/2 gris café claro		10YR3/2 café gris muy oscuro	1.60	2.56	86.6	12.5	0.9	Arena	6.4	0.69	.032	13	5.3
70-80	10YR6/1 gris claro		10YR3/1 gris muy oscuro	1.72	2.59	89.0	10.1	0.9	Arena	6.2	0.19	.012	9	3.1
80-90	10YR6/1 gris claro		10YR3/1 gris muy oscuro	1.73	2.58	88.3	9.8	1.9	Arena	6.3	0.14	.010	8	2.2
** 90-100	5YR6/1 gris claro		10YR3/1 gris muy oscuro	1.68	2.59	87.6	12.0	0.4	Arena	6.5	0.15	.012	8	2.2
100-110	5YR6/1 gris claro		5YR2/2 café rojizo oscuro	1.68	2.60	87.6	12.0	0.4	Arena	6.4	0.69	.010	4	1.8
110-120	5YR6/1 gris claro		5YR2/2 café rojizo oscuro	1.73	2.59	87.2	12.0	0.8	Arena	6.4	0.06	.010	3	2.0
120-130	5YR6/1 gris claro		5YR2/2 café rojizo oscuro	1.71	2.59	87.6	11.6	0.8	Arena	6.4	0.02	.010	1	2.0

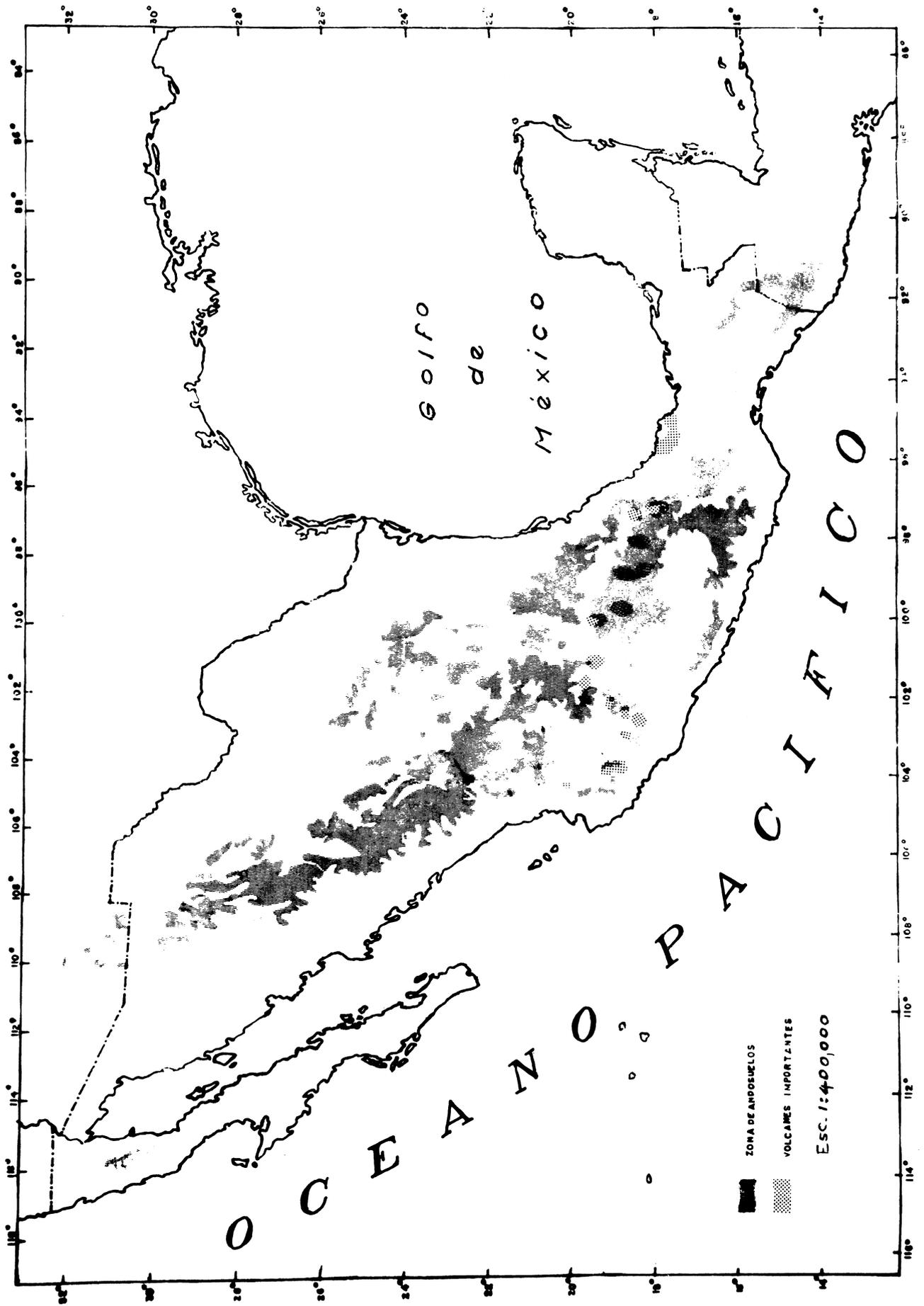
Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil del suelo Alpatlahua, migajón arcilloso. Localización: Mpio. de Alpatlahua, Veracruz. Roca madre: ceniza volcánica andesítica. Topografía: ligeramente ondulada a 1,983 m.s.n.m. Vegetación: bosque de Anus spp.

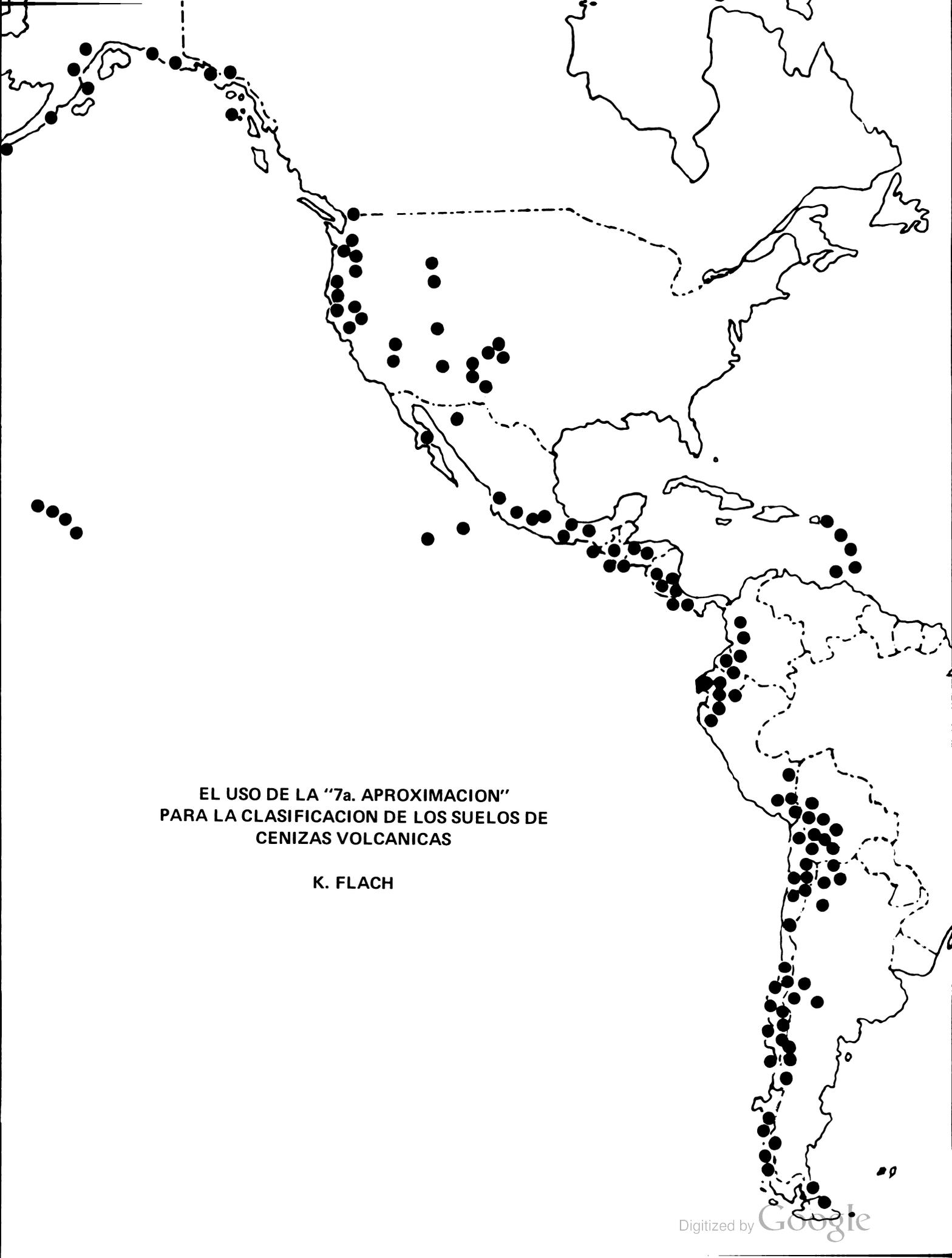
0-2.5	10YR4/3 café		10YR3/2 café gris muy oscuro	0.74	1.84	44.6	42.0	13.4	Franco	5.3	19.2	.858	13	55.9
2.5-13	10YR5/2 café gris.		10YR3/2 café gris. muy oscuro	0.94	1.91	31.0	37.6	31.4	migajón arcilloso	5.3	7.61	.365	12	39.8
13-23	10YR5/2 café grisáceo		10YR3/2 café gris. muy oscuro	1.00	2.05	32.6	25.6	41.8	Arcilla	5.8	5.86	.258	13	18.8
23-35	10YR5/3 café		10YR3/3 café oscuro	1.01	2.08	33.1	24.2	42.7	Arcilla	5.7	3.69	.191	11	37.1
35-44	10YR5/4 café amarillento		10YR3/3 café oscuro	1.07	2.16	28.6	26.1	45.3	Arcilla	5.9	2.66	.136	11	35.7
44-54	10YR5/4 café amarillento		10YR3/3 café oscuro	1.05	2.29	38.6	25.4	36.0	Migajón arcilloso	6.1	2.45	.112	13	35.8
54-65	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.03	2.09	43.0	27.9	29.1	Migajón arcilloso	6.2	1.51	.093	9	35.0
65-75	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.02	2.10	41.4	28.7	29.9	Migajón arcilloso	6.2	1.24	.081	9	35.5
75-85	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.02	2.16	41.2	31.4	27.4	Migajón arcilloso	6.2	1.05	.078	8	35.2
85-95	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.03	2.20	28.2	27.0	44.8	Migajón arcilloso	6.3	1.32	.072	11	34.3
95-105	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.02	2.04	38.0	22.0	40.0	Arcilla	6.3	0.95	.066	8	32.7
105-115	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.04	2.11	34.2	23.6	43.2	Arcilla	6.2	1.24	.066	11	33.7
115-125	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.01	2.15	49.6	21.2	29.2	Mig. arcillo aren.	6.3	0.85	.058	8	31.3
125-135	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	0.99	2.01	45.2	18.4	36.4	Arcillo arenoso	6.4	0.47	.046	6	31.3
135-145	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.01	2.15	45.2	19.3	35.5	Arcillo arenoso	6.4	0.73	.052	8	32.5
145-155	10YR6/3 café am. pálido		10YR4/4 café am. oscuro	0.99	2.33	43.2	21.0	35.8	Migajón arcilloso	6.4	1.10	.061	10	32.2
155-165	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	0.99	2.10	38.7	22.1	39.2	Migajón arcilloso	6.4	0.38	.035	6	29.4
165-175	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.00	2.10	49.6	19.6	30.8	Mig. arcillo aren.	6.6	0.44	.038	7	30.8
175-185	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	1.00	2.08	37.7	23.3	39.0	Migajón arcilloso	6.6	0.64	.052	7	30.6
185-195	10YR6/4 café am. claro		10YR4/4 café am. oscuro	0.98	2.27	41.0	22.0	37.0	Migajón arcilloso	6.6	0.72	.046	9	31.0

* 0-20 raíces más tupidas
** 90-100 capa más fría

CUADRO 9. Datos de campo y análisis de laboratorio del perfil del suelo El Palmar, migajón arcilloso, Veracruz. Roca madre: ceniza volcánica de basalto. Topografía: 1 1/2 a 100 m.s.n.m. Vegetación: Hevea brasiliensis. Temperatura media anual: 25°C. Lluvia media anual: 3,000 mm.

Horizontes	Profundidad en cm	Descripciones y características															
A1	0 - 25	Textura migajón arcilloso, color 10YR5/4, café muy oscuro (seco) 10YR3/2 café rojizo oscuro (húmedo), estructura granular a muciforme, consistencia friable. Agregados estables. Raíces abundantes de Hevea brasiliensis, pH del suelo 4,9.															
B2	25 - 200	Textura migajón arcilloso, color 7.5YR5/4 amarillo rojizo (seco) 7.5YR4/2 amarillo rojizo oscuro (húmedo) estructura masiva muciforme. Concreciones de MnO ₂ . Buen drenaje, abundantes raíces de Hevea. pH del suelo 4,4.															
Resultados de pH, análisis químico por fusión, óxidos e hidróxidos de hierro libre y C. I. C.																	
Profundidad en cm	pH	% SiO ₂	% H ₂ O	% K ₂ O	% Na ₂ O	% TiO ₂	% Fe ₂ O ₃	% MnO	% CaO	% H ₂ O	% SiO ₂ / Al ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	% SiO ₂ / R ₂ O ₃	% Fe ₂ O ₃ / R ₂ O ₃	C. I. C. me/100 g Hal.	Minerales arcillosos Caol. Gib.	Cuar F
0 - 10	4.9	40.64	31.32	16.99	1.20	0.19	0.28	0.13	0.48	15.40	2.20	4.46	1.80	8.26	24.36	xx	x
10 - 20	4.7	40.64	31.18	10.99	1.29	0.27	0.34	0.17	-	14.75	2.21	4.44	1.80	8.04	24.18		
20 - 30	4.9	40.32	33.58	9.93	1.29	0.19	0.34	0.15	-	14.95	2.03	5.30	1.71	7.81	17.94		
30 - 40	4.9	39.57	30.30	10.99	1.45	0.21	0.31	0.15	0.05	15.15	2.01	4.74	1.66	7.59	-		
40 - 50	5.1	40.71	31.52	9.29	1.70	0.24	0.31	0.11	0.05	15.40	2.19	5.31	1.34	7.59	22.18		
50 - 60	5.1	41.57	31.52	9.65	1.41	0.23	0.32	0.13	0.05	15.45	2.23	5.11	1.88	7.81	23.43		
60 - 70	5.0	40.11	30.66	9.29	1.70	0.24	0.33	0.15	0.05	16.59	2.21	5.17	1.86	7.37	-		
70 - 80	4.9	39.57	31.52	9.47	1.58	0.24	0.31	0.17	-	16.20	2.13	5.21	1.88	7.05	-		
80 - 90	4.8	40.64	30.66	9.65	1.66	0.28	0.34	0.17	0.05	16.25	2.24	4.98	1.87	7.50	20.81	xx	x
90 - 100	4.7	40.71	31.52	10.00	1.53	0.30	0.36	0.23	0.06	15.25	2.19	4.94	1.82	7.59	23.21		
100 - 110	4.8	41.14	31.52	9.82	1.49	0.24	0.34	0.16	-	16.09	2.21	5.02	1.85	8.13	-		
110 - 120	4.7	40.71	31.18	9.47	1.24	0.21	0.35	0.20	-	16.30	2.21	5.16	1.85	8.13	-		
120 - 130	4.6	39.43	30.67	10.00	0.91	0.27	0.37	0.15	-	16.29	2.18	4.80	1.80	7.72	-		
130 - 140	4.5	39.65	30.23	9.65	0.95	0.35	0.36	0.25	0.06	16.15	2.22	4.91	1.85	8.39	15.52		
140 - 150	4.5	40.71	31.18	0.65	0.75	0.21	0.36	0.21	0.06	15.95	2.21	5.06	1.85	-	-		
150 - 160	4.4	41.14	32.60	9.23	0.95	0.23	0.34	0.15	-	15.25	2.23	5.53	1.81	-	16.02		
160 - 170	4.4	40.71	31.88	9.04	1.05	0.23	0.36	0.27	-	15.60	2.13	5.56	1.81	-	-		
170 - 180	4.4	40.71	32.60	9.58	1.05	0.27	0.35	0.23	-	14.65	2.11	5.33	1.78	-	-		
180 - 190	4.4	40.11	31.18	9.22	1.10	0.27	0.37	0.18	0.06	15.48	2.19	5.30	1.84	7.16	15.76		
190 - 200	4.3	42.78	33.32	9.68	1.05	0.30	0.36	0.20	0.06	14.50	2.17	5.39	1.84	7.03	13.20		





**EL USO DE LA "7a. APROXIMACION"
PARA LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE
CENIZAS VOLCANICAS**

K. FLACH

EL USO DE LA "7a. APROXIMACION" PARA LA CLASIFICACION DE LOS SUELOS DE CENIZA VOLCANICA

Klaus W. Flach*

En 1951, el "Soil Survey Staff" del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, con la ayuda de edafólogos de distintos países, empezó a trabajar en un nuevo sistema de clasificación de suelos. El sistema se desarrolló por medio de varias etapas o "aproximaciones", siendo cada etapa discutida y comprobada por ciertos especialistas interesados en este campo. La séptima de estas aproximaciones (Soil Survey Staff) 1960 fue presentada en el Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo de 1960, en Madison. Llegó a ser muy conocida y muchas personas se refieren al nuevo sistema como la "7a. Aproximación". Desde ese entonces se distribuyeron dos suplementos más al sistema, uno en 1964 y otro en 1967, y se está escribiendo una revisión más amplia del "Sistema de Clasificación de Suelos" para su publicación a fines de 1969.

Este artículo es una muy breve discusión sobre los principios del sistema y su aplicación a suelos de cenizas volcánicas.

PRINCIPIOS, ORGANIZACION

La mayor parte de los participantes de esta reunión probablemente están familiarizados con los principales aspectos del nuevo sistema de clasificación. Como una introducción, quisiera repetir algunas de las guías que fueron utilizadas para su desarrollo (modificada, según Smith, 1965):

1. La definición de las clases (unidades de clasificación) debe ser funcional para que se pueda tener el mismo significado para todos los que las emplean.
2. El sistema debe tener varios niveles categóricos para acomodar numerosas clases, definidas detalladamente y al nivel más bajo. El número de clases a niveles categóricos altos debe ser lo suficientemente pequeño como para que pueda involucrar a las primeras.
3. Las clases deben ser conceptos de verdaderos cuerpos de suelos que tengan área geográfica.

A.7.1 = A.7.9

9.

ser propiedades que se puedan medir. Se han de escoger aquéllas que se lucir de éstas o de datos obtenidos de la ciencia del suelo u otras disciplinas.

suficientes clases para todos los suelos de un paisaje.

cación para poder adaptar los nuevos conocimientos.

stema: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie. El Cuadro 1
s reglas de nomenclatura. Las clases en cada uno de estos niveles combinan
de los edafólogos tienen propiedades importantes en común. Mientras que la
ra juicios basados en consideraciones morfológicas, genéticas y prácticas, las
mente en propiedades que se pueden medir (criterio 4). Una lista de las 10
suelos de cenizas volcánicas, se detallan en el Cuadro 2.

ación de suelos, sólo se describían los conceptos centrales de las clases. La
estos conceptos centrales en una o más características, se dejaba a juicio del
len emplear dichos sistemas dentro de áreas geográficas limitadas y con un
juelos que estén en contacto personal entre sí, los edafólogos con distinta
áreas, no pueden tomar decisiones idénticas. Por lo tanto, una de las más
ama son las condiciones de delimitación bien definidas.

on diferencias de significancia práctica para estas delimitaciones, pero para
os importancia inmediata llegaron a constituir el mejor criterio para hacer la
as de las definiciones de las clases parecen ser arbitrarias y, a menos que sean
, incomprensibles. Sin embargo, los criterios utilizados, no son arbitrarios. Se
de la experiencia de aquéllos que contribuyeron al sistema, reflejan factores
a las agrupaciones que se cree son de valor.

rvicio de Conservación de Suelos, Departamento de Agricultura, Riverside, California,

A.7.2

Los nombres de las clases reflejan el nivel categórico (Cuadro 1). Todos los nombres de orden, por ejemplo, consisten en un elemento formativo y la terminación "sol(s)", por ejemplo Inceptisols —donde "ept" es el elemento de formación. Todos los nombres de subórdenes son palabras con dos sílabas con el elemento de formación de los nombres de orden como la segunda sílaba, por ejemplo, Andepts. Asimismo se utilizan convenciones sistemáticas al denominar los grandes grupos, subgrupos y familias.

Como el suelo forma un "continuum" en la superficie de la tierra, surge la pregunta de qué es un "suelo" que deseamos clasificar. Los autores del sistema han creado el concepto del pedon que es el volumen más pequeño de suelo en el cual se puede estudiar las variaciones del espesor y grado de expresión de los horizontes para descripción o toma de muestras. El concepto es similar al de la celda unidad del mineralogista. Sin embargo, tenía que asignarse al pedon un tamaño mínimo (1 m^2) y máximo (10 m^2) arbitrarios. Los pedones contiguos dentro del alcance de la definición de una serie de suelos constituyen un polipedon. Esta es la unidad básica taxonómica del sistema. Sin embargo, el polipedon no debe confundirse con la unidad cartográfica o fase de suelo que es la unidad básica cartográfica de un mapa detallado de suelo. La unidad cartográfica contiene no solamente uno o más polipedons de la unidad taxonómica cuyo nombre lleva, sino también contiene inclusiones de otras unidades taxonómicas, y, posiblemente, secciones de "no-suelo".

CLASIFICACION DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS EN LAS CATEGORIAS DE ORDEN Y SUBORDEN

Guiados por los principios discutidos hasta el momento, se separaron los suelos con desarrollo moderado de perfil y con propiedades únicas, que comúnmente se asocian con ceniza volcánica como material original, en el suborden Andepts y el Gran Grupo Andaquepts en el orden Inceptisols. Los Andepts comprenden muchos de los suelos que se han llamado suelo Ando (9) o Kuroboku (4) en Japón o Andosols según la FAO (1).

Como Inceptisols (Cuadro 2), estos suelos son más desarrollados que los Entisols. Tienen suficiente desarrollo del perfil como para contar con un horizonte B que ha perdido la estructura del material de partida o que tiene matices (Hues) más rojos que él mismo, éste es un horizonte de diagnóstico cámbico (Cuadro 3). Pueden tener un horizonte superficial de color oscuro con más de 1 por ciento de materia orgánica, un epipedon úmbrico (Cuadro 3) o un epipedon mólico si su complejo de intercambio está dominado por material amorfo. Sin embargo, no pueden tener rasgos que sean diagnósticos de uno de los otros órdenes.

Los Andepts (y Andaquepts) se separan de otros Inceptisols basándose en cierto número de criterios. La intención al establecer estos criterios era definir los suelos "semejantes a los Ando". Se utilizan dos criterios muy distintos (Cuadro 4), pero si un Inceptisol reúne los requisitos para uno de ellos, es un Andept. El primero es que un suelo es Andept si contiene más de 60 por ciento de ceniza volcánica vítrea, escoria, u otro material piroclástico vítreo en las fracciones limo, arena y grava. En otras palabras, la fracción que no es arcilla debe consistir predominantemente en materiales piroclásticos relativamente no meteorizados. Esta parte de la definición abarca suelos relativamente jóvenes y poco desarrollados que son, por supuesto, más desarrollados que los Entisols. La mayor parte de estos suelos estarán en el Gran Grupo de Vitrandepts que se discutirá más adelante.

La segunda parte de la definición abarca suelos más desarrollados. Se requiere que el suelo, sea en el epipedon, sea el horizonte cámbico, tenga una densidad aparente húmeda de menos de $0,85 \text{ gm por cc}$ y que el complejo de intercambio (inorgánico) del suelo esté dominado por material amorfo.

Nótese que esta parte de la definición no menciona ceniza volcánica y que, realmente los Andepts no necesitan tener ceniza volcánica como material de partida original. Los suelos que tienen las características sobresalientes de suelos Ando han sido descritos en basalto en el Japón y en roca sedimentaria o aluvión de rocas sedimentarias en el oeste de los Estados Unidos. El material original de estos suelos puede haberse derivado de materiales piroclásticos pero esto no se puede probar en todos los casos sin equivocarse.

Una densidad aparente de menos de $0,85 \text{ gm/cc}$ parece dar una separación razonable de los Andepts de otros suelos. La ceniza volcánica fresca tiene característicamente una densidad aparente de más de $0,85$ y la densidad aparente parece disminuir al aumentarse la alteración. Los valores más bajos, en los Andepts más altamente meteorizados que conocemos, es de aproximadamente $0,20 \text{ gm/cc}$.

La dominancia del material amorfo se define (Cuadro 3) en primer lugar en relación con las propiedades químicas y físicas de material del suelo. Esto se hizo en parte debido a la confusión sobre alófana y materiales amorfos en la literatura mineralógica y, en parte, porque los indicios que tenemos hasta el momento sugieren que ciertas porciones relativamente pequeñas de material amorfo pueden dominar las propiedades físicas e influir mucho en las propiedades químicas del suelo. La definición de material amorfo involucra características químicas y físicas que están generalmente asociadas con alófanos, como por ejemplo alta capacidad de intercambio, alta retención de agua a 15 bares, un pH de más de 9,4 en NaF, más de uno por ciento de materia orgánica y la presencia de un pico endotérmico de baja temperatura en el ATD.

En esta definición la CIC y la retención de agua a 15 bares son evaluados con relación al contenido aparente de arcilla medido con hexametáfosfato como agente dispersante, después de 12 horas de agitación. Esta relación refleja la alta estabilidad de los agregados de material amorfo, pero el contenido de arcilla medido no tiene significancia física ni valor interpretativo alguno.

Por lo tanto, para cualesquiera otros fines, debe descartarse la determinación del análisis granulométrico en los Andepts y su interpretación como la textura estándar. La retención de agua a 15 bares se utiliza aquí y en otros lugares en el sistema de clasificación como sustituto de los porcentajes de arcilla para materiales de suelo donde no se puede hacer un análisis granulométrico significativo. El uso de este parámetro está basado en la observación (3) de que, en la ausencia de grandes cantidades de materia orgánica, la retención de agua a 15 bares está altamente correlacionada con el porcentaje de arcilla en los suelos que pueden dispersarse fácilmente.

SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS EN ORDENES QUE NO SEAN INCEPTISOLS

Aunque el suborden Andepts y el Gran Grupo Andaquepts fueron fijados específicamente para suelos semejantes a Ando, pueden encontrarse suelos derivados de cenizas en cualquiera de los órdenes del sistema (Cuadro 2). Algunos de estos suelos no se pueden diferenciar de los suelos no derivados de ceniza volcánica, o las propiedades que pueden rastrearse hasta el material original, no tienen significancia práctica conocida. La clasificación de tales suelos puede no reflejar su origen de ceniza volcánica. Otros suelos pueden tener una baja densidad aparente, alta estabilidad de agregados o una carga dependiente de pH extraordinariamente alta pero no lo suficiente como para que se los clasifique como Andepts. Para dichos suelos se reconocen subgrupos "andic" en unos pocos subórdenes.

Finalmente, el vidrio volcánico en las fracciones de arena, limo o grava, o las características tixotrópicas pueden ser reconocidas en la categoría de familia en unos pocos suelos (en su mayor parte Entisols) que no son subgrupos de Andepts, Aquepts o Andic.

Los suelos muy jóvenes en ceniza volcánica que no presentan un desarrollo del perfil significativo están en el orden Entisol. Estos suelos, debido a sus condiciones físicas desfavorables y su baja especialidad de intercambio, presencia de sustancias tóxicas, o suministros de elementos nutritivos no balanceados, pueden mostrar problemas graves de manejo.

Los suelos derivados de ceniza en ambientes áridos o semiáridos que no han acumulado la suficiente cantidad de materia orgánica de color oscuro para tener epipedon mólico están en el orden de los Aridisols. En este medio ambiente la ceniza volcánica, con suficiente tiempo, comúnmente se altera a montmorillonita que pronto domina las propiedades físicas y químicas del suelo. Se ganaría muy poco si se refiere a la naturaleza del material original en la clasificación de estos suelos. En algunos Aridisols que han recibido la influencia de la ceniza, el vidrio proporciona el aumento silíceo para duripans. De aquí que, muchos suelos de ambientes áridos o semiáridos en los que ha influido la ceniza sean Durargids, Durorthids, o pertenezcan a los grandes grupos equivalentes en Xeralfs, Ustalfs, Xerolls y Ustolls.

La alteración intensa de la ceniza volcánica para formar montmorillonita en medio ambiente árido o semiárido o con lixiviación restringida en medio ambiente húmedo conduce a la formación de Vertisols. Muchos Vertisols en los Estados Unidos se han formado de rocas sedimentarias derivadas de ceniza.

Los Alfisols derivados de ceniza volcánica o que han recibido su influencia, son casi siempre los Alfisols de climas mediterráneos semiáridos o secos, Ustalfs y Xeralfs. Generalmente son montmorilloníticos y a menudo tienen "duripan". Los alfisols derivados de ceniza en medio ambiente húmedo (Udalfs) parecen ser raros.

Los suelos de ceniza volcánica muy meteorizados y lixiviados pueden ser Ultisols si tienen horizonte argílico o pueden ser Oxisols si no lo tienen y han perdido esencialmente todos sus minerales alterables. Se conoce muy poco sobre estos suelos ya que verificar el origen del material de partida es generalmente difícil. La separación de los Spodosols de los Andepts ha sido particularmente engorrosa y por mucho tiempo no se sabía si hacer esa separación fuera esencial.

El complejo de cambio de horizontes espódicos se asemeja al de los Andepts porque es en gran parte amorfo. Si el contenido de materia orgánica es alto, los horizontes espódicos también tienden a mostrar una densidad aparente baja. Por otro lado, los Andepts muy a menudo tienden a presentar la estructura de agregados ("pellets") que es típica de algunos horizontes espódicos. Sin embargo, trabajos recientes indican que los Spodosols, incluyendo los que se encuentran en ceniza volcánica, tienen valores de pH más bajos que los Andepts de saturación en bases similares, y tienen una capacidad de intercambio permanente más grande (con sal neutra). Los complejos de sesquióxidos en los Spodosols también son muy solubles en pirofosfato de sodio mientras que los de los Andepts (por lo menos en climas tropicales y templados) no lo son. Aún existen dificultades al tratar de separar suelos que morfológicamente se asemejan a Andepts en climas fríos (frígidos) de Spodosols con poco desarrollo asociados. Muy bien puede ser que estos "Andepts" se asemejen a los Spodosols en sus características químicas y se clasificarían como Spodosols. En los Estados Unidos algunos Cryandepts de Alaska caen dentro de esta categoría.

Muchos Histosols tienen capas de ceniza volcánica. Estas capas pueden utilizarse para averiguar la edad de las turbas o de las emisiones de cenizas pero muy rara vez pueden influir significativamente en las propiedades del suelo orgánico. Por lo tanto, no se han reconocido clases "andic" en los Histosols.

ANDEPTS Y ANDAQUEPTS

Como se ha discutido antes, los Andepts y Andaquepts comprenden aquellos suelos que muestran cierto desarrollo y que tienen propiedades que comúnmente se asocian con materiales piroclásticos. Son los suelos de los cuales hablaremos primordialmente en esta reunión.

Guardando concordancia con el diseño del sistema de clasificación, los suelos parecidos a los Andepts pero que muestran indicios de humedad, son separados en la categoría de suborden como Aquepts y después en el nivel de gran grupo como Andaquepts, utilizando los mismos criterios que se usan para definir el suborden de Andepts en suelos bien drenados.

Debido a que la mayoría de los materiales piroclásticos son porosos y están propensos a alterarse a montmorillonita en condiciones de lixiviación reducida, los Andaquepts son relativamente raros. No obstante hay indicios de que los materiales piroclásticos no muestran muy pronto las condiciones de reducción, en forma de moteados y de intensidad de color (chroma) baja (8). Por lo tanto, pueden existir más suelos que deban clasificarse como Andaquepts. En contraste con otros Inceptisols, no se separan los Andepts y Andaquepts de regiones templadas, de los suelos equivalentes de regiones tropicales (que por definición tienen menos de 8°C de diferencia entre la temperatura de suelo en verano y la de invierno) en las categorías superiores a la familia. Esto se hizo a sugerencia de algunos de los contribuyentes al sistema a quienes les pareció que los Andepts eran originalmente suelos de los trópicos y que los Andepts de los trópicos no difieren lo suficiente de los Andepts de áreas templadas para cómo justificar la separación al nivel alto categórico. Sin embargo, uno puede preguntarse si los Andepts deben tratarse de manera diferente de otros Inceptisols. Actualmente, los Andepts de áreas tropicales están separados de los de áreas templadas al nivel de la familia. Los Andepts de áreas frías (Cryandeps), por otra parte son separados al nivel de gran grupo. El suborden de los Andepts ha sido subdividido en seis grandes grupos que muestran diferencias en las génesis de los suelos y en el uso que se les pueda dar. Los criterios empleados para hacer estas separaciones se dan esquemáticamente en el Cuadro 4b.

El gran grupo de los Dystrandeps fue concebido para incluir la mayoría de los "suelos típicos de Ando". Los Dystrandeps son ácidos y lo suficientemente viejos para que tengan un horizonte B rojizo o alterado de otro modo (horizonte cámbico), o para haber acumulado suficiente materia orgánica para que haya un epipedon úmbrico. Los suelos con un epipedon ócrico de color claro están incluidos entre Dystrandeps si tienen un horizonte cámbico. Sin embargo, estos suelos parece que son relativamente raros. Un ejemplo de Dystrandeps típico se da en el Cuadro 7.

Los Andepts menos ácidos que los Dystrandeps, pero similares a ellos en otras características, se han separado como Etrandeps. Ellos se definen como suelos que tienen un epipedon mólico (más de 50% de saturación en bases); generalmente están en un medio ambiente de menos lixiviación que Dystrandeps y por lo tanto se presentan menos problemas de manejo. Se presenta un ejemplo de éstos en el Cuadro 8.

Los Andepts de texturas gruesas están en el gran grupo Vitrandeps. Los Vitrandeps, según su definición, son suelos que no son tixotrópicos o que retienen menos del 20 por ciento de agua a una tensión de 15 bares, lo que es una medida del contenido de arcilla. Los Vitrandeps son muy a menudo Andepts jóvenes en ceniza volcánica relativamente joven. Tienden a ser excesivamente permeables al agua y por lo tanto a secarse. También tienden a presentar problemas de fertilidad debido a su baja capacidad de cambio de cationes, la presencia de sustancias tóxicas o un balance de nutrimentos desfavorable. La agrupación de los Vitrandeps según la saturación de bases se hace al nivel de subgrupo. Un ejemplo se señala en el Cuadro 9.

Los Hydrandeps pueden considerarse como la última etapa en el desarrollo de los Andepts en un medio ambiente húmedo o perhúmedo. Son suelos de los cuales se ha lixiviado la mayor parte de las bases y de la sílice, dejando un residuo de compuestos de aluminio y hierro, aparentemente complejos de sesquióxidos y materia orgánica y algo de alófana. Al secarse, los Hydrandeps forman agregados del tamaño de partículas de grava que se endurecen irreversiblemente y esta propiedad es utilizada como el criterio diagnóstico para identificarlos. Después de la desecación contienen mucha cantidad de gibsita que pueden haberse cristalizado en el proceso de secado. Los Hydrandeps nunca se secan en su clima actual. Aquéllos que, debido a cambio de clima se han secado naturalmente, probablemente ahora se consideren Oxisols. Los Hydrandeps tienen una densidad aparente muy baja, hasta 0,2 gm/cc pero mecánicamente son tan estables que se puede utilizar maquinaria pesada en ellos. Donde mejor se conocen los Hydrandeps es en la isla de Hawaii. Son intensivamente utilizados para cultivos de caña. Un ejemplo de ellos tenemos en el Cuadro 10.

A.7.5

Los grandes grupos de Andepts restantes comprenden suelos con limitaciones prácticas específicas. Los Cryandepts son Andepts de climas fríos. Deben tener una temperatura del suelo anual de menos de 8°C y una temperatura media de verano en el suelo de menos de 15°C. Los Cryandepts ocupan grandes extensiones en Alaska. Pasan gradualmente a los Spodosols y parecen tener muchas de sus características químicas. Su uso para cultivos anuales es marginal o imposible. Los Cryandepts en Alaska se utilizan principalmente con bosques o marginalmente para el ganado de leche. Un ejemplo se señala en el Cuadro 11.

El gran grupo restante, Durandepts, fue establecido para los Andepts que tuvieron un "duripan". El duripan (Cuadro 3) es un horizonte cementado con sílice endurecida que no se desintegra en agua. Los "duripans" detienen el movimiento del agua y la penetración de las raíces. Se han descrito Durandepts en Centro y Sur América.

CLASIFICACION DE LOS ANDEPTS AL NIVEL DE SUBGRUPO

Al nivel de orden, suborden y gran grupo, se establecen límites claros entre los grupos de suelo. Al nivel de subgrupo, se reconoce la naturaleza gradual de casi todos los límites taxonómicos de los suelos. Un subgrupo típico define el concepto central de cada uno de los grandes grupos. Todo suelo que no concuerda con el subgrupo "típico" definido más bien con gran detalle, es reconocido como un suelo de transición hacia otro gran grupo, suborden, u orden o como un suelo que tiene propiedades anómalas como por ejemplo, poca profundidad hasta la roca consolidada.

Los Dystrandepts típicos, por ejemplo (Cuadro 5) se definen por cinco criterios. Un Dystrandept que no reúne estos requisitos no es típico. Hasta el momento se han definido cinco subgrupos no típicos de Dystrandepts. Estos abarcan todas las condiciones para las cuales se han establecido las series de suelo (o unidades equivalentes en países fuera de los Estados Unidos) pero no incluyen todas las combinaciones posibles. Conforme se descubran nuevos suelos puede ser necesario ampliar la definición de estos subgrupos o si esto da lugar a agrupaciones de suelos no homogéneos, definir subgrupos nuevos.

Los subgrupos de Dystrandepts que se conocen hasta hoy comprenden los suelos con poco desarrollo del perfil (transición a Entisols) como Entic Dystrandepts, los suelos de transición a Hydrandepts, como Hydric Dystrandepts; los suelos con CIC baja que son considerados transicionales a Oxisols como Oxic Dystrandepts y suelos que son poco profundos y tienen roca dura cerca de la superficie como Dystrandepts líticos, o hídrico-lítics. Estos últimos serían poco profundos y al mismo tiempo de transición a Hydrandepts.

En este momento, los grandes grupos de Andepts tienen de 0 a 8 subgrupos. (Debido al conocimiento limitado de estos suelos no se han definido todavía subgrupos de Durandepts). Los grandes grupos de los subórdenes que no sean Andepts, pueden tener hasta veinte subgrupos.

El pequeño número de subgrupos en los Andepts se debe al hecho de que se encuentran en cuerpos relativamente pequeños, y, a escala mundial, son relativamente raros. Por otro lado, la escasez de subgrupos también es debido al hecho que los Andepts no han sido estudiados tanto como otros suelos y que los criterios para describirlos no se han aceptado en muchas partes.

Los subgrupos Andic han sido definidos en Entisols, Inceptisols (excepto Andepts y Andaquepts), Mollisols, Alfisols y Ultisols. Se deseaba separar los suelos que tienen algunas propiedades de Andepts pero no todas. Estos suelos pueden no ser Andepts por razones muy diversas. Si son Inceptisols pueden tener una densidad aparente un poco más alta. Si están en uno de los otros órdenes pueden contener tanta ceniza volcánica y material amorfo como los Andepts, pero pueden tener propiedades diagnósticas como por ejemplo un horizonte argílico, lo que los coloca en órdenes diferentes de los Inceptisols.

Para la definición de los subgrupos Andic se considera que éstos tienen en los 75 cm superiores del perfil, una capa que es por lo menos de 18 cm de espesor, de textura más fina que arena fina franca, tienen una densidad aparente de 0,95 gm/cc o menos y predomina el material amorfo.

CLASIFICACION DE LOS ANDEPTS AL NIVEL DE FAMILIA Y SERIE

Al nivel de familia, se aplican a todos los suelos los criterios de importancia inmediata considerándolos como un medio de crecimiento de las plantas y para otros fines. Todos los suelos son colocados en familias de textura, temperatura de suelo y mineralogía, a menos que los criterios para la familia no tengan sentido o muestren redundancia con respecto a los criterios utilizados en categorías más altas. Además se reconocen otras familias basadas en la profundidad, reacción u otro criterio que puede ser particularmente importante para ciertos grupos de suelos. Como la mineralogía sería redundante y la textura tiene muy poco sentido, se combinan las propiedades de

A.7.6

textura, mineralogía y consistencia para colocar a los Andepts en las familias escoriácea, media y tixotrópica (Cuadro 6). Sin embargo, se usan las clases de mineralogía, escoriácea y ceniza, para algunos suelos que no son Andepts. La tixotropía se emplea para el material de suelo que cambia bajo presión de un sólido plástico a un líquido y se fija de nuevo en un estado sólido si se suprime la presión. Dichos suelos habían sido descritos comúnmente como "grasos" en el campo. Por lo tanto, el suelo descrito en el Cuadro 7 pertenece a la familia thixotropic mesic de los Dystrochrepts típicos. No se han ensayado mucho los métodos para determinar cuantitativamente el tixotropismo. Sería de desear que haya clases más definidas, comparables a las clases de familia de textura en otros suelos, pero hay que desarrollar y comprobar criterios que tengan más significado. Los Andepts que no son tixotrópicos son colocados en la familia escoriácea si predominan las partículas de suelos más grandes de 2 mm y en la familia media si son más pequeños.

La serie de suelos es el nivel categórico inferior del sistema. Se han mantenido los criterios anteriores para clasificar las series pero algunas de ellas debieron ser definidas de nuevo para que el alcance de sus características no cruzara los límites de las clases de categorías más altas.

Ha sido necesario establecer un sistema nuevo de clasificación, en parte porque los criterios cualitativos utilizados en los sistemas anteriores ya no mostraban lo que se sabía acerca de los suelos. El nuevo sistema no solamente representa lo que se conoce de los suelos, sino que las diferencias en detalle de las definiciones de las clases y la calidad de las definiciones también reflejan el hecho de que se sabe más de unos suelos que de otros. Esperamos que la clasificación de suelos derivados de ceniza y los criterios para describirlos finalmente se mejoren.

BIBLIOGRAFIA

1. ANONYMOUS. 1964. Summary and technical discussion. World Soil Resources Report, FAO 14:139–142.
2. FIELDS, M. & K. W. PERROTT. 1966. The nature of allophane in soils. New Zealand Jour. Sci. 9:623–629.
3. LUND, Z. F. 1959. Available water holding capacity of alluvial soils in Louisiana. Proc. Soil Sci. Soc. Amer. 23:1–3;
4. OHMASA, M. 1964. Genesis and morphology of volcanic ash soils. World Soil Resources Report, FAO 14:56–60.
5. SMITH, GUY D. 1965. Lectures on soil classification. Pedologie, Bulletin of the Belgian Society of Pedology, Special Issue No. 4.
6. SOIL CONSERVATION SERVICE. 1967. Soil Survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. Soil Survey Investigations Report No. 1, 50 pages. Soil Conservation Service, U. S. Department of Agriculture.
7. SOIL SURVEY STAFF, SOIL CONSERVATION SERVICE, U. S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. 1960. Soil Classification, a comprehensive system, 7th approximation. U. S. Government Printing Office, Washington, D. C. 20402.
8. TAKEHARA, HIDEO. 1964. Morphology of volcanic ash soil profiles in Volcanic ash soils on Japan. 135–137. Ministry of Agriculture and Forestry, Tokyo.
9. THORP, J. & GUY D. SMITH. 1949. Higher categories of soil classification. Soil Science 67:117–126.

A.7.7

CUADRO 1. Las categorías y la nomenclatura del sistema de clasificación

Categoría	Número	Función	Nombre
Ordenes	10	Agrupaciones grandes de suelos que se diferencian principalmente en la clase y grado del proceso pedogénico dominante reflejado por la combinación de horizontes de diagnóstico.	Contiene un elemento formativo (subrayado) y terminación —sol, p/e.: Inc—ept—i—sols (Latín: inceptum, principio).
Subórdenes	47	Similar a la del orden, pero con más clases y éstas son más homogéneas.	Consiste en el elemento formativo del orden y un elemento modificador; siempre una palabra de dos sílabas; p/e.: Andepts, Inceptisols con dominancia de material amorfo.
Grandes grupos	200	Grupos de suelos con las mismas clases de horizontes y en la misma disposición; con humedad, régimen de temperatura del suelo y saturaciones de bases similares.	Nombre del suborden y prefijo; p/e.: Dystrandept.
Subgrupo	Numerosos	La clase típica de un gran grupo y las transiciones hacia otros grandes grupos o a propiedades diversas; p/e.: presencia de roca dura a poca profundidad.	El adjetivo Typic, seguido por el nombre del gran grupo; p/e.: Typic Dystrandeps; puede ser también con un adjetivo que indica la clase o la característica anómala hacia la cual pasa gradualmente el suelo; p/e.: Hydric Dystrandeps, Dystrandeps que pasan gradualmente a Hydrandeps.
Familias	Numerosos	Subdivisión de un subgrupo basado principalmente en la textura, la mineralogía, y la temperatura del suelo.	La designación de la familia sigue el nombre de subgrupo; p/e.: Typic Dystrandeps, familia medial (mineralogía y textura), mesic (temperatura). También lleva el nombre de series representativas.
Series		Subdivisiones de la familia basadas principalmente en características utilizadas en categorías más altas, pero con subdivisiones más detalladas.	Los nombres de las series son nombres de lugares, casi siempre de la localidad donde el suelo se describió por primera vez; p/e.: Hilo, Portola.

CUADRO 2. Los órdenes y su aparición sobre cenizas volcánicas

Entisols	Suelos sin horizontes pedogénicos. Suelos muy jóvenes en ceniza volcánica.
Vertisols	Suelos de textura fina que tienen grietas anchas y profundas en alguna época del año. Se forman en ceniza volcánica en medio ambiente de poca o ninguna lixiviación.
Oxisols	Suelos muy alterados con un complejo de intercambio de actividad extremadamente baja. Algunos pueden desarrollarse en ceniza volcánica.
Aridisols	Suelos con horizontes pedogénicos en tierras áridas y algunas semiáridas. Pueden estar sobre ceniza volcánica.
Mollisols	Suelos con horizontes mólicos. Pueden estar en ceniza volcánica.
Alfisols	Suelos con un horizonte de acumulación de arcilla (horizonte argílico) con saturación en bases altas, fuera de terrenos áridos y sin horizonte mólico. Raros en ceniza volcánica.
Ultisols	Suelos con horizonte de acumulación de arcilla (horizonte argílico) con saturación en bases bajas. Raros en ceniza volcánica.
Inceptisols	Suelos con horizonte cámbico (B estructural) pero sin horizonte mólico* o argílico. Muy comunes en ceniza volcánica.
Spodosols	Suelos con un horizonte de profundidad de acumulación de alúmina y materia orgánica o hierro. Pueden estar en cenizas volcánicas.
Histosols	Suelos orgánicos. Pueden estar en ceniza volcánica.

* Excepto en ciertas Andepts.

CUADRO 3. Horizontes de diagnóstico y sus características

Horizontes de superficie	Importancia edafológica	Elementos de definición*
Epipedon mólico	Horizonte de superficie de acumulación de materia orgánica de color oscuro y de nutrimentos de plantas, principalmente en medio ambiente herbáceo	Color oscuro, húmedo, 'value' y 'chroma' de 3 o menos**. Grueso de más de 25 cm. Más de 1 por ciento de materia orgánica. Más de 50 por ciento de saturación de bases. No es duro y sólido cuando seco
Epipedon úmbrico	Horizonte de superficie de acumulación de materia orgánica de color oscuro en medio ambiente húmedo o perhúmedo	Como mólico, pero menos del 50 por ciento de saturación de bases.
Epipedon ócrico	Horizonte de superficie con poca acumulación de materia orgánica	'Value' más alto o 'chroma' de 4 o más, o menos contenido de materia orgánica, o saturación en bases bajas.
Argílicos	Horizonte de acumulación de arcilla	Un quinto más de arcilla que el horizonte suprayacente. Recubrimientos de arcilla de iluviación en la superficie de las unidades estructurales, granos de arena o poros
Cámbico	Horizonte de alteración pedogénico	Indicios de estructura de suelo (en contraste con la estructura de la roca) o indicios de remoción de carbonatos de calcio o moteado.
Duripan	Cementación por sílice y carbonatos	Recubrimientos de ópalo o calcedonia. No se deshace completamente en ácido o agua
Otros rasgos:		
Contacto lithic	Límite inferior del suelo sobre roca dura	Dureza de 3 o más en la escala de Mohs
Contacto paralithic	Límite inferior del suelo sobre roca suave	Dureza menor que 3 en la escala de Mohs pero sólo se puede cavar con dificultad con una pala
Dominancia de material amorfo	Presencia de material parecido a la alófana	CIC por 100 g de arcilla medida, mayor que 150 meq - 15 bar/arcilla medida > 1.0 - pH NaF > 9.4 después de 2 minutos. La materia orgánica es mayor que 1 por ciento. Pico endotérmico de baja temperatura en el ATD.

* Muy simplificados

** Notación Munsell.

CUADRO 4. El suborden Andepts y sus grandes grupos

a) Definición de los Andepts

Los Andepts son Inceptisols que tienen una de las siguientes condiciones o las dos:

- Una densidad aparente de la fracción de tierra fina del suelo de menos de 0,85 g por cc en el epipedon o en el horizonte cámbico, o en los dos, y el complejo de cambio está dominado por material amorfo;
- No tienen epipedon mólico y tienen más del 60 por ciento de ceniza volcánica vítrea, escorias, u otro material vítreo piroclástico en las fracciones limo, arena y grava; y no están saturadas con agua en ninguna época o carecen de las características asociadas con la humedad definidas para los Aquepts.

b) Grandes grupos del suborden Andept.

Epipedon	Dystrandeps Ochric, umbric	Eustrandeps mollic	Vitrandeps *	Hydrandeps *	Durandeps *	Cryandeps *
Temperatura media del suelo en verano (°C)	>15°	>15°	>15°	>15°	>15°	<15°
Retención de agua a 15 bares (%)	>20	>20	<20	*	*	*
Duripan	no	no	no	*	yes	*
Se seca irreversiblemente	no	no	no	yes	no	*

* No es propiedad de diagnóstico

CUADRO 5. Clasificación de los Dystrandeps

Typic Dystrandeps

Dystrandeps que:

- a. carecen de manchas con 'chromas' de 2 o menos dentro de 1 m (40 pulgadas) a partir de la superficie;
- b. tienen un epipedon úmbrico de 25 cm (10 pulgadas) o más de espesor;
- c. no son tixotrópicos en ningún horizonte entre 25 cm y 1 m (10 y 40 pulgadas);
- d. carecen de contacto 'lithic' dentro de 50 cm (20 pulgadas) a partir de la superficie;
- e. tienen capacidad de intercambio de cationes de más de 30 meq/100 g de suelo (con NH_4OA_c) en todos los horizontes que se encuentran encima de un contacto lithic o hasta 1 m (40 pulgadas) de profundidad.

Entic Dystrandeps

Dystrandeps como el Typic excepto para la condición b.

Hydric Dystrandeps

Dystrandeps como el Typic excepto para la condición c, con b o sin ella.

Hydric Lithic Dystrandeps

Dystrandeps como el Typic excepto para las condiciones c y d, con b o sin ella.

Oxic Dystrandeps

Dystrandeps como el Typic excepto para la condición e, con b o sin ella.

Lithic Dystrandeps

Dystrandeps como el Typic excepto para la condición d, con b o sin ella.

CUADRO 6. Criterios de Familia utilizados para los Andeps.

1. Clases de textura y mineralogía combinadas

Clase	Definición
a. Suelo uniforme	
tixotrópica (thixotropic)	Bajo presión del suelo se funde repentinamente; cuando se interrumpe la presión, regresa a su estado sólido.
media (medial)	No es tixotrópica y la mayor parte tiene diámetro menor que 2 mm.
escoriácea (cindery)	No es tixotrópica y la mayor parte del material tiene diámetro más grande que 2 mm.
b. Con texturas variables en la sección de control:	
Tixotrópica, no tixotrópica, escoriácea y una de 7 clases de tamaño de partículas (por ejemplo franco).	

2. Clases de temperatura de suelos

8 clases; lo mismo que para los no Andeps

3. Otras clases

Profundidad hasta el contacto 'lithic' o 'paralithic'.

CUADRO 7. Bear Praire – Limo arcillo arenoso

Lugar: Clark County, Washington. Aproximadamente 180 m noroeste del County Road No. 11. 705 m oeste y 315 m sur de la esquina noroeste de la Sección 24, T.2 N., R.4E. Aproximadamente 11 km al noroeste de Washougal, Washington.

Fecha de toma de muestras: Agosto 24, 1964.

Descripción por: Willard A. Call y Carl J. McMurphy.

Clasificación: Oxic Dystrandept, medial, mesic.

Vegetación: Douglas fir, Arce, avellano, helecho, "fireweed", "salmon berry", y "snowberry".

Clima: Aproximadamente 1875 mm promedio de lluvia anual.

La temperatura media anual es aproximadamente de 11°C.

Material original: Basalto, andesita y ceniza volcánica.

Topografía: Casi plano y ligeramente ondulado. Pendiente 2 por ciento.

Elevación: 345 m.

Drenaje: Bien drenado, moderadamente permeable y con escurrimiento lento.

Humedad del suelo: Todos los horizontes estaban semihúmedos.

Notas: pH medido con clorofenol rojo. Pedon emparejado es S64Wash-30-1.

- | | | | |
|-----|---|-----|--|
| O2 | 5 a 0 cm, pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) húmedo, materia orgánica descompuesta; estructura granular; fina, débil muy friable; no adherente y no plástico; pocas raíces finas; medio ácido (pH 5.6); límite abrupto y plano 3 a 5 cm de espesor. | B21 | 58 a 90 cm, pardo oscuro (7.5YR3/4) húmedo; franco limoso pesado, pardo (7.5YR5/4) seco; estructura prismática media muy débil y en bloques subangulares finos, débil; friable, ligeramente duro, ligeramente adherente, y ligeramente plástico; muchas raíces finas; poros tubulares finos comunes y pocos medianos; muy ácido (pH 5.4); límite gradual y ondulado 33 a 56 cm de espesor. |
| A11 | 0 a 10 cm, pardo grisáceo muy oscuro (10YR2/2) húmedo, franco, pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) seco; estructura granular gruesa y fuerte; muy friable, ligeramente duro; no adherente y muy ligeramente plástico; raíces medias, finas y muy finas, abundantes; aproximadamente 4 por ciento de concreciones pequeñas; muy ácido (pH 5.5); límite gradual y ondulado. 8 a 13 cm de espesor. | B22 | 90 a 105 cm, pardo oscuro (7.5YR3/4) húmedo, franco arcillo limoso liviano, pardo (7.5YR5/4) seco; estructura en bloques subangulares finos; débil; friable, ligeramente duro; adherente y plástico; pocas raíces finas; poros tubulares; finos comunes y pocos medianos, aproximadamente 5 por ciento de grava; muy ácido (pH 5.4); límite claro y ondulado 15 a 23 cm espesor. |
| A12 | 10 a 30 cm, pardo muy oscuro (10YR2/2) húmedo, franco limoso; pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2) seco, estructura granular gruesa y fina, moderada; muy friable; ligeramente duro, no adherente y muy ligeramente plástico; raíces abundantes medianas y muy finas; aproximadamente 2 por ciento concreciones pequeñas; muy ácido (pH 5.5); límite claro ondulado. | IIC | 105 a 130 cm, pardo oscuro (7.5YR3/4) húmedo, franco arcilloso guijarroso; pardo (7.5YR5/4) seco; estructura en bloques subangulares finos moderada; friable; ligeramente duro, adherente y ligeramente plástico; pocas raíces finas, muchos poros tubulares finos; aproximadamente 50 por ciento grava; muy ácido (pH 5.4). |
| A3 | 30 a 58 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) húmedo, franco limoso, pardo oscuro (7.5YR4/2) seco; estructura granular media y fina, débil, friable, suave, no adherente, y muy poco plástico; raíces muy finas abundantes y muchísimas raíces gruesas; poros tubulares finos y medios, comunes; aproximadamente 2 por ciento de concreciones pequeñas; muy ácido (pH 5.5), límite claro y ondulado. 18 a 28 cm de espesor. | | |
-

A.7.11

Profundidad (cm)	Horizonte	6A1a		6B1a		6C2a		3A1		Densidad aparente 3B2		Contenido de agua				4D1		pH	
		Carbón orgánico %	Nitrógeno %	C/N	Hierro extraíble en Fe %	Arcilla <0.002 mm %	1/3 bar g/cc	1/3 bar g/cc	Seco en estufa g/cc	cm	4B1c 1/3 Bar %	4B2 15 Bar %	Capacidad de extensión COLEF %	Capacidad de extensión LE %	8Cld 1N NaF 2 min. 1:50	8Cld H ₂ O 1:1			
5-0	O2	13.20				19.5	0.74	0.84	1.00	1.53	0.74	0.84	1.00	61.2	26.7	0.043		5.1	
0-10	A11	11.41	0.532	21	3.3	17.4	0.67	0.75	1.00	1.59	0.67	0.75	1.00	74.6	7.8	0.057		5.2	
10-30	A12	11.37	0.613	19	3.2	17.5													
30-58	A3	4.96	0.278	18	3.7	11.6	0.70	0.78	1.00	1.97	0.70	0.78	1.00	56.4	22.9	0.037		5.6	
58-90	B21	1.16	0.090	13	3.9	18.3	1.13	1.20	1.00	1.19	1.13	1.20	1.00	36.3	21.8	0.020	10.0	5.6	
90-105	B22	0.58	0.042	14	4.3	17.0	1.11	1.16	0.96	1.30	1.11	1.16	0.96	40.4	22.1	0.015		5.6	
105-130	I1C1	0.47			6.1	9.5	1.06	1.12	1.00	2.87	1.06	1.12	1.00	44.0	27.3	0.012		5.7	

Profundidad (cm)	Bases extraíbles 5B1a				Suma de bases meq/100 g	6H2a Acidez extraíble	Capacidad de intercambio de cationes 5A6a NH ₄ OAc 5A3a Suma	6Gld Al+++ extraíble con KCl	Saturación de Bases		Mineralogía de Arcilla (<0.002 mm) 3A1												
	6N2a Ca	6O2a Mg	6P2a Na	6Q2a K					Suma de bases + Al	5C13 Suma	Mont.	Halosita	Gib-sita /A2	Caolinita	Amorfos								
5-0																							
0-10	2.1	1.1	0.1	0.9	4.2	60.0	64.2	0.7	4.9	7													xxxx
10-30	1.5	0.6	0.1	0.5	3.1	69.0	72.1	2.0	5.1	4													xxxx
30-58	0.7	0.3	0.1	0.2	1.3	42.2	43.5	2.9	4.2	3													xxxx
58-90	0.7	0.5	0.2	0.1	1.5	26.3	27.8	0.5	2.1	5													xxxx
90-105	0.1	0.6	0.1	0.1	0.9	30.3	31.2	1.7	2.6	3													xxxx
105-130	tr	0.2	0.2	0.1	0.5	38.1	38.6	1.2	1	1													xxxx

Method Code, Soil Survey Investigations Report No. 1, Soil Conservation Service, 1967.

CUADRO 8. Waimea franco arenoso muy fino

Area: Isla de Hawaii, Hawaii.

Vegetación: La mayoría pasto bermuda (*Cynodon dactylon*); otros son rattail (*Sporobolus capensis*), avena silvestre (*Avena fatua*); joeo (*Stachytarpheta cayannensis*), ilima (*Sida fallax*), cactus (*Opuntia megacantha*), Formosan koa (*Acacia confusa*), aalii (*Dodonaea eriocarpa*).

Material de partida: Básico, ceniza volcánica.

Topografía: Pendiente de 12 por ciento orientada al sudoeste, convexa; pendientes intermedias de la montaña Kohala; altura 966 m.

Clima: Precipitación media anual 1025 mm; temperatura media anual 18°C.

Clasificación: Entic Eutrandept, medial, isothermic.

- | | |
|---|---|
| <p>A11 0–5 cm, pardo muy oscuro (7.5YR2/2), franco arenoso muy fino, pardo oscuro (7.5YR3/2) seco; estructura laminar, mediana y fina, débil que se rompe a estructura granular muy fina; suave, muy friable, no adherente, no plástico; muchas raíces; muchos poros muy finos; límite abrupto y plano.</p> | <p>B22 20–58 cm, pardo oscuro (7.5YR3/3) franco limoso liviano, pardo intenso (7.5YR5/6) cuando seco; estructura en bloques subangulares gruesos y medianos muy débil; suave, muy friable, no adherente, muy ligeramente plástico; raíces comunes; poros muy finos comunes y pocos poros tubulares finos y medianos; pocos fragmentos de lava del tamaño de guijas muy firmes; límite gradual y plano.</p> |
| <p>A12 5–13 cm, pardo muy oscuro (7.5YR2/2) franco arenoso muy fino, pardo oscuro (7.5YR3/3) cuando seco; estructura en bloques subangulares medianos y finos, débil, que se rompe a una estructura granular muy fina débil; ligeramente duro, muy friable, no adherente, no plástico, muchas raíces; muchos poros intersticiales muy finos; fragmentos muy duros de lava del tamaño de guijas; límite claro y plano.</p> | <p>B23 58–88 cm, pardo oscuro (7.5YR3/3), franco limoso liviano, pardo (7.5YR4/4) cuando seco; estructura prismática gruesa y media muy débil; ligeramente duro, muy friable, no adherente, muy ligeramente plástico; pocas raíces; poros muy finos comunes y pocos poros tubulares finos y medianos; pocos fragmentos de lava muy duros, del tamaño de guijas o guijarros; límite claro ondulado.</p> |
| <p>B21 13–20 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) limo arcillo-arenoso claro, pardo (7.5YR4/4) cuando seco; estructura en bloques subangulares, medianos y finos muy débil; ligeramente duro, muy friable, no adherente, ligeramente plástico; raíces abundantes; muchos poros tubulares muy finos, pocos fragmentos duros de lava del tamaño de guijas; límite claro y plano.</p> | <p>B24 88–118 cm, pardo oscuro (7.5YR3/3) franco limoso, pardo (7.5YR4/4) cuando seco; estructura prismática gruesa y media muy débil, ligeramente duro, muy friable, muy ligeramente adherente y muy ligeramente plástico; pocas raíces; poros muy finos comunes, poros tubulares finos y pocos medianos y gruesos; fragmentos de lava muy duros del tamaño de guijarros que aumentan al incrementarse la profundidad.</p> |

Nota. El suelo es fuertemente magnético en todo el perfil.

A.7.13

Profundidad (cm)	Horizonte	6A1a		6B2a		3A1		3A1		6C1a		Densidad aparente		Contenido de agua			pH	
		Carbón orgánico %	Nitrógeno %	C/N	Arcilla <0.002 mm %	15 bar <0.002 %	Hierro ext. en Fe %	g/cc	g/cc	4 Ale 1/3 Bar g/cc	4B4 Humedad en el campo %	4B1c 1/3 Bar %	4B2 15 Bar %	8C1c (1:1) KCl	8C1a (1:1) H ₂ O			
0-5	A11	13.00	1.186	11	4.0	7.5	8.2	0.71		13	47.1	29.9	5.7	6.2				
5-13	A12	5.05	0.613	8	0.4	72.8	10.7			23	41.5	29.1	6.6	7.5				
13-20	B21	3.75	0.323	9			11.2			26	46.1	32.8	6.9	7.6				
20-58	B22	4.30	0.382	11	2.6	18.6	12.3	0.66		18	61.4	48.3	6.8	7.6				
58-88	B23	3.21	0.268	12	5.1	11.6	13.2			47	77.4	59.2	6.7	7.4				
88-118	B24	2.87	0.262	11	4.6	13.2	14.2			15	82.1	60.8	6.7	7.4				

Profundidad (cm)	Bases extraíbles 5B1a			6H2a		5A3a		Saturación de Bases		Mineralogía de Arcilla (<0.002 mm)			
	6N2d Ca	6O2b Mg	6Q2a Na K	Acidez ext. meq/100 g	Suma de cationes	Suma de cationes	5C3 Suma %	Gib-sita	Feldespatos	Quarzo	Carbónita	Amorfos	Rayos X
0-5	34.4	6.6	0.4	33.9	80.8	80.8	58						
5-13	32.8	7.2	0.3	25.7	71.8	71.8	64	tr	x	x	x	xxxx	
13-20	37.7	5.7	0.3	24.2	71.1	71.1	57						
20-58	43.4	7.3	0.4	23.3	80.9	80.9	71	tr	x	x	x	xxxx	
58-88	32.9	22.6	1.2	31.7	90.8	90.8	65						
88-118	33.5	13.2	1.0	27.8	79.2	79.2	65	tr	x	x	x	xxxx	

Methods code, Soil Survey Investigations Report No. 1, Soil Conservation Service, 1967.

CUADRO 9. Apakuie franco arenoso muy fino

Localización: Condado de Hawaii, Hawaii. 19°54'30" latitud norte y 155°23'30" longitud este. Foso localizado aproximadamente 500 m bajo (N) Puu Kihe en Kukaiau Ranch.

Descripción por: H. Sato. Fecha: Abril 9, 1965.

Vegetación: Cobertura con pasto arbóreo. Mamani (*Sophora schrysophylla*), sweet vernal (*Anthoxanthum odoratum*), heu pueo (*Trisetum glomeratum*), llantén (*Plantago lanceolata*).

Clima: Lluvia anual 500–750 mm. Generalmente nublado por la tarde. Temperatura media anual estimada 13°C. La temperatura del suelo a 50 cm fue de 12°C; a 93 cm de profundidad, de 13°C.

Material original: Ceniza volcánica.

Topografía: Pendientes altas de barlovento del Mauna Kea. Pendiente de 12 por ciento. Loma convexa. Aspecto norte.

Elevación: 2190 m.

Drenaje: Buen drenaje; permeabilidad rápida; escurrimiento lento. Humedad del suelo: húmedo.

Notas: Posiblemente hay algo de aluvión ya que el lugar está cerca de un pequeño arroyo. Las piedras cubren alrededor del 10 por ciento de la superficie. Los colores son para suelo húmedo.

Clasificación: Typic Vitrandept, medial, isomesic.

- | | | | |
|-----|--|--------|--|
| A1 | 0 a 10 cm, pardo oscuro (7.5YR3/3) franco arenoso muy fino; estructura granular fina débil; suelto, friable, no adherente y no plástico; raíces abundantes; muchos poros finos; límite abrupto y plano. | IIIAb | 40 a 65 cm, pardo rojizo oscuro (5YR2/2) franco arenoso muy fino; macizo; friable, no adherente, y no plástico; pocas raíces; aproximadamente 50 por ciento en volumen de gravas, guijarros y piedras más grandes de 2 cm de diámetro —no incluidas en la muestra— límite abrupto y plano. |
| B1 | 10 a 20 cm, rojo—amarillento (7.5YR4/6) franco arenoso muy fino, macizo; friable, no adherente y no plástico; pocas raíces, muchos poros finos; 5 a 10 por ciento de fragmentos de 2 cm de diámetro o más grandes, límite abrupto y plano. | IIIB2b | 65 a 88 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) franco arenoso muy fino; macizo; friable, no adherente y no plástico; aproximadamente 50 por ciento en volumen de grava, guijarros y piedras más grandes de 2 cm de diámetro —no incluidas en la muestra. |
| IIC | 20 a 40 cm, negro (5YR2/1) escorias; grano simple; suelto, no adherente y no plástico; pocas raíces; límite abrupto y ondulado. | | |
-

A.7.15

Profundidad (cm)	Horizonte	6A1a		6B1a		6C2b		6E1b		Densidad Aparente			Contenido de Agua				4D1		pH	
		Carbón orgánico	Nitrógeno	C/N	Hierro extraíble en Fe	Carbonatos expresados como CaCO ₃	4A1f Bar	4A1h Seco en estufa	3B2 cm	4B1c Bar	4B2 15 Bar	Capacidad de extensión Lef	Capacidad de extensión LE	8C1a H ₂ O	8C1c KCl					
		%	%	%	%	g/cc	g/cc	g/cc	%	%	%	cm	%	%	%	%	%	%	%	
0-10	AI	5.25	0.410	13	4.6	0.78	0.86	1.00	62.0	19.4	0.030	0.030	6.6	5.5						
10-20	BI	2.12	0.212	10	6.9	0.75	0.74	1.00	54.3	23.7	0.006	0.006	6.5	5.6						
20-40	IIC	0.46	0.070	7	2.3								6.9	6.2						
40-65	IIIAb	3.52	0.436	8	6.0	0.71	0.66	1.00	58.2	19.8	0.074	0.024	6.3	6.0						
65-88	IIIB2b	3.12	0.360	9	5.7	0.81	0.77	1.00	47.6	22.3	0.016	0.016	6.8	5.9						

Profundidad (cm)	Bases extraíbles 5B4a			6H2a		Capacidad de intercambio de cationes		NH ₄ OAc		Límites de Atterberg		Saturación de bases	
	6N2e Ca	6O2d Mg	6P2a Na	Suma de bases meq/100 g	Acidez extraíble	5A6a NH ₄ OAc	5A3a suma	SO ₄ extraíble con KCl	Límite plástico	Límite líquido	Indice plástico	5C1	NH ₄ OAc
													%
0-10	7.5	1.9	0.2	10.9		27.5			N.P.	N.P.	N.P.	40	
12-20	1.7	0.3	0.1	2.4		18.6						13	
20-40	10.4	1.6	0.4	14.2		15.8						90	
40-65	15.7	2.0	0.3	18.8		25.7			N ¹¹	N.P.	N.P.	73	
65-88	12.9	1.5	0.2	15.1		24.4						62	

Methods code, Soil Survey Investigations Report No. 1, Soil Conservation Service, 1967.

CUADRO 10. Kealakekua franco arcillo limoso

Localización: En Sherwood Greenwell Ranch. Aproximadamente 3,5 millas al suroeste de la escuela Konawaena, Kealakekua, Hawaii.
 Area: Norte Kona, Kona SWCD, Condado de Hawaii.
 Vegetación: Pasto Kikuyu (*Pennisetum clandestinum*), rice grass (*Paspalum orbiculare*) junco (*Cyperus* sp.), helecho arborescente (*Cibotium* sp.) y ohia (*Metrosideros collina*).
 Clima: 2500 a 3750 mm por año; neblina casi permanente durante todo el año.
 Material original: ceniza volcánica.
 Fisiografía: Pendientes intermedias onduladas de sotavento del Mauna Loa. Pendiente occidental convexa de 7 por ciento.
 Altura: 750 m.
 Notas: Las anotaciones Munsell son para el suelo húmedo. El horizonte B tiene una moderada tendencia a endurecerse irreversiblemente al secarse. Se encuentran algunos fragmentos de basalto cuyo diámetro varía desde menos de 5 hasta casi 30 cm en todo el solum.
 Clasificación: Typic Hydrandept, thixotropic, isothermic.

- Ap1 0 a 10 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) franco arcillo limoso, con pocas manchas finas distintas de color pardo rojizo oscuro (2.5YR3/6) y pocas tenues de color pardo grisáceo oscuro (10YR3/2) estructura granular media, fina y muy fina, moderada (débil cerca de la superficie), friable, ligeramente adherente, plástico, y moderadamente graso; raíces enredadas; pocos poros grandes y medianos y poros finos y muy finos; comunes; pocas galerías y huecos de gusanos; límite abrupto y plano. 8 a 10 cm de espesor.
- Ap2 10 a 15 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) franco arcillo limoso, con manchas finas distintas, comunes, de color pardo rojizo oscuro (2.5YR3/6) y otras muy finas y tenues de color pardo grisáceo oscuro (10YR2/2), los peds producen un "chroma" más intenso al triturarlos; estructura en bloques subangulares; media, fina y muy fina friable (algunos 'peds' son firmes), ligeramente adherente, plástico y poco graso; muchas raíces; pocos poros grandes y medianos y muchos finos y muy finos; límite claro y plano.
- B21 15 a 25 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) franco arcillo limoso, al triturar los 'peds' el color es más vivo ('chroma' ligeramente mayor); estructura en bloques subangulares, medios, finos y muy finos, moderada; friable, ligeramente adherente, plástico y poco graso; muchas raíces; pocos poros grandes y medianos y muchos finos y muy finos; hay una capa quebrada (8 a 10 cm de espesor) con color ligeramente más oscuro que el resto del horizonte, con agregados endurecidos irreversiblemente, pocos a comunes y de color pardo muy oscuro (10YR2/2) en el límite inferior (no se tomaron muestras); límite claro y ondulado.
- B22 25 a 50 cm, pardo oscuro (7.5YR3/4) franco arcillo limoso, al triturar los 'peds' el color es más vivo (chroma mayor); estructura en bloques subangulares gruesos, débil, que se rompe a una estructura en bloques subangulares, medios, finos muy finos; muy friable, ligeramente adherente, plástico, y poco graso; muchas raíces; poros comunes grandes y medianos y muchos finos y muy finos; las superficies de los peds están cubiertas con un revestimiento gelatinoso; límite claro quebrado.
- B23 50 a 58 cm, pardo oscuro (7.5YR3/2) franco arcillo limoso, al triturar los 'peds' el color es más vivo (chroma mayor); estructura en bloques subangulares gruesos, débil, que se rompe en bloques subangulares finos y muy finos, moderada; friable, ligeramente adherente, plástico y moderadamente graso; muchas raíces; pocos poros grandes y medianos y muchos finos; muchas manchas de un revestimiento gelatinoso suave en las superficies de los peds; límite brusco y plano.
- B24 58 a 90 cm, pardo oscuro (7.5YR3/4) franco arcillo limoso liviano; al triturar los peds el color es más vivo (chroma mayor); estructura en bloques subangulares medios, débil que se rompe en bloques subangulares finos y muy finos, moderada; friable, ligeramente adherente, plástico y moderadamente graso; muchas raíces; pocos poros grandes y medianos y muchos finos y muy finos; muchas manchas de revestimientos gelatinosos suaves en las superficies de los 'peds', hay fragmentos de lava, en su mayor parte de diámetro de 5 a 13 cm y que constituyen alrededor del 50 por ciento del volumen de horizonte.

Profundidad (cm)	Horizonte	6A1a	6B1a	C/N	6C2b	6A2b	Contenido de agua		pH	
		Carbón orgánico	Nitrógeno		Hierro extraíble en Fe	Carbón orgánico	4B1c	4B2	8Cl _a	8Cl _a
		%	%		%	%	1/3 Bar	15 Bar	H ₂ O 1:5	KCl 1:5
0-10	Ap1	17.1	1.20	14	9.7	16.9	138	100	6.1	5.0
10-15	Ap2	11.4	0.855	13	15.4		153	104	6.0	4.9
15-25	B21	7.26	0.604	12	20.2		154	113	5.7	4.6
25-50	B22	6.24	0.541	12	21.6		174	128	5.4	4.7
50-58	B23	9.25	0.537	17	12.4	11.1	222	166	5.6	5.0
58-90	B24	6.47	0.428	15	6.9		235	174	5.8	5.4

Profundidad (")	Bases extraíbles 5B4a				Suma de bases meq/100 g	Capacidad de intercambio catiónico		6Gle KCl ext. Al+++	Saturación de bases 5Cl NH ₄ OAc %
	6N2e	6O2d	6P2A	6Q2a		5A6A NH ₄ OAc	extr. SO ₄		
	Ca	Mg	Na	K					
0-10	13.7	13.1	0.4	0.7	27.9	55.7	2.2	0.3	50
10-15	9.4	9.1	0.2	0.3	19.0	60.5	1.4	-	31
15-25									
25-50	1.2	1.8	0.2	0.1	3.3	34.8	5.1		9
50-58	1.4	1.3	0.2	0.2	3.1	34.0	8.6		9
58-90	0.4	2.0	0.2	0.1	2.7	30.5	12.1		9

Methods code, Soil Survey Investigations Report No. 1, Soil Conservation Service, 1967.

A.7.17

CUADRO 11. Suelo sin nombre

Localización: Lado N Kaiugnak, Bay Isla Kodiak, Alaska. Longitud aproximada 153° 42' O., Lat. 57° 4' 30" O.
 Elevación: Aproximadamente 120 m.
 Material original: Ceniza volcánica sobre depósito morrénico (till).
 Fisiografía: Pendiente de 17 por ciento orientada al sur en tierras altas que sufrieron glaciación.
 Vegetación: Alder, pastos, arbustos, helechos.
 Clase de drenaje: Bien drenado.
 Humedad: Húmedo.
 Descripción y toma de muestras: K. W. Flach, S. Rieger.
 Fecha: Julio 31, 1967.
 Clasificación: Typic Cryandept, thixotropic, mesic.

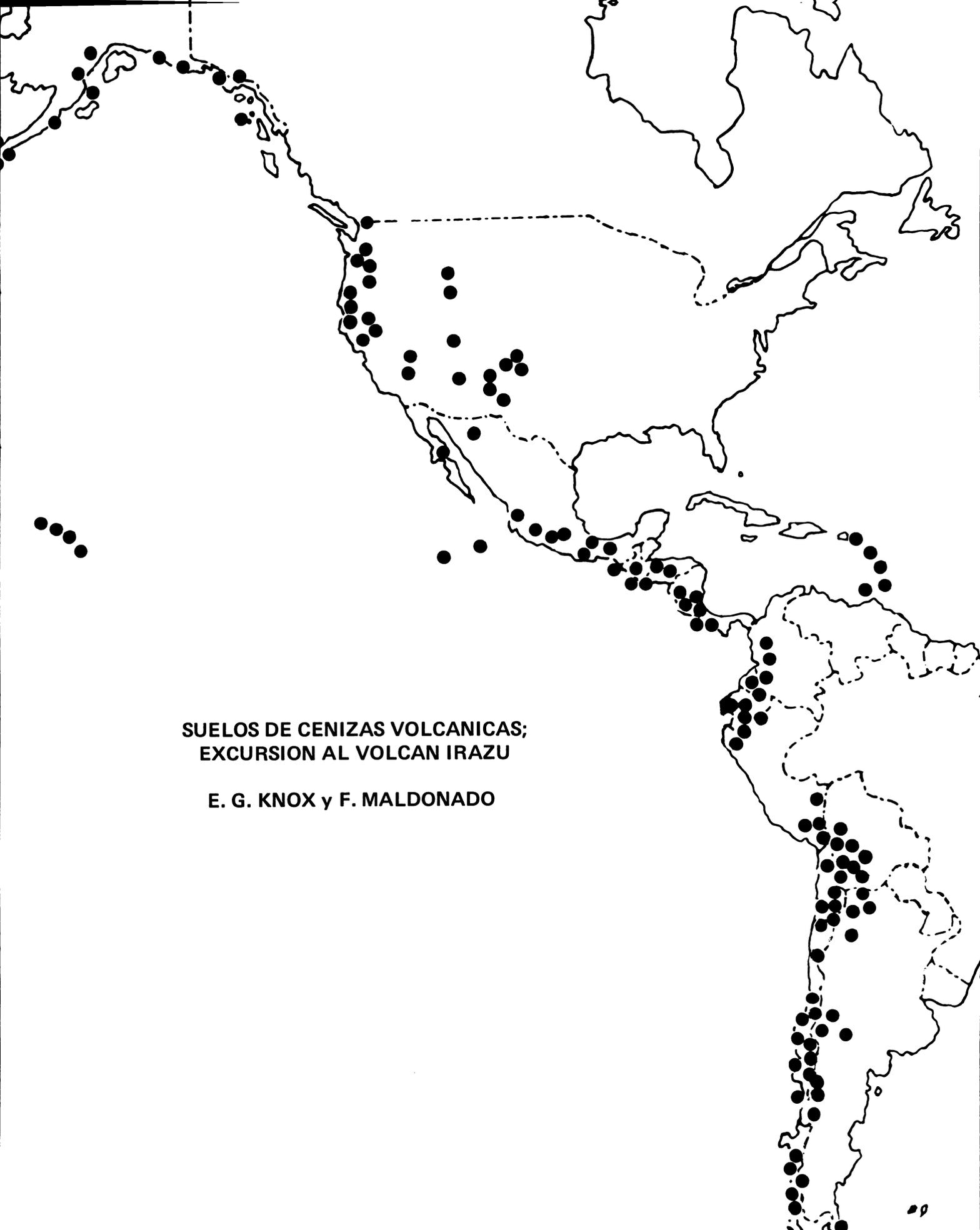
O1	10 a 0 cm, pardo rojizo oscuro (5YR2/2) materiales orgánicos parcialmente descompuestos; muchas raíces; límite brusco y plano.	A12b	40 a 50 cm, pardo rojizo oscuro (5YR3/3) franco limoso; con bandas y estructura laminar muy delgada débil; graso al frotarse; pocas raíces; límite claro y plano.
A11	0 a 12 cm, negro (5YR2/1) franco limoso; estructura granular muy fina débil; muy friable, pero al frotarse sale agua y se vuelve graso; muchas raíces; límite claro y plano.	C1	50 a 62 cm, pardo oscuro (10YR3/3) franco limoso; estructura laminar muy delgada débil; graso al frotarse; raíces escasas; límite claro suave.
A12	12 a 18 cm, pardo rojizo oscuro (5YR2/2) franco limoso; estructura laminar muy delgada, débil; graso al frotarse; raíces comunes; límite claro y plano.	C2	62 a 78 cm, pardo rojizo oscuro (5YR3/4) franco limoso fino; estructura laminar muy delgada, débil; graso al frotarse; adherente, plástico, pocas raíces; límite brusco y plano.
A13	18 a 28 cm, pardo rojizo oscuro (5YR3/2) franco limoso; estructura laminar muy fina, muy débil; graso al frotarse; raíces comunes, poros tubulares finos; límite claro y plano.	IIC3	78 a 95 cm, gris aceituna oscuro (5YR3/2) franco arenoso gravoso, sin estructura; muy friable; sin raíces.
A11b	28 a 40 cm, pardo muy oscuro (10YR2/2) franco limoso; rayas y manchas de color pardo oscuro; (10YR3/2); estructura laminar muy delgada débil; graso al frotarse; raíces comunes, poros finos tubulares; límite brusco y plano.		

Profundidad (cm)	6A1b		6B1a		6C2a		3A1		Densidad aparente 3B2			Contenido de agua			4D1		pH	
	Horizonte	Carbón orgánico %	Nitrógeno %	C/N	Hierro extraíble en Fe %	Arcilla <0.002 mm %	4A1f 1/3 Bar g/cc	4A1f Seco en estufa g/cc	4B1c 1/3 Bar %	4B2 15 Bar %	4B2a 15 Bar	4D1 COLEF cm/cm	4D1 Capacidad de extensión COLE cm/cm	8C1b Saturado Pasta	8C1d NaF 1:50	8C1c KCl		
10-0	O1	46.28	2.860	16	0.2				148	147			3.8	6.2	3.2			
0-12	A11	33.51	2.295	15	2.1	23.8	0.29	0.69	206	82.9	1.00	0.341	3.5	7.3	3.4			
12-18	A12	13.73	0.834	16	5.7		0.32	0.58	190	37.1	0.98	0.227	4.0	10.4	4.0			
18-28	A13	10.49	0.681	15	4.2	14.6	0.40	0.64	156	32.4	1.00	0.170	4.2	10.8	4.2			
28-40	A11b	8.71	0.559	16	3.4		0.48	0.50	225	24.6	0.98	0.213	4.3	10.9	4.2			
40-50	A12b	13.47	0.725	19	6.4		0.27	0.69	256	41.7	1.00	0.368	4.2	11.0	4.3			
50-62	C1	9.24	0.493	19	4.0	6.7	0.50	0.74	132	24.5	0.99	0.141	4.6	11.1	4.5			
62-78	C2	9.48	0.512	19	5.0		0.34	0.70	207	33.1	0.98	0.269	4.7	11.1	4.9			
78-95	IIC3	0.65	0.042	15	0.8		1.03	1.07	32.1	4.1	0.60	0.013	5.2	10.2	4.3			

Profundidad (cm)	Bases extraíbles 5B4a			Capacidad de Intercambio de Cationes			Saturación de Bases			Mineralogía Arcilla (<0.002 mm) 3A1				
	Ca	Mg	Suma de bases meq/100 g	6H2a Acidez extraíble	6G1d Ext. Al+++	5A6 NH4OAc humedad	5A3a Suma	5C1 NH4OAc	5C3 Suma	Mont.	Verm.	Mica 7A2	Caolinita	Otro
10-0	5.5	4.5	12.2	114.0	3.1	119.7	126.2	15.3	10					
0-12	0.7	0.7	2.3	123.5	19.4	115.5	125.8	21.7	2					
12-18	tr.	0.1	0.5	96.4	8.4	71.3	96.9	8.9	1	x*	x*		tr.	fls. fls.
18-28	tr.	0.1	0.5	82.4	5.1	57.4	82.9	5.6	1					
28-40	tr.	tr.	0.4	74.1	4.7	46.8	74.5	5.1	1					
40-50	tr.	tr.	0.5	99.1	4.2	308.6	99.6	4.7	1					amor.
50-62	tr.	tr.	0.4	76.4	2.2	58.0	76.8	2.6	1					
62-78	tr.	0.1	0.4	70.0	0.4	65.1	70.4	0.8	1					
78-95	tr.	tr.	0.2	10.9	0.5	7.1	11.1	0.7	3				tr.	amor.

* Dithionite treated

Methods code, Soil Survey Investigations Report No. 1, Soil Conservation Service, 1967.



**SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS;
EXCURSION AL VOLCAN IRAZU**

E. G. KNOX y F. MALDONADO

SUELOS DE CENIZAS VOLCÁNICAS EXCURSION AL VOLCÁN IRAZÚ

Ellis G. Knox y Fausto A. Maldonado P.*

INTRODUCCION

Los dos volcanes más grandes de los nueve pleistocénicos y cuaternarios de Costa Rica (15), pueden verse desde el Centro de Turrialba, del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Los volcanes están dispuestos en una línea que se extiende 225 km al noroeste de la ciudad de Turrialba (12).

Los cinco volcanes en la parte noroccidental del país forman la Cordillera de Guanacaste. El Rincón de la Vieja tiene fumarolas activas e hizo erupción en 1860, 1863 (20) y 1932 (3). El Miravalles tiene fumarolas activas pero no se ha registrado ninguna erupción (20, 3); el Orosí y el Tenorio son volcanes extintos (20) y erosionados (3) y el Arenal se registraba como extinto (20) pero lanzó grandes cantidades de ceniza y un poco de lava en 1968 (artículo del diario La Nación, 25 de febrero de 1969).

Los otros cuatro volcanes más grandes forman la Cordillera Central (Figura 1) al norte y este de San José; el Poás ha tenido seis erupciones de materiales piroclásticos en los últimos 150 años (20), la más reciente de las cuales fue de 1953 a 1955. El diario La Nación, informó del lanzamiento continuo de gases y cenizas dentro del cráter, hasta fechas tan recientes como el 8 de junio de 1969. El Barba ha estado latente desde 1867 (20). El Irazú ha tenido grandes erupciones en 1723, de 1917 a 1921 y de 1963 a 1965, y erupciones menores en 1821, 1847, 1933 y de 1939 a 1940 (20, 15); sus fumarolas están todavía activas. El Turrialba hizo erupción en 1866 y tiene actividad continua de fumarolas (20). Weyl (20) incluyó el Volcán Viejo como un quinto volcán, extinto, de la Cordillera Central.

Los volcanes de la Cordillera Central han producido materiales en gran parte basálticos y andesíticos (20), y la ceniza de estos volcanes se ha distribuido a través de toda la Meseta Central (Figura 1), que mantiene una gran parte de la agricultura de Costa Rica.

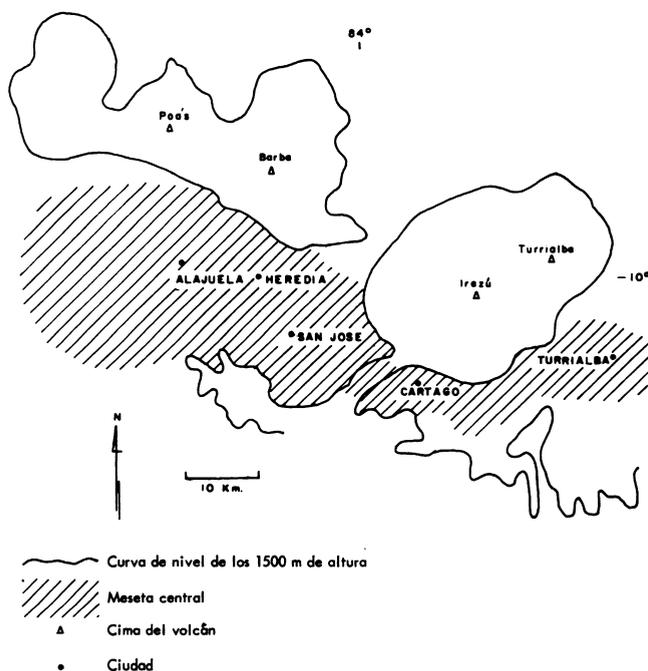


FIGURA 1. Mapa de la Cordillera Central y la Meseta Central, Costa Rica (12)

* Especialista en Reconocimiento y Clasificación de Suelos, asignado por FAO al IICA dentro del Proyecto 80 del Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas y Edafólogo Asistente del IICA/CEI.

A.8.2

En la sección oriental de la Meseta Central (62.900 ha), hay 13.300 ha de suelos formados en gran parte en cenizas volcánicas; 10.00 ha de suelos con alguna parte del perfil formada en ceniza y 8.800 ha de suelos formados de materiales mezclados (casi todos transportados por agua) que contienen ceniza (4). En la sección occidental (130.400 ha) hay 38.400 ha de suelos formados en gran parte a partir de ceniza, 600 ha con alguna parte del perfil formado a partir de ceniza y 24.300 ha de materiales mezclados que contienen ceniza (19). Dentro de estas áreas de estudio, una gran parte de los suelos que no tienen ceniza, están en las pendientes montañosas de la Cordillera de Talamanca, al sur. Las áreas de estudio no comprenden sino las pendientes más bajas de los cuatro volcanes. El área de los suelos formados en depósitos profundos de cenizas fuera de estas áreas de estudio, con seguridad pasa de 100.000 ha.

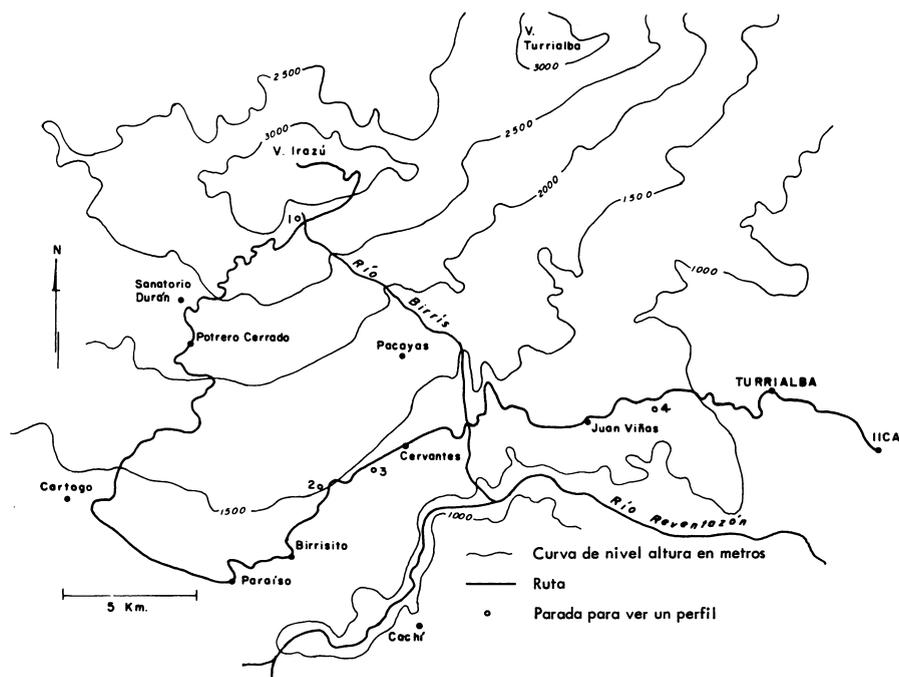


FIGURA 2. Mapa de la ruta de Turrialba al Volcán Irazú, Costa Rica (13)

Los volcanes Irazú y Turrialba, los más cercanos a la ciudad de Turrialba, constituyen un macizo (Figura 2). La ruta de la excursión atraviesa el flanco sur del macizo y asciende a la cima del Irazú.

Esta es una área tropical húmeda (Cuadro 1). De este a oeste, la exposición cada vez menor a los vientos dominantes del este y noroeste (4), está correlacionada con la precipitación total decreciente y la intensidad cada vez mayor de la estación seca. Las temperaturas son uniformes durante el año y disminuyen con la elevación. De acuerdo con Coen (4), el cambio es de 22°C a 600 m a 9°C a 3000 m.

La vegetación original fue de bosques (4), pero ha sido reemplazada casi completamente por café y caña de azúcar hasta alturas de 1500 m y por pastos y hortalizas a elevaciones mayores.

SEGMENTOS DE LA RUTA

Instituto a Turrialba

Los suelos, en su mayor parte de las series La Margot e Instituto (4), son casi planos, con drenaje algo imperfecto, con horizontes superficiales de color oscuro y con texturas franco arcillosas a arcillosas. Se han desarrollado sobre materiales aluviales y lacustres, de acuerdo con Dóndoli y Torres (4). Las frecuentes y grandes piedras que se encuentran dentro de los perfiles y las irregularidades de la superficie son difíciles de explicar, de acuerdo con esta interpretación. Estas características sugieren un origen propio de corrientes de barro. Los suelos dominantes probablemente son Dystropepts y Tropaquepts (17). Pueden verse desde el camino suelos más mojados en las

terrazas más bajas o llanuras de inundación, así como suelos muy pedregosos, moderadamente escarpados en pequeñas colinas. Las colinas son afloramientos (outliers) de una colada de lava de acuerdo con Dóndoli y Torres (4). Esta área del valle está ocupada casi completamente por el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.

Turrialba a la Finca Dos Cercas (alrededor de la curva de nivel de 1000 m entre Turrialba y Juan Viñas)

Los suelos, de la serie Colorado (4), son bien drenados, rojizos, arcillosos y profundos, en pendientes que van de 15 a 40 por ciento; se han desarrollado a partir de materiales meteorizados de lava andesítica (4). Fassbender encontró 6,24 por ciento de carbono orgánico (7) y una capacidad de adsorción para el fósforo, de un máximo de 950 ppm (8) en un horizonte de superficie (0–30 cm). Estos suelos son probablemente Dystropepts. Datos no publicados de Marciano Macías, muestran que la capacidad de intercambio catiónico con acetato de amonio es demasiado alta (de 24 a 31 me/100 g de suelo) para un horizonte óxico. El estudio de cortes delgados podría mostrar suficiente arcilla orientada para poder denominar a estos suelos como Tropohumults. Las pendientes más escarpadas pueden tener suelos más superficiales, pedregosos y menos arcillosos. Los suelos de esta sección se emplean, en su mayor parte, para pastos y café.

Finca Dos Cercas al río Birris.

Estos suelos, de la serie Birrisito (4), son bien drenados y tienen horizontes superficiales profundos, de color oscuro sobre horizontes grasos (tixotrópicos). Se han desarrollado en depósitos de cenizas (4) sobre pendientes de 5 a 25 por ciento. El perfil (4) representa esta área. Estos suelos son probablemente Dystrandeps y se los cultiva con caña de azúcar. Las pendientes cortadas por corrientes de agua tienen suelos pedregosos desarrollados en materiales producidos por el movimiento en masa de la tierra. Estas áreas escarpadas o muy escarpadas se usan para café o para maíz, coles, chayotes (*Sechium edule*, Cucurbitaceae) y otras hortalizas.

Río Birris al límite occidental del manto de lava (entre los perfiles 2 y 3).

Los suelos, de la serie Cervantes, son de cenizas sobre lava (4), en la superficie muy irregular de un manto de lava. Los suelos dominantes (perfil 3) son bien drenados, pedregosos en extremo, tienen profundidad moderada y pasan a roca fracturada y se encuentran en pendientes cortas de 10 a 30 por ciento. Son Dystrandeps o Vitrandeps. Hay algunos suelos formados de ceniza redepositada en pequeñas depresiones que son bien drenados, no pedregosos, casi planos y tienen horizontes A profundos y oscuros; estos suelos son Dystrandeps. Los suelos dominantes se usan para pastos, caña de azúcar y en alturas menores, para café. Los suelos de las depresiones se usan para los mismos cultivos de las zonas adyacentes o para coles, frijoles, arvejas, maíz y otras hortalizas. La madera fósil de depósitos lacustres, recogida de debajo del manto de lava, dio como resultado en el análisis con carbono radiactivo una edad de 13800 ± 300 años (15).

Límite de la lava a Birrisito.

Los suelos, de la serie Birrisito (4), son bien drenados y tienen horizontes superficiales profundos, de textura franca y de color oscuro sobre subsuelos profundos, rojizos y arcillosos. Se han desarrollado sobre cenizas (4) en pendientes de 5 a 25 por ciento. Los cortes recientes en el camino muestran por lo menos tres o cuatro depósitos. Los suelos (perfil 2) son probablemente Dystrandeps. Se los usa para cultivos de papas, arvejas, maíz y otras hortalizas, pastos y caña de azúcar.

De Birrisito, pasando por Paraíso, hasta la fábrica Ricalit.

Estos suelos pertenecen a la serie Paraíso (4), son bien drenados, profundos, rojizos, y arcillosos, en pendientes que van de 3 a 20 por ciento. Son similares a los suelos de la serie Colorado, pero tienen menos materia orgánica: 4,31 por ciento en los 30 centímetros superiores (7). De acuerdo con Dóndoli y Torres (4), se han desarrollado en material meteorizado de lava andesítica. Sin embargo, se diferencian gradualmente de los suelos del segmento 5, en primer lugar por la disminución del espesor de la capa superficial de color oscuro y además, pueden haberse desarrollado en los depósitos de ceniza más viejos que forman los subsuelos del segmento 5. Son probablemente Humitropepts o Tropohumults. Se usan principalmente para pastos.

Fábrica Ricalit a Cartago.

Los suelos se han formado en restos de aluvión y corrientes de barro (4), en superficies casi planas y poco

A.8.4

pendientes al pie del volcán Irazú. La grave inundación (11) del río Reventado, diciembre de 1963, durante la última erupción del Irazú, nos indica la forma en la que se depositaron probablemente los materiales de esta área. Los suelos varían mucho en drenaje, textura y otras características. Se emplean con pastos, café y hortalizas, así como para fines industriales y residenciales.

Norte de Cartago a Potrero Cerrado.

Los suelos son bien drenados, profundos, rojizos y arcillosos; se han formado en pendientes de 10 a 30 por ciento. Probablemente, el material de partida fue ceniza volcánica. Estos suelos son similares a los del segmento 5 (perfil 2). Se emplean para hortalizas y pastos.

Potrero Cerrado a la cima del Irazú

Los suelos son bien drenados, de color oscuro, profundos y de textura franca; se han formado en pendientes de 15 a 40 por ciento y se han desarrollado a partir de depósitos profundos de ceniza relativamente reciente. Probablemente son Dystrandeps y Vitrandeps. El perfil 1 representa por lo menos la parte superior de este segmento. La porción inferior se la cultiva con papas y otras hortalizas. La porción superior tiene casi exclusivamente pastos. Gran parte de este segmento recibió de 10 a 20 cm de ceniza durante la erupción de 1963 a 1965.

SUELOS

Métodos

Se describieron cuatro suelos (Figura 2), se tomaron muestras y se hicieron con ellas los análisis respectivos. Las descripciones siguen las instrucciones del Manual de Levantamiento de Suelos (18) y las guías de FAO (5).

La densidad aparente se determinó por el método de los terrones (1).

El análisis granulométrico se hizo con el método del hidrómetro (1, 9). No se dejó que las muestras se secaran en ningún momento. Las muestras fueron tratadas con peróxido de hidrógeno a 30 por ciento, calentadas y filtradas para extraer la materia orgánica y los productos de descomposición. Para la dispersión se empleó una mezcla de metafosfato de sodio y carbonato de sodio. Las determinaciones se hicieron por duplicado para los perfiles 2, 3 y 4. Se tomó como base una densidad de partículas de 2,65 g/cc para el perfil 1 y de 2,45 g/cc para los perfiles 2, 3 y 4. Se han comunicado valores de 2,0 (10) para horizontes superficiales de perfiles de las series Birrisito y Cervantes, aunque se supone que no fueron tratados para extraer la materia orgánica. Probablemente, los suelos contienen material amorfo sin partículas sólidas, sujeto a cambios irreversibles con la deshidratación y esa clase de material hace que los resultados de análisis de densidad real sean ambiguos. En realidad, el análisis granulométrico en sí, es por lo menos parcialmente artificial para suelos con mucho material que no tiene partículas. Claro está que la dispersión fue imperfecta para los horizontes inferiores de los perfiles 2 y 3.

Las fracciones de arena del perfil 1 se determinaron por tamizado en seco, después de tratamiento para eliminar la arcilla y la materia orgánica. Se usó un tamiz de 200 mallas (74 micras) para aproximarse a la separación entre arena y limo.

Se midió la retención de humedad de pequeños terrones naturales (tres por horizonte) a una presión de 15 bares, producida por equilibrio durante 36 horas, en un aparato de plato cerámico de presión (1). Los valores altos muy diferentes se descartaron después de suponer que el poco contacto con el plato impidió el equilibrio. Las cifras de más de 100 por ciento fueron redondeadas.

La materia orgánica se determinó e en el curso de la preparación para el análisis granulométrico. Las cifras presentadas son de la pérdida de peso debida al tratamiento (del suelo húmedo) con peróxido de hidrógeno 30 por ciento y a la filtración. Son valores más altos que los que da la combustión por vía húmeda (7). Pueden haberse extraído con el tratamiento, iones inorgánicos que formaban complejos con la materia orgánica.

Se determinó el pH de mezclas de agua:suelo (1:1) y de suelo:solución 0,01 M de cloruro de calcio (1:2), por medio del electrodo de vidrio (1). Las muestras fueron secadas al aire.

La capacidad de intercambio de cationes se determinó con un método* basado en un trabajo de Rich (16) que indica que los suelos ricos en alófana y óxido de hierro y aluminio, cuando se tratan con acetato de amonio,

* (Elemer Bornemisza, comunicación personal)

A.8.5

adsorben acetato y retienen un exceso de amonio sobre el que mantienen las cargas de intercambio de cationes. Por tanto, para tales suelos, el método del acetato de amonio exagera la capacidad de intercambio, y esto fuera de cualquier consideración que se haga de cargas dependientes de pH. Se tamizaron muestras secadas en la estufa, en un tamiz de malla 20 (840 micras). Se saturaron porciones de 1 g con una solución normal de cloruro de calcio a pH 7. Se desplazó el calcio con una solución normal de acetato de magnesio y se lo determinó por medio de la espectrometría de absorción atómica. No se pudo descubrir cloro en la solución extraída. Las cifras presentadas son el promedio de tres determinaciones. Las diferencias máximas del promedio van hasta 50 por ciento y más, en los casos extremos. También se determinó la capacidad de intercambio por duplicado, con solución normal de acetato de amonio a pH 4,8*, a partir de muestras secadas en la estufa. Las bases cambiables se desplazaron con acetato de amonio a pH 4,8* y se determinaron por espectrometría de absorción atómica. La saturación en bases se calculó a base de la capacidad de intercambio del acetato de amonio.

Morfología y génesis

Los suelos (Cuadros 2, 3, 4 y 5), tienen horizontes superiores de color oscuro, con altos contenidos de materia orgánica. Fuera de esto, muestran poca diferenciación de horizontes. Casi todos los horizontes, aún los arcillosos, son friables. Con excepción del perfil 1, la densidad aparente es baja. La saturación de bases es muy baja. Los valores del pH son bajos en los horizontes de superficie y tienden a aumentar con la profundidad.

Los valores para la retención de agua a 15 bares son altos, más altos que lo que corresponde al contenido de arcilla determinado en el campo o en el laboratorio y son altos en relación con la capacidad de intercambio de cationes. Estos valores pueden ser más altos que los verdaderos debido a que, a veces, no se pudo alcanzar el equilibrio. En algunos casos, son muy poco menores o aun mayores que los valores para 1/3 de bar o 5 bares o que los valores para las muestras (en condiciones parecidas a las del campo), que se emplearon en las medidas de análisis granulométricos y de densidad aparente. No obstante, aún con grandes sustracciones, los valores indican alta retención de agua.

Tal como se esperaba, los perfiles 2, 3 y 4 tienen una capacidad de intercambio de cationes mucho más alta con el acetato de amonio que con el cloruro de calcio. Los valores para el perfil 1 se parecen más, entre sí por los dos métodos. La diferencia puede atribuirse en gran parte a la adsorción de acetato por la materia orgánica y el material amorfo.

La gran cantidad de material amorfo está indicada por la baja densidad aparente, los problemas de dispersión, la alta retención de agua, el exceso de capacidad de intercambio con el acetato de amonio y el contenido muy alto de materia orgánica en los horizontes superiores.

Los procesos genéticos más importantes representados por estos suelos son: 1) la acumulación de materia orgánica; 2) la lixiviación de sales y de iones intercambiables; 3) la meteorización de los minerales primarios, incluyendo el vidrio, para formar arcilla; 4) el desarrollo de la estructura y 5) la deposición sucesiva de material fresco.

El perfil 1 incluye un depósito de superficie de ceniza fresca de la erupción del Irazú de 1963 a 1965. La capa contiene algo de materia orgánica, pero mucho menos que el horizonte enterrado que se encuentra debajo. Suponiendo que el depósito reciente es representativo, las capas más viejas se han meteorizado muy poco. La fracción arena es todavía dominante y las superficies de los granos aparecen frescas. A pesar de las bases suministradas por la ceniza reciente (2), la saturación en bases es más bien baja. La estratificación por deposición, indicada con números romanos en las designaciones de los horizontes, se interpretó liberalmente a base de los cambios de textura, proporción de las fracciones de arena, contenido de piedras y la cantidad de revestimientos en los granos de arena.

En el perfil 2, los dos horizontes superiores son claramente diferentes de los horizontes inferiores y están separados de éstos por un límite que sugiere la existencia de mezcla mecánica de dos materiales diferentes. Los horizontes B —no los A— parecen continuar bajo el manto de lava de Cervantes. Aparentemente había un depósito más viejo que se meteorizó para formar los horizontes B actuales antes de la deposición del material de partida para los horizontes A actuales. El horizonte B_{2,3} se diferencia de los horizontes suprayacentes por su consistencia húmeda, el desarrollo estructural y los revestimientos de los pedos y probablemente es un horizonte fósil enterrado por los dos depósitos suprayacentes. El contenido de bases es muy bajo, pero mucho más alto que en el perfil 4 que recibe una precipitación mucho mayor.

El perfil 3 se desarrolló a partir de ceniza y lava. El contenido de fragmentos gruesos es alto. Los horizontes son variables e intermitentes. Aparentemente, la superficie del manto fue muy irregular y la ceniza se acumuló en grietas, sin enterrar completamente la roca; ésta muestra pocos indicios de meteorización anterior a la deposición de la ceniza. El grado de meteorización de los minerales y de diferenciación de los horizontes parece pequeño en relación

* Roberto Díaz—Romeu y F. Balardi, IICA, mimeografiado.

con la edad máxima posible (13.800 años) del manto de lava. El horizonte superficial es semejante a los horizontes superficiales del perfil 2 en el contenido de bases. Los horizontes inferiores no muestran enriquecimiento a partir de la roca de lava. Los suelos como los del perfil 3 están asociados con suelos más profundos, no pedregosos, desarrollados de depósitos aluviales de ceniza.

El perfil 4 se parece mucho al perfil 2 con respecto a la morfología y los indicios de que el material de partida del horizonte A fue depositado después de una meteorización considerable del material que forma los horizontes B. Sin embargo, el contenido de bases es menor y los horizontes B son grasos; además, tienen estructura más débil y los colores son más amarillos. Los suelos como los del perfil 4 reciben precipitación durante todo el año y probablemente nunca están secos o sujetos a mucha tensión de humedad. Cuando se secan hay cambios irreversibles en el color y la consistencia. Suelos semejantes, situados a sólo pocos kilómetros, desarrollan agregados de tamaño de gravas al secarse.

Clasificación (17)

El perfil 1 tiene una densidad aparente menor de 0,85 g/cc en uno solo de los horizontes, de 9 cm de espesor. Esto no es suficiente para clasificarlo como Andept, basándose en el criterio de la dominancia del material amorfo. Por otra parte, la fracción de arena es de más de 60 por ciento de ceniza y ésta contiene vidrio. Con esta interpretación de la expresión Vitric volcanic ash (ceniza volcánica vítrea), el suelo reúne los requisitos para ser un Andept. La retención de agua a 15 bares de menos de 20 por ciento en la sección de 25 a 100 cm de profundidad (suponiendo una pequeña sobrestimación) y el epipedon úmbrico, además de los criterios para la familia, hacen de este suelo un Umbric Vitrandept, ashy isomesic. La temperatura del suelo puede estar alrededor de 8°C, el límite para Cryandept y familia isofrigid.

Si se toman los valores de retención de agua a 15 bares como ciertos, entonces la retención es mayor 20 por ciento. En este caso, la clasificación sería Dystrandept y debido a la capacidad de intercambio baja con el acetato de amonio, Oxic Dystrandept. Esta sería una clasificación que podría conducir a error para este suelo relativamente no meteorizado. El uso de muestras húmedas para medir la retención de agua y de muestras secas en la estufa para la capacidad de intercambio de cationes, pueden haber complicado más el problema. La secuencia de desarrollo esperada es de Vitrandept a Typic Dystrandept y luego a Oxic Dystrandept. Si hay otros Andepts poco meteorizados que desarrollen una retención de agua demasiado alta para los Vitrandepts, antes de que la capacidad de intercambio sea lo suficientemente alta para que se conviertan en Typic Dystrandeps, se necesitará una modificación de las definiciones.

El perfil 2 tiene densidad aparente baja y hay indicios de dominancia de materiales amorfos. La retención de agua a 15 bares es mayor de 20 por ciento y la saturación en bases es demasiado baja para un epipedon mólico. Se considera que ningún horizonte es tixotrópico y la capacidad de intercambio de cationes es de más de 30 miliequivalentes por cien gramos de suelo. Estas características, así como los criterios para clasificar las familias, nos indican que este suelo se clasificaría como Typic Dystrandept, ashy, isothermic. La temperatura del suelo puede estar cerca del límite de las familias isohyperthermic.

El perfil 3 se puede considerar un Andept, basándose en la densidad aparente y los materiales amorfos. Tiene un epipedon úmbrico. La capacidad de intercambio de cationes disminuye a menos de 30 miliequivalentes por cien gramos de suelo, en un metro de profundidad. Basándose en la inexistencia de un contacto lítico o "paralithic" en un metro de profundidad, la retención de agua a 15 bares (promedio de todo el suelo entre 25 y 100 cm, teniendo en cuenta el contenido de fragmentos gruesos en base de su peso) es cercana a 20 por ciento. Si es menor, el suelo es Umbric Vitrandept; si es mayor, Oxic Dystrandept. La primera clasificación (suponiendo una sobrestimación de la retención de agua) parece más satisfactoria para un suelo con un contenido tan alto de material no meteorizado. No se han creado familias "skeletal" para los Andepts. Como los fragmentos gruesos son extraños al material piroclástico, este perfil sugiere que se debe crear una familia ashy-skeletal. La temperatura del suelo es probablemente isothermic, pero cercana a isohyperthermic. Por consiguiente, el nombre completo sería Umbric Vitrandept, ashy-skeletal, isothermic.

El perfil 4 tiene la densidad aparente, el material amorfo, la retención de agua, la saturación en bases y la capacidad de intercambio de cationes propios para un Oxic Dystrandept. La indicación de meteorización avanzada (subgrupo oxic) puede ser apropiada para este suelo. Se considera que los horizontes B son tixotrópicos y se deshidratan irreversiblemente. Sin embargo, estos horizontes no desarrollan agregados de tamaño de grava y la mayor parte del material, hasta un metro de profundidad, está ocupado por horizontes A no tixotrópicos. Así, aunque el suelo se parece mucho a un Hydrandept, no reúne las condiciones para ser Hydric Dystrandept ni cabe dentro de una familia tixotrópica. La clasificación completa sería Oxic Dystrandept, ashy, isohyperthermic. La temperatura está cerca del límite para las familias isothermic.

A.8.7

BIBLIOGRAFIA

1. BLACK, C. A. 'et al' (eds.). 1965. Methods of soil analysis. Agronomy, No. 9. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
2. BORNEMISZA, E. y J. C. MORALES. 1969. Soil chemical characteristics of recent volcanic ash. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (In press).
3. DENGO, G. 1962. Estudio geológico de la región de Guanacaste, Costa Rica. Instituto Geográfico de Costa Rica, San José.
4. DONDOLI, B. C. y J. A. TORRES M. 1954. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. Ministerio de Agricultura e Industrias, San José, Costa Rica.
5. FAO. Guías para la descripción de perfiles de suelos. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Land and Water Development Division, Soil Survey and Fertility Branch, Rome.
6. FAO. Guidelines for soil profile description.
7. FASSBENDER, H. W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 3:187–202.
8. FASSBENDER, H. W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latinoamericana 3:203–216.
9. FORSYTHE, W. 1966. Progresos recientes en el análisis de las partículas de los suelos por medio del método del hidrómetro. Agronomía (Perú) 33:16–27.
10. GAVANDE, S. A. 1969. Influencia de succión de suelo en la porosidad de aereación y en la difusión de oxígeno en el café cultivado en seis suelos de Costa Rica. Turrialba 19:39–48.
11. INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD. 1965. Informe sobre el problema del Río Reventado. San José, Costa Rica.
12. INSTITUTO GEOGRAFICO DE COSTA RICA. 1966. Costa Rica, Mapa Físico—Político 1:500,000. San José.
13. INSTITUTO GEOGRAFICO DE COSTA RICA. 1966. Valle Central, Mapa Especial 1:150,000. San José.
14. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA. 1960 and 1966. Anuario meteorológico. Servicio Meteorológico Nacional. San José, Costa Rica.
15. MURATA, K. J., C. DONDOLI y R. SAENZ. 1966. The 1963–65 eruption of Irazu Volcano, Costa Rica. Bulletin Volcanologique 29:765–796.
16. RICH, C. I. 1962. Removal of excess salt in cation exchange capacity determinations. Soil Science 93:87–94.
17. SOIL SURVEY STAFF, SOIL CONSERVATION SERVICE, USDA. 1960. Soil classification, a comprehensive system, 7th approximation. U. S. Govt. Printing Office, Washington, D. C. Supplement to Soil Classification System (7th Approximation), March 1967.
18. SOIL SURVEY STAFF, SOIL CONSERVATION SERVICE, USDA. 1951. Soil survey manual. USDA Handbook No. 18. U.S. Govt. Printing Office, Washington, D. C. Trans. by J. B. Castillo, Ministerio de Agricultura y Cría, Caracas, Venezuela, 1965.
19. VARGAS V., O y J. A. TORRES. 1958. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. Boletín Técnico No. 22, Ministerio de Agricultura e Industrias, San José, Costa Rica.
20. WEYL, R. 1961. Die Geologie Mittelamerikas. Borntraeger, Berlin.

CUADRO 1. Datos meteorológicos*

Estación	Precipitación (mm)**					Temperatura (°C)***		
	Dic.	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	Total Anual	Anual	Variación
Cachí	158	105	55	49	68	2059	22.0	3.2
Cartago	40	25	8	10	54	1107	—	—
Juan Viñas	471	342	218	154	178	3725	21.1	2.9
Pacayas	229	166	58	72	96	2052	17.1	2.3
Paraíso	116	88	43	39	58	1585	—	—
Sanatorio Durán	62	23	12	6	26	1326	15.1	1.3
Turrialba	273	171	82	71	97	2437	22.1	2.5

* De Anuario Meteorológico (14) para 1966 (precipitación) y 1960 (temperatura).

** Promedios de 1960–65; en Cartago 1961–65. Los meses puestos en lista son los de la estación seca.

*** "Valores normales" 1960. Variación es la diferencia entre los meses más cálidos y los más fríos.

A.8.9

CUADRO 2. Datos de campo y laboratorio – Perfil 1

Fecha de la toma de muestras :	14 de abril de 1969.
Lugar :	Cerca de la cima del volcán Irazú; 2,3 km al sur del cráter medio; en un pastizal al oeste del río Birrís y norte del camino; a 18 m cuesta arriba del resto de un gran árbol, cerca de un camino de campo; 353,5 km este y 216 km norte en la hoja topográfica de Istarú (3443 IV), Costa Rica.
Forma del terreno :	Pendiente corta de 2 por ciento. Ladera del volcán, en una cresta estrecha (100 m) entre valles de corrientes profundas y estrechas. No hay ninguna posibilidad de deposición aluvial o coluvial.
Elevación :	2900 m.
Temperatura media anual :	Probablemente alrededor de 9°C.
Precipitación :	Probablemente alrededor de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje :	Buena. El suelo estaba húmedo al momento de tomar la muestra, sin manto freático.
Vegetación :	Pastos; hierba, lupinos y otras herbáceas, con robles y otros árboles.
Clasificación :	Umbric Vitrandept, ashy, isomesic.
Horizonte (cm) :	Descripción (color en húmedo, a menos que se indique expresamente):
C 0–13	Negro (10YR2/1), gris oscuro (10YR4/1 en seco, mezcla de los colores de granos individuales; arena fina; sin estructura; suave muy friable; no adherente; no plástico; muchas raíces en la parte superior; con capas delgadas (1 a 2 cm) de arena media; límite inferior abrupto y ondulado.
IIA1b 13–22	Pardo muy oscuro (10YR2/2) franco; estructura en bloques subangulares, muy fina, débil; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; pocos poros tubulares muy finos; muchos granos de arena limpios; raíces comunes, muchas raíces muertas en la parte superior, límite inferior claro y plano.
IIB1b 22–38	Pardo muy oscuro (10YR2/2) franco arenoso fino; sin estructura; friable; ligeramente adherente; ligeramente plástico; pocos poros tubulares muy finos; casi todos los granos de arena están limpios; muchas raíces; el límite inferior es gradual.
IIIB2b 38–58	Pardo muy oscuro (10YR2/3) franco arenoso (más arcilla que en el horizonte anterior); estructura en bloques subangulares muy finos, débil; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, frágil; muchos poros tubulares muy finos y pocos finos; granos de arena limpios comunes; pocas raíces, límite inferior gradual.
IVB3b 58–75	Pardo muy oscuro (10YR2/3), bandas comunes de color pardo amarillento a lo largo de canales viejos de raíces; franco arenoso; estructura en bloques subangulares, muy fina; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, frágil; poros tubulares muy finos comunes; guijas pequeñas comunes; granos de arena gruesa y muy gruesa comunes; granos de arena limpios comunes; pocas raíces; límite inferior claro y ondulado.
VC 75–105	Pardo muy oscuro (10YR2/2), bandas de color pardo amarillento a lo largo de canales viejos de raíces; franco arenoso; sin estructura friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico, frágil; pocos poros tubulares muy finos; granos de arena limpios comunes; muy pocas raíces; capa intermitente de arena negra en el límite inferior, con pocos pedazos de carbón y fragmentos de suelo rojizo (quemado); límite inferior claro e irregular.
VIBb 105–120	Pardo grisáceo muy oscuro (10YR3/2), pocas bandas de color pardo amarillento a lo largo de viejos canales de raíces; franco arenoso fino; estructura en bloques subangulares muy finos, débil; friable, ligeramente plástico, ligeramente adherente, pocos poros tubulares muy finos; muy pocas raíces.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Fracciones de arena				
			Arena %	Limo %	Arcilla %	Muy gruesa	Gruesa	Media	Fina	Muy fina
			Porcentaje del total de arena							
C	0–13	n.d.	75	21	4	0.4	6.9	52.3	34.3	6.1
IIA1b	13–22	0.8	69	29	2	0.6	4.7	28.7	50.1	16.0
IIB1b	22–38	1.1	67	25	8	0.9	9.4	31.6	51.0	7.2
IIIB2b	38–58	0.9	62	28	10	2.6	8.5	29.1	53.0	6.8
IVB3b	58–75	0.9	62	29	9	12.5	7.7	20.7	48.8	10.4
VC	75–105	1.1	75	20	5	1.0	9.2	35.5	48.0	6.2
VIBb	105–120	1.0	65	26	9	0.4	4.5	27.7	55.7	11.6

Horizonte	pH		C. I. C.		Bases intercambiables		Saturación en bases %	Hume- dad 15 bar. %	Materia orgánica %	
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ OA _c	Ca	Mg				K
	me/100 g									
C	5.5	5.0	0.9	0.8	0.1	0.1	0.2	50	n.d.	1.2
IIA1b	4.5	4.3	8.2	13.0	0.6	0.7	0.5	14	38	17.3
IIB1b	5.1	4.7	8.3	11.5	0.4	0.3	0.1	7	21	8.4
IIIB2b	5.5	5.1	9.4	12.0	0.6	0.3	0.2	9	23	6.5
IVB3b	5.5	5.1	5.7	10.1	0.4	0.2	0.1	7	26	6.2
VC	5.6	5.3	2.8	3.8	0.1	0.1	0.1	8	17	3.9
VIBb	5.8	5.5	7.5	5.7	0.1	0.1	0.2	7	24	3.5

CUADRO 3. Datos de campo y de laboratorio – Perfil 2

Fecha	:	23 de abril de 1969.
Lugar	:	Entre Cervantes y Paraíso; norte de la carretera, en un campo que pertenece al Sr. Irola; 22 m al sur del extremo occidental de una línea de cuatro árboles, 45 m al oeste de un árbol en la cerca que bordea la carretera; 205,8 km norte y 554,4 km este, hoja topográfica Istarú (3445 IV), Costa Rica.
Forma del terreno	:	Pendiente larga y regular 10 por ciento. Pendiente lateral del volcán.
Elevación	:	1500 m.
Temperatura media anual	:	Alrededor de 19°C.
Precipitación	:	Cerca de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje	:	Bueno. Suelo húmedo cuando se tomó la muestra, sin manto freático.
Vegetación	:	Pasto no mejorado y con muchas malezas. No sembrado desde la última cosecha de caña, hace dos años.
Clasificación	:	Serie Birrisito (4). Typic Dystrandept, ashy, isothermic.
Horizonte (cm)	:	Descripción (color en húmedo):
Ap 0–30		Negro (10YR2/1) franco; estructura granular muy fina, moderada; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales muy finos, pocos poros tubulares; muchas raíces muy finas; límite inferior claro y plano.
A12 30–80		Negro (10YR2/1 ó 1/1) franco; estructura en bloques subangulares, fina, moderada, que se rompe a estructura granular muy fina fuerte; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales y tubulares muy finos; muchas krotovinas; muchas raíces muy finas; una piedra angulosa y un fragmento de artefacto de cerámica cerca del límite inferior; límite inferior muy variable, abrupto y claro e irregular.
IIB1 80–120		Pardo oscuro (10YR4/3, con variación a 4/4 y 3/3) arcillo limoso; estructura en bloques subangulares muy fina y fina débil, que se rompe a estructura granular muy fina moderada; friable, adherente, plástico; muchos poros tubulares finos; pocos granos casi blancos, otros negros comunes y pocos rojizos de menos de 1 mm de diámetro; horizonte muy variable, 35 por ciento de inclusiones de 10 a 15 cm de sección, de material semejante al de los horizontes suprayacentes y en menor proporción de los subyacentes; límite inferior claro, gradual y ondulado.
IIB21 120–160		Pardo vivo (7,5YR4/6) arcillo limoso; estructura en bloques subangulares muy fina, moderada; friable; adherente, plástico; muchos poros tubulares muy finos; pocas concreciones rojizas suaves, de 2 a 5 mm de diámetro; pocos granos casi blancos de menos de 1 mm de diámetro; pocos granos de arena negra; inclusiones de 5 a 15 cm de sección, de material similar al de B1 y A12; muchas raíces; límite inferior gradual.
IIB22 160–195		Pardo vivo (7,5YR4/6) arcillo limoso; estructura media débil en bloques subangulares, que se rompe a moderada fina y muy fina; friable, adherente, plástico; muchos poros tubulares muy finos; pocos granos casi blancos de menos de 1 mm de diámetro; pocos granos de arena negra; pocas raíces; límite inferior claro y plano.
IIIB23tb 195–210+		Pardo (7,5YR4/4) arcillo limoso; estructura en bloques subangulares media, moderada; firme, adherente, plástico; poros tubulares muy finos, comunes; revestimientos comunes (láminas de arcilla?) sobre los pedrs, algunos rojizos; pocos revestimientos negros pequeños; pocas concreciones rojizas, de 2 a 5 mm de diámetro; pocas raíces.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
Ap	0– 30	0.7	20	51	29	65	23.7
A12	30– 80	0.6		poor dispersion		84	14.1
IIB1	80–120	0.6		poor dispersion		80	8.2
IIB21	120–160	0.6		poor dispersion		110	4.6
IIB22	160–195	0.5		poor dispersion		120	4.0
IIIB23tb	195–210	0.5		poor dispersion		130	3.3

Horizonte	pH		C. I. C.		Bases intercambiables			Saturación en bases %
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ OA _c m μ /100 g	Ca	Mg	K	
Ap	5.6	4.9	14.5	47.4	0.3	0.6	0.2	2
A12	6.1	5.1	15.4	48.6	0.7	0.6	0.1	3
IIB1	6.4	5.6	9.8	37.7	0.1	0.2	0.1	1
IIB21	6.4	5.7	7.6	35.9	0.1	0.2	0.1	1
IIB22	6.6	5.7	7.0	34.4	0.2	0.3	0.1	2
IIIB23tb	6.6	5.7	12.3	41.6	0.2	0.5	0.1	2

A.8.11

CUADRO 4. Datos de campo y de laboratorio — Perfil 3

Fecha	: 23 de abril de 1969.
Lugar	: Noroeste de Paraíso; 1,6 km al suroeste del restaurante Posada de la Luna, en Cervantes; corte nuevo en el camino en el lado sur del mismo; 556,2 km este y 207 km norte, hoja topográfica Istarú (3445 IV), Costa Rica.
Forma del terreno	: Pendiente corta de 18 por ciento. Manto de lava muy irregular. Diferencias de nivel de más de 5 m, dentro de una distancia horizontal de 10 a 20 m. Muchas depresiones cerradas. Pendiente media de alrededor de 5 por ciento.
Pedregosidad	: Extremadamente pedregoso. Las pequeñas depresiones cercanas no son pedregosas.
Elevación:	1490 m.
Temperatura media anual	: Alrededor de 19°.
Precipitación	: Alrededor de 2000 mm por año, con estación seca moderada.
Drenaje	: El suelo estaba húmedo cuando se tomó la muestra, sin manto freático.
Vegetación	: Hierba y maleza a lo largo de la carretera. Pastos, hortalizas y caña de azúcar en los alrededores.
Clasificación	: Serie Cervantes (4). Umbric Vitrandept, ashy—skeletal (propuesto), isothermic.
Horizonte (cm)	Descripción (color en húmedo):
A1 0—30	Negro (10YR2/1 ó 1/1) franco; estructura en bloques subangulares fina y muy fina, fuerte; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales muy finos; 30 por ciento de fragmentos gruesos*; muchas raíces muy finas; límites inferiores claro y ondulado.
B2 30—80	Pardo oscuro (7,5YR3/4) franco arcilloso; estructura en bloques subangulares fina y muy fina, fuerte; friable, adherente, plástico; muchos poros intersticiales muy finos; 40 por ciento de fragmentos gruesos*; raíces comunes; límites inferiores gradual y ondulado.
IIB3 80—130	Pardo oliva (2,5YR3/3) franco; estructura en bloques subangulares fina y muy fina, débil; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástica; muchos poros tubulares muy finos; 50 por ciento de fragmentos gruesos*; raíces comunes; límite inferior gradual y ondulado.
IIC 130+	Gris oliva claro (5YR6/2, que va desde 6/1 hasta 6/3) franco arenoso; sin estructura; friable, no adherente, no plástico; 70 por ciento de fragmentos gruesos*; no hay raíces.

* Los fragmentos gruesos incluyen guijas, guijarros y piedras de lava andesítica, con pocos indicios de meteorización. Los cálculos estimados son en volumen. En el caso de los dos últimos horizontes, especialmente, este material se podría considerar como roca fragmentada subyacente.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
A1	0— 30	0.6	32	32	36	100	35.2
B2	30— 80	0.8	poor dispersion			87	0.0
IIB3	80—130	n.d.	poor dispersion			43	0.5
IIC	130—140	n.d.	poor dispersion				

Horizonte	pH		C. I. C.		Bases intercambiables			Saturación en bases %
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ OAc	Ca	Mg	K	
			me/100 g					
A1	5.5	4.9	22.4	53.8	1.0	0.7	0.2	4
B2	6.1	5.4	8.0	36.1	0.0	0.0	0.1	0
IIB3	6.4	5.8	6.2	22.6	0.0	0.0	0.1	0

A.8.12

CUADRO 5. Datos de campo y de laboratorio — Perfil 4

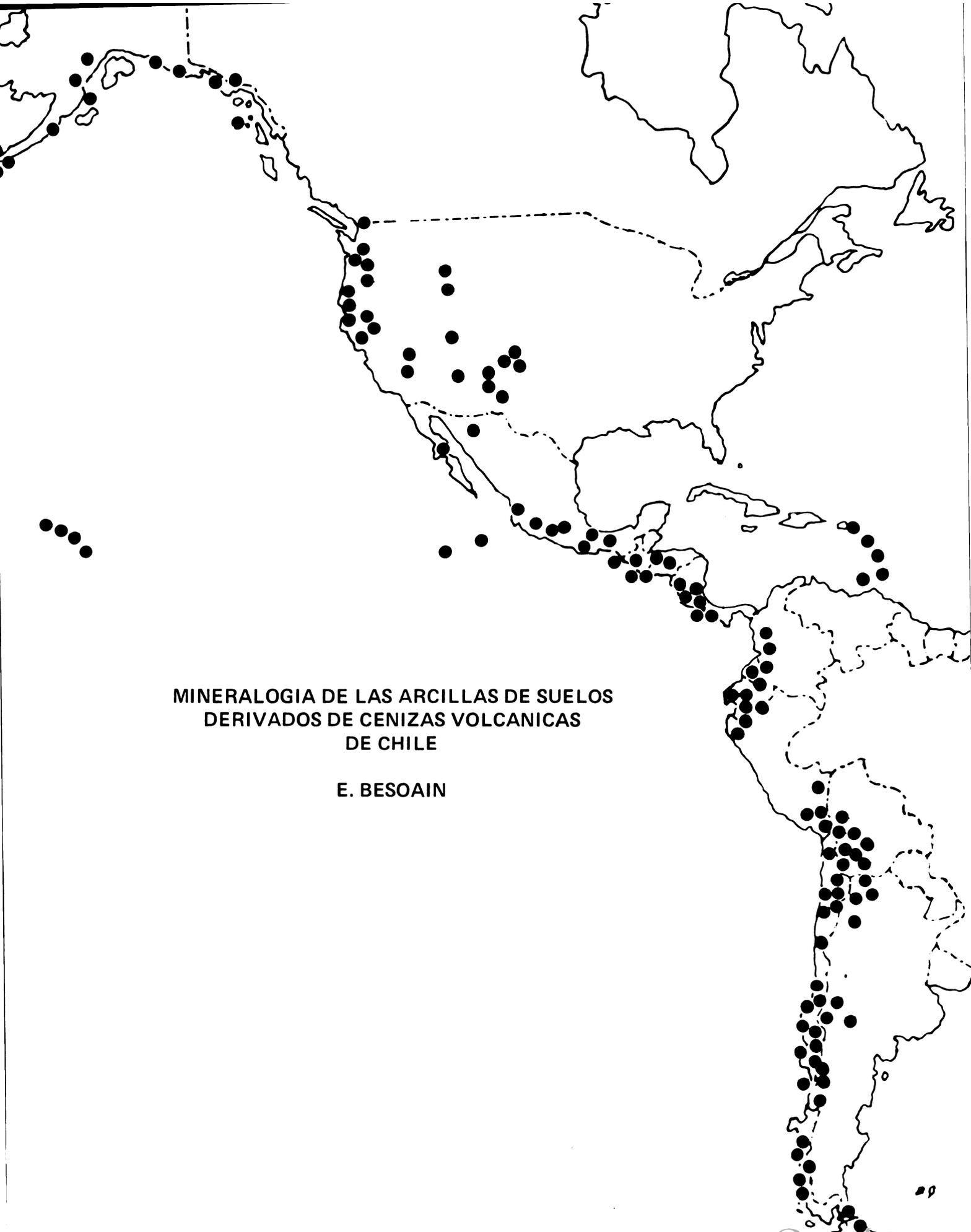
Fecha	: 24 de abril de 1969
Lugar	: Finca La Victoria, este de Juan Viñas; corte en el lado sur de un camino de campo; alrededor de 18 m al suroeste de la intersección con otro camino; 0,2 a 0,3 km al sur de la carretera (Turrialba — Juan Viñas); 566,6 km este y 209,5 km norte, hoja topográfica Tucurrique (3445 I), Costa Rica.
Forma del terreno	: Pendiente larga y regular, 8 por ciento. Cresta ancha en tierra alta ondulada, con incisiones de corrientes.
Altura	: 1200 m.
Temperatura media anual	: Alrededor de 21°C.
Precipitación	: Alrededor de 3800 mm por año, con estación seca muy pequeña o sin ella.
Drenaje	: Bueno. El suelo estaba húmedo cuando se tomó la muestra, sin manto freático.
Vegetación	: Caña de azúcar.
Clasificación	: Serie Birrisito (4). Oxic Dystrandept, ashy, isohyperthermic.
Horizonte (cm)	Descripción (color en húmedo):

(El perfil muestra gran variación en la profundidad, espesor y topografía del límite entre el horizonte A y el horizonte B. Se encontró una capa grisácea (2,5YR5/3) inmediatamente bajo el horizonte A, cuyo espesor variaba de 0 a 50 cm, sin relación con la superficie topográfica actual).

Ap 0—38	Negro (19YR2/1) franco arcilloso; estructura en bloques subangulares fina y muy fina moderada que se rompe, a granular muy fina moderada; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros intersticiales; raíces muy finas comunes; límite inferior claro y ondulado.
A12 38—72	Negro (10YR1/1) franco arcilloso; estructura en bloques subangulares y granular muy fina fuerte; friable, ligeramente adherente, ligeramente plástico; muchos poros tubulares e intersticiales; raíces comunes; límite inferior muy variable, abrupto, claro, y gradual e irregular.
IIB21 72—100	Pardo oliva claro (2,5YR5/4) arcilla; estructura en bloque subangular fina y muy fina débil; friable, muy adherente, plástico, graso; poros tubulares muy finos comunes; granos blancos comunes de 0,5 a 2 mm de diámetro; pocas raíces; 20 por ciento de inclusiones de material semejante al del horizonte A12; límites inferiores gradual y ondulado.
IIB22 100—141	Como B21 con estas excepciones: pardo amarillento (10YR5/6); estructura media, fina y muy fina; 20 por ciento del horizonte es 10YR5/8, 10 por ciento 2,5YR5/4.
IIB23 141—170	Como B21, excepto en: color pardo—amarillento (10YR5/4); estructura media, fina y muy fina; muchos poros; 10 por ciento del horizonte es 10YR5/6.
IIB24 170—185	Como B21 excepto en: color pardo amarillento (10YR5/4); muchos poros; sin raíces; 25 por ciento del horizonte es de color 10YR6/3 y más claro.

Horizonte	Profundidad cm	Densidad aparente g/cc	Granulometría			Humedad 15 bar %	Materia orgánica %
			Arena %	Limo %	Arcilla %		
Ap	0— 38	0.5	19	44	37	100	24.7
A12	38— 72	n.d.	17	42	41	120	22.5
IIB21	72—100	0.5	3	40	57	100	7.2
IIB22	100—141	0.6	4	33	63	87	0.0
IIB23	141—170	0.5	3	35	62	110	3.6
IIB24	170—185	0.6	3	29	68	110	4.9

Horizonte	pH		C. I. C.			Bases intercambiables		Saturación en bases %
	H ₂ O	CaCl ₂	CaCl ₂	NH ₄ OA _c me/100 g	Ca	Mg	K	
Ap	4.6	4.4	15.1	48.9	0.0	0.1	0.2	1
A12	5.0	4.5	14.5	55.0	0.0	0.0	0.1	0
IIB21	5.8	5.3	8.6	28.7	0.0	0.0	0.1	0
IIB22	5.9	5.4	9.0	28.9	0.0	0.0	0.2	1
IIB23	5.9	5.4	8.5	35.0	0.0	0.0	0.1	0
IIB24	5.7	5.5	8.4	29.2	0.0	0.0	0.1	0



**MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS DE SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE CHILE**

E. BESOAIN

MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Eduardo Besoain M.*

INTRODUCCION

El mayor conocimiento de los suelos derivados de cenizas volcánicas obtenido en los dos últimos decenios ha puesto en evidencia que, por una parte, la superficie cubierta por estos suelos es considerablemente mayor de lo que se suponía y que, además, sus propiedades específicas son altamente dependientes de la fracción arcilla.

Es evidente que las mejores facilidades de comunicación han permitido que una eficiente información (transferencia de técnicas y experiencias), circule rápida y adecuadamente entre los investigadores y se han podido abordar, en varios lugares del mundo a la vez, estudios muy valiosos de génesis, propiedades y naturaleza de los suelos. El avance en este sentido ha sido muy positivo.

La investigación de las arcillas resulta muy importante, particularmente en los andosoles; es un hecho que éstas son las que condicionan y determinan la mayoría de las características y propiedades de estos suelos. Tan determinante es su función, que algunos autores han señalado al componente alofán como nominativo de andosoles, como en el caso de los "allophanic soils" (40, 73). En el estudio de la fracción coloidal de los suelos de cenizas volcánicas, valiosas contribuciones han sido hechas por Nueva Zelanda y Japón; en los últimos años, otros países han comenzado a trabajar intensamente en este campo.

A pesar del considerable progreso alcanzado en el estudio de estos suelos, quedan aún considerables vacíos. La investigación de las arcillas exige una tecnología compleja de análisis, cuya interpretación es frecuentemente difícil. El conocimiento de la estructura —y propiedades— de estos minerales es, por su misma naturaleza, muy problemática; muchas explicaciones a fenómenos físico—químicos se encuentran aún en estado de hipótesis y dentro de los procesos de génesis, subsiste una pregunta básica, esto es, cómo o mediante qué procesos se han formado los minerales secundarios.

En este trabajo se presenta una breve revisión, sin pretensión de ser completa, de los principales minerales secundarios que se encuentran en los suelos derivados de cenizas volcánicas, sus probables condiciones y mecanismos de formación, así como las transformaciones que experimentan en el tiempo de su formación.

LA CENIZA VOLCANICA COMO MATERIAL PARENTAL DEL SUELO

Sin tomar en cuenta las diferencias petrográficas, las cenizas volcánicas presentan como material parental una serie de propiedades comunes muy particulares: composición granulométrica basada en partículas minerales generalmente finas y más o menos separadas, con un área superficial elevada e incrementada por porosidad interna; elevada porosidad externa y alta permeabilidad. Puesto que la intemperización química actúa siempre en la superficie de los minerales y tomando en cuenta, además, que el grado de una reacción es dependiente de las superficies, es evidente que la eficiencia de la intemperización dependerá del grado de fraccionamiento mecánico previo del material parental. Las cenizas volcánicas eluden el proceso de intemperización física que deben experimentar otros materiales parentales y son, en tal sentido, altamente eficaces para intemperizarse. Tales factores, unidos a la inestabilidad química de los vidrios volcánicos, determina una susceptibilidad muy alta a la intemperización, esto es, al ataque químico de los líquidos que penetran en las capas de cenizas, promoviendo una rápida remoción de los productos solubles bajo adecuadas condiciones de drenaje. Naturalmente, en sitios más próximos a los volcanes activos, este fenómeno se ve parcialmente atenuado debido a que hay un suplemento continuo de cenizas frescas o, como lo expresa Kanno (41) "un suplemento continuo de bases".

La meteorización del vidrio volcánico, componente esencial de las cenizas, tiende a producir productos amorfos entre los primeros productos de intemperización, siendo su grado de formación directamente influido por varios factores, como la calidad de los vidrios —ácidos, neutros, básicos— el régimen de temperatura y humedad existentes, pendiente, drenaje, etc.

COMPOSICION MINERALOGICA DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS

Minerales Primarios

La composición mineralógica de los suelos de cenizas volcánicas depende esencialmente de la petrografía de las

* Departamento de Agrología, División de Conservación de Recursos Agrícolas, Servicio Agrícola y Ganadero, Ministerio de Agricultura, Santiago, Chile.

B.1.2

cenizas de origen y del estado de intemperización del suelo. Considerables variaciones de composición pueden presentarse a escala local, según la forma como la depositación de las cenizas se haya efectuado —intermitente, proxística— y si han sido uno o más volcanes los que han aportado materiales. En este último caso, la estratigrafía de los depósitos puede ser muy variable según las fuentes de procedencia.

La fracción arena (2 mm — 50 μ) contiene muchos de los minerales que se encuentran frecuentemente en los suelos no—volcánicos junto a otros propios de las cenizas como son los minerales ferromagnesianos (olivinos, piroxenos, anfíboles), cuarzo y sus variedades polimórficas cristobalita y tridimita, magnetita y varios silicatos accesorios. Junto a estos minerales las arenas exhiben una notable adición de vidrios.

La fracción limo (50 — 2 μ) está constituida por minerales primarios y secundarios. Estos últimos, especialmente en suelos con elevado contenido de alofán, son agregados de arcilla que, como pseudomorfos de limo y arena, se encuentran en las fracciones gruesas. Tales pseudomorfos no son el resultado de movimientos descendentes de arcilla sino de coagulación o cementación con una matriz férrica amorfa o componentes orgánicos (10). Con cierta frecuencia gibbsita y óxidos de hierro hidratados tienden a acumularse en la fracción limo fino (5 a 2 μ).

La fracción arcilla (< 2 μ) está constituida esencialmente por minerales secundarios pero es frecuente, sin embargo, la presencia de algunos minerales primarios como α —cristobalita, cuarzo y aún feldespato, especialmente en la fracción arcilla gruesa (2 — 0,2 μ).

Pueden explicarse relaciones de abundancia de los minerales primarios entre las cenizas y los suelos, en general, por las secuencias de intemperización formuladas por Fieldes & Swindale (26), Jackson 'et al' (35), Aomine & Jackson (1).

Minerales Secundarios. Proceso de Formación y Alteración

La intemperización de las cenizas volcánicas puede conducir a la formación de diversos minerales secundarios, pero, por regla general, bajo condiciones de buen drenaje y humedad. En los suelos jóvenes predominan minerales amorfos; alofán y haloisita (metahaloisita en los suelos maduros. Los suelos jóvenes se identifican, en general, con el concepto de andosol.

Los minerales secundarios pueden ser productos de neo—formación o estados de ruptura, esto es, "herencia" de minerales primarios. Como resultado del bajo grado de intemperización determinado por los ambientes áridos, los tipos de suelos y las propiedades son prácticamente idénticos a los suelos no—volcánicos adyacentes, los que frecuentemente se identifican con sierosems, regosoles, suelos rojos desérticos, etc. La existencia de alofán o caolínoides en suelos de ambientes áridos es excepcional: déficit de humedad, régimen orgánico débil y un medio rico en cationes básicos estimulan la formación de minerales cristalinos de tipo 2:1 y 2:2 (montmorillonita, vermiculita, clorita, attapulgita, etc.).

En las consideraciones sobre la mineralogía de las arcillas, nos limitaremos preferentemente a los suelos de cenizas volcánicas de ambientes húmedos ya que consideramos que el interés por los suelos volcánicos de climas desérticos no es de interés en esta reunión.

a) La secuencia alofán —haloisita/metahaloisita— caolinita

Las condiciones de intemperización en ambientes húmedos determinan que las cenizas volcánicas, bajo condiciones adecuadas de drenaje, desarrollan con el tiempo, casi invariablemente, una serie mineralógica que comienza con alofán y concluye con caolínoides.

Diversos autores han sugerido secuencias de intemperización que seguirían las cenizas volcánicas (4, 8, 13, 14, 19, 39, 47, 65), siendo éstas, en general, más o menos semejantes a la propuesta por Fieldes (21) sobre la base del trabajo teórico de Tamura & Jackson (1953). Fieldes considera que las cenizas volcánicas, en un ciclo único de intemperización, desarrollan en el tiempo la serie:

alofán (B,Ab,A) → haloisita/metahaloisita → caolinita

La caolinita ha sido incluida en esta secuencia más bien como una probabilidad teórica lógica, ya que generalmente las arcillas de los suelos de cenizas volcánicas, aún aquéllas muy antiguas (mioceno superior, interglacial Cromer), no sobrepasan el estado haloisítico. Los ejemplos disponibles de la existencia de caolinita son, en todo caso, muy escasos y muchas veces dudosos. Evidentemente la formación de la caolinita en las condiciones de intemperización del suelo debe proceder como un proceso muy lento. Sin embargo, la caolinita debe ser el "punto final" lógico de esta secuencia, por la tendencia natural de toda especie a constituir el sistema más estable y más libre de defectos, y la caolinita es, dentro de esta serie, el término más perfecto. (El concepto de "estabilidad" se usa dentro de intervalos específicos de temperatura, humedad, presión, tiempo).

Los minerales secundarios están representados predominantemente por alofán en las primeras etapas de intemperización y haloisita o metahaloisita en las siguientes. Según la dominancia de estas especies y desde un punto de vista mineralógico, las arcillas de los suelos de cenizas volcánicas podrían ser agrupadas en tres categorías:

- a) arcillas con alofán dominante
- b) arcillas con haloisita dominante y,
- c) arcillas con alofán y haloisita dominantes.

Arcillas con alofán dominantes: son características de suelos en un estado de intemperización reciente; incluyen gran parte de los andosoles (7, 19, 21, 40). Arcillas predominantemente haloisíticas: se encuentran en suelos maduros o en antiguos horizontes enterrados. Tales suelos se encuentran ampliamente distribuidos en el mundo (8, 18, 26, 53). Es claro que en tal caso los suelos deben clasificarse fuera de los andosoles. Arcillas con alofán y haloisita dominantes: se presentan en suelos cuya edad se incrementa con la profundidad del perfil, preferentemente en suelos formados por depositaciones intermitentes. En tales suelos, el alofán predomina en la superficie y la haloisita en profundidad. Asociaciones de este tipo han sido determinadas en Japón, en el Musashino Loam Bed, de Kyushu (40), en el Kanto Loam (46, 65), en la isla St. Vincent (31), en algunos suelos tropicales ácidos de Kenia (67), etc.

b) Formación y ocurrencia de los minerales secundarios

En adición al alofán y haloisita, diversos minerales secundarios podrían formar parte de las arcillas de los suelos de cenizas volcánicas. Se conoce la existencia de imogolita, caolinita, gibbsita, montmorillonoides, minerales de 14 Å, palagonita, diversos óxidos de Fe, Al, Ti y Si amorfos y cristalinos y otras especies menos importantes.

En la Figura 1* se han esquematizado, en forma muy general, los mecanismos probables que originan los minerales secundarios, considerando como fuentes de origen los vidrios volcánicos, feldespatos, minerales de silicatos básicos (olivinos, anfíboles, piroxenos) y cuarzo. Vidrios volcánicos han sido considerados en conjunto, sin establecer diferencias cualitativas entre ellos, aceptando la condición de que, aunque su calidad impone diferencias en el grado de meteorización, los productos tienden a ser iguales. Un criterio semejante se siguió para los minerales de silicatos básicos.

En este esquema, los procesos se indican sobre o bajo la flecha, la cual indica la dirección de la reacción. Los productos se han encerrado en un rectángulo. Además, se ha usado la siguiente simbología:

Flecha a línea llena	:	reacción comprobada
flecha a línea quebrada	:	reacción probable
$\text{SiO}_2 \uparrow$:	desilicatación
SiO_2	:	silicatación
$\text{OH} \uparrow$:	deshidroxilación
OH	:	hidroxilación
H_2O	:	hidratación
$\text{H}_2\text{O} (-)$:	deshidratación

Se reconoce que este esquema es incompleto pero puede constituir una base de perfección posterior.

1. Formación y procedencia del alofán en los suelos

Es probable que el alofán ($n\text{-SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{H}_2\text{O}$) no se forme mediante uno sino a través de dos o más mecanismos en el suelo, pero básicamente éstos incluirían co-precipitación de soluciones o geles o formación directa a partir de vidrios y feldespatos desordenados.

Diversos autores (14, 20, 26, 39, 65) conciben la formación del alofán a partir de la co-precipitación de soluciones o geles que contengan una alta proporción de sílice y alúmina liberado desde minerales primarios. Se considera que en tal proceso, los vidrios —y también parcialmente feldespatos y minerales básicos— deberían intemperizarse primeramente hasta una solución o degradación a un estado amorfo por ruptura de las uniones entre la sílice y los otros grupos oxidados unidos a ella. Primeramente aparecerían formas atómicas (reacción 0) y luego geles de alúmina y sílice altamente hidratados (reacción 1); simultáneamente, se producirían pérdidas de bases y sílice, pero la alúmina y el hierro tenderían a permanecer en el sistema. Las condiciones del medio estimularían a que la sílice y la alúmina co-precipiten isoeléctricamente, constituyendo

* Esta Figura ha sido tomada directamente del original alemán según Besoain (11).

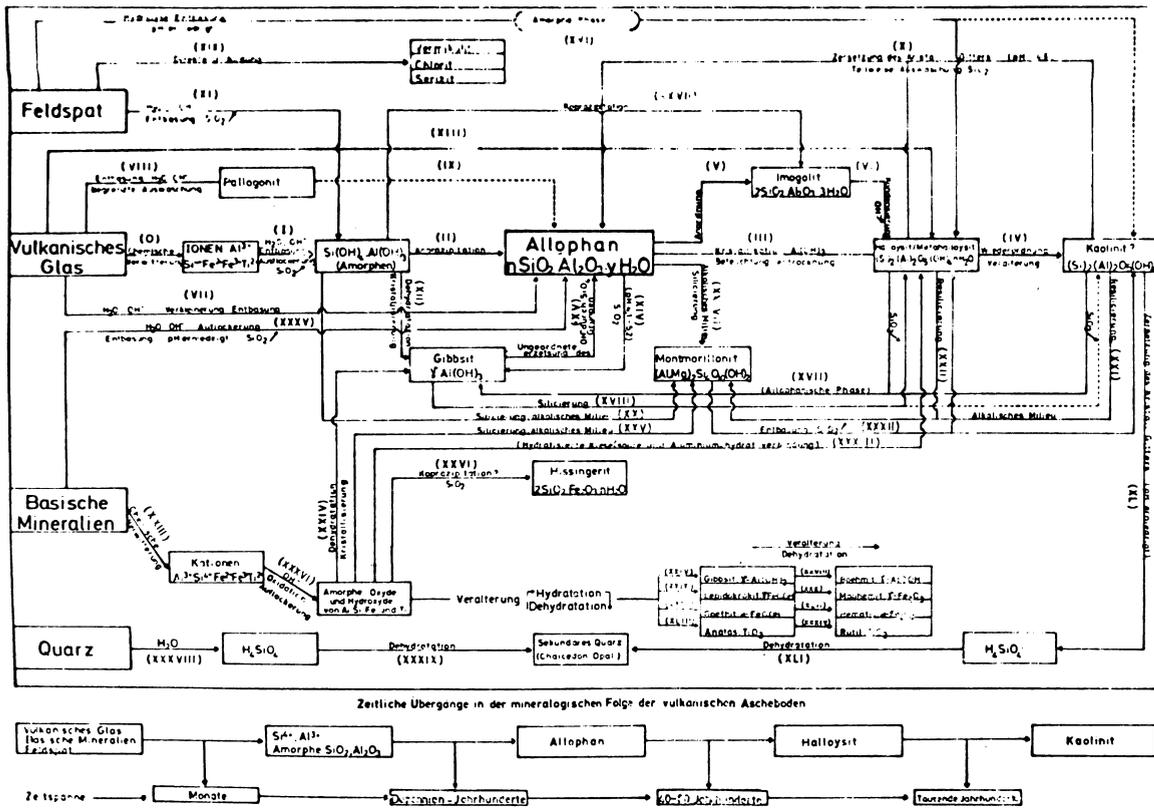


FIGURA 1. Presentación esquemática de la formación de minerales secundarios en suelos derivados de cenizas volcánicas

una fracción coloidal (reacción II). Fieldes (21) considera que en un comienzo tal fracción estaría formada por fases discretas de sílice y alúmina (alofán B), pero con el tiempo estas fases se unirían al azar a través de enlaces cruzados (alofán A). Un término intermedio, el alofán AB, podría existir entre las formas A y B.

La especial afinidad de los coloides silíceos y aluminicos para formar geles mixtos ha sido confirmada experimentalmente por varios autores (29, 30, 54, 55). En algunas regiones de volcanismo activo de Japón, Osaka (52) ha determinado la formación de geles alofánicos por co-precipitación directa de sílice y alúmina. Este mismo autor ha reproducido experimentalmente productos similares a esos geles con razones $SiO_2 : Al_2O_3$ 1:1.

Ha sido considerado por algunos autores que el alofán pueda formarse directamente a partir de vidrios y feldespatos desordenados. Fieldes (24) estima posible que arcillas provenientes de la transformación directa de vidrios volcánicos puedan tener una estructura al azar, similar a la del alofán, independientemente de procesos que impliquen disolución o reprecipitación (reacción VII). Fieldes & Furkert (25) admiten que residuos amorfos de vidrios hidratados, que mantienen su estructura original, se identifican con el alofán tanto en definición como en propiedades. Un criterio semejante se aplicaría a los feldespatos desordenados. Swindale (66), en base a consideraciones sobre el estado de coordinación del aluminio —tetraédrico en los vidrios y feldespatos y tetraédrico y octaédrico en el alofán— concibe también el paso del vidrio a alofán como un proceso directo. Para Swindale, la intemperización debe proceder preservando, en todo momento, las uniones que entre la alúmina y sílice existen en el vidrio, es decir, el estado de coordinación cuatro del aluminio. Las uniones estarían preservadas esencialmente en la parte interna de las partículas (Al coordinación 4), mientras que en la parte externa predominarían estados de coordinación 6. Según este autor, el génesis del alofán sería simple y procedería de la siguiente forma: (a) hidratación de los vidrios volcánicos, (b) pérdida o difusión de bases y sílice, (c) rotura de los fragmentos de vidrio en unidades más pequeñas (reacción VII) para originar alofán. La tensión cristalina (esto es, diferencias de tamaño atómico, factores electroquímicos) producida entre los estados (a) y (b), proporcionaría energía suficiente para desarrollar la etapa (c).

Aparte de los vidrios y feldespatos, minerales de silicatos básicos podrían, bajo condiciones apropiadas (pH bajo, desbasificación, desilicatación, hidratación), contribuir a la formación del alofán. El olivino, por ejemplo, podría formar alofán mediante procesos que incluyen desbasificación, liberación de tetraedros aislados de SiO_4 y geles de $\text{Al}(\text{OH})_3$ en condiciones de pH ácido, como se ha observado en algunos suelos volcánicos de Nueva Zelanda (24) (ver reacción XXXV).

Jackson (32) y Whittig 'et al' (72) consideran que la destrucción de la red cristalina de los caolínoides bajo condiciones de intensa intemperización —alta precipitación, edad— originaría la formación de un alofán "estable". Este alofán relicto tendría propiedades diferentes a las del alofán "inestable", originado por la intemperización de los vidrios (reacción X). No se dispone de mayores antecedentes sobre este alofán. Es probable que la desbasificación de la palagonita pueda originar un alofán o una especie semejante al alofán (reacción IX).

2. Formación de la haloisita

Se sabe que en los suelos de cenizas volcánicas la haloisita y la metahaloisita pueden formarse por intemperización o transformación de diversos minerales, pero que fundamentalmente se forma a expensas del alofán. Este hecho, reconocido tempranamente por Davis 'et al' (17), ha sido compartido por numerosos investigadores. La haloisita en los suelos de cenizas volcánicas podría originarse de la siguiente forma:

- a) Directamente a partir del alofán (reacción III) por reordenación molecular en el curso del tiempo (7, 14, 21, 26, 44, 63).
- b) Por transformación directa del vidrio sin pasar por una fase amorfa (reacción XIII) (6, 31, 44).
- c) A partir de la Imogolita, vía fase alofán por reacciones de condensación y deshidroxilación (69).
- d) Por silicatación directa de la gibbsita (reacción XVIII) (19).
- e) Por unión directa de la sílice y alúmina hidratada a partir de vidrios ácidos, feldespatos y minerales de silicatos básicos (reacción XXXIII) (26).
- f) Tamura & Jackson (1953) sugieren la formación de haloisita a partir de la intemperización de la montmorillonita (reacción XXXII). Se trata de un punto de vista teórico.

Diversos mecanismos han sido sugeridos para la formación de la haloisita (Tamura & Jackson, 1953), (4, 19, 40, 70). Todos ellos conciben, en general, su formación sobre la base de una red octaédrica de gibbsita, a la cual se coordinaría una red tetraédrica de sílice (reacción III). Investigaciones de síntesis de minerales de capas a baja temperatura, partiendo de geles de sílice y alúmina, han demostrado que para que se organice una estructura cristalina, es indispensable la formación previa de una red gibbsítica (15, 71). Según Gastuche & De Kimpe (30) tal red induciría una orientación bidimensional de los tetraedros de SiO_4 y que tal capa actuaría como "germen" de cristalización del mineral cristalino. Si las condiciones no fuesen favorables al desarrollo de estos gérmenes, la sílice se polimerizaría tridimensionalmente, originando geles mixtos de sílice y alúmina. Tamura & Jackson (1953) habían admitido que el alofán (constituido para estos autores por una red gibbsítica y tetraedros de sílice coordinados desordenadamente sobre esa red), bajo la influencia de acciones de humedecimiento/desecamiento, podría orientar los tetraedros en una sola dirección, los cuales, unidos a la red gibbsítica, originarían un mineral caolinítico 1:1 (reacción III). Un criterio semejante adoptan Aomine & Wada (5) y Egawa (19). Este último autor considera que cuando la intemperización del alofán se produce sin suministro de sílice en ambiente ácido, se favorece una variación en el estado de coordinación del Al, de 4 a 6, con lo cual se hace posible una separación de una estructura gibbsítica y la organización de haloisita hidratada. La formación de haloisita hidratada, vía imogolita a partir de alofán, ha sido concebida por Wada (69) mediante unión de cadenas alofánicas simples (alofán con Al en coordinación 6), incluyendo deshidroxilación, movimientos simples de átomos de silicio y reordenación de los octaedros de alúmina (reacción IV).

3. Formación de otros minerales secundarios

Caolinita. Aunque la caolinita, por consideraciones estructurales, se ha situado como miembro final de la serie de intemperización de las cenizas volcánicas (21, 26), se conocen pocos ejemplos de su existencia en suelos de cenizas volcánicas, exceptuando, naturalmente, las formaciones hidrotermales. En zonas tropicales, caolinita ha sido detectada en suelos de cenizas andesíticas y dacíticas de las Antillas (16), en Indonesia (51), en suelos de Kivu en el Congo (53) asociada a haloisita y gibbsita en Kenia, junto a haloisita y alofán (67). Flach (28) informa que pequeñas cantidades de caolinita se han detectado en las series Hilo y Waimea de Hawaii, asociada a alofán y gibbsita.

B.1.6

La caolinita podría formarse en los suelos de cenizas volcánicas mediante varios mecanismos, bajo condiciones adecuadas de drenaje:

- a) Por deshidratación de la haloisita —envejecimiento— (reacción IV) (21).
- b) A partir de la desilicatación y desbasificación de la montmorillonita (reacción XXXII) (44); (Tamura & Jackson, 1953).
- c) A partir de feldespatos, ya sea por una transición sólido—sólido o a través de una fase micéica (44).

Gibbsita. Es una especie de alta frecuencia en los suelos de cenizas volcánicas, asociándose indistintamente a alofán o haloisita. Es, especialmente abundante bajo condiciones de intemperización tropical (34). Se conocen numerosas referencias de la existencia de gibbsita en estos suelos (5, 6, 40, 61, 68).

La gibbsita podría originarse en los suelos de cenizas volcánicas, a partir de:

- a) Deshidratación de geles de Al y Al—Fe (reacción XII) (6), (Tamura y Jackson, 1953).
- b) Por desilicatación de los caolinoides (reacción XVII) (6, 49, 57, 59).
- c) Por destrucción del alofán bajo condiciones de pH ácido a fuertemente ácido (reacción XIV) (19, 41).
- d) A partir de geles amorfos provenientes de la intemperización de minerales básicos (reacción XXIV) (6, 24).

Bohemita. Ha sido determinada bajo condiciones de intemperización tropical (61) y en algunos suelos de rocas volcánicas de Nueva Zelanda —Red Brown Loams— (22). Su existencia en suelos es poco frecuente y se considera que se forma a expensas de la gibbsita por deshidratación y envejecimiento (reacción XXVIII).

Himogolita. Ha sido identificada en andosoles de Japón (3, 42, 74), así como en algunos sedimentos volcánicos de Alemania (36). En Chile se ha encontrado imogolita asociada íntimamente a alofán en varios andosoles (11, 12). Es muy probable que la distribución de la imogolita en los andosoles sea bastante más amplia de lo que actualmente se supone. El mecanismo de formación de la imogolita aún no está esclarecido, pero probablemente se derive de una ordenación del alofán α , como lo sugiere Wada (69), por condensación de una cadena octaédrica de alúmina a una alofánica de razón Si:Al 1:1 (reacción V), admitiéndose también la posibilidad de su formación directa por co—precipitación de geles de Al y Si (42, 50) (ver reacción XXVII).

Montmorillonita. Esta especie es relativamente frecuente en suelos de cenizas volcánicas desarrollados bajo condiciones áridas a semi—áridas, cuyo ambiente de intemperización se caracteriza por una alta razón sílice/alúmina, abundancia de cationes básicos — Mg, Ca, K y Na y baja concentración de H. También se forma en condiciones de drenaje difícil. Su presencia en andosoles es poco frecuente. Ha sido detectada en diversos suelos de Japón (Uchiyama 'et al', 1961), (40, 62), en pequeñas cantidades en suelos de Nueva Zelanda, especialmente en Brown Granular Clays (14, 26). Como nontronita se ha detectado en suelos latosólicos, podsolizados derivados de tobas dacíticas en Indonesia (56); montmorillonita también ha sido determinada en ese país por Mohr & Van Baren en varios suelos de cenizas volcánicas. Jenne (38) ha determinado montmorillonita en algunos suelos de la costa oeste de Oregon (E.U.A.) junto a coloides amorfos. En algunos suelos derivados de tobas vítreas pleistocénicas de Israel ha sido detectada asociada a saponita (58). La montmorillonita se formaría por varios mecanismos en los suelos de cenizas volcánicas:

- a) Por silicatación y basificación del alofán (reacción XXXVII) (Tamura & Jackson, 1953) (26, 40).
- b) A partir de geles de sílice y alúmina, por inhibición de la desilicatación y desbasificación (reacción XX) (41).
- c) A partir de geles amorfos provenientes de la intemperización de cenizas y rocas básicas (Uchiyama, 1961), (6), (ver reacción XXV).

Hissingerita ($2 \text{SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \text{H}_2\text{O}$). Se considera a la hissingierita como un homólogo férrico del alofán (64), (Tamura & Jackson, 1953). Aunque su existencia en los suelos no está suficientemente demostrada, se supone que podría desarrollarse una serie continua entre el alofán e hissingierita. Es evidente que la hissingierita corresponde al silicato de hierro amorfo pronosticado por Tamura & Jackson. No se tienen mayores referencias sobre sus condiciones de formación, pero es probable que se origine por silicatación de un óxido de hierro amorfo (reacción XXVI).

Minerales de 14 Å (vermiculita, clorita, "sericita"). La existencia de vermiculita ha sido descrita con cierta frecuencia en suelos Kuruboku de Japón (48) (Oshikano, 1963), (2, 40). En andosoles de Kuriyagawa, Japón, se ha identificado vermiculita junto a intergradientes de montmorillonita-clorita, imogolita y clorita aluminica (45). En Estados Unidos, en suelos derivados de tobas andesíticas — Amador County, California — se ha encontrado vermiculita asociada a montmorillonita y gibbsita (28). En varios suelos de cenizas de la Toscana, Italia, se han detectado varios minerales de 14 Å (11, 12).

De acuerdo a Jackson (33, 34), la vermiculita se formaría en los andosoles sólo si la mica se encontrase presente en la ceniza parental. Fieldes (24) considera que "sericitas" pueden formarse por transformación directa de feldespatos desordenados (reacción XIX).

Palagonita. Se ha informado de su existencia en suelos volcánicos de Nueva Zelanda —suelo Aitutaki— (Burrell & Gradwell, 1956), en Hawaii —suelo Pohala— (14) y en algunos suelos de Islandia (37).

La palagonita corresponde a un silicato de aluminio amorfo, con cierta semejanza al alofan, formado por hidratación de vidrios volcánicos básicos, aparentemente bajo condiciones de drenaje limitado (reacción VIII) (21, 23).

Sílice amorfa. Existen evidencias de la existencia de sílice amorfa (gel de sílice) en suelos de cenizas volcánicas. Se ha identificado en los horizontes A₂ de suelos podsólicos en Nueva Zelanda (27), en algunos suelos inmaduros de pomez de Japón (39, 47), así como en el Hydro Humic Latosol de Hawaii (61). Como sílice opalina amorfa se ha encontrado en horizontes A de andosoles desarrollados bajo paderas, aunque en este caso se puede creer que tenga un origen más biológico que volcánico (43).

La sílice amorfa podría formarse como producto de interperización inicial o siguiente al estado iónico, en la intemperización de los vidrios volcánicos (reacción I), de los feldespatos (reacción IX) o de los minerales básicos (reacción XXXVI).

Alúmina amorfa. Pequeñas cantidades de alúmina amorfa (khiachita) ha sido determinadas en suelos de cenizas recientes —pomez de Japón (47) y en algunos Yellow-Brown Pumice Loams de Nueva Zelanda (27).

Al igual que la sílice amorfa, khiachita se formaría como un producto siguiente al estado iónico de la intemperización de los vidrios (reacción I).

Oxidos de hierro y de titanio amorfos y cristalinos. La intemperización de los minerales básicos y vidrios básicos de las cenizas volcánicas conduce, en general, a la formación de geles de hierro y titanio en las primeras etapas de meteorización. En condiciones de trópico, estos procesos son más acentuados y procederían, según Sherman 'et al' (61) de cuatro etapas que él denomina iónica, amorfa, criptocristalina y cristalina. Los geles originarios, por envejecimiento y bajo ciclos alternados de humedecimiento/desecamiento, series de oxidos cristalinos: lepidocrocita-maghemita (reacciones XXIX y XXX), goethita-hematita (reacciones XXXI y XLII), anatasa (reacción XLIII) y rutilo (reacción XXXIV). En regiones templadas se ha encontrado hematita en suelos de cenizas volcánicas antiguas (9) y lepidocrocita en algunos Yellow Brown Loams de Nueva Zelanda (22). Como regla general, geles de hierro son especialmente abundantes en suelos sometidos a humedad permanente.

Cuarzo. Aunque éste tiene un grado de intemperización muy bajo en su condición fragmentaria, como la tiene en las cenizas volcánicas, su estabilidad puede ser fuertemente reducida. Jackson (32) sitúa el cuarzo con un índice 6 en su escala de estabilidad de 1 a 13 para fracciones del tamaño de la arcilla. El proceso de alteración del cuarzo en los suelos de cenizas volcánicas no está debidamente estudiado, pero algunos autores (26, 61) consideran que el cuarzo puede evolucionar a formas secundarias como sílice opalina o calcedonia a través de ácido silícico (reacciones XXXVIII y XXXIX).

REFERENCIAS SOBRE MINERALOGIA DE LAS ARCILLAS EN SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE CHILE

Sobre los Suelos

Los suelos de cenizas volcánicas se extienden prácticamente a través de todo el país, exceptuando el espacio comprendido entre las provincias de Atacama a Santiago (27°30' a 33°15' l.s.), el cual ha estado libre de actividad volcánica en el Cuaternario.

En el extremo norte (17°20' a 27°30') las cenizas, como consecuencia del bajo grado de meteorización determinado por el clima desértico, han desarrollado principalmente regosoles, sierosems y suelos rojos de desierto, semejantes en tipología y propiedades a los suelos no-volcánicos adyacentes. Tales suelos han sido estudiados ocasionalmente.

Los suelos de cenizas volcánicas más importantes del país se han desarrollado a partir de la actividad volcánica Cuaremará en el sur. Desde la provincia de Talca hasta Chiloé (35° — 43°30' S) y bajo condiciones de pluviometría entre 800 a 3000 mm anuales, las cenizas han desarrollado dos grupos fundamentales de suelos:

1. Suelos rojos arcillosos de cenizas volcánicas o suelos de cenizas volcánicas antiguas y,
2. los trumaos, o suelos de cenizas volcánicas modernas

Los suelos rojos arcillosos son arcillas pardo-rojizas a rojas, plásticas, bien estructuradas, con un estado de intemperización avanzado. Tipológicamente se han descrito como Red Brown Lateritic Soils (Roberts & Diaz, 1959) o como Rotlehm o transiciones Rotlehm/Braunlehm según Kubiena (1956). En términos de la 7th Approximation, Mikenberg (1969) considera que estos suelos pertenecen al orden Ultisoles, suborden Humult, gran Grupo Haplohumult, pero que, por una serie de circunstancias, podrían verse como ultisoles en tránsito a alfisoles. Los suelos rojos arcillosos son suelos pleistocénicos y parece evidente que el clima actual ha jugado un papel secundario en su desarrollo. En este sentido, son paleosuelos que han evolucionado en condiciones de climas más cálidos y húmedos que los actuales, probablemente subtropicales. Besoain (11) considera que los suelos rojos, al menos aquellos situados en la región de los grandes lagos de Chile central-sur, tienen probablemente una edad Holstein (= Interglacial Yarmouth). Los trumaos son andosoles de textura franco a franco-limosas y colores pardo-amarillentos, relativamente poco intemperizados, derivados de cenizas basálticas a basáltico-andesíticas y, en menor grado, de cenizas riolíticas.

Antecedentes morfológicos, mineralógicos y geomorfológicos demuestran que los trumaos son suelos post-glaciales, cuyas edades fluctúan desde recientes a 15 ó 18,000 años.

Mineralogía de las Arcillas

Los estudios de mineralogía de las arcillas efectuados en suelos de cenizas volcánicas hasta el presente, se han extendido a alrededor de 150 a 180 muestras, correspondientes a 50 — 60 perfiles aproximadamente. Las arcillas han sido analizadas por varios métodos simultáneamente, por ejemplo: análisis térmico diferencial, difracción de rayos X, espectrofotometría infrarroja, microscopía electrónica y análisis químico. Se han efectuado determinaciones accesorias como análisis térmico integral o determinaciones de superficies específicas en un corto número de muestras. Las determinaciones han sido preferentemente cualitativas. Todos estos análisis permiten tener un cuadro más o menos claro acerca de la composición mineralógica.

Apreciables diferencias de composición se establecen entre ambos grupos de suelos: los suelos rojos arcillosos están constituidos esencialmente por minerales cristalinos caoliniticos, mientras que los trumaos lo están por minerales amorfos, especialmente alofan.

La mineralogía de las arcillas de los suelos rojos arcillosos, aunque muestran algunas diferencias entre ellos, no pueden ser consideradas esenciales. Estos suelos están básicamente constituidos por haloisita—metahaloisita y diferentes minerales accesorios primarios o secundarios. La haloisita de estos suelos presenta una serie de interesantes particularidades:

1. Los diagramas de DTA exhiben un pico A prominente, el cual junto a la asimetría del pico B ($tg\alpha/tg\beta=2,6$ en promedio, según índices de Bramao (1952), señalan haloisita hidratada. La magnitud del pico A no puede estar determinada sólo por contaminación de alofan, el cual, aunque se sabe existente, no es suficiente para influir decisivamente en esta reacción. Debería manifestarse en otros análisis.
2. Contradictoriamente, los diagramas de rayos X no exhiben, o sólo débilmente y en algunas muestras reflexiones alrededor de 10,2 Å, propia de la haloisita hidratada; en cambio, en todos los diagramas se muestran reflexiones a 7,3 Å y 4,4 Å propias de la metahaloisita.
3. Al microscopio electrónico, la morfología de las partículas es, en los horizontes superiores, laminar y tubular en los inferiores, siendo el cambio gradual entre estas formas.

La existencia de una haloisita laminar coexistiendo con la forma tubular, con características analíticas imprecisas (excepto rayos X) en cuanto a su definición, esto es, la forma hidratada o deshidratada, puede conducir a serias dificultades de identificación, sobre todo cuando alofán se encuentra como contaminante. En los Trumaos, la composición mineralógica de las arcillas se basa fundamentalmente en alofán, parcialmente en imogolita y otros minerales acompañantes secundarios o primarios. Este hecho guarda una aparente relación con la edad de los trumaos. En efecto, puede constatarse que las arcillas progresan desde formas de alofán elemental, tipo AB (según nomenclatura de Fieldes (21), en los perfiles más recientes, ranker – andosol, cuya edad no es superior a 1000 – 2000 años, hasta un término fibroso, de bajo grado de cristalinidad, estrechamente asociado al alofán el cual hemos considerado identificable con la imogolita (10, 11, 12) en los trumaos más antiguos de 15,000 a 18,000 años de edad probable. Paralelamente a esta transición "horizontal", una transición vertical en la composición mineralógica, desde la superficie hacia el fondo de los perfiles, se observa también desde alofán AB o alofán A a imogolita. Aunque no siempre ocurre, no deja de ser frecuente. Tales transiciones son lógicas si se piensa que los suelos están constituidos por estratos de depositación, como consecuencia de la actividad volcánica.

Gibbsite se encuentra en proporciones variables en casi todas las muestras, pero tiende, en general, a incrementar su contenido hacia el fondo del perfil.

Minerales primarios, en proporción variable, se presentan normalmente en la fracción arcilla $< 1,2\mu$ y están señalados por cuarzo, α -cristobalita y feldespato.

Los suelos volcánicos jóvenes muestran a menudo una notable acumulación de materia orgánica en la superficie, hecho que ha sido explicado por varios mecanismos. Probablemente se debe a reducción de la actividad enzimática por adsorción de la enzima por el alofán. El alofán puede formar complejos con la materia orgánica como lo demuestran las reacciones exotérmicas observables en los diagramas de DTA y que corresponden a complejos altamente resistentes a la acción del agua oxigenada. La mayoría de las muestras de la superficie exhibe tales reacciones, las que aparentemente retardan la aparición del máximo endotérmico a baja temperatura (pico A), pero no influyen sobre el pico de recristalización alrededor de 900°C.

En los Cuadros 2 y 3 pueden verse resúmenes de la composición mineralógica de las arcillas de los suelos rojos y trumaos. A fin de presentar un ejemplo real, hemos elegido los resultados obtenidos en un tránsito que se extiende en dirección WNW–OSO, desde la cordillera de la costa a la cordillera de los Andes, en la provincia de Osorno. Este tránsito permite conocer los análisis de los suelos más representativos, partiendo de los suelos rojos, pasando por trumaos para llegar a los ranker–andosoles recientes de la cordillera andina. Se trata, en realidad, de una cronosecuencia muy útil para apreciar el estado mineralógico de los suelos y evidenciar la secuencia de meteorización de las cenizas volcánicas en el tiempo. La descripción, localización y factores de pedogénesis se han resumido en el Cuadro 1.

BIBLIOGRAFIA

1. AOMINE, S. y M. L. JACKSON. 1959. Allophane determination in ando soils by cation exchange capacity delta value. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison 23(3):210–214.
2. AOMINE, S. y H. KAWASAKI. 1963. Vermiculite in some Japanese soils. Soil Sci. Plant Nutr. Tokyo 9(1):18–27.
3. AOMINE, S. y N. MIYAUSHI. 1965. Imogolite in imogo layers in Kyushu. Soil Sci. and Plant Nutr. Tokyo 11(5):28–35.
4. AOMINE, S. y K. WADA. 1962. Differential weathering of volcanic ash and pumice resulting in formation of hydrated halloysite. Amer. Min. Wisconsin 47:1024–1048.
5. AOMINE, S. y K. WADA. 1966. Occurrence of gibbsite in weathering of volcanic materials at Kuroishibu, Kumamoto. Soil Sci. and Plant Nutr. Tokyo 4(12):25–31.
6. BATES, T. F. 1962. Halloysite and gibbsite formation in Hawaii. Clays and clay minerals. Pergamon Press, N. Y. 11:315–328.
7. BESOAIN, M. E. 1958. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. Agric. Téc. Santiago 18(2):110–165.

8. BESOAIN, M. E. 1961. Posible influencia termovolcánica en la formación de algunos suelos rojos arcillosos de cenizas (No publicado).
9. BESOAIN, M. E. 1964. Clay formation in some chilean soils derived from volcanic materials. *New Z., J. Sci. Wellington* 7(1):79–86.
10. BESOAIN, M. E. 1968. Mineralogía de la fracción limo (0,02 – 0,002 mm) en dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Chile. Proyecto de Estudios y Reconocimiento de Suelos Chilenos. Ministerio de Agricultura/FAO; Santiago pp 1–14.
11. BESOAIN, M. E. 1968/1969. Imogolite in volcanic ash soils of Chile. *Geoderma* 2. Amsterdam pp. 151–169.
12. BESOAIN, M. E. 1969. Untersuchungen von Böden aus Pyroklastiten (Aschen und Tuffe) Chiles, Japans, Deutschlands and Italiens. Inaugural dissertation. Rheinischen Friedrich–Wilhelms Universität, Bonn, Deutschland. pp 1–345.
13. BESOAIN, M. E. y V. J. GARCIA. 1962. Clay mineralogy of some volcanic ash soils of Chile. *Neues Jb. Miner. Abhandl. Stuttgart* 98(3):349–366.
14. BIRRELL, K. S. 1965. Some properties of volcanic ash soils. Meeting on the class. and corr. of soils from volcanic ash. FAO–Report Rome 14:74–81.
15. CAILLERE, S. y M. S. HENIN. 1962. Vues d'ensemble sur le probleme de la synthese des mineraux phylliteux a basse temperature. *Genese et Synthese des Argilles, C. N. R. C. Paris* pp. 31–41.
16. COLMENT–DAAGE, F. y P. LAGACHE. 1965. Caracteristiques de quelques groupes de sols derives de roches volcaniques aux Antilles Francaises. *Cah. Orstom, Ser. Pedol. Paris* III(2):91–121.
17. DAVIS, D. W., T. G. ROCHOW y G. F. ROWE. 1950. Electron micrographs of clay minerals. Prel. Rep. No. 6 of 'Reference Clay Minerals, A. P. I. Research Project 49'. American Petroleum Institute. New York.
18. DUDAL, R. y R. SOEPRAPTOHARDJO. 1960. Some considerations on the genetic relationships between latosols and andosols in Java (Indonesia). 7th Intern. Congress of Soil Sci. Madison, Wisc. USA, Madison IV:229–236.
19. EGAWA, T. 1965. Mineralogical properties of volcanic ash soils in Japan. Meeting on the class. and corr. of soils from volcanic ash. FAO–Report Rome 14:89–91.
20. EGAWA, T. y A. SATO. 1960. A study on DTA curves of the allophanic clays from volcanic ash soils in Japan. *Advances in clay Sci. Tokyo* 2(385):498–500.
21. FIELDES, M. 1955. Clay mineralogy of New Zealand soils. Part 2: Allophanic and related minerals colloids. *New Z., J. of Sci. and Techn. B. Wellington* 37:336–350.
22. FIELDES, M. 1957. Clay mineralogy of New Zealand soils. Part 4: Different thermal analysis. *New Z., J. of Sci. and Techn. Vol. Wellington* 38(6):533–570.
23. FIELDES, M. 1958. Soil science and Extension Work. The role of clays in soil fertility. *New Zealand Inst. of Agric. Sci. Prof. Publ. Wellington* 167:84–102.
24. FIELDES, M. 1966. The nature of allophane in soils. Part 1: Significance of structural randomness in pedogenesis. *New Z. J. of Sci. Wellington* 9(3):599–607.
25. FIELDES, M. y R. J. FURKERT. 1966. Nature of allophane in soils. Part 2: Differences in composition. *New Z., J. Sci., Wellington* 9(3):608–622.
26. FIELDES, M. y L. D. SWINDALE. 1954. Chemical weathering of silicates in soil formation. *New Z., J. Sci. and Techn. Wellington* 36(2):195–210.
27. FIELDES, M. y N. K. I. WILLIAMSON. 1955. Clay mineralogy of New Zealand soils. Part I: Electron micrography. *New Z., J. Sci. and Techn. Wellington* 37(3):314–335.

28. FLACH, K. 1965. Genesis and morphology of ash-derived soils in the United States of America. Meeting on the class. and corr. of soils from volcanic ash. FAO-Report Rome 14:61-70.
29. GASTUSCHE, M. C. y A. HERBILLON. 1962. Etude des gels d'alumine: cristallisation en milieu desionisé. Bull de la Societé Chimique de France, Paris pp. 1404-1412.
30. GASTUCHE, M. C. y C. DE KIMPE. 1962. La genese des mineraux argileux de la famille du kaolin. II. Aspect cristallin. Genese et Synthese des argilles. C. N. R. C. Paris pp. 67-74.
31. HAY, R. L. 1960. Rate of formation and mineral alteration in a 4000 years ash soil of St. Vicent. American J. of Sci., New Haven 258:354-368.
32. JACKSON, M. L. 1955/1956. Soil chemical analysis-advances course. University of Wisconsin. USA Madison (second printing).
33. JACKSON, M. L. 1958. Frequency distribution of clay minerals in major great soil groups as related to the factors of soil formation. 6th Nat. Conf. on clay and clay min., Pergamon Press, N. Y. pp. 133-143.
34. JACKSON, M. L. 1958. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. N. Y.
35. JACKSON, M. L., S. A. TYLER, A. L. WILLIS, G. A. BOURBEAU y R. P. PENNINGTON. 1948. Weathering sequence of clay-size minerals in soils and sediments. The J. Phys. Coll. Chem, Madison 52(7):1237-1260.
36. JARITZ, G. 1967. Ein Vorkommen von Imogolit in Bimsböden Westdeutschlands Pflernähr. Düng. Bodenk Weinheim 117:65-77.
37. JOHANNESSON, B. 1960. The soils of Iceland. University Research Inst. Dept. of Agric., Serie B. Reykjavik, 13:1-140.
38. JENNE, E. A. 1965. Mineralogical, chemical and fertility relationships of five Oregon coastal soils. Citado por Birrell, K. S. en Report FAO No. 14. página 81. Roma.
39. KANNO, I. 1959. Clay minerals of volcanic ash soils and pumice in Japan. Advance clay Sci. Tokyo 1:213-233.
40. KANNO, I. 1961. Genesis and classification of main genetic soils types in Japan. Bull. Kyushu agric. Exp. Sta. Chikugo. VII:1-185.
41. KANNO, I. 1962. Genesis and classification of humic allophan soils in Japan. Trans. Comms. IV & V, Int. Soc. Soil. Sci. Wellington pp. 422-427.
42. KANNO, I., I. KUWANO y Y. HONJO. 1960. Clay minerals of Gel-like substances in pumice beds. Advance clay Sci. Tokyo II:355-366.
43. KANNO, I. y S. ARIMURA. 1958. Plant opal in japanese soils. Soil and Plant Food, Tokyo 4:62-67.
44. KELLER, W. D. 1964. Chapter 1: Processes of origin and alteration of clay minerals. En el libro Soil Clay Mineralogy, de Rich, G. I. & Kunze, G. H. The Univ. of North Carolina Press. North Carolina.
45. KAWASAKI, H. y S. AOMINE. 1966. So-called 14A Clay minerals in some ando soils. Soil Sci. Pl. Nutr., Tokyo 12(4):18-24.
46. KURABAYASHI, S. y T. TSUCHIGA. 1961. Quantitative estimation of halloysite in volcanic ash beds. Clay Science, Tokyo 1(1-2):15-23.
47. MATSUI, T. 1959. Some characteristics of Japanese soil clays. Advance Clay Sci. Tokyo, 1:244-259.
48. MATSUI, T. y M. TOTANI. 1963. Studies of some fractions of vermiculite clay separates from japanese soils. Clay Sci., Tokyo 1(6):155-166.
49. MILLOT, G. 1964. Geologie des Argiles. Masson Ed. Paris.

50. MIYAUSHI, N. y S. AOMINE. 1964. Does 'Allophane B' exist in Japanese volcanic ash soils? *Soil Sci. & Plant Nutr.*, Tokyo, 10(5):199–203.
51. MOHR, E. C. J. y F. A. VAN BAREN. 1954. *Tropical soils*. Interscience Publ. N. Y.
52. OSAKA, J. 1963. On the mechanism of formation of precipitated allophane advanced clay. *Sci. Tokyo Vol. 3*, pp. 342.
53. PECROT, A., M. C. GASTUCHE, J. DELVIGNE, L. VIELVOYE y J. J. FRIPIAT. 1962. L'alteration des roches et la formation des sols au Kivu. *Publications de l'Institut National pour l'étude Agronomique du Congo (INEAC), Serie Scientifique, Brüssel 17:1–90*.
54. PEDRO, G. 1962. Genese des mineraux argileux par lessivage des roches cristallines au laboratoire. *Genese et Synthese des argilles*. CNRC, Paris. pp. 99–106.
55. PEDRO, G. 1964. Principes geochemiques de la pedogenese. *Incidences mineralogiques*. 8th Int. Congress of Soil Science. Bucarest/Rumänien, Bucarest III:1081–1093.
56. SCHUYLENBORGH, J. V. 1957. Investigation on the classification and genesis of soils derived from acid tuffs under humid tropical conditions. *Neth. J. Agric. Sci. Wageningen 5(3):195–210*.
57. SEGALIN, P. 1956. Les principaux groupes de sols du Nord-ouest de Madagascar. 6th Intern. Congress of Soil Science. Paris/France, E:307–309.
58. SINGEN, A. 1967. The argillation of sub-marine tuffs from the Mount Carmel/Israel. *Clay Min. Oxford 7(1):101–110*.
59. SHERMAN, G. D. 1949. Factor influencing the development of lateritic and letrite soils in the Hawaiian Islands. *Pacific Sci. Honolulu 3:307–314*.
60. SHERMAN, G. D. 1962. Weathering and soil science. *Trans. Comm. IV & V, Inter. Soc. Soil Sci. (Conf. N. Z.)*, Palmerston North, pp 24–32.
61. SHERMAN, G. D., Y. MATSUSAKA, H. IKAWA y G. HAHARA. 1964. The role of amorphous fraction in the properties of tropical soils. *Agrochimica, Rome, VIII(2):146–162*.
62. SUDO, T. 1953. Clay minerals formed by alteration of volcanic glass from Japan. *Comité Inter. pour l'étude des Argiles. Congres Geol. Intern. Comptes Rendus de la dix-neuvieme Session. Alger XVIII:123–135*;
63. SUDO, T. 1954. Clay mineralogical aspects of the alteration of volcanic glass in Japan. *Clay Min. Bull., Oxford, 2(1):96–106*.
64. SUDO, T. y T. NAKAMURA. 1952. Hisingerite from Japan. *Amer. Min. Lancaster 37:618–621*.
65. SUDO, T., S. KURABAYASHI, T. TSUDRIYA y S. KANEKO. 1964. Mineralogy and geology of Japanese volcanic ash soils. 8th Intern. Congress of Soil Science. Bucarest/Rumänien, Bucarest III:1095–1104.
66. SWINDALE, L. D. 1965. The properties of soils derived from volcanic ash. *Meeting on class. and corr. of soils from volcanic ash. FAO-Report, Rome 14:53–55*.
67. THISEN, A. A. 1966. Kristalline Bestandteile saurer tropischer Böden auf vulkanischem Ausgangsmaterial in Kenia. *Pfl-Ernähr. Düng. Bodenk. Weinheim 115:173–181*.
68. TAN, K. H. 1965. The andosols in Indonesia. *Meeting on the class. and corre. of soils from volcanic ash. FAO-Report, Roma 14:30–35*.
69. WADA, K. 1967. A structural schema of soil allophane. *Amer. Min. Lancaster 52:690–708*.
70. WADA, K. y S. AOMINE. 1966. Occurrence of gibbsit in weathering of volcanic materials at Kuroishibaru, Jumamoto. *Soil Sci. & Pl. Nutr. Tokyo 12(4):25–31*.

71. WEY, R. y B. SIFFERT. 1962. Reactions de la silice monomoleculaire in solution avec les ions Al^{3+} et Mg^{2+} . Genese et Synthese des argiles. C.N.R.C. Coll. Int. Paris 105:11–23.
72. WHITTIG, L. D., V. J. KILMER, R. C. ROBERTS y J. D. CADY. 1957. Characteristics and genesis of cascade and powel soils of North–western Oregon. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison 21(2):226–232.
73. WRIGHT, A. C. S. 1964. The volcanic ash soils of Chile. Supplement to the Final Report of the Assesor in Soils, FAO–Chile. FAO Tech. Assis. Mission in Chile, Santiago pp. 1–137.
74. YOSHINAGA, N. y S. AOMINE. 1962. Allophane in some ando soils. Soil Sci. Pl. Nutr. Tokyo 8(2):5–13.
75. YOSHINAGA, N. y S. AOMINE. 1962. Imogolite in some ando soils. Soil Sci. Pl. Nutr. Tokyo 8(3):22–29.

CUADRO 1. Descripción de los perfiles.

Lugar Situación Utilización	Pluviometría Temperatura	No. del perfil Tipo de suelo Material parental, Edad	Muestra No.	Horizonte profundidad en cm	Color a) seco b) húmedo	Descripción
Contacto, entre Osorno y Pucatríhue. 45 m sobre N. M. Plano.	2600 mm 15°C	I Braunlehm.	1	Ah 0-40	a) d.g.B. (10YR4/4) b) d.B. (7,5YR4/2)	Franco, humoso, algo plástico, no adhesivo, estructura granular fina, suelto, poroso, raíces abundantes, límite claro, lineal.
Cereales, papas, frutales.		Antigua ceniza volcánica sobre substratum glacial, contaminado con material pliocénico (micasquistos).	2	B ₁ 40-75	a) d.g.B. (10YR4/4) b) g.B. (10YR5/6)	Franco, plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica, firme en seco, raíces escasas, límite difuso, ondulado.
Bosque: Nothofagus.		Interglacial Holstein.	3	B ₂ 75-140	a) d.g.B. (10YR4/4) b) g.B. (10YR5/8)	Franco, plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica, elementos estructurales densos y firmes, pequeñas partículas de cuarzo y mica visibles, raíces escasas, límite claro ondulado.
			4	B C _v 140-210	a) G. (10YR7/8) b) g.B. (10YR5/8)	Franco, muy plástico y adhesivo, estructura prismática media a gruesa, muy densa, abundancia de cuarzo, láminas de mica y trozos de rocas meteorizadas, límite claro y ondulado.
			5	C + 210	a) G. (10YR7/6) b) g.B. (10YR5/6)	Material parental intemperizado, franco arenoso, parcialmente moteado de rojo, mucho cuarzo, algo pedregoso.
Fresia, a 22,5 km de Osorno (W) en la calle hacia Pucatríhue.	1390 mm 11,5°C	Rotlehm. Ceniza andesítica antigua.	6	A ₁ 0-20	a) d.B. (7,5YR4/2) b) d.r.B. (5YR3/2)	Franco arcilloso, muy humoso, plástico algo adhesivo, estructura granular, abundantes raíces, límite claro, lineal.
70 m sobre N. M. Inclinación 80W.		Interglacial Holstein	7	AB 20-65	a) r.B. (5YR4/4) b) B. (5YR3/4)	Franco arcilloso, humoso, plástico y adhesivo, estructura poliédrica con elementos estructurales pequeños y firmes, abundancia de raíces, límite claro, lineal.
Bosque mezclado: Notho- fagus obliqua y Laurelia sempervirens.			8	B 55-105	a) g.B. (5YR4/5) b) g.B. (5YR4/5)	Arcilla poco densa a arcilla, plástico adhesivo, estructura prismática, dura y densa en estado seco, raíces escasas, límite difuso lineal.
Cultivos: cereales y pra- dera.			9	BC 105-285	a) d.R. (2,5YR3/6) b) g.R. (5YR4/7)	Arcilla poco densa, plástica, adhesiva, estructura prismática gruesa, con abundante barniz de arcilla, raíces escasas, límite difuso, lineal.
Cudico, a 500 m del cruce camino Osorno a Trumao (16 km al N Osorno).	1212 mm 13,3°C	III Rotlehm	10	A ₁ 0-15	a) d.B. (7,5YR4/4) b) d.B. (7,5YR3/2)	Franco arcilloso, fuertemente humoso, plástico, adhesivo, estructura granular, abundantes raíces, límite claro lineal.
65 m sobre N.M., inclinación entre 6-90W.			11	B _t 15-45	a) g.B. (5YR4/6) b) r.d.B. (5YR4/8)	Arcilla, humosa, plástica y adhesiva, estructura prismática, con barniz y cerosidades de arcilla, raíces escasas, límite difuso y ondulado.
Bosque mezclado: Notho- fagus, Laurelia, pernetia, etc.			12	B ₂ 45-80	a) g.R. (5YR4/8) b) g.R. (5YR4/8)	Arcilla, plástica, adhesiva, estructura prismática que se quiebra en subpoliedros medios, densos, firmes, frecuentes cerosidades, raíces muy escasas, límite difuso lineal.
			13	B ₂ C + 80		Material parental blanco, rojo, con manchas amarillas y sepia, fuertemente meteorizado, con grava, abundantes partículas de cuarzo.

Corte alto, 6 km sur-oeste de río Negro detrás cruce Carretera Panamericana.	1330 mm 11,8°C	IV	14	A ₁ 0—20	a) d.B. (10YR4/3) b) se.d.gr.Br. (10YR3/2)	Franco limoso, fuertemente humoso, estructura granular, suelta (Mull), raíces abundantes, límite claro, lineal.
105 m sobre N.M., inclinación 10—12°. Ondulado.	Holoceno 10—15,000 años.		15	B _v 20—70	a) y (b) d.g.B. (10YR4/4)	Franco limoso, estructura poliédrica fina a granular, raíces abundantes, límite claro, lineal.
Bosque mezclado: Nothofagus obliqua, Laurelia sempervirens.	Andosol.		16	B _{vC} 70—120	a) r.B. (5YR5/4) b) b.G. (10YR6/6)	Franco arcillo limoso, algo plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica formada por elementos medios, firmes algo coherentes, raíces escasas, límite claro, lineal.
Cultivos: cereales y pradera.			17	C + 120	a) h.g.B. (10YR7/4) b) st.B. (7,5YR5/6)	Capas de cenizas volcánicas algo sueltas, estructura a grano simple.
Estación Experimental Barro Blanco, 6 km NW Osorno.	1330 mm 11,8°C	V	18	A ₁ 0—23	a) d.B. (10YR3/4)	Franco limoso, fuertemente humoso, estructura granular fina, muy poroso, abundantes raíces, límite claro lineal.
65 m sobre N.M., suavemente ondulado, inclinación 2—5°.	Ceniza basáltica-andesítica.		19	B _{v1} 23—67	a) y (b) g.B. (10YR5/6)	Franco limoso, humoso, algo plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica débil, suelta, raíces abundantes, límite difuso y ondulado.
Bosque: Nothofagus obliqua.	Holoceno, probablemente 3 a 5000 años.		20	B _{v2} 67—110	a) y (b)	Franco arcillo limoso, algo plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica débil, raíces escasas, límite claro lineal.
Cultivo: cereales, beta-rrosa, frutal.			21	C	a) r.G. (7,5YR8/6) b) st.B. (7,5YR5/6)	Capa de ceniza volcánica intemperizada, color base manchado con rojo y naranja, estructura a grano simple.
12 km de las termas de Puyehé en el camino hacia Antillanca.	2800 mm 9°C	VI	22	A _h 0—23	a) d.r.B. (5YR2/2) b) gr.B. (10YR5/2)	Franco limoso, fuertemente humoso, estructura grano simple, no plástico, no adherente, abundancia de raíces, límite difuso y ondulado.
550 m sobre N.M., Inclinación 20°O.	Ceniza basáltica —andesítica.		23	II A _h 23—42	a) se.d.gr.B. (10YR3/2) b) d.r.B. (5YR3/2)	Franco, ligeramente plástico, algo adhesivo, fuertemente humoso, abundantes raíces, estructura granular débil, límite claro ondulado.
Bosque: Aetoxicum, Chusquea, Myrceugenia, Fitzroya, Nothofagus.	Holoceno, capas superiores (22—25) probablemente inferiores a 1000—1500 años; capas inferiores (26—27) entre 2000—3000 años.		24	III A _h 42—90	a) d.B. (10YR4/3) b) s.d.B. (10YR3/3)	Franco arenoso, estructura de grano simple, fuertemente humoso, abundantes raíces, con manchas pardo rojizas en los canales de raíces muertas, límite claro lineal.
			25	IV 90—145	a) d.B. (10YR4/3) b) se.d.B. (10YR3/3)	Franco arenoso, débilmente humoso, no adhesivo, estructura subpoliédrica media débil, raíces escasas, límite claro lineal.
			26	V 145—210	a) B (10YR4/3) b) d.g.B. (10YR4/4)	Franco arcillo arenoso, algo plástico y adhesivo, estructura subpoliédrica firme, rico en lápili y trozos de pómez, raíces escasas, límite claro y lineal.
			27	VI 210+	a) h.g.B. (10YR6/4) b) d.gr.B. (10YR4/4)	Franco arenoso, estructura poliédrica grosera, abundantes trozos de pómez.

Chanleufu, a 17 km O de las termas de Puyehue, camino a Antillanca. 1300 m sobre N.M.	VII Ranker-andosol.	28	I Ah 0- 19	a) d.g.B. (10YR4/2) b) d.B. (10YR3/3)	Franco arenoso, fuertemente humoso, suelto, estructura granular fina débil, abundantes raíces-colchón, abundancia de lombrices y canales, algo de fragmentos de cuarzo, límite claro ondulado.
12 - 15° inclinación O. Bosque: Nothofagus, antártica y dombeyi, Araucaria araucana, Libocedrus chilensis.	Ceniza basáltica -andesítica. Holoceno; capas superiores (28 - 29) menos de 1000 años; capas inferiores (30 - 31) entre 1000 - 2000 años.	29	II Ah 19- 38	a) y b) B. (10YR4/4)	Franco arenoso, fuertemente humoso, con algo de arcilla y grava fina en la parte inferior, estructura subpoliédrica débil, suelto, poroso, lombrices escasas, raíces abundantes, límite difuso ondulado.
		30	III Ah 38- 55	a) g.B. (10YR5/4) b) g.B. (10YR5/6)	Franco arenoso grueso, humoso, con grava fina, estructura grano simple muy suelto, poroso, raíces abundantes, límite claro ondulado.
		31	IV 55- 80	a) y b) gr.B. (10YR6/4)	Franco arenoso grueso, con grava media en parte cementada, estructura de grano simple, con bandas férricas locales, manchas ocre, límite claro ondulado.

SIMBOLOGIA

R : rojo
G : amarillo
B : pardo
Gr : gris
W : blanco

S : negro
r : rojizo
g : amarillento
b : parduzco
gr : grisáceo

d : obscuro
h : claro
bl : pálido
se : muy
st : fuerte

B.1.17

CUADRO 2. Composición mineralógica de la fracción arcilla (< 1,2μ) en algunos suelos rojos arcillosos de cenizas volcánicas.

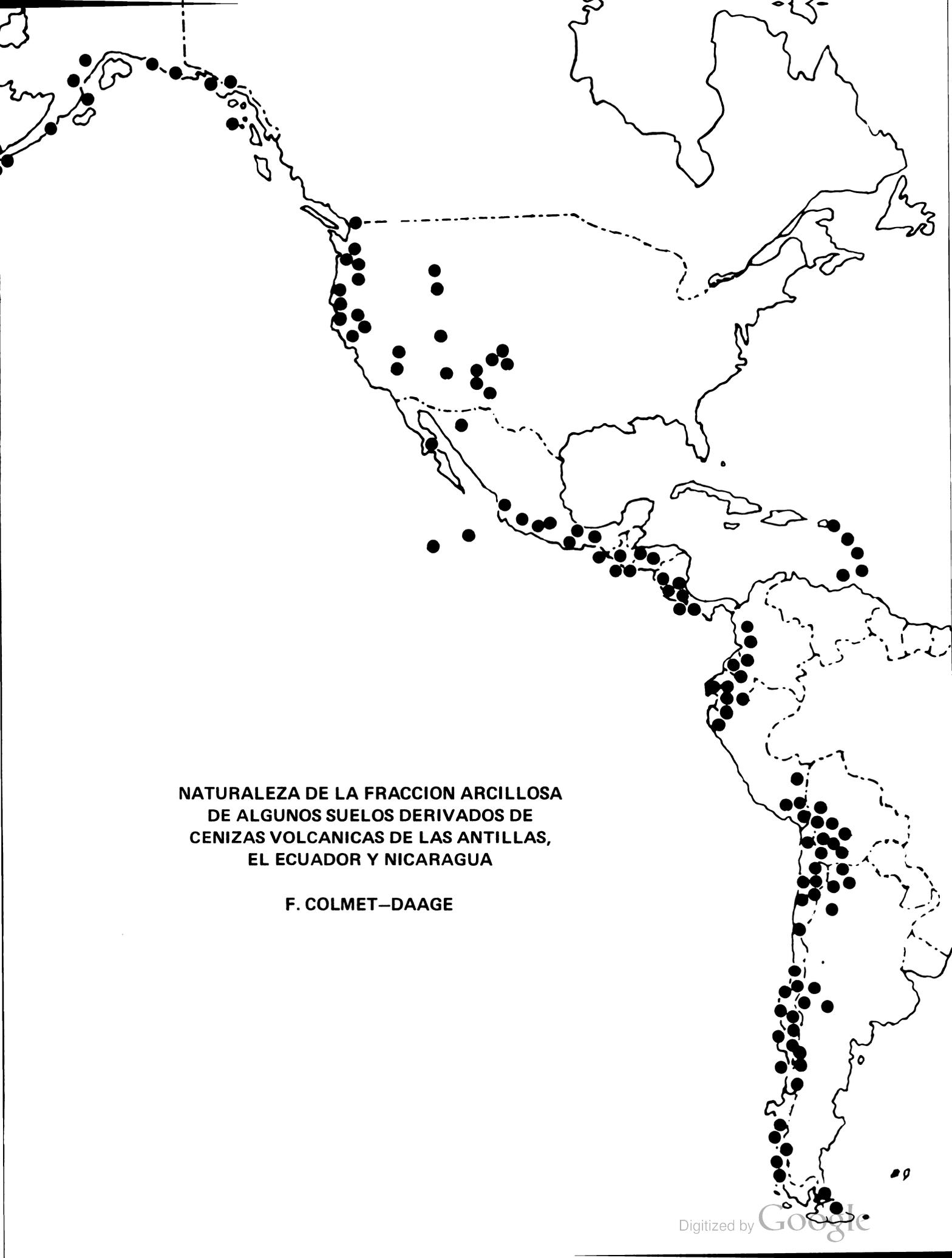
Perfil	I					II				III			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Muestra No.													
Alofán	?	-	-	-	-	?	?	-	-	?	?	-	-
Haloisita	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++
Illita	+	+	+	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorita	?	?	-	?	±	-	-	-	-	-	-	-	-
Transición 10,0 y 14 Å	±	-	-	-	-	±	-	-	-	-	-	-	-
Gibbsita	+	±	±	±	±	+	±	±	±	±	±	±	±
Goethita	-	±	±	±	-	±	±	±	±	-	?	?	-
Hematita	-	-	-	-	-	?	±	?	±	-	-	-	-
Oxido de Fe amorfo	+	++	-	-	-	+	-	-	+	+	+	+	+
Cuarzo	-	-	-	+	+	±	±	+	±	±	±	±	++
Feldespato	-	-	-	-	-	-	-	±	±	-	-	±	±
α - Cristobalita	±	-	±	+	++	±	±	±	?	±	±	±	+

Simbología:

- ++++ muy elevada cantidad
- +++ elevada cantidad
- ++ mediana cantidad
- + pequeña cantidad
- no existente

CUADRO 3. Composición mineralógica de la fracción arcilla (< 1,2μ) de algunos Trumaos del centro-sur de Chile

Perfil	IV					V					VI					VII				
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
Muestra No.																				
Alofán AB	-	-	-	-	-	-	-	-	++++	++++	-	-	-	-	++++	++++	-	-		
Alofán A	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	++++	-	-	++++	++++	++++	++++	-	-	++++	++++		
Imogolita	?	++	++++	++++	-	-	-	-	-	-	-	+	++	++++	-	-	-	-		
Caolinoide	-	-	-	-	?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Clorita	±	-	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Montmorillonita	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Gibbsita	?	+	+	++	++	±	±	±	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Boehmita	-	-	-	?	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Goethita	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	±	-	-	-	-	-	-	-		
Oxidos de Fe amorfo	+	+	+	+	±	±	±	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
Cuarzo	+	±	+	+	+	±	?	+	+	+	+	±	±	±	+	+	±	±		
Feldespato	++	±	±	+	+	-	-	++	++	++	+	+	±	±	+	+	+	+		
α - Cristobalita	+	+	+	±	±	?	-	±	+	+	+	++	±	±	+	++	+	±		
Complejo organo-alofánico	+	+	+	++	++	++	+++	+	+	-	-	-	+++	+++	+++	++	+	-		



**NATURALEZA DE LA FRACCION ARCILLOSA
DE ALGUNOS SUELOS DERIVADOS DE
CENIZAS VOLCANICAS DE LAS ANTILLAS,
EL ECUADOR Y NICARAGUA**

F. COLMET-DAAGE

NATURALEZA DE LA FRACCION ARCILLOSA DE ALGUNOS SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE LAS ANTILLAS,
EL ECUADOR Y NICARAGUA

F. Colmet—Daage*

con la colaboración de:

J. M. Gautheyrou*

G. Sieffermann**

M. Pinta, G. Fusil, F. Koukoui**

M. DELAUNE**

C. de Kimpe***

INTRODUCCION

Los suelos derivados de cenizas volcánicas tienen a menudo propiedades particulares que los diferencian claramente de los suelos sobre formaciones volcánicas duras.

Estas propiedades originales deben atribuirse a la presencia, en la fracción fina inferior a dos micras, de minerales arcillosos que se encuentran muy rara vez en los otros suelos de los trópicos. El conocimiento de estos minerales arcillosos, esencialmente sustancias amorfas alofánicas y haloisita con numerosas variantes, es muy útil para la clasificación de estos suelos y su utilización agronómica.

En las regiones tropicales estudiadas, la evolución de los suelos sobre cenizas volcánicas está condicionada, en primer lugar, a la pluviosidad o más exactamente a las posibilidades de los suelos de mantenerse húmedos a lo largo de todo el año, o al contrario, estar afectados por desecaciones de intensidad variable durante ciertos períodos.

En las regiones de pluviosidad alta (más de 2,5 m) o con evapotranspiración reducida (zonas nubladas), se observa la aparición y permanencia de sustancias alofánicas amorfas o poco organizadas. Las sustancias amorfas son frecuentes en los suelos tropicales, pero corresponden generalmente a hidróxidos metálicos. En el caso de las sustancias amorfas alofánicas, la sílice está igualmente presente en cantidad notable.

La alteración de los elementos primarios entraña, en las formaciones ya antiguas, un importante aumento cuantitativo de estas sustancias alofánicas y las propiedades características de éstas se vuelven cada vez más notables. Este aumento puede estar acompañado de modificaciones todavía no bien conocidas, de la naturaleza de las sustancias amorfas alofánicas, sin cambio notable de sus propiedades esenciales. La modificación más evidente es la aparición de la gibsita.

En las regiones de pluviosidad moderada (1,5 m a 2,5 m), con estación seca acentuada, lo que implica cierta desecación del suelo, por lo menos de los horizontes superiores, la aparición de la haloisita es un fenómeno general, pero que presenta numerosas variantes, ya sea que se trate de la proporción de la haloisita o de su naturaleza. Hay que señalar que se trata de la haloisita caracterizada por la raya a 10 Å en los rayos X y que pasa hacia 7,3 Å después de calentamiento a 1000. La intensidad de todas las rayas es variable pero parece que con los rayos X la identificación es la más segura. El aumento de la proporción de haloisita con el transcurso del tiempo, en general acompañado de una mejor cristalinidad del mineral, a veces de su deshidratación parcial en metahaloisita, entraña la formación de suelos con una gran proporción de arcilla, que tienen cierto número de propiedades que pueden atribuirse a dicho mineral. Las facies más evolucionadas con individualización de goetita, de gibsita, o de otras arcillas caolínicas (fire-clays, etc.) pierden progresivamente, en parte, estos caracteres y se parecen a los suelos ferralíticos.

Esta diferenciación esquemática bien clara de la evolución, conduce a la distinción de dos conjuntos principales: los suelos hidratados con sustancias amorfas alofánicas y los suelos con haloisita.

Según nuestros actuales conocimientos, parece útil prever un tercer conjunto intermedio entre los anteriores, que corresponde a ciertos suelos todavía jóvenes, arenosos, en los cuales la presencia de haloisita, aunque probable, no es segura, o la haloisita aparece distintamente, pero en ellos es difícil saber si ciertos caracteres observados, que recuerdan los de las sustancias amorfas, deben atribuirse a una proporción importante de éstas o a una forma particular, todavía joven, de la haloisita. En la incertidumbre, este conjunto puede denominarse "suelos de transición alofana—haloisita o suelos jóvenes de haloisitas".

* Centre des Antilles de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer. Bureau des sols. Martinique, Guadeloupe.

** O.R.S.T.O.M., France

*** Institut Agronomique de Lourain, Belgique, et Ministère de l'Agriculture, Quebec, Canada.

B.2.2

En las regiones más secas se identifica también la montmorillonita, pero la haloisita parece asimismo siempre presente.

Estas distinciones corresponden a los suelos que hemos estudiado en las regiones de clima relativamente húmedo. Es posible que en otros países, sobre todo los que tienen estación seca notable y en donde los suelos resultan de períodos de evolución mucho más largos, tales contrastes no aparezcan tan claramente, que se deba dar preferencia a otros aspectos juzgados como más importantes.

LOS SUELOS DE ALOFANAS MUY HIDRATADOS

Caso de los suelos de las Antillas y del Ecuador (sin gibsita)

Las propiedades de los suelos que se pueden atribuir a las sustancias alofánicas son tanto más notables cuanto más importante es su proporción. Es preferible, entonces, tomar como referencia suelos relativamente antiguos, en los cuales los fenómenos de alteración han podido desarrollarse en períodos de tiempo suficientemente largos como para haber permitido cierta "argilización" del suelo, en el sentido granulométrico.

Estas propiedades son las siguientes:

- La absorción de agua puede ser considerable. Son frecuentes valores de 100 a 150 de agua por 100 g de suelo seco en la estufa a 105°. A veces se observan valores de 250—300 en horizontes moderadamente orgánicos de profundidad, para un contenido de sustancias inferiores a dos micras, que no pasa de 50 por ciento del suelo. Estos grandes contenidos de agua entrañan bajos valores de la densidad aparente del suelo: 0,3 a 0,8 y a veces 0,25. Relacionadas con el volumen del suelo, las cifras de humedad indicadas son claramente más pequeñas. Una parte muy grande de esta agua se pierde irreversiblemente por desecación al aire, a temperatura ordinaria, si la humedad desciende a valores inferiores a los que corresponden a pF 4,2. Este fenómeno se ha puesto bien en evidencia con las medidas de pF efectuadas en muestras conservadas en su humedad natural y tamizadas o en muestras rehumedecidas después de secamiento al aire. Aun después de varios meses de rehumectación, nunca se alcanzan de nuevo los valores primitivos. Existe una correlación íntima entre las humedades observadas en el campo, bastante constantes en el transcurso del año y los valores obtenidos con pF 2,5 en muestras secas.
- La diferencia entre las humedades a pF 2,5 y a pF 4,2 medidas en muestras frescas, expresada en peso, es a menudo muy importante (30 a 60% g de suelo seco) pero se vuelve tanto más pequeña en muestra secada previamente al aire, cuanto más hidratadas son las sustancias y aparentemente más en estado amorfo, llegando a veces a desaparecer. La diferencia entre pF 2,5 y pF 4,2 medido en muestra secada al aire, crece claramente cuando la humedad natural es más pequeña y cuando aparece un comienzo de organización evidenciado por otros métodos. La desecación al aire de las sustancias amorfas fuertemente hidratadas conduce a un hundimiento completo del suelo, que se transforma en masas a menudo duras, sin microporosidad. Por el contrario, en presencia de sustancias mejor organizadas, el suelo conserva cierta estructura, pero la presencia más importante de limo y de arena fina puede modificar un poco estas observaciones.
- La capacidad de intercambio de bases es importante, alcanzando 40 a 100 meq/100 g de suelo, lo cual es alto para suelos que no contienen sino 30 a 40 por ciento de partículas de diámetro inferior a dos micras. Esta capacidad es claramente más alta medida en la muestra conservada fresca, que en el suelo secado al aire y este fenómeno es más notable cuanto más húmeda y menos orgánica es la muestra. Con el acetato de amonio, las diferencias pueden ser muy importantes, según se haga el análisis a pH 4,0, 7,0 ó 9,0 y la diferencia entre estas medidas pueden llegar al doble. Los lavados con alcohol del exceso de acetato, entrañan modificaciones muy sensibles si los modos de operación no son idénticos. Entonces, es necesario observar rigurosamente una técnica para tener resultados comparables. Nosotros ejecutamos un primer lavado con el alcohol diluido a 50 por ciento neutralizado y después siguen los lavados con alcohol puro (etanol).
- Los contenidos en bases intercambiables no son una característica de los suelos con alofanas, pero reflejan el clima, la intensidad de lixiviación, como para los suelos ferralíticos. Hay que anotar, sin embargo, los contenidos muy pequeños en magnesio. Al contrario, el comportamiento del pH es muy especial, independiente del estado de saturación en bases. Se pueden encontrar valores relativamente altos de pH en agua, cercanos a 6, en los horizontes profundos, totalmente desaturados. Los valores de pH medidos en el KCl normal son cercanos a éstos y a veces superiores, fenómeno que no se llega a observar sino con ciertas arcillas rojas bauxíticas. En presencia de materias orgánicas, es decir en los horizontes superficiales, a pesar de que a menudo son mejor saturados en bases intercambiables, el pH es más bajo, a veces muy ácido.

Este comportamiento particular del pH puede relacionarse con la dispersión de la fracción fina en medio ácido o en medio básico. Los horizontes superficiales, más orgánicos, se dispersan con frecuencia bien en medio alcalino, amoniacal, pero los niveles más profundos no se dispersan sino en medio ácido, o por lo menos mejor en éste que en

medio amoniacal. La presencia de pequeños agregados muy estables que ningún pretratamiento (benceno, etc.) parece poder disgregar sin disoluciones parciales, exige un tratamiento previo con ondas ultrasónicas, efectuado sistemáticamente. Hay que anotar también que por eliminación magnética de diversas partículas arenosas, magnetita, etc., se obtienen suspensiones mucho más estables, sin que se conozcan bien las razones exactas para ello.

El modo de dispersión es entonces variable según los suelos y, a menudo, según los horizontes sucesivos y sólo el ensayo de diversas técnicas permite dar una cifra verosímil de la proporción de sustancias de tamaño inferior a dos micras.

La importancia de estas sustancias inferiores a dos micras para las propiedades esenciales del suelo y la validez de los métodos de dispersión, parece confirmada por las técnicas de disolución sucesiva diferencial. Un solo tratamiento con ácido clorhídrico 8N en frío (30 minutos) seguido de sosa 0,5N (5 minutos a 100°) (9), tratamiento que ataca muy lenta y regularmente los retículos de las arcillas cristalinas, basta para disolver una cantidad de sustancias (relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ cercana a 1) que corresponde notablemente a los valores encontrados por el análisis granulométrico. Después de este tratamiento desaparecen todas las propiedades indicadas anteriormente para estos suelos, en particular los valores de la capacidad de intercambio, que se vuelven insignificantes. La disolución es más rápida y completa cuanto más en estado amorfo y poco organizado parece estar la sustancia. Un comienzo de organización, en haloisita, imogolita, gibsita u otras sustancias no bien identificadas, pero cuya existencia se revela por las técnicas de estudio de estructura, se traduce por una disolución más progresiva, en particular de la alúmina. La repetición de estos tratamientos ácidos y básicos implica, para la mayor parte de las arcillas clásicas, caolinitas, montmorillonitas, etc., o las partículas primarias, una disolución relativamente constante de la sílice, del hierro y de la alúmina. Sin embargo, el hierro y la alúmina pueden dar lugar, en ciertos casos, a separaciones importantes en el curso de la primera extracción, tal como en los suelos de alofanas, pues puede tratarse sea de hidróxidos amorfos, sea de elementos en posiciones superficiales o incluidos en las hojas, pero de fácil extracción, sin que resulte de ello una modificación notable de la estructura de éstas.

Por el contrario, con las arcillas u otras sustancias cristalinas, la disolución de la sílice es casi siempre constante y no se observa una separación mucho más importante de SiO_2 en la primera extracción, como en el caso de los suelos de alofanas.

Con todo, parece que la disolución de la haloisita, por lo menos de ciertas formas y de ciertas montmorillonitas ferríferas o aluminosas, es igualmente importante por este método. Sin embargo, el aspecto de las curvas de disolución es muy diferente del de las curvas obtenidas con las sustancias amorfas. Con estas arcillas, la disolución es importante pero relativamente constante, cuando se trata de las primeras extracciones; después las curvas de disolución se doblan progresivamente, sea a consecuencia de la disminución de la sustancia global de ciertas formas relativamente mejor solubilizadas. No hay entonces la disolución muy fuerte comprobada para las alofanas desde el primer ataque, en particular de la sílice, y luego la disminución brutal desde la segunda extracción, a menudo con la suspensión casi total de la disolución de la alúmina y el hierro. Los fenómenos de disoluciones sucesivas de las sustancias amorfas y cristalinas contrastan entonces muy bien en los casos extremos, pero en el caso de mezclas o de sustancias semiorganizadas o de esbozos de estructura, la interpretación es más compleja. La presencia muy frecuente, en la fracción fina de los suelos livianos, de conchas de diatomeas, puede deformar, por exceso de sílice, los resultados de análisis totales de estas fracciones.

Las sustancias inferiores a dos micras o aun las sustancias que se disuelven fácilmente, —responsables de las propiedades que hemos examinado— presentan pocas rayas visibles por difracción con rayos X y su estudio por este método es así limitado.

Sin embargo, aparecen con frecuencia ciertas rayas más o menos separadas. Es posible que algunas pertenezcan a minerales primarios, sobre todo cuando aparecen las otras rayas asociadas. Es el caso de la raya a 3,33 para el cuarzo, cuando se manifiesta igualmente la raya a 4,24. La raya a 4,04 Å, muy frecuente, se debe sea a la cristobalita, sea a diversos feldespatos, cuando las otras rayas son notables.

Otras rayas aparecen con bastante frecuencia; entre ellas están aquéllas a 8,4 Å y un fondo importante característico a 12–20 Å, del cual emergen a veces rayas más claras hacia 14 Å. La intensidad de estas dos últimas rayas y aun su misma aparición, puede depender del tamaño de las partículas. Ellas desaparecen o son con frecuencia menos visibles en las fracciones más finas. La raya o la banda hacia 14 Å, en muestra orientada, saturada en magnesio, no se hincha con el glicerol sino que pasa, según parece en ciertos casos, hacia 18 Å por calentamiento a 300° o lo más a menudo desaparece, así como a 500°.

Este fenómeno, que indicaría la presencia de alguna sustancia similar a la imogolita parece más frecuente en las formaciones fuertemente hidratadas, enterradas, relativamente antiguas, para las cuales la proporción de sustancias inferiores a dos micras es alta, las partículas primarias finas han desaparecido o están extremadamente alteradas y es importante la autoaluminización. Sin embargo, la presencia de una raya clara hacia 13–14 Å es también frecuente en

B.2.4

formaciones todavía muy jóvenes. No es imposible que se trate en ciertos casos de algunas formas transitorias de montmorillonita, probablemente aluminosas, cuya dilatación con el glicerol rara vez se evidencia; pero algunas veces, sin embargo, se sabe que ciertas montmorillonitas ricas en alúmina o en hierro entre las hojas, son difíciles de identificar por los métodos acostumbrados, ya que sus propiedades de dilatación con el glicerol y de contracción con el calentamiento, se perturban.

Además de estas rayas frecuentes, que parecen presentar ciertos aspectos de las imogolitas pero que no aparecen siempre claramente, hay que anotar el caso de la aparición de una raya hacia $4,37 - 4,45 \text{ \AA}$, que caracteriza el esbozo de una estructura. El acrecentamiento de intensidad de esta raya conlleva un debilitamiento de las propiedades principales, que conciernen a la hidratación, la capacidad de intercambio de bases, etc.

El análisis térmico diferencial se efectúa en muestras secadas en la estufa para evitar pérdidas de agua considerables. En estas condiciones, se comprueba un pico endotérmico notable hacia 150° a 170° . El pico exotérmico hacia 900° tiene una intensidad variable y se produce a una temperatura un poco diferente, según las muestras. Hasta ahora se han encontrado pocas relaciones precisas entre estas observaciones y el modo de formación de los suelos o sus propiedades. El pico parece más notable en los suelos más jóvenes y más separado en las formas tal vez ya un poco organizadas, más antiguas.

Hacia 420° se observa un pico endotérmico muy frecuentemente, sobre todo, según parece, en las formaciones fuertemente hidratadas, ya antiguas. La presencia de este pico a 420° puede estar asociada o no con la existencia de rayas claras hacia 14 \AA , con el paso probable de éstas hacia 18 \AA en muestras saturadas en magnesio o desaparición por calentamiento a 300° .

Se observan picos exotérmicos de 500° a 850° , a menos que se tomen precauciones especiales, las cuales consisten en varios tratamientos con agua oxigenada, después de la extracción de la fracción inferior a dos micras. Parece que se trata de ligazones con materias orgánicas especialmente resistentes, pues la repetición de los tratamientos con agua oxigenada termina por absorberlas en la mayor parte de los casos, pero es posible explicar esto también de otra manera.

El análisis térmico diferencial parece muy sensible a la aparición de la haloisita. La existencia de una raya notable hacia $4,4 \text{ \AA}$, aun sin una raya observable a 10 \AA ó 7 \AA , implica inmediatamente la aparición de un pequeño pico endotérmico hacia 500 ó 550° , cuya intensidad crece, así como la temperatura, cuando se precisan los caracteres de la haloisita con los rayos X. Es posible que ciertas inflexiones endotérmicas hacia 800° puedan ser atribuidas a la montmorillonita, pero en verdad no se podría afirmar. Si hay montmorillonita, se trata entonces de formar aluminosas o ferríferas, cuya temperatura de descomposición ha bajado sensiblemente. Las dificultades que presentaba la identificación de esta arcilla con los rayos X, se vuelven a encontrar con el análisis térmico diferencial.

El análisis termo—ponderal muestra una salida de agua progresiva hasta más o menos 30 por ciento en muestras secadas previamente en la estufa. Por esta razón, no parece que esta técnica que hemos empleado pueda aportar enseñanzas útiles.

Al contrario, la espectrografía en infrarrojo parece bien adaptada y prometedora para un examen más profundo de la estructura.

La banda de absorción SiO puede pasar, en las sustancias estudiadas, de 940 cm^{-1} a 1030 cm^{-1} . Este paso demostraría la disminución de la perturbación engendrada en el retículo silícico por la presencia de átomos de aluminio tetracoordinados, que están incluidos allí. Las medidas de fluorescencia X y los estudios en infrarrojo han demostrado, de manera segura, que mientras más aumenta el contenido de aluminio octaédrico o hexacoordinado, más se desplaza la banda de vibración SiO hacia las frecuencias elevadas. El desplazamiento de esta banda parecería entonces indicar el esbozo de organización de una capa octaédrica. En realidad, es en las muestras que los métodos usuales indican cómo las más amorfas que la banda SiO se encuentra hacia 940 cm^{-1} . Se la encuentra a más de 1000 cm^{-1} , ya sea en las muestras que poseen manifiestamente un comienzo de organización sensible, o también en ciertas muestras en donde el esbozo de organización indicado por las otras técnicas es poco perceptible (caso de las imogolitas). Ciertos otros índices parecen acompañar el desplazamiento de la banda SiO y su definición, subrayando así el comienzo de una estructura y la sensibilidad de la técnica utilizada. La banda de deformación Al^{iv}—O—H hacia 910 cm^{-1} es progresivamente más clara, así como la banda a 1100 cm^{-1} ; se diferencia el doblete SiO hacia $440-470 \text{ cm}^{-1}$. El par de bandas SiO—Al entre 500 y 750 cm^{-1} aparece lentamente. La banda de absorción, debida a los hidróxidos, hacia 3700 cm^{-1} , luego a 3620 cm^{-1} se dibuja progresivamente, aunque persiste una fuerte absorción de 3000 a 3700 cm^{-1} .

La banda a 800 cm^{-1} que se podría atribuir a la estructura en anillo de los tetraedros de sílice (Fripiat, 1963) aparece rara vez. Ella indicaría un retículo silícico ya bien ordenado, que puede pertenecer a materiales residuales, o a la capa tetraédrica de las sustancias neoformadas. Esta banda a 800 cm^{-1} no aparece en nuestros suelos de regiones tropicales cálidas. Es posible que esté simplemente enmascarada.

B.2.5

Las sustancias amorfas fuertemente hidratadas se caracterizan entonces en la espectrometría infrarroja, por una gran absorción entre 3000 y 3700 cm^{-1} por una parte y entre 900 y 1200 cm^{-1} por otra, con posición variable del máximo (940 a 1030 cm^{-1}) y una banda acentuada a 1600 cm^{-1} . Pueden aparecer igualmente ciertos indicios que denotan un esbozo de organización y que no lo evidencian las otras técnicas menos sensibles.

El estudio en el microscopio electrónico, como también el estudio con rayos infrarrojos o las medidas de superficies, presenta el inconveniente de trabajar con una muestra perfectamente seca. Se trata de remediar esto evitando cualquier desecación previa de la fracción muy fina, hasta que llega a su evaporación en la rejilla de observación. Las modificaciones que esta desecación puede producir, vuelven delicadas las observaciones y de allí pueden resultar importantes cambios.

La mayor parte de los suelos muy hidratados se presentan en dos facies principales. Puede tratarse de pequeñísimos glomérulos translúcidos, que dan con frecuencia la apariencia de un tejido celular más o menos desgarrado o de una red de fibras finas entrelazadas. Uno y otro pueden ser observados simultáneamente, pero parece que en ciertas facies predominan los glomérulos y en otras las fibras. La transparencia de estos elementos hace también que, según la intensidad de la iluminación, el tiempo de exposición y el contraste en algunas de estas facies aparezcan más o menos claramente.

La aparición de una raya a $4,4\text{ \AA}$, que indica el comienzo de la haloisita tiene, como consecuencia inmediata, en ciertos suelos, la presencia de algunos tubos cortos e hinchados, pero el fenómeno parece que concierne sólo a los suelos de regiones cálidas tropicales.

Casos de los suelos de gibsita

La gibsita no aparece sino en los suelos de alofanas hidratados, relativamente antiguos y argilificados. Nunca se la encuentra en los suelos fuertemente hidratados que se derivan de formaciones recientes de cenizas y piedras pómez. Geográficamente, el área de los suelos con gibsita es entonces bien distinta de la de los suelos sin gibsita. Los suelos con gibsita son, por sus propiedades y sus aspectos morfológicos, muy parecidos a los que no contienen este mineral y sólo ciertos indicios, como los restos de pómez o de cenizas, poco alterados, desparramados o en capas y el examen de las arenas, indican recubrimientos más recientes, que permiten establecer una distinción relativamente valedera en el campo. En el área de los suelos con gibsita, la ausencia de este mineral puede deberse a recubrimientos delgados más recientes, que se han mantenido en un lugar dado y han sido eliminados por la erosión en otros. Es así como hay más posibilidades de encontrar la gibsita cerca de la cima, sobre los bordes de pendientes fuertes, donde la erosión es más activa y ha hecho desaparecer recubrimientos posteriores eventuales, que en las partes bajas cóncavas o planas, en donde éstos han podido persistir y aun acumularse.

La gibsita aparece más rápidamente cuanto más importante es la pluviosidad y por tanto la alteración más activa. En las regiones muy húmedas durante todo el año, hemos podido observar concreciones tubulares, pardo claro—blanquecinas de gibsita pura, que parecían llenar canalículos de raíces antiguas, prueba de la migración posible de la alúmina en estos suelos. En otros casos, se trata de pequeños nódulos blanquecinos.

En el caso de los suelos totalmente desaturados en bases intercambiables, con presencia de gibsita en cantidad importante, se encuentra a menudo un poco de caolinita que los rayos X, infrarrojos y el microscopio electrónico indican como relativamente bien cristalizada. Parece que la neoformación de caolinita bien cristalizada es frecuente en medio totalmente desaturado en bases, mientras que los contenidos notables en bases intercambiables, en particular el calcio, acompañan la formación de la haloisita o de caolinitas desordenadas (fire-clays), arcillas, más a menudo observadas en los suelos volcánicos de las Antillas.

El acrecentamiento de los contenidos en gibsita termina por conducir a un debilitamiento notable en ciertas propiedades de las alofanas: hidratación, capacidad de intercambio, etc. La fijación del fósforo es especialmente elevada.

La distribución de la gibsita no es homogénea dentro de la fracción fina inferior a dos micras. Las fracciones más cercanas a dos micras, o aun ciertos limos finos, encierran muy claramente más gibsita que las fracciones muy finas. Es entonces útil comparar los contenidos en gibsita de los suelos y trabajar con una clase de partículas de las mismas dimensiones.

Con disoluciones sucesivas (HCl_3N en frío y sosa $0,5\text{N}$) no se observa, después de la fuerte cantidad de aluminio disuelto en la primera extracción ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 0,5$), una disminución brusca de la rapidez de la solubilización, como es el caso en los suelos sin gibsita. La disolución de Al prosigue todavía en las extracciones siguientes y no se vuelve constante sino después de varias extracciones repetidas. Esta disminución de la rapidez de disolución muy progresiva se debe a la dimensión variable de las masas gibsíticas inferiores a dos micras o puede ser atribuida a

B.2.6

diversas formas de hidróxidos de solubilidad diferente: fases pregibíticas, diferenciadas o no de las amorfas, y gibsita bien cristalizada. Parece, entonces, que la autoaluminización de las sustancias amorfas, imogolitas, etc., termina cuando la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ baja alrededor de 0,8, con la individualización de la gibsita.

Caso de Nicaragua

Los suelos con alofanos muy hidratados descritos anteriormente, se han observado en Martinica, Guadalupe y el Ecuador, en regiones de pluviosidad alta, superior a 2 m por año y con estación seca relativamente reducida o evapotranspiración limitada por la nubosidad (Ecuador). Se trata de cenizas y pómez con mayor frecuencia dacíticas, con dominancia de hiperstena, de hornblenda, rara vez de augita, en la fracción pesada.

En la vertiente Pacífica de los Andes ecuatorianos, y en las llanuras tropicales cálidas bajas, los suelos fuertemente hidratados sin gibsita están recubiertos casi en todas partes por suelos más jóvenes, todavía alofánicos, de 1 m o más de espesor, derivados de formaciones de cenizas más recientes (niveles humíferos enterrados, artefactos indígenas, etc.). Se encuentran los mismos suelos, de apariencia y de propiedades idénticas a más de 3000 m de altitud en las vertientes húmedas y nubladas de las zonas templadas frías. El factor temperatura (entre 10 y 27°) no tiene, por lo tanto, influencia notable en la formación de estos suelos alofánicos muy hidratados.

En la vertiente Atlántica del Ecuador, muy húmeda (5 m por año) y sin períodos secos, los suelos son fuertemente hidratados en todo el perfil, con contenidos en agua a la capacidad de campo o a pF 2,5, de 200 a 250 por ciento de suelo seco en la estufa. Se observa un poco de gibsita, difusa o acumulada en pequeñas concreciones.

En Nicaragua, las cenizas parecen más básicas, ricas en augita y el ambiente mismo, en ausencia de datos meteorológicos muy precisos, parece mucho más seco. Se encuentra así suelos fuertemente hidratados en mesetas de altitud moderada, en condiciones climáticas similares a las de regiones de las Antillas y del Ecuador, en donde la evolución de los suelos tiende a la formación de la haloisita con una hidratación poco marcada del suelo.

En realidad, existen ciertas diferencias importantes entre las propiedades de estos suelos y las de los suelos fuertemente hidratados de las Antillas o del Ecuador, estudiados anteriormente.

La hidratación es importante (100 de agua por 100 g de suelo) pero el carácter untuoso del suelo no aparece. Sólo una pequeña fracción de esta agua (1/5 más o menos) se pierde irreversiblemente por desecación al aire, mientras que para los suelos de las otras regiones, esta pérdida podía alcanzar los 3/4 o los 8/10 del agua que inicialmente contenía el suelo seco o a pF 2,5. La capacidad de intercambio es muy importante (100 meq/100 g de suelo) y disminuye poco con la desecación al aire del suelo.

Por el contrario, como en los otros suelos estudiados, esta capacidad varía mucho con el pH y disminuye considerablemente después de tratamiento ácido y sosa (de 100 meq a 5 meq/100 g de suelo). El contenido de bases intercambiables es importante: 20–25 meq/100 g de suelo, lo que es normal en estas regiones moderadamente húmedas, mucho más grande que en los suelos fuertemente hidratados de las Antillas, en donde oscilaba de 0,5 meq/100 g para los suelos más hidratados a 10 meq en regiones más secas. La diferencia entre el pH en agua y el pH en KCl es notable. Los suelos se dispersan igualmente bien en medio ácido.

Por ataque ácido/sosa (HCl 8N en frío y sosa 0,5N) sucesivo se disuelve una proporción muy grande del suelo. Las sustancias fácilmente solubilizadas encierran más hierro y la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ es notoriamente más elevada que para los suelos anteriormente estudiados, superior a 1.

Los rayos X revelan el esbozo de una raya hacia 4,4 Å, indicio de un comienzo de organización. Las rayas hacia 8 Å y 14 Å son borrosas y no aparecen siempre.

En el análisis térmico diferencial, un gran pico endotérmico hacia 150° – 170° m va seguido por el bosquejo, a menudo incierto, de picos a 420° y a 540°. La intensidad del pico exotérmico a 930° es variable.

El carácter amorfo de la muestra está subrayado en la espectrometría en infrarrojo, por una gran banda de absorción de 3000 a 3700 cm^{-1} , pero un comienzo de organización de capa octaédrica estaría indicado por el máximo de absorción hacia 1020 cm^{-1} , hinchamientos hacia 910 cm^{-1} , entre 550 y 750 y el comienzo del doblete SiO hacia 440–470 cm^{-1} .

El microscopio electrónico muestra un entrelazamiento de fibras mucho más claras que para los suelos de las Antillas y el Ecuador.

Las imágenes recuerdan perfectamente las de la imogolita del Japón. De todas las muestras estudiadas, es con esta técnica de observación, las que más se parecen. Se observan también algunos raros tubos de haloisita.

B.2.7

Una retención muy enérgica para el agua, probablemente ligada a un esbozo de estructura que recuerda la de la imogolita (por lo menos su aspecto al microscopio electrónico) distingue, entonces, estos suelos de los de las Antillas y del Ecuador. No se conocen bien las razones de este comportamiento particular que explica por sí solo el mantenimiento de estos suelos fuertemente hidratados. Se trata, probablemente, de una condición inestable y, a diferencia de los suelos de las regiones muy húmedas de las Antillas y el Ecuador, en donde hay mantenimiento y autoaluminización de las sustancias amorfas o poco organizadas, la evolución hacia la haloisita es aquí segura y ya ha comenzado.

LOS SUELOS JOVENES CON ALOFANAS POCO HIDRATADOS

Son todos los suelos sobre formaciones de cenizas y pómez recientes, en clima húmedo. Se vuelven a encontrar claramente las características de los suelos fuertemente hidratados, pero muy atenuadas por la importante proporción de arenas finas y de gravas (más de 60 % de la fracción superior a 0,5 mm).

En la Martinica se trata de capas alternadas de gravas pumíceas y de cenizas andesi-dacíticas bastante gruesas.

En el Ecuador son depósitos muy finos de cenizas, transportadas lejos por el viento, hasta las llanuras tropicales del Pacífico, a veces con delgadas bandas de cenizas más gruesas.

En el caso de formaciones muy recientes, los caracteres de hidratación etc., pueden estar enmascarados en parte y no aparecer sino en ciertos horizontes delgados de materiales al comienzo, más finos, más rápidamente alterables. Sin embargo, la alofanización se produce a gran velocidad en región húmeda. En la Martinica, el aumento de la proporción de sustancias alofánicas está ligado a un aumento muy rápido de la hidratación lo que confiere a los suelos, aun a los muy arenosos, cierta cohesión débil, pero clara y muy característica en el campo. Suelos aparentemente arenosos pueden contener 50 a 70 y aun 100 de agua por 100 g de suelo, perdiéndose irreversiblemente una parte de esta agua por desecación al aire. Las piedras pómez, en especial, se saturan rápidamente de agua y se vuelven esponjosas.

El carácter irreversible de la deshidratación aparece bien en el caso de suelos notablemente hidratados, pero la disminución de la capacidad de intercambio después de la desecación se evidencia con más dificultad, debido a la abundancia de materias orgánicas activas en estos suelos.

El estudio de la fracción fina arcillosa se vuelve más delicado por la abundancia de partículas primarias finas, en particular cuando se hace con los rayos infrarrojos. En los suelos fuertemente alofánicos, estas partículas finas han sido alteradas desde hace mucho tiempo y han desaparecido; sólo los elementos más gruesos y más resistentes persisten. Se vuelven a encontrar los caracteres de las alofanas ya descritos por los diversos métodos y en especial, una raya a menudo muy clara y definida hacia 13,5 Å. También aparece a menudo una raya hacia 8,3 Å (ciertas arenas negras poseen también una). El pico hacia 420° se observa rara vez en el análisis térmico diferencial y las ligazones materia orgánica-alofanas parecen ser muy fuertes, originando desviaciones exotérmicas importantes hacia 400–600°, aun después de ataques repetidos con agua oxigenada.

LOS SUELOS DE TRANSICION ALOFANAS—HALOISITA, SUELOS JOVENES CON HALOISITA

Cuando se pasa de las regiones de pluviosidad alta, en las cuales la humedad del suelo permanece notablemente constante en el transcurso del año, hacia las regiones de pluviosidad menor o con estación seca y evapotranspiración más notable, que permite cierta desecación del suelo, se comprueba pronto la aparición de la haloisita. Este paso es notablemente claro en las Antillas, en donde las variaciones climáticas son muy bruscas, en especial en las regiones a sotavento. La aparición de la haloisita parece estar siempre precedida por una fase alofánica relativamente amorfa. La importancia de esta fase es muy variable, según las regiones, y más o menos fácil de evidenciar. Parece necesario hacer varias distinciones.

Caso de los suelos de transición alofana—haloisita en regiones relativamente húmedas

En la Martinica y en Guadalupe se pasa a menudo, en pocos kilómetros, de los suelos fuertemente hidratados con alofanas, a los suelos ya claramente arcillosos con haloisita.

Suelos derivados de formaciones relativamente antiguas

Pasando de las regiones húmedas a las secas, se observa en primer lugar la disminución de la hidratación, hasta a

B.2.8

valores de alrededor de 45 a 50 de agua por 100 de suelos seco, con una deshidratación irreversible todavía notable. El carácter esponjoso del suelo desaparece, se vuelve muy friable, pseudoarena. Se trata, aún, de suelos alofánicos.

Después, la coloración oscura del suelo, hasta aquí limitada al horizonte superficial, llega a los horizontes más profundos, a veces hasta 60 cm de profundidad o más, aunque los contenidos en materias orgánicas sean a menudo más pequeños. Este fenómeno se podría atribuir a una disminución de las ligazones de las sustancias amorfas con materia orgánica. El estado de saturación en bases se eleva. La presencia de arcilla, sin embargo, no es todavía sensible al tacto.

En esta etapa, la haloisita ya está claramente indicada por los rayos X, el análisis térmico diferencial, los rayos infrarrojos y el microscopio electrónico. La raya a 10 Å es a menudo muy débil, pero las de 4,37 Å y 2,51 Å son bien marcadas. El pico a 500° — 550° es todavía poco desarrollado, pero bien claro. Los rayos infrarrojos, más sensibles, indican las bandas de absorción clásica de las caolinitas, pero las que se encuentran hacia 3620 — 3700 cm^{-1} no son definidas. El microscopio electrónico es muy sensible y aun cuando la raya a 10 Å es muy débil, los bastoncitos de la haloisita son bien visibles. Son tubos todavía cortos e hinchados, a veces también masas redondeadas, formadas, según parece, de aureolas concéntricas.

La aparición de un poco de arcilla en el terreno que le confiere un carácter limo—arcilloso, se manifiesta a menudo primero en los niveles superiores, salvo en el caso de recubrimientos más recientes, mientras los niveles profundos permanecen todavía alofánicos y a menudo muy hidratados. En estos niveles ligeramente arcillosos, la presencia de haloisita se evidencia muy claramente por todos los métodos.

La arcilla se dispersa fácilmente con el amoníaco. En especial la raya a 10 Å es muy clara; el pico endotérmico pasa progresivamente de 500° — 580°, afinándose y volviéndose más intenso. Los tubos son más largos, más finos, bien formados, pero la presencia de fibras es todavía visible. La banda de absorción a 910 cm^{-1} se hace más notable, así como los dobletes SiO hacia 440 — 470 cm^{-1} y las bandas Si—O—Al hacia 500 — 750 cm^{-1} . Las bandas hacia 3620 y 3700 cm^{-1} se afinan, siendo la de 3620 cm^{-1} claramente más importante. El contenido en agua del suelo y la capacidad de intercambio, bajan sensiblemente. El carácter irreversible de la desecación es poco marcado.

Esta haloisita joven parece, sin embargo, muy sensible a la disolución con ácidos en frío y sosa diluida. La disolución es, no obstante, mucho más progresiva, menos brusca que para las sustancias amorfas alofánicas, salvo para el hierro que parece persistir en formas relativamente amorfas. Parece difícil determinar en estos suelos la proporción de sustancias que tengan todavía las características alofánicas y la proporción de haloisita efectiva, en razón de la existencia muy probable de formas intermedias que, por el momento, se pueden designar como haloisita joven. Es probable que con técnicas adaptadas de disolución diferencial sucesivas, se llegará a una mejor definición de estas mezclas o de estas sustancias.

Suelos derivados de formaciones recientes

En las cenizas finas, gruesas y pómez, al pasar de las zonas húmedas hacia las regiones secas, se comprueba también la disminución de la hidratación. La diferencia de las humedades para un mismo valor de pF medido en muestras conservadas húmedas o secadas al aire, se vuelve muy pequeña. La diferencia de las humedades entre pF 2,5 y 4,2 decrece en las muestras conservadas frescas, pero aumenta en muestras secadas previamente al aire, indicio de una mejor organización. La cohesión atribuida a la presencia de sustancias amorfas desaparece progresivamente, la estructura del suelo se vuelve entonces típicamente de partículas, arenosa, muy friable. La coloración oscura atribuida a la materia orgánica invade más los niveles profundos.

La aparición de la haloisita y el refuerzo de sus características son muy claros en los rayos X, ATD, infrarrojos y microscopio electrónico. La fracción fina inferior a dos micras, extraída de estos suelos aparentemente arenosos, presenta con frecuencia rayas muy claras a 10 Å en los rayos X, mientras que el análisis térmico diferencial y el microscopio electrónico indican formas todavía jóvenes de haloisita; pico moderado a 550°, tubos cortos e hinchados y a veces la presencia, aun, de algunas fibras o masas amorfas.

A causa de la abundancia de partículas primarias finas poco alteradas, la distinción entre materiales amorfos (haloisita joven, haloisita clásica) se presenta todavía más delicada que en las facies más antiguas, en donde estas partículas por lo general ya han desaparecido. Estos suelos arenosos humíferos, con presencia clara de haloisita en la fracción fina, pueden denominarse suelos jóvenes con haloisita. Este paso de los suelos con alofanos hidratados a los suelos arenosos con haloisita, se observa muy bien en distancias muy pequeñas en la Martinica y en distancias mayores en el Ecuador, en las llanuras tropicales bajas y cálidas.

Los suelos jóvenes con haloisita – regiones con estación seca muy acentuada

El paso de los suelos hidratados con alofanos de las regiones húmedas a los suelos jóvenes con haloisita de las regiones más secas no se observa siempre, ya sea que se trate de regiones antiguas o muy recientes. Es así como en Nicaragua, en las vastas regiones del norte del país, la estación seca es muy acentuada en todas partes. Sucede lo mismo para las regiones de altura del Ecuador, valle alto interandino y praderas del páramo.

A causa de estos períodos de desecación importante, la alteración progresa lentamente y la transformación en productos bien organizados de las sustancias amorfas tiene tiempo de producirse antes que éstas existan en cantidades notables, lo que permite una identificación fácil. La abundancia de las partículas finas primarias es también una dificultad para las observaciones por ciertos métodos.

Todos los suelos que clasificamos entre los suelos jóvenes con haloisita, tienen en el campo una aparición arenosa, arena gruesa o arena fina, más o menos revestida de materias orgánicas. La presencia de arcilla no es sensible al tacto o lo es muy poco en el campo, aunque es frecuente encontrar contenidos de 10 a 15 por ciento.

La presencia de la haloisita es, en general, claramente observada en la fracción inferior a dos micras, pero los métodos empleados son más o menos sensibles e indican formas un poco diferentes. La dispersión en medio amoniacal es fácil.

En los rayos X, la raya a 10 Å es en general bien visible, pero las rayas a 4,4 y 2,51 aparecen primero con más intensidad. En los suelos más jóvenes, la raya a 10 Å es poco visible, pero con calentamiento a 100° se precisa más una raya hacia 7,3. A menudo es visible una pequeña raya hacia 6,4 así como diversas rayas debidas a minerales primarios: 3,18; 4,04; etc.

En el análisis térmico, al pico hacia 500 – 550° se acentúa y la temperatura de aparición parece elevarse progresivamente. Hay que anotar la existencia frecuente de un pequeño pico endotérmico hacia 420°.

Con los rayos infrarrojos, la organización es más notable. Las dos bandas hacia 3620 y 3700 cm^{-1} son claras, sin ser acentuadas. La banda SiO tiene componentes finos e importantes a frecuencias superiores a 1080 cm^{-1} . La banda de deformación Al^{iv}-O-H está bien desarrollada a 910 cm^{-1} . El doblete SiO hacia 440 – 470 cm^{-1} se muestra muy claro, lo que indica una buena separación de las capas tetraédricas y octaédricas. La banda hacia 800 cm^{-1} no aparece en los suelos de baja altitud, sino solamente en ciertos suelos de altura del Ecuador, en regiones templadas o frías.

El microscopio electrónico muestra en todos los suelos de las regiones cálidas la presencia de bastoncitos muy claros, aunque todavía son a menudo cortos e hinchados. Están asociados a glomérulos con aureolas concéntricas y a veces en las facies más jóvenes, a algunas fibras o masas amorfas. Estos tubos son claramente visibles en los suelos en donde la raya a 10 Å de los rayos X es, sin embargo, muy poco desarrollada.

En los suelos de altura del Ecuador (hacia 2500 m), por el contrario, la presencia de tubos parece muy incierta. Se observan pequeñísimos glomérulos redondeados de 0,05 micras, que parecen también formados de aureolas concéntricas y esto aun en los suelos en que la raya a 10 Å es importante y bien delgada y alargada. ¿Se trata de una forma particular de la haloisita? ¿Existe una relación con la banda a 800 cm^{-1} observada sólo para estos suelos?

Estas haloisitas jóvenes se disuelven fácilmente en el ácido clorhídrico 8N en frío y la sosa 0,5 N. La capacidad de intercambio disminuye mucho pero, sin embargo, no tanto como con los suelos amorfos hidratados. Esta disminución menos importante de la capacidad de intercambio, después de tratamiento ácido/sosa en frío, es un indicio de una cantidad notable de haloisita, relativamente bien cristalizada. Las haloisitas glomerulares parecen disolverse más rápidamente que las formaciones tubulares, pero este fenómeno puede atribuirse a la presencia, en cantidad más importante, de sustancias amorfas. En realidad, los glomérulos aparecen a menudo mezclados con formas fragmentadas que recuerdan claramente las alofanos.

En las regiones más secas se descubre a veces la presencia de la montmorillonita. Se trata de suelos muy arenosos, a veces bien húmidos, pero muy a menudo erosionados, muy pobres en materias orgánicas y que se acercan a los regosoles.

Esta presencia es a veces bien evidenciada en los rayos X, por una raya a 14 Å, que pasa a 17 Å con glicerol, una raya a 4,40 Å acentuada y un pico endotérmico hacia 790 – 800° en el análisis térmico diferencial.

También, muy a menudo, la presencia de la montmorillonita es probable, verosímil, pero difícil de probar efectivamente. La raya hacia 14 Å no aparece claramente o bien la dilatación con glicerol permanece incierta. El pico endotérmico a alta temperatura no es notable. La raya a 4,40 Å es, sin embargo, muy bien marcada, aun en ausencia de rayas claras a 10 ó 7,3 Å de la haloisita. Los rayos infrarrojos indican bandas de absorción tan claras como en los

suelos en los que la haloisita es importante. Después del ataque ácido/sosa, la disminución de la capacidad de intercambio es moderada. Es posible que se trate de montmorillonitas aluminosas o ferríferas, para las cuales los fenómenos de hinchamiento con el glicerol, de contracción con calentamiento a 500°, son poco notorios, con disminución sensible de la temperatura del pico endotérmico en el análisis térmico diferencial. Estas hipótesis parecen apoyadas por el hecho de que según el modo de preparación de la muestra, los resultados pueden ser notoriamente diferentes.

La presencia de montmorillonita sería entonces probable en ciertos suelos arenosos de las regiones muy secas de altura de los Andes ecuatorianos y puede ser también de ciertas llanuras bajas de Nicaragua.

Conclusión

Aparecen dificultades para la identificación de las formas jóvenes de la haloisita o de ciertas montmorillonitas. Puede tratarse de mezclas de sustancias amorfas y de arcillas cristalinas verdaderas. Este es ciertamente el caso de los suelos de transición alofanas—haloisita, derivados de formaciones relativamente antiguas, en regiones de pluviosidad muy importante o con estación seca poco marcada. Aunque la existencia de estados intermedios como las imogilitas u otros sea probable, el término suelos de transición alofanas—haloisita parece justificarse.

El problema es más complejo con los suelos muy jóvenes o aquéllos de regiones con estación seca muy acentuada, en los cuales desaparecen ciertos caracteres físico—químicos que ayudan a una identificación de los materiales amorfos.

Al no poder evidenciar claramente su presencia por sus propias características: hidratación, variación de la capacidad de intercambio, etc., parece entonces preferible, cuando es evidente la presencia de la haloisita, referirse a haloisita joven. Este término abarca diversos estados cristalinos o semicristalinos, cuyas propiedades se encuentran, al menos en parte, como lo veremos en los suelos, ya no arenosos, sino francamente arcillosos con haloisita, lo que permite suponer la presencia de formas particulares de esta arcilla. Sin embargo, en Nicaragua, en las formaciones jóvenes que recubren las pendientes de los volcanes, en la proximidad de suelos un poco más evolucionados, sin duda más antiguos, arenosos y con haloisita, se ha observado la presencia, en regiones con estación seca acentuada, de sustancias que no presentan rayas características con los rayos X, ni aspecto fibroso en el microscopio electrónico. Este es, igualmente, el caso de ciertos suelos de altitudes muy grandes en el Ecuador. En los regosoles de las regiones áridas de este país, la haloisita puede descubrirse en suelos cuyo contenido de arcilla no pasa de 2 por ciento.

LOS SUELOS "BRUN ROUILLE", CON HALOISITA

En todos los suelos examinados anteriormente, salvo ciertos horizontes en suelos de transición alofanas—haloisita, la presencia de la haloisita no aparecía de manera sensible al tacto en el campo.

Al acrecentarse la proporción de esta arcilla, los suelos se vuelven cada vez más arcillosos en el sentido ordinario de este término.

La presencia dominante de la haloisita comunica al suelo cierto número de características y, en particular, una consistencia un poco grasa, sin que se trate de la adherencia de la montmorillonita. La coloración es pardo—rojiza (de herrumbre), bastante característica y no existe en la tabla de color Munsell. Las superficies de los bloques son brillantes, a veces muy brillantes. Es probable que se trate de revestimientos amorfos ferruginosos o manganésicos. El color del suelo triturado en húmedo cambia claramente. Estos suelos están bien representados en las Antillas y en las llanuras bajas del Ecuador y Nicaragua.

Las características de la haloisita en los rayos X (a menudo mezclada con metahaloisita) con el análisis térmico diferencial, con el microscopio electrónico, con los rayos infrarrojos, son muy claras, pero dan lugar a variaciones bastante grandes.

Los tubos parecen en el microscopio electrónico, mejor formados, más grandes, más alargados en las facies argilificadas más antiguas. Las bandas de absorción a 3620 cm^{-1} y 3700 cm^{-1} se afinan. En las facies mejor cristalizadas estas bandas son manifiestamente iguales, pero la de 3620 cm^{-1} es mucho más importante en las formas más jóvenes. La intensidad del pico ATD a $550 - 580^\circ$ aumenta, así como la temperatura de aparición en las formas mejor cristalizadas.

La intensidad de la raya a 10 \AA es variable, dependiendo de la proporción de metahaloisita, pero las otras rayas de la haloisita son muy notables.

Todos estos suelos están generalmente bien provistos de bases intercambiables y son moderadamente ácidos. El

carácter "arcilloso", en el sentido agronómico, se acentúa, no solamente con la proporción de arcilla, en el sentido granulométrico, sino también con la disminución de la proporción de sustancias amorfas o semiorganizadas. Los suelos se vuelven cada vez más pesados y compactos.

Pasando a suelos todavía más ricos en arcillas y más antiguos, la coloración pardo—herrumbre se pierde, el suelo se torna más rojo o pardo rojizo, la brillantez desaparece, las caras de los agregados se vuelven más angulosas, la goetita aparece de manera notable. Los suelos son a menudo más ácidos, la capacidad de intercambio es menor, se vuelven un poco más friables y se llega progresivamente, en regiones húmedas, a suelos ferralíticos clásicos, oxisols que contienen haloisita, metahaloisita, "fire-clays", goetita y, a veces, un poco de gibsita. Los minerales primarios alterables están prácticamente ausentes.

La aparición de la goetita es muy tardía. No se la observa todavía en los suelos "Brun—rouille" que contienen de 6 a 7 por ciento de Fe_2O_3 libre DEB. Las disoluciones selectivas en frío indican para el hierro fácilmente solubilizado, probablemente amorfo, un contenido equivalente.

La haloisita de los suelos "brun—rouille" es atacada por el ácido clorhídrico 8N en frío y la sosa 0,5N. La disolución, al principio constante e importante, de la sílice y de la alúmina se vuelve lenta progresivamente, pero se disuelve una importante cantidad de suelo. La capacidad de intercambio decrece a menudo hasta la mitad, después de 3 ó 4 de estos tratamientos.

Para los suelos ferralíticos, la disolución es menos importante y la capacidad de intercambio permanece sin variar después de los primeros tratamientos. Estas diferencias de solubilización corresponden a dos formas de haloisita, una más joven, menos resistente a los ácidos, la otra más evolucionada, sin duda mejor cristalizada, un poco más difícil de atacar o a una mezcla con otras sustancias semicristalinas.

En las regiones de las Antillas y de Nicaragua con estación seca acentuada y con pluviosidad moderada, la montmorillonita coexiste con la haloisita. Los suelos son más grasos, a menudo adherentes, con tendencia a veces claramente "vértica". La coloración es pardo herrumbre, pero las manchas manganésicas son frecuentes cerca del material de partida. A menudo se observan estratos endurecidos de sílice secundaria blanca, precipitada, en las cenizas subyacentes, poco alteradas, en bandas paralelas y en revestimientos sobre las formaciones duras que estos depósitos han recubierto.

LOS SUELOS ROJOS SOBRE CENIZAS

Estos suelos no han sido observados sino en las llanuras bajas cálidas y secas de Nicaragua. La pluviosidad anual es inferior a un metro, la insolación acentuada y la estación seca muy larga.

Por su aspecto, estos suelos se acercan a la vez a los suelos "brun—rouille" descritos y a suelos rojos ferralíticos de las regiones semiáridas. Son poco profundos y parecen a menudo, cuando están secos, en parte constituidos de partículas pequeñas redondeadas y soldadas.

La capacidad de intercambio de bases, determinada a pH 7 (60 a 80 meq/100 g de suelo) crece notoriamente a pH 9. Los rayos X indican rayas muy pronunciadas a 4,41 Å, 3,52 Å, 2,51 Å, pero las rayas hacia 7,4 ó 10 Å de la haloisita son a veces muy poco visibles, aun después de tratamientos ácidos en frío, destinados a quitar recubrimientos amorfos o ferruginosos eventuales. Con todo, los picos exotérmicos a 550° son claros, a veces con hinchamiento hacia 420°. La presencia de montmorillonita, aunque probable, no puede ser verdaderamente probada en todos los casos (rayas a 14,6 Å y 19 Å en la muestra orientada, a 19 Å después de tratamiento con glicerol, 12,5 Å después de calentamiento a 500°) y es probable la existencia de ciertas formas de materiales amorfos u otras sustancias poco organizadas. La interpretación de las imágenes en el microscopio electrónico es muy insegura.

LOS SUELOS SOBRE TOBAS VOLCANICAS MARINAS

En las Antillas como en Nicaragua (costa Atlántica), grandes espesores de cenizas volcánicas han sido depositados en el mar, como lo atestigua la presencia de fósiles calcáreos en los niveles de edades más recientes o intercaladas.

Aunque esencialmente están constituidos por partículas de ceniza, no se puede excluir la posibilidad de una mezcla con arcillas sedimentarias en el curso del depósito. La neoformación de los minerales arcillosos, a partir de los minerales primarios, no es entonces tan segura como con las cenizas volcánicas o las pómez depositadas en regiones exondadas. Además, ciertas transformaciones y alteraciones de los minerales han podido producirse ya sea en medio marino o después de su salida en el curso de las edades, antes de la erosión de las formaciones que les recubrían hasta nuestros días. En verdad, estas tobas marinas presentan una disposición particular para la formación de la montmorillonita.

El estudio de los suelos que derivan de estas formaciones sería muy largo y se sale de nuestro propósito. Daremos solamente una visión muy breve de algunas de sus particularidades.

Algunas de estas tobas pueden dar lugar a suelos "brun-rouille" con haloisita, parecidos a aquéllos que hemos estudiado, con una tendencia "vértica" notable en las regiones secas.

La mayor parte de las tobas, sin embargo, dan origen a suelos muy diferentes de los examinados en este artículo.

En regiones relativamente secas, de pluviosidad cercana de 1,5 a 2 m y con estación seca muy acentuada, dominan casi exclusivamente los vertisoles magnésicos, a veces ricos en sodio intercambiable y con frecuencia ácidos.

En regiones húmedas, con estación seca poco acentuada (2 m o más de pluviosidad anual), se observa la formación sea de suelos arcillosos de un rojo muy vivo o pardo rojo, sea de suelos arcillo-limosos amarillo claro (Martinica y Nicaragua). Los contenidos en bases intercambiables son importantes: 30 a 50 meq/100 g o más, con dominancia de magnesio, pero el pH presenta a menudo valores bajos. La diferencia de los valores entre el pH medido en el agua y en KCl llega a 1,5 o 2 unidades de pH. Cuando el pH en KCl baja a menos de 4, aparecen cantidades notables de aluminio extraídas por el KCl normal en todos los casos, cualquiera que sea el contenido de bases intercambiables. Estos contenidos en aluminio desplazado por el KCl pueden ser en ciertos suelos muy importantes y se observa, con los rayos X y ATD, la presencia de bohemita. En todos estos suelos, la degradación de la montmorillonita en arcillas de tipos caolíniticos entraña a menudo grandes diferencias entre los niveles de superficie y los de profundidad, aun en suelos de espesores moderados de uno a dos metros.

CONCLUSION

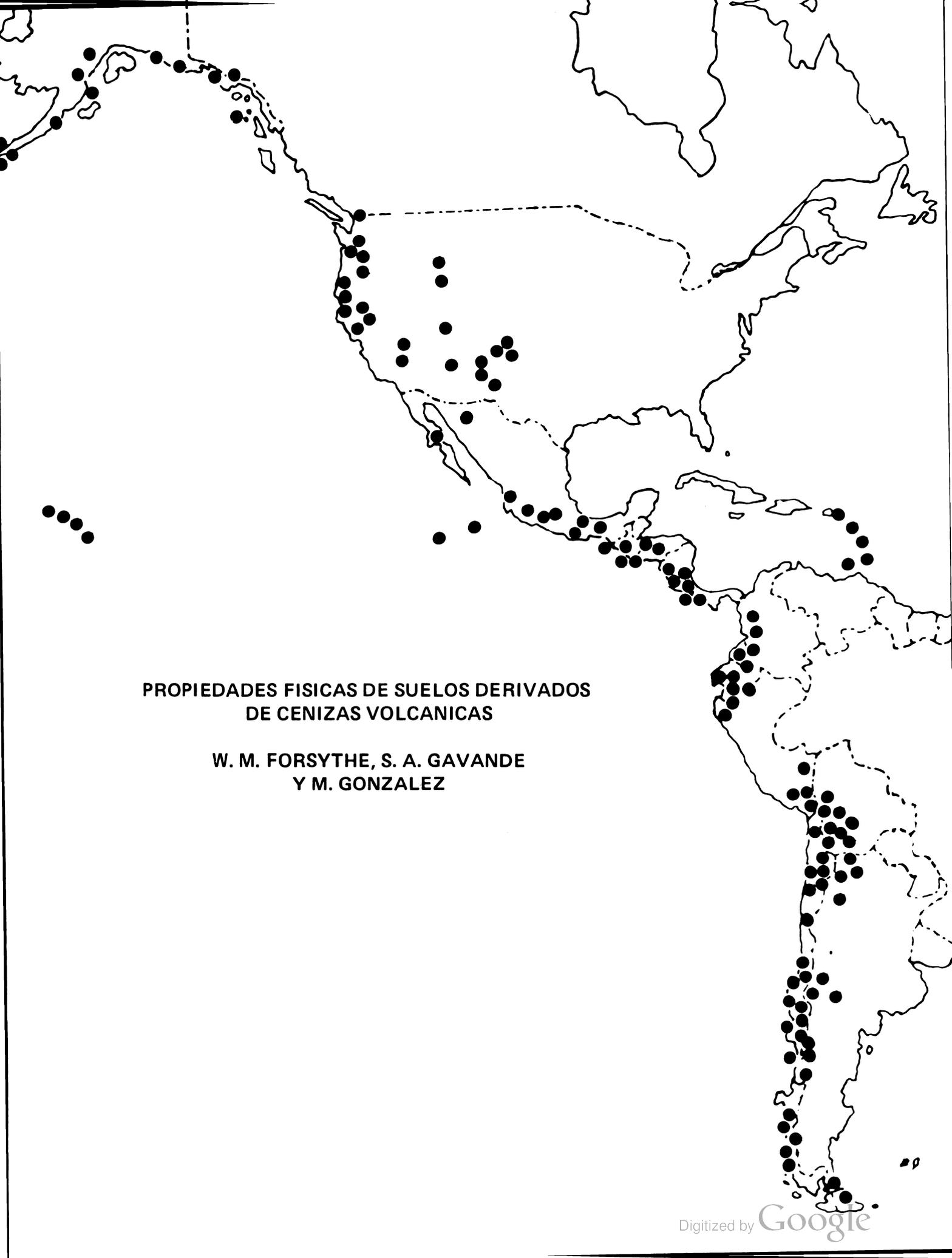
Los métodos clásicos de estudio de las arcillas, concebidos esencialmente para las sustancias cristalinas, son un poco defectuosos en el caso de mezclas con sustancias amorfas o con esbozos de estructura.

Es indispensable recurrir a un conjunto de técnicas. La espectrografía en infrarrojo, el microscopio electrónico, las técnicas de disoluciones sucesivas diferenciales, las variaciones de la capacidad de intercambio, parecen las técnicas más prometedoras para estos estudios.

El estudio mineralógico de las arenas, de su composición, de su grado de alteración, es un complemento indispensable. Permite —por la determinación de la concordancia de los diferentes depósitos, su edad y su naturaleza petrográfica— efectuar comparaciones valideras entre suelos de evolución diferente. Esta técnica ha sido utilizada mucho en las Antillas y en el Ecuador.

BIBLIOGRAFIA

1. AOMINE, S. y N. MIYAUCHI. 1965. Imogolite of Imogo layers in Kiushu. *Soil Sc. and plant nutrition* 2(5):28–35.
2. COLMET–DAAGE, F. 1962. Etudes préliminaires des sols des régions bananières d'Equateur. *Fruits* 77(1):3–21.
3. COLMET–DAAGE, F. y P. LAGACHE. 1965. Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Francaises. *Cah. ORSTOM, sér. Pedol.* III(2):91–121.
4. COLMET–DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, M. DELAUNE, 'et al'. 1967. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cenderes volcaniques 1ère partie: *Cah. ORSTOM, sér. Pedol.* V(1):3–38. 2ème partie: *Cah. ORSTOM, sér. Pedol* V(4):353–392.
5. COLMET–DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, C. de KIMPE, G. SIEFFERMANN y M. DELAUNE. 1968. 3ème partie, sols d'altitudes, *Cah. Pedol. ORSTOM, sous presse.* 1969.
6. COLMET–DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU, C. de KIMPE, G. SIEFFERMANN y M. DELAUNE. 1968. Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la cote Pacifique du Nicaragua. *Cah. ORSTOM Pedol.* 1969. sous presse.
7. COLMET–DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU 'et al'. 1968. Caractéristiques et nature de la fraction argileuse de quelques sols rouges d'Haiti situés sur calcaires durs. (14 Å minéral). *Cah. ORSTOM Pedol.* 1969. sous presse.
8. COLMET–DAAGE, F., J. et M. GAUTHEYROU y P. SEGALIN. 1969. Contribution d'une technique de dissolution différentielle successivement acide et basique et répétés à l'étude de divers sols tropicaux dérivés de matériaux volcaniques des Antilles et d'Amérique latine. *multigr. A paraître. Cah. ORSTOM Pedol.*
9. SEGALIN, P. 1968. Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols à hydroxydes tropicaux. *Cah. ORSTOM, sér. Pedol.* VI(1):105–126.



**PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS DERIVADOS
DE CENIZAS VOLCANICAS**

**W. M. FORSYTHE, S. A. GAVANDE
Y M. GONZALEZ**

PROPIEDADES FISICAS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS CONSIDERANDO ALGUNOS SUELOS DE AMERICA LATINA

W. M. Forsythe, S. A. Gavande y M. A. González*

INTRODUCCION

El propósito de este trabajo es el de discutir las propiedades físicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas, estableciendo algunas normas de comparación usando estudios de suelos hechos en Japón, Nueva Zelandia, América Latina, Oregon y Hawaii (Estados Unidos) y, consecuentemente, comparar las propiedades físicas de algunos suelos de América Latina con base en dichas normas.

NORMAS DESARROLLADAS EN ESTUDIOS DE SUELOS DE JAPON, NUEVA ZELANDIA, LOS ESTADOS UNIDOS Y AMERICA LATINA

Suelos desarrollados en zonas áridas

Las propiedades generales de los suelos derivados de cenizas volcánicas son influidas por el clima de su desarrollo. Los suelos derivados en zonas áridas y semiáridas tienden a tener propiedades físicas y químicas semejantes a otros suelos de la zona no derivados de ceniza volcánica. Se desarrollan regosoles, suelos marrones y sierozems (11). Los suelos de cenizas volcánicas en estas zonas tienden a tener un CIC mayor que los demás suelos y también una capa más desarrollada de "hardpans" cementados por sílice.

Suelos desarrollados en zonas húmedas

Los suelos "andosoles" de color oscuro característicos del horizonte A o suelos húmedos de alofano, son suelos de cenizas volcánicas desarrollados en climas relativamente húmedos. Generalmente se encuentran en zonas con más de 800 mm de lluvia (21). De las observaciones de varios investigadores científicos de Japón, Nueva Zelandia, Los Estados Unidos y América Latina, se pueden compilar ciertas generalizaciones sobre las propiedades de los andosoles (3, 11, 14, 21).

- 1) Son suelos profundos, entre 50 a 100 cm de profundidad, con estratificación formada por la sedimentación.
- 2) Las capas superficiales del suelo son de color oscuro debido a mucha materia orgánica (8–28%) y la presencia de alofano recién formado. El alofano es una sustancia amorfa del suelo que es el producto de la meteorización del polvo de vidrio de sílice que se encuentra en las cenizas volcánicas. El color oscuro puede extenderse hasta grandes profundidades.
- 3) El subsuelo es marrón—amarillo y tiene una consistencia semejante a grasa o al jabón.
- 4) Las texturas tienden a ser franco (escala internacional) en la capa superior y franco—arenosa en el subsuelo (14).
- 5) La densidad de partículas es generalmente entre valores de 2,7 – 2,9 g/ml debido a un porcentaje alto (7–8%) de óxidos de hierro (14). El valor promedio para suelos minerales se considera como 2,65 g/ml (4). Cuando el contenido de materia orgánica es alto, el valor de la densidad de partículas puede reducirse sustancialmente (14).
- 6) Los valores de densidad aparente oscilan entre 0,45 – 0,75 g/ml (14). La magnitud de esta gama de valores es baja en comparación con valores comunes de densidad aparente en suelos minerales. En los Estados Unidos los valores comunes para suelos minerales de texturas de arcillas, franco—arcilloso y franco—limoso (escala de los Estados Unidos) oscilan entre 1 a 1,6 g/ml y para arenas y franco—arenosos oscilan entre 1,2 a 1,8 g/ml (4).

En un suelo fuertemente meteorizado —el suelo Hilo en Hawaii— se encontró un valor de 0,3 g/ml que correspondía a una humedad gravimétrica (peso/peso) de 280% (11). En el presente trabajo, la humedad gravimétrica se refiere al peso de agua por 100 g de suelo secado al horno. Como consecuencia de la baja densidad aparente, la porosidad de estos suelos es alta (70–82%) (14).

* Ecólogo Asociado, IICA, Turrialba, Costa Rica; Físico de Suelos, asignado por UN/FAO, Chapingo, México; y Profesor Adjunto de Suelos, Universidad de Costa Rica, respectivamente.

- 7) Los suelos tienen una retención alta de agua y una cantidad alta de agua disponible para la planta (1/3 – 15 bars) cuando la humedad es expresada en base gravimétrica. Debido a la baja densidad aparente de estos suelos las cifras de retención de agua en base gravimétrica son exageradas. Si la retención es calculada en base volumétrica (vol/vol) los valores están más de acuerdo con los suelos corrientes; sin embargo, aún en base volumétrica, los suelos demuestran alta retención de agua (11, 14).

Se puede experimentar la misma exageración interpretando los análisis químicos en base gravimétrica. Es importante, por lo tanto, considerar la densidad aparente para calcular el peso de la capa arable para cada suelo. La relación de 2 millones de kg por hectarea por 15 cm, corresponde únicamente a un suelo con densidad aparente de 1,33 g/ml e igualmente la relación de 2 millones de libras por acre por 6 pulgadas, corresponde a un suelo con densidad aparente de 1,47 g/ml (10). Esto es especialmente importante para los andosoles que tienen valores de densidad aparente muy bajos.

En este trabajo se comparan las humedades de los suelos en base volumétrica. Para establecer normas sobre el almacenamiento de agua disponible se pueden examinar los datos de dos estudios hechos para suelos en América del Norte.

Se pueden resumir los datos de los Cuadros 1 y 2 para decir: a) baja agua disponible 10% (vol.); b) mediana de agua disponible alrededor de 15% (vol.); c) alta agua disponible 20% (vol.).

El suelo Hilo de Hawaii, por ejemplo, tiene una densidad aparente de 0,3 g/ml que corresponde a una humedad gravimétrica de 280% (valor de 1/3 bar). El valor de la humedad gravimétrica a 15 bars succión es alrededor de 150%. Aplicando el valor de 0,3 g/ml de densidad aparente, se calcula la humedad volumétrica como 84% a 1/3 bar y 45% a 15 bars. El agua disponible es 39% de humedad volumétrica, un valor bastante alto (11). Otros andosoles de textura franco-franco-arenosa tienen almacenamiento de agua disponible entre 16–18% (11). En Japón el suelo Shinjogahara rojo amarillo exhibe agua disponible de 14% (vol.) y el suelo Hotaka gley exhibe un valor de 5% (vol.) (14). Estos valores de Japón son de orden promedio a bajo.

- 8) Las arcillas son difíciles de dispersar (3, 21). Sin embargo, en Japón se ha encontrado el Calgon considerándolo como el agente de dispersión más práctico (14).
- 9) Los suelos demuestran baja adhesión cuando están mojados.
- 10) Los suelos demuestran una tendencia a hincharse al mojarse y a contraerse al secarse.
- 11) Los suelos demuestran irreversibilidad en cuanto a densidad aparente (contracción) y la formación de agregados al secarse (3, 14). La retención de humedad se cambia irreversiblemente al secarse al aire de la humedad del campo (2).
- 12) Los suelos tienen alta conductividad hidráulica o permeabilidad. Franco-arenosos (clasificación internacional) varían entre 1–36 cm/hr, los francos entre 1–4,7 cm/hr y los franco-arcillosos entre 1–12 cm/hr (14). Según la clasificación de Smith y Browning la mayoría de los valores son de moderados a rápidos (18).

SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE AMERICA LATINA

Chile

Wright (21) describió las características generales de los andosoles (suelos desarrollados en climas húmedos) de Chile. Las características coinciden con las descritas anteriormente en este artículo. Wright observó que los suelos en las zonas áridas y semiáridas no difieren mucho de los demás suelos áridos de otro origen. Las características generales de los suelos de zonas áridas son: textura gruesa y alto contenido de sales. En muchos suelos derivados de ceniza volcánica (con alto contenido de sílice), el subsuelo tiene cementación de sílice. Esta última observación está de acuerdo con la de Flach (11) para suelos similares en los Estados Unidos.

De los andosoles hay dos clases generales reconocidas y se usan los nombres indígenas para su descripción: los suelos trumao (bien drenados) y los suelos ñadi (mal drenados). Estos dos suelos generalmente exhiben las características generales mencionadas para los andosoles. Su densidad aparente es alrededor de 0,5–0,55 g/ml, la porosidad alrededor de 75% y la permeabilidad alta (2, 22). Se considera (22) que estos suelos, por su alto contenido de alófono, tienen muy poca resistencia cuando están mojados. Esto se considera como una razón para el alto número de fallas en cimientos y estructuras de carreteras como consecuencia del terremoto de 1960.

Hablando más específicamente sobre las propiedades físicas de los suelos ñadi y trumao, Alcayaga (1) cita algunos valores. La densidad aparente varía entre 0,196 g/ml para la capa 0–20 cm del suelo Ñuble Rupanco hasta 0,682

g/ml para la capa 24–43 cm del suelo Las Lomas Sepúlveda. Se mencionan valores de retención de agua como corrientes entre 100–150% humedad gravimétrica y los valores llegan hasta 250% humedad gravimétrica

Se ha mencionado (22) la irreversibilidad de ciertos cambios en los suelos andosoles al secarse. Schalscha et al (17) demostraron que el análisis del tamaño de las partículas, usando el método de Bouyoucos, dio valores más altos de arena y valores más bajos de arcilla cuanto más secas estaban las muestras para el análisis. Un suelo secado al aire dio una textura más gruesa que uno analizado a la humedad del campo. El efecto fue mayor para suelos secados al horno. En la zona estudiada los suelos siempre se encuentran mojados en el campo por el clima lluvioso.

Hay una clase de suelos volcánicos más antiguos que los trumao a los que se les llama suelos rojos arcillosos y se clasifican como "lateritas pardo-rojizas". Los perfiles son profundos con un horizonte A de textura arcillosa, color pardo rojizo con materia orgánica poco abundante y estructura granular. El suelo y el subsuelo son ácidos y la densidad aparente oscila entre 1,2 a 1,5 g/ml. La porosidad es alrededor de 50% y la permeabilidad está restringida (2).

Ecuador

Colmet–Daage (5) estudió en el Ecuador algunos suelos de ceniza volcánica en la zona central de Quevedo a Santo Domingo. En esta zona la lluvia varía entre 2000–4000 mm. Los suelos en la zona más lluviosa (cerca de 4000 mm) tienden a formarse en suelos con muchas sustancias de tipo alofano. Los suelos tienen una profundidad mayor de 1 m, al tacto parecen limosos y jabonosos y son difíciles de dispersar. La M.O. varía entre 6 a 10% de 0–15 cm. Tienen densidades aparentes bajas (entre 0,45–1,00 g/ml) y la retención de agua entre 1/3 a 15 bars es entre 16–20% cc agua/100 cc suelo. Esta se puede calificar de mediana a alta. La retención absoluta de agua es alta y en un caso era 60% gravimétrica a una succión de 500 mb. En las zonas con lluvia mediana, o sea 2500 mm, las tendencias mencionadas arriba son similares pero menos destacadas.

En otros estudios, Colmet–Daage y Cucalón (6) y Colmet–Daage et al (7) demostraron que los suelos con alofano cambiaron su habilidad para retener agua al secarse al aire. En varios casos el porcentaje gravimétrico del agua disponible entre 1/3–15 bars de succión se redujo. El cambio es irreversible. La mayoría de los suelos tienen un clima que no les permite secarse al aire en el campo y, por lo tanto, la probabilidad de que dicho cambio se efectúa allí, es baja. Se notó que los suelos son friables cuando están mojados, con poca adhesión y que algunos tienen colores oscuros en la primera capa. La permeabilidad de los suelos oscila entre 5–10 cm/hr y es rápida según la clasificación de Smith y Browning.

Nicaragua

Colmet–Daage et al (8) estudiaron varios suelos de ceniza volcánica de Nicaragua. Encontraron suelos de tipo alofano fuertemente hidratados en una zona con lluvia alrededor de 2000 mm por año, pero con una estación seca marcada. Un suelo encontrado cerca del volcán Masaya sirve para ilustrar este tipo. En los primeros 50 cm el suelo es oscuro con textura aparente (al tacto) franco–arenosa. A partir de 50 cm el color se vuelve más amarillo y la textura más gruesa. La densidad aparente del suelo es alrededor de 0,7 g/ml y la humedad disponible (1/3–15 bars) es alta con alrededor de 20% a 30% de humedad volumétrica para suelos no secados al aire. Secando los suelos al aire se pierde entre 15–25% del agua aprovechable. Esta irreversibilidad de la retención de agua al secarse el suelo es menor marcada que en los suelos semejantes del Ecuador. Esto puede ser debido a la época seca que experimentan los suelos de Nicaragua, cosa que no ocurre en los suelos estudiados en el Ecuador. La materia orgánica es alrededor de 6,8% de 0–20 cm y 5% entre 60–90 cm.

En la zona de León–Chinandega hay suelos de los llanos calientes tropicales con una lluvia de alrededor de 1800 mm, con una estación seca marcada de 3–4 meses y una temperatura entre 28 a 31°C. Esta temperatura es mayor que la de los alofanos fuertemente hidratados. Los suelos se consideran, en su mayoría, de ceniza volcánica. Colmet–Daage et al los llaman los suelos franco–arenosos de halloysita. Los suelos son oscuros hasta 50–60 cm y después más claros. En algunas zonas más cercanas al mar los suelos son oscuros hasta 1,5 m. La textura aparente de los suelos es entre franco y arena hasta 1,5 m a 2 m de profundidad. La materia orgánica es de unos 2–7% entre 0–20 cm y generalmente se reduce con la profundidad. Los suelos exhiben una densidad aparente de 1 a 1,1 g/ml y agua disponible (1/3–15 bars) entre 18–25% volumétrica para el suelo sin secarse al aire. Hay una pequeña pérdida de agua disponible al secar el suelo al aire.

En zonas secas de 1000–1500 mm de lluvia con temperaturas promedio anuales entre 26–28°C se encuentran suelos rojos (23 km al oeste de Managua y en Nandaime) con una textura aparente de franco–arcilloso. Este grado de meteorización se considera debido al clima seco y la edad de los suelos. Estos tienen M.O. entre 3–5% entre 0–20 cm y el contenido disminuye con la profundidad.

Costa Rica

En la Meseta Central de Costa Rica se describen dos suelos que representan suelos de ceniza volcánica. El suelo

Birrisito se encuentra en una zona de altura 1220–1679 m, de lluvia continua de alrededor de 3600 mm y una temperatura promedio anual de 20,4°C. En el estudio de un perfil, la primera capa (0–30 cm) del suelo es franco con 10% de arcilla y 37% de limo (clasificación de los Estados Unidos), tiene color negro en húmedo y consistencia ligeramente plástica y friable en seco. La materia orgánica es 21,6% (base de peso secado al horno) con la densidad de partículas de 2,01 g/ml, la densidad aparente 0,49 g/ml y la porosidad 75,6%. La humedad disponible (1/3–15 bars) es entre mediana y baja y de 13% volumétrica en muestras secadas al aire. En la segunda capa (30–50 cm) el suelo es arcilloso con 58% de arcilla y 25% de limo, tiene color café amarillento en húmedo, es adhesivo en húmedo y en seco es duro pero se rompe entre los dedos. La materia orgánica es 2% (base en peso secado al horno), la densidad aparente es 0,52 g/ml y la humedad disponible (1/3–15 bars) es 19% volumétrica para muestras secadas al aire (9, 12).

Un ejemplo de un suelo que se encuentra en una zona más seca y cálida con épocas secas, es la serie Alajuela plano. Este suelo se encuentra en una zona de temperatura promedio de 24,8°C, lluvia de alrededor de 2300 mm, con una época seca de 3–4 meses. La primera capa (0–25 cm) es un franco–limoso muy friable, de color café rojizo oscuro en húmedo, con 13,5% de arcilla y 70,6% de limo (clasificación de los Estados Unidos). El contenido de materia orgánica es 12,1% (base de peso secado al horno), la densidad aparente 0,60 g/ml, la densidad de partículas 2,14 g/ml y la porosidad total 72%. La humedad aprovechable (1/3–15 bars) es alta y es de 24% volumétrica para muestras secadas al aire.

La segunda capa (25–75 cm) es un franco–arcillo–limoso a arcillo–limoso con 17,7–34,2% de arcilla y 55,6–50,1% de limo. Tiene color café rojizo oscuro en húmedo y 4,6–7,5% de materia orgánica (base de peso secado al horno). La densidad aparente es de 0,73 g/ml, la densidad de partículas 2,16 g/ml con porosidad total de 66,2%. La humedad aprovechable (1/3–15 bars) es 13–18% volumétrica para muestras secadas al aire (12, 20).

CONCLUSIONES

Los suelos considerados derivados de ceniza volcánica en América Latina corresponden, en propiedades físicas, a suelos equivalentes de otras partes del mundo. En Chile y Nicaragua se han descrito suelos rojos de meteorización avanzada y textura arcillosa. El Cuadro 4 da un resumen de las tendencias generales de los suelos considerados.

1. Suelos con propiedades físicas de otros suelos áridos. Hay una tendencia a formar capas de cementación de sílice. Estos suelos se encuentran en Chile.
2. Hay formación de andosoles con densidad aparente baja (0,2–0,7 g/ml), alta porosidad (70–80%), alta retención de agua y mucha materia orgánica (10–20%). El agua disponible, en términos volumétricos, es de mediana a alta (15–20%). La textura es franco–franco–arenosa al tacto, el suelo parece jabonoso y el color del horizonte A es oscuro, con colores más claros en el segundo horizonte. Al secarse al aire hay una pérdida irreversible de retención de agua del suelo y la tendencia a formar irreversiblemente partículas más gruesas. Estos suelos se encuentran en Chile, Ecuador y Costa Rica.
3. Hay una formación de andosoles no tan definida. La retención de agua es menor que la de los andosoles en zonas de lluvia continua. La densidad aparente es baja, con texturas de franco–franco–arenoso y el agua disponible es mediana a alta en base volumétrica. La pérdida irreversible de retención de agua al secarse al aire es menor marcada que que en los andosoles y esto puede ser debido a la estación seca experimentada. Estos suelos se encuentran en Nicaragua y Costa Rica.
4. No se ha encontrado información sobre suelos derivados de cenizas volcánicas viejas en condiciones áridas.
- 5,6. Hay formación de suelos rojos de meteorización avanzada y textura arcillosa. En Chile la densidad aparente es 1,2 – 1,3 g/ml. Estos suelos se encuentran también en Nicaragua.

RESUMEN

Con datos de suelos de ceniza volcánica de Japón, América Latina, Nueva Zelanda y los Estados Unidos, junto con normas generales para clasificar las propiedades físicas de suelos, se han desarrollado normas para comparar algunos suelos derivados de ceniza volcánica encontrados en América Latina. Los países tratados fueron Chile, Ecuador, Nicaragua y Costa Rica.

BIBLIOGRAFIA

1. ALCAYAGA, A. URBINA de. 1965. Relaciones entre algunas características físicas, químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. *Agricultura Técnica (Chile)* 25:9-18.
2. BESOAIN, E. 1958. Mineralogía de las arcillas de algunos suelos volcánicos de Chile. *Agricultura Técnica (Chile)* XVIII(2):110-165.
3. BIRRELL, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, 11-27 June, pp:74-81. FAO, World Soil Resources Reports.
4. BUCKMAN, H. O. y N. O. BRADY. 1966. *Naturaleza y propiedades de los suelos*. México, Unión Tipográfica Editorial Hispano Americana. 590 p.
5. COLMET-DAAGE, F. 1962. Etudes préliminaires des sols des régions bannanières d'Equateur. *Fruits*, 17:3-21.
6. COLMET-DAAGE, F. y F. CUCALON. 1965. Caractères hydriques de certains sols des régions bananières d'Equateur. *Fruits* 20:19-23.
7. COLMET-DAAGE, F. et al. 1969. Caractéristiques de quelques sols d'Equateur dérivés de cendres volcaniques. 1eres Partie. Essai de caractérisation de sols des régions tropicales humedes. *Cahier. ORSTOM. Série Pédologie. Vol. v(1)*.
8. COLMET-DAAGE, F. et al. 1968. Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la cote pacifique du Nicaragua. *ORSTOM. Mimeografiado*.
9. DONDOLI, C. B. y J. A. TORRES. 1954. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, 175 p.
10. FORSYTHE, W. M. y R. DIAZ-ROMEY. 1969. La densidad aparente del suelo y la interpretación del análisis de laboratorio para el campo. *Turrialba* 19:128-131.
11. FLACH, K. W. 1964. Genesis and morphology of ash-derived soils in the United States of America. Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, Japan, 11-27 June. pp:61-70. FAO, World Soils Resources Reports.
12. GONZALEZ, M. A. y S. A. GAVANDE. Propiedades físicas de algunos suelos dedicados al cultivo de la caña de azúcar en Costa Rica. (En prensa).
13. LEHANE, J. J. y W. J. STAPLE. 1953. Water retention and availability in soils related to draught resistance. *Canadian J. of Ag. Sci.* 33:265-273.
14. MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY, JAPANESE GOVERNMENT. 1964. Volcanic ash soils in Japan. Min. of Agr. Forestry, Japan. 211 p.
15. OYAMA, M. 1964. Land use of volcanic ash soils in Japan. Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. Tokyo, Japan, 11-27 June. p. 125. FAO, World Soil Resources Reports.
16. SALTER, P. J. y J. B. WILLIAMS. 1965. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. *J. of Soil Science* 16:1-15.
17. SCHALSCHA, E. B. et al. 1965. Effect of drying on volcanic ash soils in Chile. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29:481-482.
18. SMITH, R. M. y D. R. BROWNING. 1946. Some suggested laboratory standards of sub-soil permeability. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 11:21-26.
19. TAYLOR, S. A. y C. S. SLATER. 1955. Cuándo hay que regar y cuánta hay que emplear. pp. 402-407 en *Agua: Anuario de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Versión español.* Centro Regional de Ayuda Técnica AID, México. 813 p.
20. VARGAS, O. y J. A. TORRES. 1958. Estudio preliminar de suelos de la región occidental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias, Boletín Técnico No. 22. 64 p.

B.3.6

21. WRIGHT, A. C. S. 1964. The "Andosols" or "Humic allophane" soils of South America. Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash, Tokyo, Japan, 11-27 June. pp:9-22. FAO World Soil Resources Reports.
22. WRIGHT, A. C. S. 1964. The volcanic ash soils of Chile with particular reference to trumao soils and ñadi soils. Report to the Government of Chile. Santiago, Chile, Dirección de Agricultura y Pesca, Departamento de Conservación de Suelos, 60 p.

CUADRO 1. Datos de Lehane y Staple (13)

Textura (Clasificación de los Estados Unidos)	Agua disponible para la planta (1/3–15 bar) cc agua por 100 cc suelo
Arena gruesa	3,7
Arena muy fina	10,8
Franco–arenosos muy fino	15,7
Franco–limoso	17,7
Arcillo–limoso	21,3
Arcilla	23,3

CUADRO 2. Resumen de valores por Taylor y Slater (19)

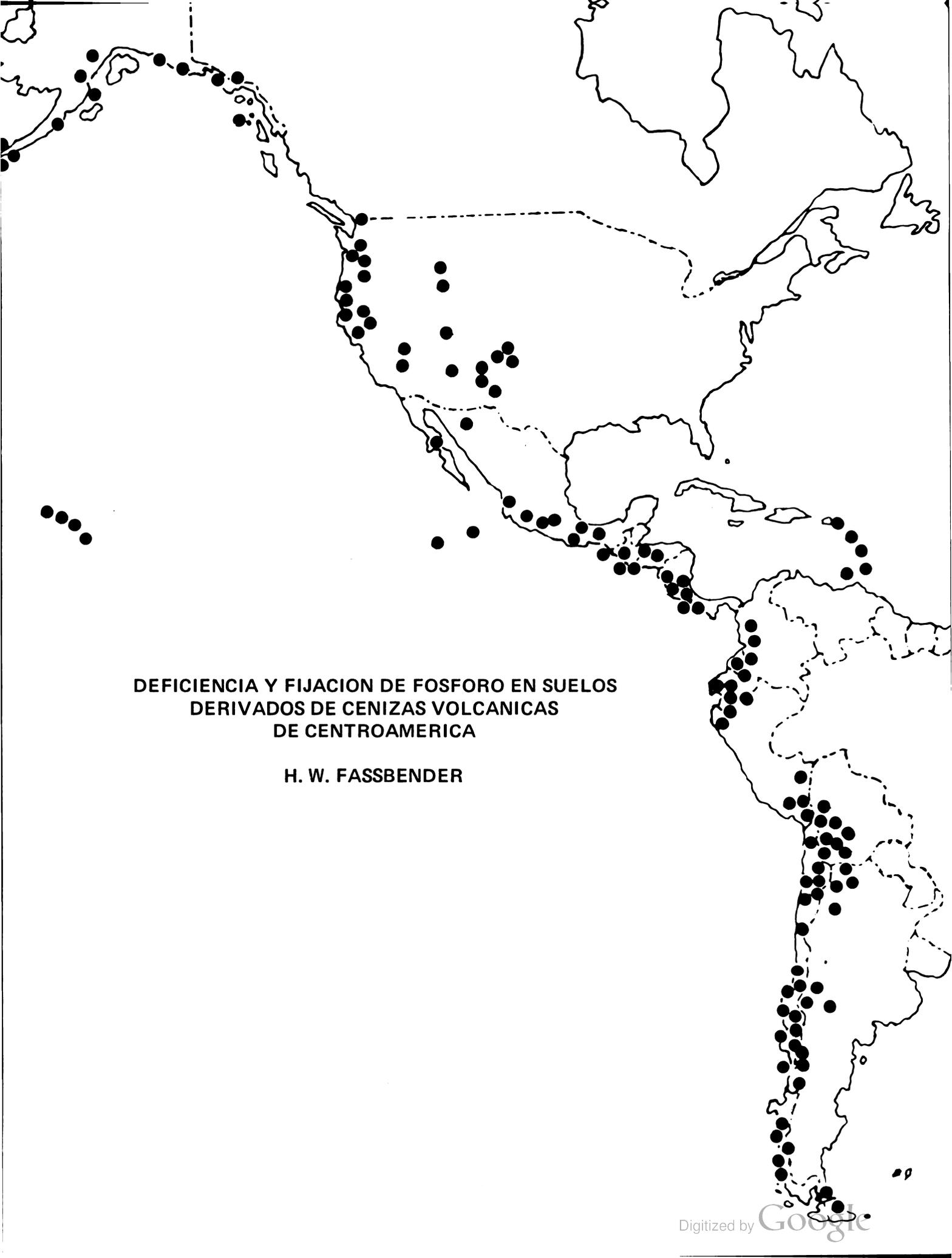
Textura (Clasificación de los Estados Unidos)	Agua disponible para la planta (1/3–15 bar) cc agua por 100 cc suelo
Suelos arenosos	8,3
Arcillas y suelos orgánicos	20,0
La mayoría de suelos entre los dos límites mencionados arriba	8,3 – 17

CUADRO 3. Clasificación según Smith y Browning de la conductividad para suelos saturados

Clase	Conductividad, cm/hr
Lentísima	< 0,0025
Muy lenta	0,0025 – 0,025
Lenta	0,025 – 0,25
Moderada	0,25 – 2,5
Rápida	2,5 – 25
Muy rápida	> 25

CUADRO 4. Tendencias generales de las propiedades físicas de suelos de ceniza volcánica

CLIMA	Arida	Lluvia continua	Lluvia con estaciones secas
Joven	1	2	3
Viejo	4	5	6



**DEFICIENCIA Y FIJACION DE FOSFORO EN SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE CENTROAMERICA**

H. W. FASSBENDER

DEFICIENCIA Y FIJACION DE FOSFORO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS EN AMERICA CENTRAL

H. W. Fassbender*

INTRODUCCION

El fósforo es un elemento esencial para el desarrollo de las plantas. En los suelos derivados de cenizas volcánicas este elemento es generalmente limitante de la producción, dado que el nivel de su disponibilidad para las plantas muchas veces es bajo y el fósforo aplicado en forma de fertilizante es rápidamente "fijado" en el suelo.

La baja capacidad de los suelos derivados de cenizas volcánicas para suplir el fósforo necesario para los cultivos y las deficiencias que se derivan de ello, han sido observadas por muchos autores en suelos de América Latina, como en Chile (3, 27) y América Central (22).

Gran cantidad de autores se han dedicado al estudio de la fijación de P, interpretándola como el efecto de las interacciones del ion fosfato y otros componentes del suelo, produciéndose su adsorción en el complejo coloidal, o su precipitación en fosfatos menos solubles. Algunos investigadores sólo han determinado la magnitud de la fijación aplicando al suelo una solución con una concentración determinada de P y evaluando, después de cierto tiempo de reacción, la fracción "fijada" en el mismo. Así, Alcayaga (2) encontró que la fijación de P en suelos de Chile varía dentro de grandes límites y que es una función especialmente del contenido de materia orgánica y del aluminio extraíble. Por otro lado, Gutnik et al (23) encontraron, para suelos del mismo país, que la fijación depende del pH del medio. También se encuentra en la literatura información sobre la gran capacidad de fijación de P de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawaii, Japón, Nueva Zelanda, etc. (8, 9, 13, 29, 30, 32, 33, 35, 37).

Otros investigadores han tratado de estudiar la naturaleza de la "fijación" en base a las posibles reacciones que puedan ocurrir. Así se han utilizado isotermas de adsorción (1, 12, 18), se han descubierto diferentes productos de estas reacciones como las tarakanitas (37) y se ha considerado que en este fenómeno se producen simultáneamente reacciones de adsorción y precipitación (18, 29, 30, 37).

El objeto del presente trabajo es aclarar —para los suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central— las interrogantes relacionadas con la presencia de deficiencias de fósforo y sus causas, así como la magnitud, naturaleza y factores que determinan la fijación de fosfatos en los mismos.

MUESTRAS DE SUELOS

En este trabajo se consideran 34 muestras de suelos superficiales (Horizontes Ap) de Guatemala [13], El Salvador [11], Nicaragua [5] y Costa Rica [5]. Estas muestras representan una selección de suelos de América Central que han sido estudiados anteriormente (17, 22). Su ubicación se presenta en la Figura 1, en la cual se observa también la distribución de cenizas volcánicas recientes en esos países, de acuerdo a Hoffstetter et al (24). Además de las observaciones de campo, al tomar las muestras de los suelos se obtuvo la evidencia de su origen en cenizas recientes, predominantemente del Cuaternario, por la información de Simmons et al (34) para Guatemala, de la Dirección de Investigaciones Agronómicas (15) para El Salvador, Dóndoli y Torres (14) para Costa Rica, así como de Weyl (38).

De acuerdo a la clasificación de suelos de FAO/UNESCO, la mayor parte son andosoles [30]. Como información general se presentan, en el Cuadro 1, el rango de variación y el promedio de algunas de sus características.

Se trata, pues, de suelos que presentan una gran variabilidad, siendo en promedio ligeramente ácidos y medianamente ricos en carbono y nitrógeno. La capacidad de intercambio catiónico y su cubierta iónica varía entre grandes límites. Tanto el aluminio extraíble por NH_4AcO a pH 4,8 como los hidróxidos de hierro solubles en citrato y ditionito de sodio, presentan una tendencia a aumentar con la acidez de los suelos.

Geográficamente se observa que los suelos de Costa Rica presentan características de mayor acidez, lo que resulta en un mayor contenido de materia orgánica, nitrógeno total, capacidad de intercambio cambiante

EVALUACION DE LAS DEFICIENCIAS DE FOSFORO

Para aclarar la interrogante de que si el fósforo es limitante en la producción de los suelos derivados de cenizas volcánicas en estudio y para establecer posteriormente las interacciones entre las formas de los fosfatos y las plantas,

* Químico de Suelos. Asignado por la FAO al IICA, dentro del Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

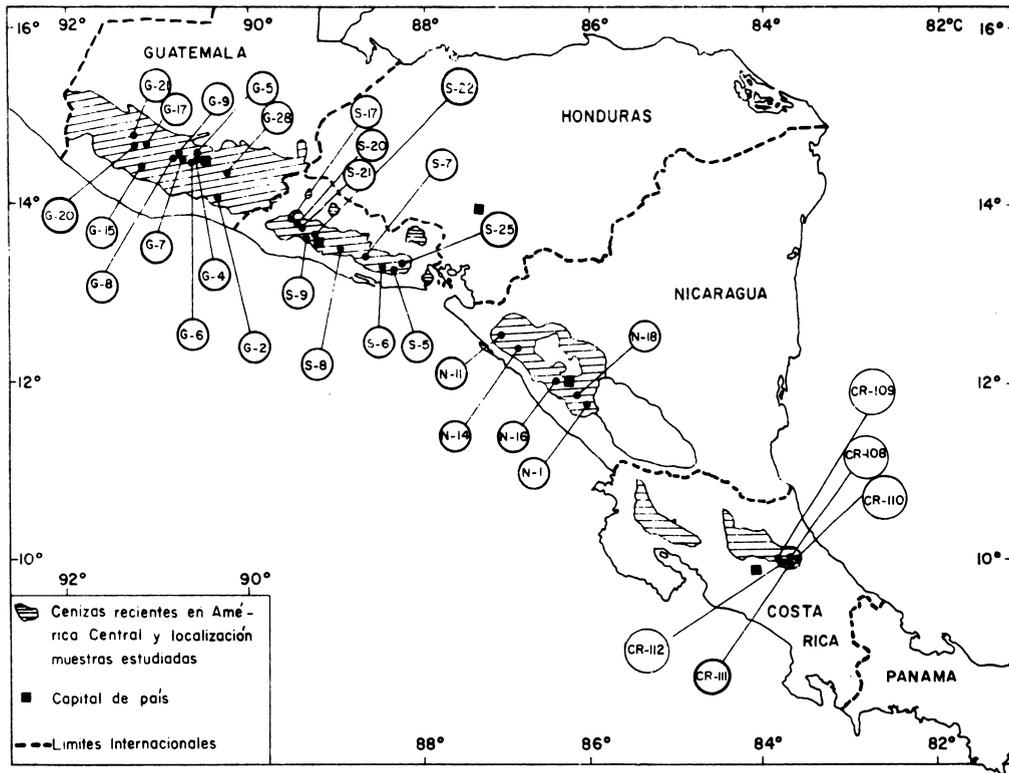


FIGURA 1 Localización de los suelos en estudio, derivados de cenizas volcánicas de América Central

se condujo un experimento de invernadero en macetas. Se consideraron dos tratamientos: con y sin adición de fósforo. Este se aplicó en una cantidad equivalente a 350 kg P/ha en forma de una disolución de $\text{Na H}_2\text{PO}_4$, localizada a 5 cm de la superficie original del suelo en las macetas de 1 litro, conteniendo 750 g de suelo. Se aplicó una fertilización básica en ambos tratamientos en la cual se consideró N, S, K, Ca, Mg y oligoelementos. Se utilizaron 6 plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) como indicadores. Se regó diariamente y se cosechó a los 45 días. Se determinó la producción de materia seca, la absorción de P por las plantas después de una digestión con una mezcla de ácido nítrico y perclórico en proporción 5:1 y la respuesta relativa del fertilizante fosfatado según la fórmula:

$$\frac{\text{Rendimiento del tratamiento sin P} \times 100}{\text{Rendimiento del tratamiento con P}}$$

Los resultados se presentan en el Cuadro 2. Se observan grandes variaciones de acuerdo a la disponibilidad de fosfatos de los suelos experimentales.

En los suelos más deficientes en P, el peso seco de la materia seca no pasó de los 2 g por maceta, las plantas indicadoras presentaban un crecimiento muy incipiente y síntomas extremos de deficiencia, tallos y hojas color púrpura. Macetas con producción entre 2 y 4 g por maceta presentaban síntomas no tan acentuados de deficiencia.

Cuando la producción de materia seca era entre 4 y 8 g por maceta, sólo ocasionalmente se encontraban síntomas de deficiencia de P que se mostraba por un ligero tono púrpura en el envés de las hojas. Macetas con más de 8 g de materia seca no mostraban síntomas de deficiencia.

Considerando la absorción de P por las plantas y el rendimiento relativo, también se puede agrupar a los suelos en grupos en relación a la disponibilidad de P. De acuerdo a los límites establecidos (Cuadro 3), el 85 por ciento de los suelos estudiados tiene un nivel muy bajo de disponibilidad de P, resultando de ello una deficiencia muy acentuada en las plantas. Solamente un 6 por ciento de los suelos presentan condiciones adecuadas de disponibilidad. La gravedad de la falta de P en los suelos derivados de cenizas volcánicas no necesita ser enfatizada, pero tampoco es inesperada pues la deficiencia de P es muy frecuente en esos suelos, tal como se ha encontrado en la literatura.

FORMAS DE FOSFATOS DE LOS SUELOS

El estudio de las causas de la deficiencia de P encontrada debe basarse en la interpretación del sistema suelo-planta para identificar qué fenómeno está interfiriendo en la nutrición adecuada de las plantas. Para ello es necesario considerar, en primer lugar, las formas de fosfatos en los suelos y después sus interacciones con la planta.

Los fosfatos totales de los suelos, analizados después de una digestión de una mezcla de ácidos de acuerdo a Ulrich et al (36) presentan una gran variabilidad, oscilando entre 326 y 3540 ppm P. En promedio alcanzan un valor de 1142 ppm. En algunos suelos de Chile (12) y de Japón (25) se han encontrado valores promedio aún más altos.

La contribución promedio del fósforo orgánico en el fósforo total es de 43,5 por ciento; así, resulta un ligero predominio de los fosfatos inorgánicos. Sin embargo, en los suelos más ácidos predominan los fosfatos orgánicos, posiblemente debido a la acumulación de la materia orgánica y la baja tasa de mineralización.

Los fosfatos inorgánicos fueron fraccionados de acuerdo a Chang y Jackson (10). Entre esas formas inorgánicas predominan los fosfatos solubles en reductante y ocluidos, llegando en promedio de 274 ppm. Estas fracciones no están completamente definidas químicamente y se supone que están relacionadas con las concreciones de óxidos de hierro y aluminio hidratados. Frecuentemente esta fracción tiene valores muy altos en suelos altamente meteorizados (11). Aparentemente, aquí habría una contradicción ya que los suelos en estudio se caracterizan por su desarrollo a partir de cenizas recientes. Algunos de los suelos estudiados han sido, sin embargo, analizados en su contenido de sesquióxidos libres (7, 17), el cual es muy alto y comparable a otros suelos altamente meteorizados, clasificados como latosoles. La predominancia de estos fosfatos sería quizás explicable por una acumulación progresiva de iones fosfato que se ha producido en los intersticios o poros de las partículas de sustancias amorfas presentes en los suelos. Se ha informado que estas formas de fosfatos inorgánicos también son abundantes en suelos de Chile (12).

Los valores y variaciones de los fosfatos de hierro, aluminio y calcio se pueden observar en el Cuadro 2. Los fosfatos de hierro alcanzan un promedio de 55, los de aluminio 92 y los de calcio 124 ppm. Para suelos de Chile se ha encontrado igualmente que los fosfatos de calcio son predominantes dentro de ese grupo. Para los suelos en estudio se encontraron las siguientes relaciones estadísticamente significativas entre el pHCaCl_2 y la participación de los fosfatos de aluminio, calcio y hierro en el P activo, definido como la suma de las tres fracciones mencionadas (n = 34):

$$\begin{aligned} Y_{\% \text{ Al-P}} &= 69,91 - 8,15 x_{\text{pH}} & r &= -0,627^{**} \\ Y_{\% \text{ Ca-P}} &= 13,95 x_{\text{pH}} - 57,22 & r &= 0,860^{**} \\ Y_{\% \text{ Fe-P}} &= 64,18 - 7,96 x_{\text{pH}} & r &= -0,260 \end{aligned}$$

Así, los fosfatos de aluminio y hierro tienen mayor importancia al aumentar la acidez de los suelos y los de calcio, en cambio, son más importantes en suelos menos ácidos. Estas relaciones son explicable en base a la solubilidad de los fosfatos en estudio.

Los fosfatos solubles en NH_4Cl son una fracción muy pequeña de los fosfatos y representan, según los autores del método, a los fosfatos solubles en agua y débilmente ligados (10). En los suelos en estudio alcanzan en promedio a 3,2 ppm.

RELACIONES SUELO-PLANTA

El crecimiento de las plantas exige el paso continuo de iones del suelo a la planta. Los iones de la fase sólida, bien sea de las partículas cristalizadas y a partir de los coloides, pasan a la solución del suelo donde están en contacto con la superficie radical, penetran al espacio libre y pueden ser absorbidos por la planta. Desde el punto de vista de la disponibilidad de nutrimentos, interesan así dos parámetros: la concentración de iones presentes en un momento dado en la solución del suelo o su actividad iónica (parámetro de intensidad) y la reserva total del elemento ligada a la fase sólida del suelo para reponer los iones en la solución del suelo cuando éstos son absorbidos por la planta (parámetro de capacidad).

El parámetro de capacidad está ligado así a los diferentes fosfatos presentes en la fase sólida del suelo que pueden pasar a la solución del mismo. Algunos autores han determinado recientemente la capacidad del suelo con medidas físico-químicas (5, 6, 20). No habiendo información al respecto para los suelos estudiados, se hará aquí uso de los valores encontrados en las diferentes fracciones de fosfatos para describir la capacidad, pues es aceptable que entre los diferentes fosfatos y la solución del suelo se establece un equilibrio químico de acuerdo a la solubilidad de los

ismos. Las relaciones entre la capacidad y la intensidad en los suelos estudiados se puede observar en el modelo del sistema suelo-planta de la Figura 2. Los fosfatos solubles en NH₄Cl, los aluminicos, férricos y cálcicos pueden liberar iones fosfatos que pasan a la solución del suelo. La actividad iónica de los iones fosfato en la solución del suelo representa la intensidad; ésta se puede expresar como el potencial químico de los fosfatos cálcicos (pH₂PO₄ + 0,5 pCa), el cual ha sido derivado de los productos de solubilidad de los fosfatos presentes en la fase sólida del suelo.

En la Figura 2 se observa que entre la medida de la intensidad y la absorción por las plantas indicadoras, existe una buena asociación inversa con un coeficiente de correlación negativo de 0,677. Hasta donde ha sido posible, no se ha encontrado en la literatura información sobre el uso de este parámetro de potenciales químicos en la interpretación de la disponibilidad de fosfatos en otros suelos derivados de cenizas volcánicas. Sin embargo, se ha encontrado en otros estudios que su uso es muy adecuado (20).

La concentración de P en la solución en un momento dado es bastante baja y representa sólo una pequeña fracción de las necesidades de las plantas durante el período vegetativo. Así, en los suelos estudiados la concentración de P en las soluciones equilibradas del suelo no pasó de 0,31 mg/l y la absorción total promedio llegó a 5.5 mg/P/kg de suelo. Las plantas vienen a ser algo así como una bomba que está agotando el fósforo de la solución del suelo y para mantenerse el equilibrio químico entre la fase sólida y líquida del suelo, se tiene que producir una reposición a partir de los fosfatos de la fase sólida o de los factores de capacidad. Probablemente este flujo de iones fosfato se produjo en los suelos experimentales a partir de los fosfatos de calcio, ya que ellos presentan el coeficiente de correlación más alto con el pH₂PO₄ + 0,5 pCa. Sin embargo, la velocidad de reposición no fue lo suficientemente rápida para permitir una nutrición adecuada de las plantas; por ello aparecieron síntomas de deficiencia. Aquí es donde se tiene que buscar la causa de la deficiencia de P encontrada. Lógicamente, los resultados han sido encontrados para una determinada planta indicadora. Aquellas plantas cultivadas que tienen menor exigencia de fósforo que la de tomate no habrían presentado deficiencias tan agudas de fósforo; sin embargo, plantas más exigentes habrían sufrido mucho más por la falta de reposición de este elemento en la solución del suelo.

Este modelo del sistema suelo-planta tiene también otras limitaciones. Así la determinación de la intensidad de fosfatos en los suelos se refiere al momento de la toma de muestra del suelo y se ha comentado que continuamente se tiene que producir un cambio y nuevos equilibrios a causa de la absorción por la planta y otros fenómenos que pueden ocurrir. Una interpretación correcta exige considerar un sistema suelo-planta más real, en el que puedan considerarse equilibrios dinámicos o de flujos cambiantes. Por otro lado, se observa en la Figura 2 que los suelos tienen una reserva considerable de fosfatos orgánicos que a través del tiempo y su mineralización pueden representar un factor de capacidad importante para las plantas.

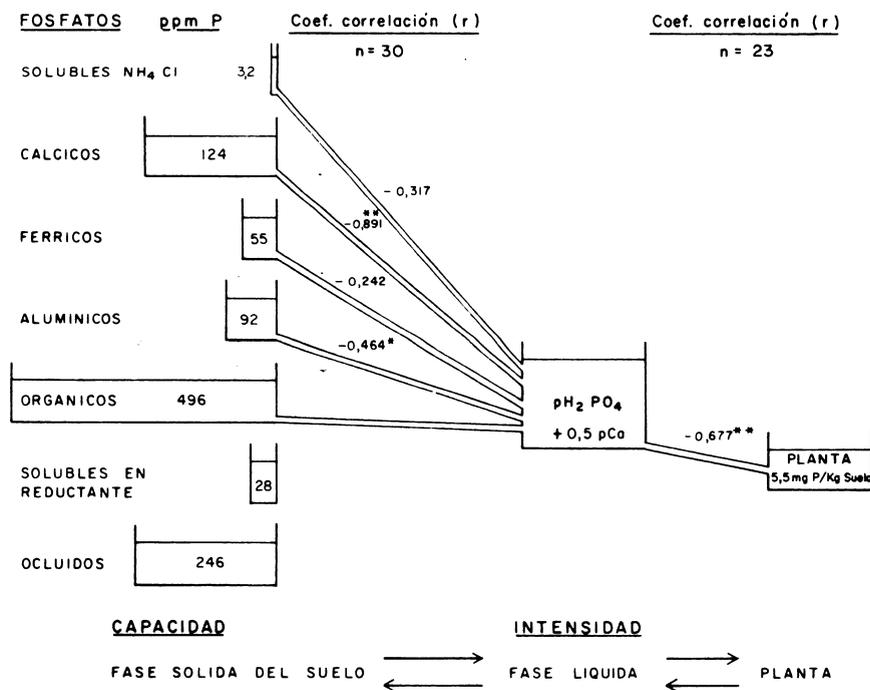


FIGURA 2. Modelo del sistema suelo-planta en los suelos estudiados

MAGNITUD Y FACTORES QUE DETERMINAN LA FIJACION DE FOSFATOS

La determinación de la fijación de fosfatos en los suelos se realizó de acuerdo a Fassbender e Igue (21). Se pesan 0,5 g de suelo, se le agregan 25 ml de una disolución de KH_2PO_4 conteniendo 100 mg P/1, se agita durante 6 horas, se centrifuga y decanta. En el decantado se determina la fracción de P no fijada por el suelo.

Los resultados sobre la fijación están representados en el Cuadro 2. La magnitud de la fijación de P en los suelos estudiados es muy variable: presenta un rango que varía entre el 9,7 y el 94,7 por ciento del P agregado. Esta variabilidad se explica por las características de los suelos estudiados y la naturaleza del fenómeno de la fijación. Las arcillas y la materia orgánica presentan cargas electropositivas y pueden actuar como sorbentes del H_2PO_4^- y, por otro lado, el aluminio y el hierro presentes precipitan con los iones fosfatos en compuesto de menor solubilidad. Se encontraron las siguientes regresiones lineales entre la fijación de P y los componentes mencionados:

$$\begin{array}{llllll} Y_{\text{P-Fijación}} & = & 11,69 & + & 0,863 \times \% \text{ arcilla} & r = 0,644^{**} & n = 35 \\ Y_{\text{P-Fijación}} & = & 15,44 & + & 6,44 \times \% \text{ C total} & r = 0,782^{**} & n = 35 \\ Y_{\text{P-Fijación}} & = & 24,82 & + & 6,31 \times \% \text{ Fe extr.} & r = 0,535^{**} & n = 30 \\ Y_{\text{P-Fijación}} & = & 30,96 & + & 12,36 \times \text{Al extr.} & r = 0,923^{**} & n = 18 \end{array}$$

Estos resultados permiten llegar a la conclusión de que a mayor contenido de materia orgánica, arcillas, aluminio y hierro en los suelos, mayor será la fijación de fosfatos y menor será el efecto de los fertilizantes fosfatados.

Considerando la relación inversa que existe entre los factores de la fijación y la acidez del suelo, también se puede concluir que a mayor acidez del suelo mayor será la fijación. Estas relaciones también han sido confirmadas por otros suelos no volcánicos (19).

Los suelos estudiados de Costa Rica son los que presentan la mayor capacidad de fijación de fosfatos. Se ha indicado anteriormente que son los suelos más ácidos del grupo; además, aunque los datos son limitados, las cenizas originarias de estos suelos tienen un mayor contenido de R_2O_3 que las de Guatemala y El Salvador, de acuerdo a Rico (31) y Weyl (38).

La magnitud de fijación de estos suelos no puede ser comparada con la de otros ya que los métodos utilizados entre los diferentes autores de Chile (2) o Hawaii y Japón (13, 25, 29, 30) varían mucho. Sin embargo, se ha encontrado que para suelos de Chile la fijación de fosfatos es exponencialmente proporcional al contenido de materia orgánica y de aluminio (2).

NATURALEZA DE LA FIJACION DE FOSFATOS

Se ha indicado anteriormente que en el proceso de la fijación de fosfatos ocurren reacciones de adsorción y precipitación. Para algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica se trató de aclarar cuál de estos fenómenos resulta predominante en la fijación, partiendo de la hipótesis que toda la fijación sea una adsorción.

Se establecieron experimentos de adsorción ofreciendo al suelo concentraciones ascendentes de P, entre 2,5 y 250 ppm y variando los tiempos de reacción entre 1 y 188 horas. Se determinó el P "adsorbido" y con los datos se calcularon las isothermas correspondientes de adsorción de Langmuir.

Los resultados encontrados para el suelo Cervantes están presentados en el Cuadro 4 y en la Figura 3. Se observa que el fenómeno a describir se ajusta para cada tiempo de reacción a isothermas de Langmuir. Sin embargo, y aunque la reacción de la fijación de P tiene una determinada cinética, no es explicable que a pesar de los largos tiempos de reacción no se haya conseguido una saturación de complejo "adsorbente". Investigaciones de otros autores, inclusive algunos trabajos realizados con suelos derivados de cenizas volcánicas (29, 30, 32), indican que de acuerdo a Bache (4) ocurren por lo menos tres reacciones durante este proceso: a) una quimiosorción de fosfatos; b) una precipitación de una nueva fase de fosfatos y c) una adsorción a un nivel bajo de energía. Sería también de esperar que en los suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central ocurran reacciones de precipitación de fosfatos junto con las reacciones de adsorción.

La diferenciación entre la adsorción y la precipitación dentro de la fijación de P se logró en los suelos en estudio al ofrecer a 0,5 g de suelo igualmente 25 ml de una solución de KH_2PO_4 , conteniendo 100 mg P/1, dejándolo reaccionar 6 horas y fraccionando el P fijado de acuerdo al método de Chang y Jackson (10).

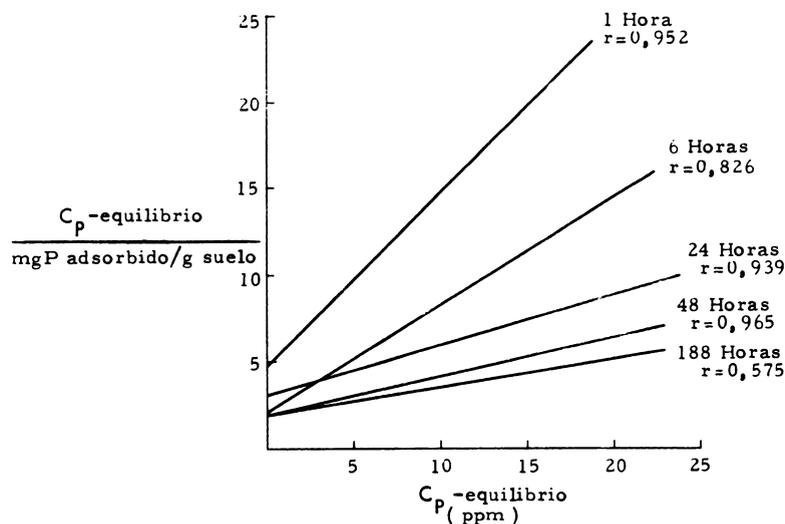


FIGURA 3 Isotermas de adsorción de fosfatos para el suelo Cervantes dependiendo del tiempo de reacción

Los resultados se encuentran en el Cuadro 5. Se puede observar que la fracción fijada soluble en NH_4Cl , que representaría a la adsorción, es bastante pequeña llegando en promedio al 2,95 por ciento del total de P fijado en los cinco suelos estudiados. Asimismo, la fracción fijada como fosfatos de calcio solo alcanzó al 1,64 por ciento. Los fosfatos de aluminio representan la forma predominante de fijación de fosfatos, alcanzando en promedio al 85,56 por ciento de la cantidad total de aluminio fijado. Le sigue en importancia la formación de fosfatos de hierro que alcanzo en promedio el 14,40 por ciento.

CONCLUSIONES

Los resultados presentados indican que los suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central presentan graves deficiencias de P y además una capacidad variable de fijación de los fosfatos aplicados en forma de fertilizante, limitando la productividad de los mismos.

Para eliminar estas limitaciones son necesarias prácticas de fertilización y manejo adecuadas. Se recomienda llevar a cabo estudios sobre las mismas, como por ejemplo:

- Estudios sobre la mineralización de fosfatos inorgánicos y las condiciones que la provocan.
- Experimentos sobre la aplicación masiva de fertilizantes fosfatados para "saturar" la capacidad de fijación de fosfatos y estudio económico de su efecto residual.
- Estudio del efecto y aprovechamiento de diferentes fuentes de fosfatos.
- Experimentos sobre la tecnología de la aplicación de fertilizantes (granulación, peletización, localización en bandas, etc.)
- Estudio de otras prácticas que pueden aumentar el aprovechamiento de fosfatos (enmiendas silicatadas, calcáreas, etc.).

RESUMEN

Se estudia el estado del fósforo y el fenómeno de su fijación en 34 muestras de suelos derivados de cenizas volcánicas recientes de Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Costa Rica.

Para evaluar la deficiencia de este elemento se llevó a cabo un experimento en macetas, considerándose dos tratamientos: con (350 kg P/ha) y sin fertilización fosfatada. La evaluación de la deficiencia se hizo considerando la producción de materia seca, la absorción de P por las plantas de tomate y el rendimiento relativo a la fertilización fosfatada. El 88 por ciento de los suelos presentó deficiencias extremas o un nivel muy bajo de disponibilidad de fósforo.

Se analizaron las formas de fosfatos en los suelos para interpretar esa deficiencia. Los fosfatos inorgánicos constituyen, en promedio, 43,5 por ciento del P total. En la fracción inorgánica predominan los fosfatos ocluidos y solubles en reductante asociados con el complejo R_2O_3 que es muy alto en estos suelos. Los fosfatos de calcio tienen mayor importancia que los de hierro y aluminio.

Se desarrolla un modelo para interpretar las relaciones en el sistema suelo-planta. La intensidad ($pH_2PO_4 + 0,5$ pCa) correlaciona significativamente con la absorción de P por las plantas ($r = -0,677^{***}$). La intensidad de P en la solución del suelo es pequeña y la nutrición de las plantas exige un flujo de iones a partir de los factores de capacidad. Este flujo se produjo principalmente a partir de los fosfatos de calcio, pero no fue lo suficientemente rápido como para cubrir las necesidades de las plantas.

Se estudió la retención de P en los suelos. Se encontró que correlacionan significativamente con el porcentaje de arcillas, carbono total, hierro y aluminio extraíble. Se estudió, finalmente, la naturaleza del fenómeno de la fijación de fosfatos y se concluye que la precipitación de fosfatos es más importante que su adsorción. La precipitación de fosfatos de aluminio y hierro son las causas principales de la fijación.

BIBLIOGRAFIA

1. ALAMOS, P. et al. 1967. Relaciones suelo-fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Agricultura Técnica (Chile) 27:120-129.
2. ALCAYAGA, A. URBINA de. 1965. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. Agricultura Técnica (Chile) 25:9-17.
3. ARAOS, J. F. 1967. Estudio de deficiencias nutritivas en muestras superficiales de suelos de Ñuble. Agricultura Técnica (Chile) 27:15-20.
4. BACHE, B. W. 1964. Aluminum and iron phosphate studies related to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. J. Soil Sci. 15:110-116.
5. BARROW, N. J. 1967. Relationships between uptake of phosphorus by plants and the phosphorus potentials and buffering capacity of the soil - an attempt to test Schofield's hypothesis. Soil Sci. 104:99-105.
6. BECKETT, P. H. T. y R. E. WHITE. 1964. Studies on the phosphate potentials of soils. III. The pool of labile inorganic phosphate. Plant and Soil 21:253-282.
7. BORNEMISZA, E. y K. IGUE. 1967. Oxidos de hierro y aluminio en suelos tropicales. Turrialba 17:23-30.
8. BIRRELL, K. S. 1961. Ion fixation by allophane. N. Z. J. Sci. 4:393-414.
9. BIRRELL, K. S. 1965. Some properties of volcanic ash soils. World Soil Resources Report 14, FAO, Roma, pp. 74-81.
10. CHANG, S. C. y M. L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. 84:133-144.
11. CHANG, S. C. y M. L. JACKSON. 1958. Soil phosphorus fractions in some representative soils. J. Soil Sci. 9:109-119.
12. CHILE. UNIVERSIDAD. FACULTAD DE AGRONOMIA. 1967. Fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Santiago, 47 p.

- 13 CHU ADA, C y G D. SHERMAN. 1952. Differential fixation of phosphate by typical soils of the Hawaiian Great Soil Groups. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 16: 20 p.
- 14 DONDOLI, C. B. y J. A. TORRES. 1954. Estudio geoagronómico de la región oriental de la Meseta Central. San José (Costa Rica). Ministerio de Agricultura e Industrias. 175 p.
- 15 EL SALVADOR, DIRECCION DE INVESTIGACION AGRONOMICA, SECCION SUELOS. 1960-66. Levantamiento general de suelos de la república de El Salvador. Tipografía Drekon. p. irr.
- 16 FAO/UNESCO. 1968. Proyecto de mapa de suelos de Centroamérica. Santiago, Chile. p. irr.
- 17 FASSBENDER, H. W. 1966. Formas de fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las llanuras bajas atlánticas de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 3:188-203.
- 18 FASSBENDER, H. W. 1966. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evolución usando la isoterma de Langmuir. Fitotecnia Latinoamericana 3:203-216.
- 19 FASSBENDER, H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rican soils. Agrochimica 12:512-521.
- 20 FASSBENDER, H. W. 1969. Conceptos físico-químicos en la interpretación del sistema suelo-planta. X Congreso Latinoamericano de Química. San José, Costa Rica. (En prensa).
- 21 FASSBENDER, H. W. y K. IGUE. 1967. Comparación de métodos radiométricos y colorimétricos en estudios sobre retención y transformación de fosfatos en el suelo. Turrialba 17:284-287.
- 22 FASSBENDER, H. W., L. MULLER y F. BALERDI. 1968. Estudio del fósforo en suelos de Centroamérica. II. Formas y su relación con la planta. Turrialba 18:333-347.
- 23 GUTNIK, V. et al. 1967. Influencia del pH sobre la fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas. Agricultura Técnica (Chile) 27:141-143.
- 24 HOFFSTETTER, R. et al. Congrés. Géologique International. Commission de Statigraphie. Lexique Stratigraphique International. Amerique Centrale. Paris, 336 p. sin año.
- 25 JAPON. MINISTRY OF AGRICULTURE AND FORESTRY. 1964. Volcanic ash soils in Japan. 211 p.
- 26 KOBO, K. 1965. Properties of volcanic ash soils. World Soil Resources Report 14. FAO, Roma, pp. 71-73.
- 27 LETELIER, E. et al. 1961. Cien ensayos NPK en trigo. Santiago, Chile, Ministerio de Agricultura. Departamento de Investigaciones Agrícolas. Boletín Técnico 9, 43 p.
- 28 MULLER, L., F. BALERDI, R. DIAZ-ROMEU y H. W. FASSBENDER. 1968. Estudio del fósforo en suelos de Centroamérica. I. Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. Turrialba 18:319-332.
- 29 ONIKURA, Y. 1964. Factors relating to labile phosphate levels in volcanic ash soils. Soil Sci. and Plant Nutr. 10:20-27.
- 30 ONIKURA, Y. 1963. The behaviour of phosphate in volcanic ash soils. Bull. Kyushu Agric. Exp. Sta. 9:51-68.
- 31 RICO, F. 1965. Report on soils of volcanic ash origin in El Salvador. World Soil Resources Report 14, FAO. Roma. pp. 23-29.
- 32 SAEKI, H. y M. OKAMOTO. 1960. Studies on the fixation and availability of phosphates in soils. Soil and Plant Food 6:96.
- 33 SAUNDERS, W. M. H. 1959. Effect of phosphate top dressing on a soil from andositic volcanic ash. III. Phosphate retention at pH. N. Z. J. Agric. Res. 2:659-665.
- 34 SIMMONS, CH. S., H. M. TARANO y J. H. PINTO. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional, 1000 p.

35. SWINDALE, L. D. 1965. The properties of soils derived from volcanic ash. World Soil Resources Report 14. FAO, Roma, pp. 82-85.
36. ULRICH, B., K. HEMPLER y J. H. BENZLER. 1960. Zur Analytischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und Laktatloslicher Phosphorsäure in Bodenproben Die Phosphorsäure 20:344-347.
37. WADA, K. 1959. Reaction of phosphate with allophane and halloysite. Soil Sci. 87:325-330.
38. WEYL, R. 1961. Die Geologie Mittelamerikas. Gebrüder Borntraeger, Berlin. 226 p.

CUADRO 1. Algunas características físicas y químicas de los suelos estudiados, derivados de cenizas volcánicas de América Central.

Características	Rango		
	Mínimo	Máximo	Promedio
Arcillas (%)	3	69	29,4
pH _{H₂O}	4,7	6,9	6,1
pH _{CaCl₂}	4,1	6,7	5,7
Carbono total (%)	0,6	11,6	3,1
Nitrógeno total (%)	0,04	1,11	0,31
Relación C/N	7,5	17,5	10,0
Capacidad de Intercambio Catiónico (meq/100 g)	11,5	45,2	28,4
Saturación de bases (%)	19	100	72,9
Ca cambiante (meq/100 g)	3,6	27,2	14,2
Mg cambiante (meq/100 g)	1,0	13,0	4,6
K cambiante (meq/100 g)	0,30	3,10	1,40
Al extraíble (meq/100 g)	0,05	6,80	0,85
Fe soluble (%)	0,06	4,60	0,84

CUADRO 2. ESTADO DEL FOSFORO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE AMERICA CENTRAL

Serie o lugar	No.	FOSFATOS (ppm P)						pH ₂ PO ₄ +0,5pCa	% Fijación de P	EXP. INVERNADERO		
		Total	% P-org. P-total	Sol NH ₄ Cl	Al-P	Fe-P	Ca-P			Mat.Sec. g/Mac	Absorb.P mg/mac	Rendim. relativo
Toltecate	G-2	955	52	2,6	5	15	25	7,08	22,3	0,2	0,6	1
Palin	G-4	1320	71	1,9	18	19	96	7,00	11,8	1,5	2,6	8
Cauque	G-5	1500	61	Tra.	102	56	135	6,73	24,4	0,3	1,2	2
Cauque	G-6	1090	64	Tra.	25	16	68	7,21	18,1	0,3	0,9	2
Suelos de los valles	G-7	1775	44	6,2	264	37	298	6,47	9,7	20,0	41,4	91
Tecpan	G-8	1140	58	Tra.	41	36	139	7,29	10,4	1,0	1,4	6
Cauque	G-9	865	52	Tra.	31	42	79	7,41	25,3	0,4	0,4	3
Mazatenango	G-15	1410	64	Tra.	56	56	98	7,14	27,6	0,2	0,9	1
Palin	G-17	785	31	1,2	39	44	99	7,12	20,6	5,0	11,5	24
Quezaltenango	G-20	924	29	3,1	89	84	149	6,92	28,2	0,2	1,1	2
Camanchá	G-21	715	32	2,5	12	23	94	-	20,0	0,9	1,1	5
Moran	G-26	781	48	Tra.	13	30	49	7,05	20,0	0,2	0,6	1
Barberena	G-28	910	37	Tra.	58	64	131	-	33,0	3,8	7,6	22
Batres	S-5	748	26	4,4	95	77	180	6,90	34,4	1,0	2,2	10
Ozatlan	S-6	816	45	Tra.	7	29	132	-	35,3	0,3	1,2	2
Ozatlan	S-7	1273	13	5,0	94	113	410	6,83	31,1	19,0	19,4	80
Jiboa	S-8	476	47	2,6	21	7	56	7,59	30,6	5,0	8,2	26
Soyapango	S-9	815	53	Tra.	23	46	143	7,08	33,9	0,3	0,7	2
Santa Ana	S-17	988	31	Tra.	72	127	145	7,25	38,2	0,2	0,8	2
Santa Ana	S-18	1040	40	0,3	132	149	189	7,02	37,6	0,3	0,7	3
Azaqualpa	S-20	375	56	Tra.	123	15	63	7,52	31,2	0,3	0,6	2
Azaqualpa	S-21	326	32	Tra.	9	8	32	-	29,6	0,2	0,6	1
Ilopango	S-22	466	22	2,2	9	5	154	7,22	27,5	1,0	2,6	6
Aramuaca	S-25	614	8	7,4	26	4	192	7,15	15,5	0,8	1,3	6
Granada	N-1	838	48	5,4	14	17	104	7,02	38,4	0,3	0,6	1
Corinto	N-11	740	21	2,2	59	53	162	6,97	47,9	0,6	1,5	5
El Trapiche	N-14	495	11	5,4	40	16	46	7,18	33,4	1,0	2,3	10
Tierras coluviales	N-16	533	20	3,2	38	6	167	7,13	27,5	0,4	2,2	4
Masaya	N-18	555	7	2,7	47	15	262	7,22	22,0	1,0	2,1	7
Cervantes	CR-109	2503	72	2,5	183	76	125	6,89	74,7	-	-	-
Guayabo	CR-110	3065	76	1,9	378	145	31	7,50	85,9	-	-	-
Birrisito	CR-111	2775	69	1,3	318	128	48	7,02	92,4	-	-	-
Juan Viñas	CR-112	1686	76	Tra.	75	118	9	7,12	94,1	-	-	-
Aquiáres	CR-108	3540	64	3,1	607	205	113	6,74	88,0	-	-	-
	Mínimo	326	7	0,3	5	4	9	6,47	9,7	0,2	0,4	1
RANGO	Máximo	3540	76	7,4	607	205	410	7,59	94,1	20,0	41,4	91
	Promedio	1142	43,5	3,2	91,8	50,3	124,2	7,09	35,9	2,27	4,08	11,55

CUADRO 3. Niveles de deficiencia de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas de América Central, de acuerdo a la producción de materia seca, absorción de P y rendimiento relativo en el experimento de invernadero.

Nivel de disponibilidad	Síntomas de deficiencia	Materia seca*		Absorción P*		Rendimiento relativo**	
		g/mac	% suelos	mg/mac	% suelos	Valor	% suelos
Muy bajo	Extrema	< 2	85	< 5	85	< 20	88
Bajo	Moderada	2-4	3	5-15	9	20-40	6
Medio	Posible	4-8	6	15-30	3	40-65	-
Adecuado	Ninguna	> 8	6	> 30	3	> 65	6

* Del tratamiento sin fertilización fosfatada

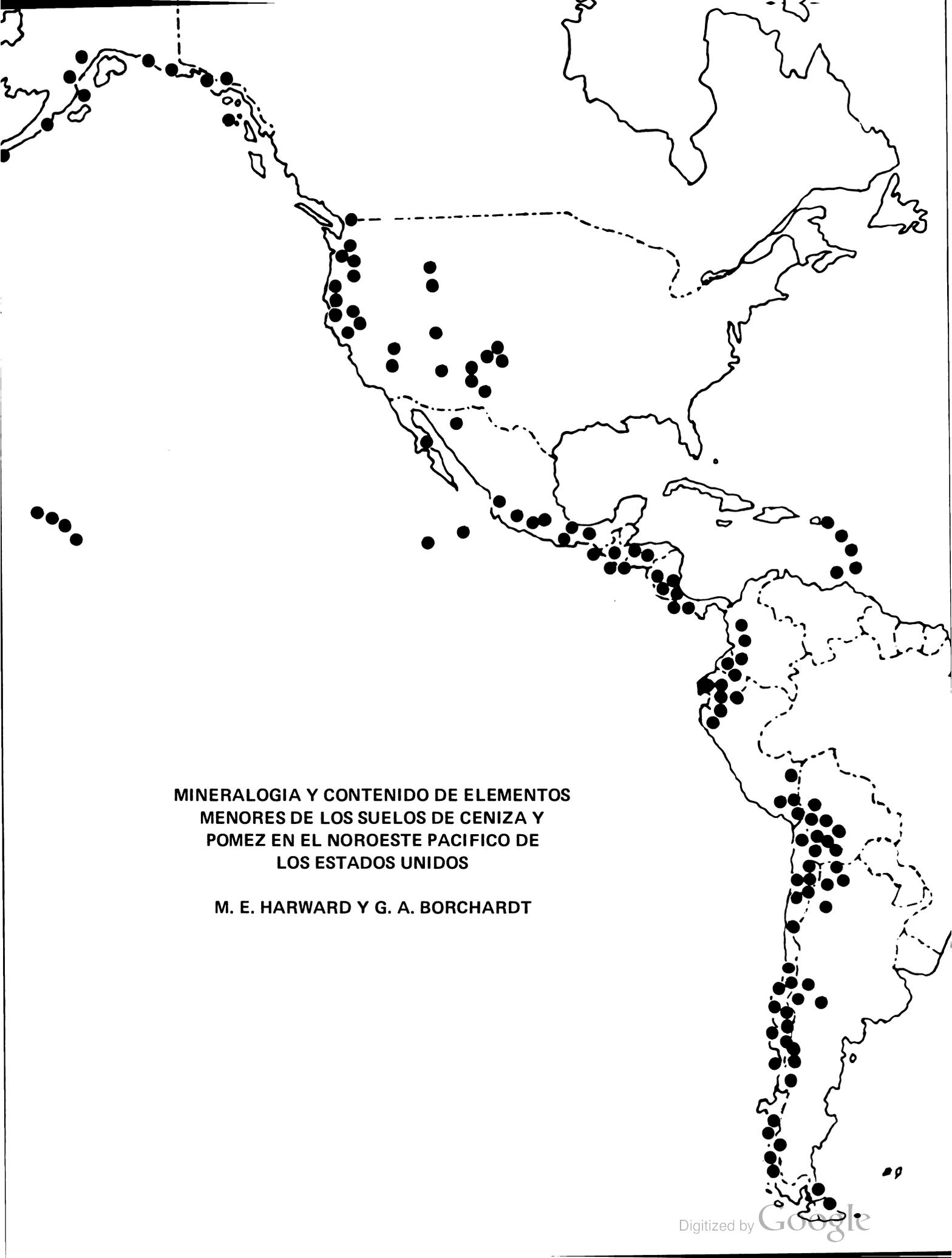
** Según la fórmula $\frac{\text{Rendimiento sin P}}{\text{Rendimiento con P}} \times 100$

CUADRO 4. Isotermas de Langmuir de adsorción de fosfatos para el suelo Cervantes, en función del tiempo de reacción

Tiempo contacto (horas)	Isotermas de adsorción		Coeficiente correlación r	Capacidad max. adsor. mg P/g suelo
	$y = \frac{c_P \text{ equilibrio}}{\text{mg P ad/g suelos}}$	$x = c_P \text{ equilibrio}$		
1	$x = 4,83 + 0,988 x$		0,952	1,00
6	$x = 2,11 + 0,602 x$		0,826	1,66
24	$x = 3,03 + 0,289 x$		0,929	3,46
48	$x = 1,94 + 0,217 x$		0,965	4,60
188	$x = 1,73 + 0,188 x$		0,575	5,31

CUADRO 5. Retención de P y distribución en sus formas para cinco suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica

Serie de suelos	Retención (%)	Distribución porcentual como			
		NH ₄ Cl-sol	Al-P	Fe-P	Ca-P
Aquiaries	88,0	2,65	83,86	12,56	0,01
Cervantes	74,7	3,71	85,94	9,52	0,83
Guayabo	85,9	3,00	83,00	17,38	0,72
Birrisito	92,4	2,47	82,36	19,65	3,29
Juan Viñas	94,1	2,94	73,23	21,35	2,48
Promedio	86,4	2,95	82,56	14,40	1,64



**MINERALOGIA Y CONTENIDO DE ELEMENTOS
MENORES DE LOS SUELOS DE CENIZA Y
POMEZ EN EL NOROESTE PACIFICO DE
LOS ESTADOS UNIDOS**

M. E. HARWARD Y G. A. BORCHARDT

MINERALOGIA Y CONTENIDO DE ELEMENTOS MENORES DE LOS SUELOS DE CENIZA Y POMEZ EN EL NOROESTE PACIFICO DE ESTADOS UNIDOS*

M. E. Harward y G. A. Borchardt**

RESUMEN

Los productos volcánicos expelidos del Cascade Range forman el material de partida de grandes áreas de suelos en los Estados Unidos noroccidentales. Los depósitos vastamente distribuidos, son generalmente de composición dacítica. El más grande de ellos fue producto de la erupción del monte Mazama hace alrededor de 6,600 años. La piedra pómez gruesa del Mazama consiste en dacita vítrea de hiperstena y augita con hornblenda accesoria. Aunque la piedra pómez contiene más o menos 15 por ciento de minerales cristalinos en volumen, la mineralogía varía dentro de grandes límites dependiendo esto de la dirección de la deposición de la distancia al centro emisor, así como del tamaño de las partículas.

Los parámetros más útiles para diferenciar los diversos depósitos son los minerales característicos que contienen, los índices de refracción de los fenocristales y los vidrios, y la composición química del vidrio. Los problemas que se encuentran al tratar de identificar los materiales son las variaciones en los minerales del depósito, la presencia de materiales contaminadores, la variación en la cantidad y tipo de los fenocristales y los cambios en la composición debidos a la meteorización.

En la Universidad Estatal de Oregon se están realizando investigaciones para caracterizar el contenido de elementos menores del vidrio volcánico usando el análisis por activación de neutrones. Con esta técnica se obtienen directamente las cantidades de 19 núclidos que pertenecen a metales alcalinos y alcalinotérreos, tierras raras y metales de transición.

Se demostró que el contenido de elementos menores del vidrio era similar dentro de depósitos dados pero variaba entre materiales tomados de fuentes diversas. La meteorización afecta al contenido de algunos elementos especialmente los de transición, pero parece tener poca importancia en el contenido de tierras raras. Los análisis de elementos menores determinados por medio de la activación de neutrones son útiles en las investigaciones de profundidad de meteorización, naturaleza de los productos de alteración y discontinuidades del perfil así como para la identificación de las capas de ceniza que se están investigando.

INTRODUCCION

Historia Geológica General de los Cascades

La historia geológica de los Estados Unidos noroccidentales está íntimamente relacionada con el vulcanismo. La Cascade Range consiste en una serie de picos volcánicos que se extienden desde el norte de California, pasando Oregon y Washington, hasta la Columbia Británica en el Canadá. Hay numerosos conductos en esta área, de los cuales han sido expelidos materiales volcánicos ampliamente distribuidos. Las fuentes activas durante el Cuaternario comprenden los siguientes volcanes: Lassen, Shasta, McLaughlin, Mazama, Newberry, Three Sisters, Jefferson, Hood, Adams, St. Helens, Glacier Peak, Baker y Bridge River (6, 17). En Oregon hay también cierto número de conos de escoria recientemente activos, que son fuentes de caídas de cenizas distribuidas localmente (13, 14).

Distribución de las Diferentes Caídas de Ceniza

Los depósitos menos silíceos (andesíticos y basálticos) son de color más oscuro y en ellos puede haber dominancia de componentes cristalinos sobre el vidrio (17). Aunque los depósitos individuales de ceniza básica generalmente no son extensos, son más numerosos y pueden tener importancia local. Los productos más silíceos (riolita y dacita) son más extensos; generalmente tienen colores más claros y los fenocristales tales como feldespatos, cuarzo, piroxenos, anfíboles, micas y óxidos opacos, rara vez pasan de 10 a 15 por ciento en volumen.

Falta todavía información detallada con respecto a las fuentes, la cronología y la distribución de muchos de los depósitos de esta región. Sin embargo hay progresos alentadores en la Vulcanología del Cuaternario, provenientes del interés permanente de geólogos, oceanógrafos, antropólogos, arqueólogos y edafólogos, gracias a los cuales ahora es posible indicar algo de la cronología y distribución de los depósitos de cenizas volcánicas (Cuadro 1 y Figura 1). La

* Informe especial No. 276. Est. Exp. Agr. de Oregon, Corvallis. Se agradece el apoyo parcial de la Comisión de Energía Atómica, Contrato AT(UF-1)-2062, en algunas fases de la investigación.

** Profesor de Suelos y Asistente Graduado en Suelos, respectivamente.

caída de las cenizas del Glacier Peak y St. Helens abarcó grandes extensiones, pero la mayor es la del Mazama. Se ha calculado que el volumen del material depositado sobre el paisaje por la erupción catastrófica del Mazama puede pasar de 10 millas cúbicas (18). El área de deposición incluye la mayor parte de Oregon, Washington, el norte de Idaho, Montana oriental, y las partes meridionales de Columbia Británica y Alberta, Canadá. Las cenizas y pómez del Mazama forman el material de partida de áreas grandes de los suelos actuales de Oregon.

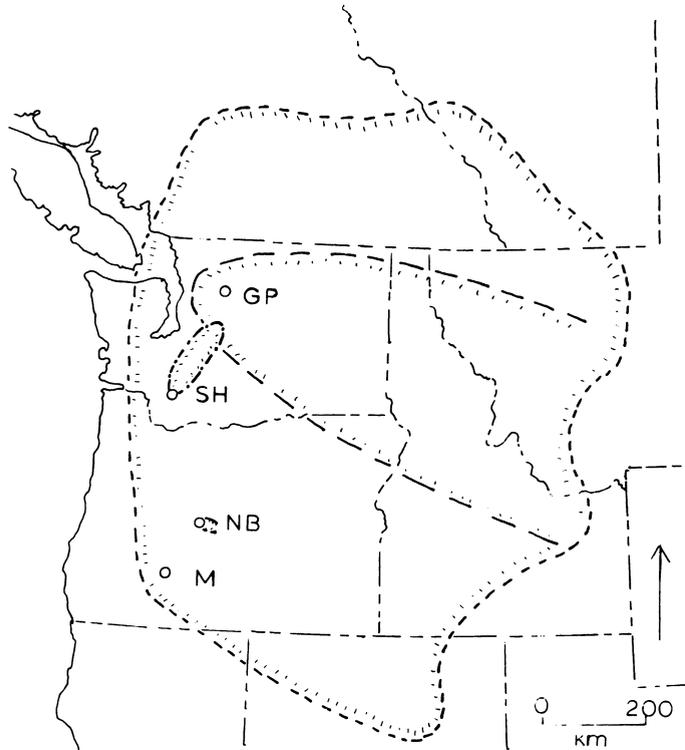


FIGURA 1. Distribución de algunos depósitos de cenizas volcánicas del noreste de los Estados Unidos (según Crandell 'et al' (12) y Dryxell (4)).

M: Manzana
 GP: Glacier Peak
 SH: St. Helens—Y
 NB: Newberry

Bases de Interés

El interés predominante en la ceniza volcánica de esta región ha sido el de señalar "marcadores" estratigráficos y correlacionar las capas de deposición. La mayor parte del énfasis en la investigación se ha dado por esta razón, a la distribución, cronología e identificación de los depósitos y para esto la mineralogía y la composición química son las características que más se estudian. Actualmente hay algo de interés desde el punto de vista de la Geoquímica y de los procesos volcánicos. Relativamente poco se ha hecho hasta ahora en relación con los materiales de partida de los suelos y la influencia de la ceniza en las propiedades y procesos de formación del suelo. Por esta razón se inició recientemente un amplio programa de investigación de los suelos de cenizas volcánicas en la Universidad Estatal de Oregon. Se están estudiando con más detalle los depósitos de Monte Mazama. Las líneas de investigación actuales comprenden:

1. Estratigrafía, redistribución y mezcla en ambientes locales.
2. Identificación a base del contenido de elementos menores determinado por el análisis de activación de neutrones (INAA).
3. Meteorización y génesis de las arcillas cristalinas y amorfas.
4. Porosidad de la piedra pómez y sus relaciones con el movimiento de los iones y los procesos de meteorización.

MINERALOGIA

Relaciones Vidrio: Minerales

El contenido relativo de minerales en la matriz vítrea variará con las condiciones dentro de la cámara magmática en el momento de la erupción. Sin embargo, la distinción entre depósitos basándose en las relaciones vidrio:minerales no se considera digna de confianza. Las cenizas de composición andesítica o basáltica, generalmente tienen dominancia de cristales sobre vidrios, mientras que sucede lo contrario en las cenizas de composición riolítica y dacítica (17). Las cenizas distribuidas en grandes extensiones tienden a tener similares composiciones y contenido de minerales. A esto se sobreponen las variaciones dentro de un depósito debidas a ordenamiento por el viento y la gravedad y la segregación por el movimiento y redeposición consiguientes. Williams (18) descubrió que la relación entre cristales y vidrio en el depósito del Mazama, variaba entre límites muy grandes. Cerca del Crater Lake, en donde el depósito consiste en grandes fragmentos, el volumen de cristales separados llega a menos de 1 por ciento, mientras que a distancias más grandes, puede aumentar a más de 25 por ciento. En la región sudoriental de Klamath Marsh (este de la fuente), el porcentaje en volumen de los cristales va de 1 a 11 por ciento. Al norte de la fuente, el contenido de cristales generalmente aumenta con la distancia a partir del Crater Lake. Sin embargo, estas diferencias pueden relacionarse con diferentes masas del depósito, tal como lo demuestra el diagrama de las líneas que indican igual espesor de la masa. El aumento en contenido de cristales conforme aumenta la distancia, comunicado por Williams, probablemente resulta de factores complejos asociados con ciertas condiciones de la época de la serie de erupciones. El contenido de cristales normalmente disminuye con la distancia debido a separación de los minerales más pesados. La complejidad del problema está ilustrada por los datos de Borchardt* para muestras tomadas a lo largo del eje nororiental de la masa principal del depósito del Mazama (Cuadro 2). El porcentaje de vidrio en la fracción entre 125 y 63 μ , de muestras del depósito de ceniza fina, aumentó de 40 a 72 por ciento conforme aumentaba la distancia desde la fuente. Sin embargo la piedra pómez gruesa fragmentada, más cercana a la fuente, contenía 82 por ciento de vidrio.

Grupos de Minerales Primarios

Factores o Problemas

Los conjuntos de minerales primarios se han usado mucho para caracterizar e identificar los depósitos de ceniza en la región. Wilcox (17) ha analizado algunos de los problemas de toma de muestras y de interpretación de los datos. Las proporciones de los diferentes minerales variarán dentro del depósito, como se ha discutido en la sección precedente, pero aunque exista una variación en la proporción de los constituyentes, rara vez se presentará el caso de la falta total de un constituyente primario. La contaminación o mezcla del depósito con el material subyacente puede conducir a resultados anómalos o engañosos. Este problema se puede reducir usando fenocristales con un manto completo o parcial de vidrio como un criterio para demostrar su origen volcánico. Por esto son muy útiles los cristales distintivos y en cambio las proporciones relativas deben usarse con cuidado.

Depósito del Mazama

El depósito grueso del Mazama ha sido descrito por Williams (18) como un depósito que consiste en dacita vítrea de hiperstena—augita con hornblenda accesoria. Los cristales son de plagioclasas, hiperstena y cantidades más pequeñas de augita y hornblenda. La relación de cristales livianos a pesados es más alta en las partes marginales del manto pumíceo que cerca de la fuente. La relación de feldespato a minerales oscuros es generalmente de dos y tres. La plagioclasa es más abundante que todos los minerales ferromagnésicos combinados. La hiperstena es generalmente el principal constituyente oscuro. Los feldespatos son zonados intensamente y muestran una composición que va del labrador en el centro a la oligoclasa en los bordes y además presentan muchas fracturas.

Otros depósitos y sus relaciones con el Mazama

La complejidad de los depósitos de ceniza en la región la demuestran los depósitos interestratificados de ceniza volcánica del Monte Rainier, Washington. Se ha demostrado que éstos vienen de varias fuentes, inclusive la erupción del Mazama en Oregon (Cuadro 1) (2). Se usó el contenido de minerales para ayudar a distinguir las diferentes capas (Cuadro 3).

Se incluyen la Mineralogía de las capas de ceniza del Mazama y otras de Alberta para comparación. Los análisis para la ceniza del Mazama en Washington están en general de acuerdo con lo comunicado por Williams (18). La capa del Mazama es similar a la de St. Helens—W excepto por la presencia de augita y difiere de Rainier—C sólo en la cantidad de hornblenda. La ceniza del Mazama en Alberta aparentemente difiere de los otros depósitos de esta área por un contenido más alto de hornblenda. La presencia de cummingtonita en St. Helens—Y es característica (16, 17).

* G. A. Borchardt. Datos preliminares para tesis de Ph.D., Universidad Estatal de Oregon

B.5.4

La ceniza del Mazama en Alberta difiere de la de Washington por la ausencia aparente de hiperstena. El depósito de St. Helens—Y tiene cantidades menores de hornblenda que el de Washington. Aunque estos datos demuestran la utilidad de la mineralogía para distinguir los depósitos de una misma área, también denotan los problemas de correlación en grandes distancias y las diferencias entre petrógrafos. Wilcox (17) señala que para identificar una ceniza en particular en el laboratorio se debería dar la mayor importancia a las características que se espera que se mantendrán a través de todo el depósito. Además de la identificación de minerales recomienda el uso de los índices de refracción de los fenocristales. Estas técnicas petrográficas se han empleado para ayudar a distinguir la ceniza del Mazama de la del Glacier Peak (9).

Wilcox (17) presenta los índices de refracción de los constituyentes de cenizas de once fuentes recientes en los Cascades.

Índice de Refracción del Vidrio

El índice de refracción del vidrio volcánico se ha empleado mucho en los depósitos de la región (2, 9, 12, 16, 17). Algunos de los datos se presentan en el Cuadro 3; Wilcox presenta datos adicionales para algunas fuentes en los Cascades (17). Se ha comprobado que éste es un parámetro útil cuando se lo determina cuidadosamente. Problemas asociados con esta determinación comprenden las pequeñas diferencias entre las diversas fuentes o depósitos. Esto requiere que las determinaciones se hagan con una sensibilidad de 0,001 unidades y contando un gran número de partículas para obtener valores modales. Steen y Fryxell informan que la meteorización tiene poco efecto en los valores modales, aunque a primera vista pareciera que éste debería ser un factor de modificación. Wilcox (17) advierte que el vidrio de una ceniza en particular puede variar algo a causa de la heterogeneidad inicial o la variación en el grado de hidratación y que se pueden esperar diferencias para el vidrio que ha estado en un medio alcalino.

COMPOSICION QUIMICA

Factores o Problemas

La composición química es una de las características más usadas de la ceniza volcánica. Como en el caso de los minerales primarios, se deben tener en cuenta algunos factores al seleccionar las muestras y al interpretar los datos. Se ha hecho notar que la clase y cantidad de minerales primarios varían dentro de un depósito dado. Por consiguiente, los análisis que se hacen de muestras que contienen diferentes cantidades y tipos de minerales tienen utilidad limitada. Se prefiere la composición química del vidrio para usarla como un criterio de diferenciación. Aún en el caso en que los análisis se relacionen con el vidrio, las diferencias en el grado de separación pueden producir discrepancias en los datos. Desgraciadamente la literatura no siempre aclara si los datos analíticos presentados de una ceniza volcánica dada o piedra pómez son sólo para el vidrio, para fragmentos con inclusiones minerales o para vidrio con un contenido dado de cristales contaminadores.

La contaminación de la muestra con componentes detríticos o no volcánicos se reduce con la separación del vidrio volcánico. La presencia de carbonatos u óxidos hidratados puede hacer necesarios los tratamientos de "limpieza". Para análisis precisos es necesario extraer los contaminadores de superficie. La mezcla de diferentes depósitos volcánicos es un problema mucho más difícil de reconocer y de resolver. Esto puede ser indicado por la estratigrafía del área y las desviaciones de la "norma" de composición.

Un factor que ha recibido menor atención es la meteorización o alteración del depósito. Se esperan algunas variaciones en relación con la profundidad y con el medio. Borchardt* ha demostrado que las muestras de la piedra pómez del Mazama de los horizontes superiores del suelo contienen menos Si, Ca y K y más Al, Ti y Fe, que los horizontes inferiores. Efectos similares han sido presentados por Czamanske y Porter (3) para fragmentos "frescos" y "meteorizados" de pómez. La importancia de la meteorización para contenido de elementos menores se ilustrará posteriormente.

Contenido de Elementos Mayores

La piedra pómez del Mazama ha sido clasificada como dacita según su composición química (18). Estos análisis se hicieron en fragmentos de pómez. Otros análisis de la ceniza del Mazama así como del Glacier Peak los presentan Powers y Wilcox (9), Czamanske y Porter (3) y Smith y Westgate (11). Los datos de Smith y Westgate se escogieron para presentarlos aquí (Cuadro 4) puesto que incluyen los promedios de un número más grande de muestras con un control preciso del componente vítreo que se está analizando. Se ve claramente la similitud general en la composición de los diferentes vidrios y la composición dacítica de las caídas de ceniza extensamente distribuidas. Dentro de esta similitud general, es común observar diferencias características. La ceniza del Glacier Peak tiene más sílice y menor cantidad de casi todos los otros componentes en comparación con la del Mazama. Los componentes

* G. A. Borchardt. Datos preliminares para tesis de Ph.D., Universidad Estatal de Oregon .

B.5.5

del St. Helens—Y generalmente tienen contenidos intermedios entre el Mazama y el Glacier Peak, excepto el de Ca, que es mayor. La ceniza del Bridge River es en su mayoría como la del Mazama y sería difícil distinguir una de otra basándose en estos datos.

La técnica de Smith y Westgate (11) merece comentario especial puesto que sus datos fueron obtenidos por medio del empleo de un analizador electrónico (electron probe). El mérito de este sistema reside en el grado de control para el análisis del vidrio. Las condiciones de trabajo fueron tales que el material podía ser visto durante los análisis y se evitaron los microlitos y burbujas en los pedazos o fragmentos de pómez. Aunque se determinaron 12 elementos, se informó que un número tan pequeño como tres de ellos, tales como Ca, K y Fe o Ca, K y Na, bastarían para diferenciar sus muestras. Una limitación aparente del análisis de elementos mayores se relaciona con la influencia de la meteorización. Todos los elementos determinados pueden variar dependiendo esto del medio en que se encuentran desde la época de la deposición. Los investigadores tuvieron la suerte de que la ceniza en el área de Edmonton se encuentra como capas enterradas y en apariencia ha habido poca alteración. Esto contrasta con la situación en Oregon en donde gran parte de la piedra pómez del Mazama es superficial y ha habido alteración en los horizontes superiores. Hay que determinar todavía el grado hasta el cual puede aplicarse el método en muestras de medios diversos y el éxito de los pretratamientos para obtener un residuo de vidrio "claro, fresco". No obstante, está claro que la técnica tiene gran mérito porque elimina la influencia de los fenocristales.

Se ha usado también el contenido de titanio obtenido por la espectroscopia de emisión de Rayos X, como ayuda en la identificación de los materiales piroclásticos del Cascade Range (3). El contenido de TiO_2 de la piedra pómez en fragmentos del Mazama y el Glacier Peak fue de 0,58 y 0,43 por ciento respectivamente; los contenidos en las fracciones de vidrio del Mazama y del Glacier Peak fueron de 0,22 y 0,28 por ciento respectivamente. Sin embargo, la composición estuvo afectada considerablemente por el enriquecimiento en Ti debido a la meteorización, lo que produjo una sobreposición de los valores para algunas muestras de las dos fuentes. Además, los contenidos de titanio de otras capas de cenizas, tales como las del St. Helens se sobreponen a las del Glacier Peak y del Mazama.

ELEMENTOS MENORES

Es escasa la información en la literatura sobre el contenido de elementos menores en las diferentes cenizas de la región. Se ha informado que los contenidos de itrio, iterbio y zirconio en pómez del Glacier Peak son menores que en pómez de Mazama (9).

Análisis de Activación de Neutrones

Los estudios pedológicos a lo largo del corte transversal de un depósito dado requieren de la habilidad para reconocer el depósito dentro de una distancia dada y para distinguirlo de otros. Como se discutió anteriormente, las determinaciones que permiten cumplir con este objetivo comprenden: la clase y cantidad de los minerales primarios, los índices de refracción del vidrio y los fenocristales, y la composición química. Los análisis químicos de han restringido generalmente a los elementos mayores más comunes. El contenido de elementos menores con métodos de vía húmeda no se ha usado mucho porque las técnicas son laboriosas. Cada uno de los diversos métodos tiene algunas limitaciones debido a la sobreposición de parámetros, distribuciones de frecuencia bimodales y problemas de mezcla o contaminación. En general se puede decir que no hay un método que por sí solo permita determinar la fuente. Más bien se usan varios métodos para complementarse entre sí.

El análisis por activación se ha aplicado con buen éxito al análisis de meteoritos y otros materiales geológicos (5, 10). Aunque no se usó anteriormente para distinguir depósitos de cenizas volcánicas, el análisis por activación debe ser bastante prometedor para este fin. El mérito de este método reside en la capacidad de obtener análisis para un gran número de elementos menores más rápidamente de lo que es posible con procedimientos químicos por vía húmeda. Una "huella digital" de muchos elementos aumentaría la confianza en la identificación.

Un estudio preliminar indicó la utilidad del análisis por activación de neutrones (INAA) para diferenciar los diversos depósitos de ceniza volcánica (15). Las muestras de ceniza de origen conocido se usaron para desarrollar la metodología general y determinar la magnitud de las diferencias entre las muestras.

Las investigaciones detalladas, empleando el análisis por activación de neutrones, de muestras de suelos desarrollados en cenizas volcánicas están ahora en proceso en la Universidad Estatal de Oregon. Los datos para el estudio presente formarán la base de la tesis de Ph.D. de G. A. Borchardt. Aunque los análisis y la interpretación de los datos todavía no están completos, se presentan aquí los resúmenes de los datos preliminares para ilustrar la clase de problemas que se estudian con esta técnica. Además proporcionarán una visión general del contenido de elementos menores de algunos de los depósitos de ceniza de la región. Se ha pensado publicar los datos finales en revistas científicas.

Procedimientos

Se tomaron muestras de horizontes a lo largo de un corte de sureste a noroeste, desde las cercanías del Crater Lake hasta la esquina nororiental de Oregon. Esto corresponde a la masa principal del depósito del Mazama. Se seleccionaron los sitios en mesetas amplias o cimas de crestas con vegetación densa en un esfuerzo para reducir al mínimo la contaminación por el movimiento y la redeposición. Se tomaron muestras de capas de cenizas conservadas en pantanos, para referencia y correlación con los sitios de tierras altas.

Se reconoció que la contaminación de las capas de materiales piroclásticos con minerales primarios y las diferencias posibles debidas a ordenamiento mineral, podrían contribuir a la variabilidad geoquímica y confundir las interpretaciones. Por esta razón, se aislaron los componentes vítreos de la fracción de tamaño de arena fina (125–63 μ), usando bromoformo–bromobenceno $\alpha = 2,4$ g/cc. Se puede hacer una separación adicional a 2,2 g/cc para extraer fragmentos de residuos vegetales. Las fracciones fueron entonces irradiadas en el reactor TRIGA de la Universidad Estatal de Oregon y luego analizadas por método de Gordon "et al"., (5). El equipo de conteo consiste en un detector semiconductor de Germanio y Litio de 30 cc y un analizador multicanal Nuclear Data 4096.

El análisis de los espectros de rayos gamma emitidos de la muestra irradiada y la comparación con normas apropiadas permite conocer el contenido de elementos hasta en partes por millón. Las fracciones vítreas dieron 19 núclidos que se podían medir directamente con estas técnicas. Entre ellos tenemos elementos alcalinos y alcalino térreos: Na, Rb, Ca y Ba; tierras raras La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb y Lu; y los elementos de transición Th, Hf, Ta, Co, Fe, Sc y Cr.

Variación dentro de los depósitos

Dentro de este método se supone básicamente que el contenido de elementos de las cenizas de varias fuentes difieren y que estas diferencias pueden medirse. Para esto es necesario que primero se evalúe la exactitud de las determinaciones y la variabilidad dentro del depósito. En el Cuadro 5 se da el contenido promedio de elementos de 21 muestras de pómez y ceniza del Mazama y los cálculos estadísticos correspondientes. La exactitud de la determinación (basada en estadísticas de conteo) varía con los diversos elementos. Cierta número de elementos puede ser determinado dentro de un porcentaje muy bajo y la mayor parte de ellos dentro de 5 a 20 por ciento de la cantidad presente. La variabilidad dentro de depósitos parece que no es más grande que la exactitud de la determinación.

Diferencias entre fuentes

En el Cuadro 6 se dan las composiciones promedio de muestras de fuentes conocidas. El depósito del Mazama se caracteriza por una discontinuidad en el tamaño de las partículas (límite de los horizontes C1 y C2) en unos cuantos lugares en donde los materiales más gruesos yacen sobre los más finos. Los datos muestran que los contenidos en elementos menores de estos horizontes son muy parecidos. Las muestras de Newberry generalmente tienen contenidos más grandes de elementos menores que las del Mazama. La ceniza de Glacier Peak tiene contenido de elementos menores notablemente más bajos que la del Mazama y las muestras de St. Helens—Y son similares a las del Glacier Peak.

Para diferenciar o correlacionar los depósitos de cenizas, sería de desear el tener un número más pequeño de parámetros que representen la composición de una muestra. El grado en el cual difieren los contenidos puede expresarse en función de concentraciones relativas. Los datos del Cuadro 7 resumen las diferencias entre muestras de origen conocido. Las medias (Columna 1) se obtuvieron de las relaciones de cada uno de los 19 elementos determinados con el contenido promedio de 21 muestras diferentes del Mazama. Para una muestra como la del Mazama, la relación para un elemento dado debe estar cerca de 1. La media de las relaciones para todos los elementos de la muestra también debe ser cercana a 1 y el coeficiente de variación (% C.V.) debería ser bajo. La desviación en la relación media de un valor de 1 y los valores más grandes para el porcentaje C.V., reflejan la falta de concordancia con el Mazama.

Composición a lo largo de un corte transversal

Las relaciones medias de elementos menores para la ceniza volcánica de los horizontes C a lo largo de un corte transversal generalmente concuerdan con nuestra suposición inicial de que los sitios de muestras representan el depósito del Mazama (Cuadro 8). Las relaciones medias están alrededor de 1 y los coeficientes de variación son bajos. El sitio de South Ice Cave se desvía de los otros cuatro sitios. La descripción de campo para este sitio indica cierta mezcla de horizontes. La meteorización cambia el contenido de elementos menores y disminuye la concordancia con la composición normal del Mazama. El examen de contenidos individuales de elementos para esta muestra hace pensar que hubo mezcla con algunos de los horizontes meteorizados. Se debería considerar también la posibilidad de contaminación proveniente de fuentes locales en la región.

Profundidad de la Meteorización

La meteorización produce una acumulación de algunos elementos menores en los horizontes superiores. Esto se demuestra en los valores más altos de la relación media y el porcentaje de coeficiente de variación (Cuadro 9). Se hicieron evidentes concentraciones más altas en los horizontes meteorizados que en los inferiores, especialmente para Cr y Co y en menor proporción para Sc y Fe. Las tierras raras no varían apreciablemente con la profundidad. Para fines de correlación o identificación habrá que usar criterios distintos de las relaciones medias de todos los elementos. El uso de los contenidos de tierras raras o ciertas relaciones entre elementos como Fe/Sc o La/Sm se necesita para correlacionar materiales meteorizados. Por otra parte, la variación de ciertos elementos menores con la profundidad nos proporciona un medio de determinar hasta dónde llega la meteorización.

Productos de alteración

Los componentes amorfos dominan la fracción arcillosa de los suelos desarrollados en pómez del Mazama. Pero surge la pregunta de si se trata sólo de vidrio fino o si es un producto de meteorización. Un producto de alteración estaría indicado por diferencias en la composición química. La comparación de fracciones $< 2\mu$ con el contenido promedio de vidrio demuestra que la fracción arcillosa es diferente y permite suponer que en realidad es un producto de alteración (Cuadro 10). Las cantidades en las fracciones de arcilla exceden las del vidrio con factores de 2 a 10 veces, dependiendo esto del elemento.

Los pantanos en comparación con las tierras altas

Las muestras de capas de cenizas conservadas en pantanos generalmente tienen correlación con las muestras de las tierras altas. Por ejemplo, se tomaron muestras de un pantano en Tollgate Summit, que está cerca de un sitio de Dick Springs. La relación media para la muestra del pantano es de 0,93 y el coeficiente de variación es 15 por ciento. Estos valores pueden ser comparados con la muestra del horizonte C de Dick Springs en la lista del Cuadro 8. Las muestras de algunos pantanos produjeron valores algo más altos que los esperados para el Mazama. Estos efectos parece que se relacionan con la meteorización, tal como se anotó para los horizontes superiores del suelo.

Discontinuidades del Perfil

Las técnicas del análisis de activación tienen aplicación en el estudio de discontinuidades en el perfil. En nuestro caso, queríamos saber si la discontinuidad en el tamaño de las partículas (horizontes C1 – C2) tenía correlación también con diferencias en la composición química. Los análisis preliminares de los datos indican que las composiciones son las mismas dentro de la exactitud de las determinaciones.

Inclusión de Fenocristales (Vidrio comparado con Muestras completas):

Las fracciones de vidrio se usaron en la mayor parte de nuestras investigaciones para evitar la confusión posible con diferentes contenidos de minerales. El efecto de las inclusiones minerales se comprobó comparando muestras completas con fracciones separadas de vidrio de pómez del Mazama y del Glacier Peak. Aunque la presencia de minerales en la muestra del Mazama no cambió materialmente la relación media, fueron afectadas en cambio las cantidades de elementos individuales (Cuadro 11). El contenido de tierras raras permaneció mientras que había incrementado en Fe, Sc y Cr. Los fragmentos de pómez del Mazama contienen alrededor de 15 por ciento de minerales en volumen. Los efectos de las inclusiones minerales serían más acentuados en muestras de ceniza fina, que contienen mayor cantidad de minerales (Cuadro 2). La piedra pómez del Glacier Peak tiene contenidos mayores de fenocristales que la del Mazama y los aumentos en ellos fueron muy notables.

Distribución Regional

Se ha informado que los depósitos de ceniza volcánica de lugares tan lejanos entre sí como Edmonton, Alberta, Canadá y los depósitos oceánicos del Cono de Astoria en la desembocadura del río Columbia, son del Mazama (8, 16). Los análisis de muestras de estos depósitos dieron valores que concuerdan muy bien con la composición normal del Mazama. Esto demuestra la utilidad de las técnicas de activación de neutrones para correlacionar depósitos de cenizas en grandes distancias.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLISON, I. S. 1966. Fossil Lake, Oregon: Its geology and fossil faunas. Oregon State Univ. Press, Corvallis, Oregon.
2. CRANDELL, D. R., D. R. MULLINEAUX, R. D. MILLER y M. RUBIN. 1962. Pyroclastic deposits of recent age at Mount Rainier, Washington. U. S. Geol. Surv. Prof. Paper 450-D, p. 64-68.
3. CZAMANSKE, G. K. y S. C. PORTER. 1965. Titanium dioxide in pyroclastic layers from volcanoes in the Cascade Range. *Science* 150:1022-1025.
4. FRYXELL, R. 1965. Mazama and Glacier Peak volcanic ash layers: Relative ages. *Science* 147:1288-1290.
5. GORDON, G. E., K. RANDLE, G. G. GOLES, J. B. CORLISS, M. H. BEESON y S. S. OXLEY. 1968. Instrumental activation analysis of standard rocks with high-resolution X-ray detectors. *Geochim. Cosmochim. Acta* 32:369-396.
6. HIGGINS, M. W. y A. C. WATERS. 1968. Newberry caldera field trip. In: *Andesite Conference Guidebook*, Bull. 62, State of Oregon, Dept. of Geology and Mineral Industries.
7. MULLINEAUX, D. R. 1964. Extensive recent pumice lapilli and ash layers from Mt. St. Helens volcano, southern Washington (abst.): *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 76, p. 285.
8. NELSON, C. H., L. D. KULM, P. R. CARLSON y J. R. DUNCAN. 1968. Mazama ash in the Northeastern Pacific. *Science* 161:47-49.
9. POWERS, H. A. y R. E. WILCOX. 1964. Volcanic ash from Mount Mazama (Crater Lake) and from Glacier Peak. *Science* 144:1334-1336.
10. SCHMITT, R. A., R. H. SMITH y G. G. GOLES. 1965. Abundance of Na, Sc, Cr, Mn, Fe, Co and Cu in 218 individual meteoritic chondrules via activation analysis, *J. Geophys. Res.* 70(10):2419-2444.
11. SMITH, D. G. W. y J. A. WESTGALE. 1969. Electron probe technique for characterizing pyroclastic deposits. *Earth and planetary Science Letters* 5:313-319.
12. STEEN, V. C. y R. FRYXELL. 1965. Mazama and Glacier Peak pumice glass: Uniformity of refractive index after weathering. *Science* 150:878-880.
13. TAYLOR, E. M. 1965. Recent volcanism between Three Fingered Jack and North Sister, Oregon Cascade Range. *The Ore Bin* 27:121-147.
14. TAYLOR, E. M. 1968. Roadside geology Santiam and McKenzie Pass highways, Oregon. In: *Andesite Conference Guidebook*, Bull. 62, State of Oregon Dept. of Geology and Mineral Industries.
15. THEISEN, A. A., G. A. BORCHARDT, M. E. HARWARD y R. A. SCHMITT. 1968. Neutron activation for distinguishing Cascade Range pyroclastics. *Science* 161:1009-1011.
16. WESTGATE, J. A. y A. DREIMANIS. 1967. Volcanic ash layers of recent age at Banff National Park, Alberta, Canada. *Canad. Jour. Earth Sci.* 4:155-161.
17. WILCOX, R. E. 1965. Volcanic-ash chronology. In: *The Quaternary of the United States*, VII INQUA Congress, Princeton Press.
18. WILLIAMS, H. 1942. The geology of Crater Lake National Park, Oregon. Washington. 162 p. Carnegie Institute of Washington, Publication No. 540.

B.5.9

CUADRO 1. Fuentes y cronología de algunos depósitos de cenizas del Cuaternario en el noreste de los Estados Unidos.

Cenizas o capas	Fuente	Edad (aprox. años D.C.)	Referencia
T	Mt. St. Helens, Washington	167	Mullineaux (7)
W	Mt. St. Helens, Washington	300	Crandell 'et al' (2)
C	Mt. Rainier, Wwashington	1,000 – 3,000	Crandell 'et al' (2)
Newberry	Newberry Crater, Oregon	2,000	Higgins and Waters (6)
Y	Mt. St. Helens, Washington	3,200	Crandell 'et al' (2) Westgate and Dreimanis (16)
O	Mt. Mazama, Oregon	6,600	Williams (18) Crandell 'et al' (2) Powers and Wilcox (9) Wilcox (16) Allison (1)
R	Mt. Rainier	8,750	Crandell 'et al' (2)
Glacier Peak	Glacier Peak, Washington	12,000	Powers and Wilcox (9) Fryxell (4)

CUADRO 2. Relación entre distancia y contenido de vidrios en la fracción de arenas finas en cenizas del Mazama (Muestras del horizonte C).

Lugar	Distancia desde la fuente (km)	% vidrios
South Ochoco Butte	222	40
Day Creek	304	59
Dick Springs	445	72
Huckleberry Springs (lump pumice)	50	82

CUADRO 3. Mineralogía de depósitos de cenizas del noreste de los Estados Unidos (%).

	Washington*					Alberta**		
	O Mazama	Y St. Helens	W St. Helens	R Rainier	C Rainier	Mazama	Y St. Helens	Bridge River
Hypersteno	> 50	R	> 50	V	> 50			
Hornblenda	5 – 50	> 50	5 – 50	V	< 5	> 50	10 – 50	10 – 50
Augita	5 – 50			V	5 – 50			
Oxyhornblenda				V		5 – 10	R	< 5
Orthopyroxena						< 5	R	10 – 50
Clinopyroxena						R		< 5
Biotita						R?	R	< 5
Apatita						R		R
Cummingtonita							10 – 50	
Índice de refracción de vidrios	1.50–1.51	1.50–1.51	1.49–1.50	1.52–1.57	1.50–1.53	1.504–1.514	1.502–1.520	1.496–1.504

* Crandell 'et al' (2) Muestras de cercanía del Mt. Rainier, Washington.

** Westgate and Dreimanis (16). Muestras de Alberta, Canadá.

R Raro
V Variable

B.5.10

CUADRO 4. Composición promedio (%) de vidrios volcánicos (Datos de Smith & Westgate, 11).

	M a z a m a	Glacier Peak	St. Helens—Y	Bridge River
SiO ₂	72,27	76,51	74,80	72,95
TiO ₂	,49	,24	,17	,44
Al ₂ O ₃	14,85	13,44	14,70	14,64
Fe ₂ O ₃ + FeO	2,02	1,11	1,39	1,85
MnO	,04	,03	,03	,05
MgO	,53	,28	,46	,54
CaO	1,61	1,32	1,81	1,65
Na ₂ O	5,23	3,92	4,45	4,77
K ₂ O	2,67	2,96	2,01	2,86
P ₂ O ₅	,06	,02	,04	,04
Cl	,18	,18	,11	,15
F	,05	—	,02	,07

CUADRO 5. Composición elemental promedio, estadística cuantitativa y variabilidad de campo en cenizas del Mazama (21 muestras).

Elemento	Concentration* ±s	Coeficiente de Variación (%)		
		Discretas	Campo	
Na	3,47%	,07	2	5
Rb	55	11	20	20
Cs	3,73	,52	14	14
Ba	679	48	17	16
La	21,6	1,5	7	9
Ce	42,4	1,3	3	5
Nd	25,5	9,9	39	34
Sm	4,99	,10	2	7
Eu	,81	,09	11	13
Tb	,87	,26	30	21
Yb	3,49	,49	14	16
Lu	,58	,10	17	15
Th	5,88	,29	5	13
Hf	6,30	,19	3	4
Ta	,25	,06	23	39
Co	2,51	,48	9	15
Fe	1,46%	,03	2	5
Sc	6,24	,12	2	5
Cr	1,6	1,2	73	36

* ppm excepto para Na y Fe, los cuales están en porcentaje.

B.5.11

CUADRO 6. Composición promedio en descuentos pesados de materiales piroclásticos de diferentes lugares en Cascade Range (sino indicado, ppm)

Elemento	Mazama C1 (4 muestras)	Mazama C2 (4 muestras)	Newberry (3 muestras)	Glacier Peak (3 muestras)	St. Helens—Y (2 muestras)
Na(%)	3.26	3.54	3.71	2.12	2.29
Rb	52.	48.	96.	41.	34.
Cs	3.73	3.39	4.85	2.54	1.90
Ba	611.	659.	625.	346.	217.
La	22.	20.5	33.5	15.3	16.6
Ce	44.5	42.4	43.7	25.9	22.5
Nd	28.3	29.6	22.4	7.9	16.6
Sm	5.09	4.99	7.09	2.05	2.64
Eu	.90	.75	.72	.49	.45
Tb	.79	.86	1.22	.23	.53
Yb	3.59	3.49	6.56	.80	.70
Lu	.55	.57	.94	.23	.22
Th	6.35	5.94	12.93	6.41	3.59
Hf	6.55	6.24	8.95	2.52	2.14
Ta	.30	.17	1.02	.28	.33
Co	2.81	2.48	1.18	2.86	2.83
Fe(%)	1.52	1.46	1.52	1.02	1.18
Sc	6.61	6.24	6.24	3.12	2.50
Cr	1.62	1.47	2.53	1.99	2.20

CUADRO 7. Relaciones elementales medias para cenizas de diferentes lugares en relación al Mazama;

Source of Ash	Mean Ratio*	Percentage C. V.
Mazama C1	1.03	15
Mazama C2	.97	16
Newberry	1.47	52
Glacier Peak	.65	53
St. Helens—Y	.65	48

* $\frac{\sum (C_x)_Z}{(C_x)_M}$ / No. elementos

donde $(C_x)_Z$ composición del elemento x de una muestra en comparación a la del Mazama.

$(C_x)_M$ promedio de la composición del elemento x por 21 muestras de cenizas del Mazama.

CUADRO 8. Relaciones medias de elementos en muestras del horizonte C en una transacción de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Lugar	Distancia del lugar (km)	Relación promedio* C.V. %
Huckleberry Springs (Sec. 36, T.27S, R9E., W.M.)	50	0.99 10
South Ice Cave (Sec. 13, T.23S., R.13E., W.M.)	107	1.38 34
South Ochoco Butte (Sec. 11, T.13S., R.20E., W.M.)	222	1.05 22
Day Creek (Sec. 24, T.11S., R.30E., W.M.)	304	.92 15
Dick Springs (Sec. 11, T.3N., R.37E., W.M.)	445	.99 15

* Promedio de elementos menores en relación a la composición promedio del Mazama.

CUADRO 9. Cambios en la composición en elementos menores con la profundidad del suelo debidos a la meteorización (Muestras de Day Creek).

Horizonte	Profundidad (cm)	Relación promedio *	Porcentaje C.V.
AI	0-25	1.28	78
AC	25-45	1.29	55
C1	45-60	1.13	26
C2	60-72	.92	15

* Promedio de elementos menores en relación a la composición promedio del Mazama.

CUADRO 10. Composición en elementos menores de la fracción $< 2\mu$ en comparación con la fracción de vidrios $123-63\mu$ (Muestras de Day Creek).

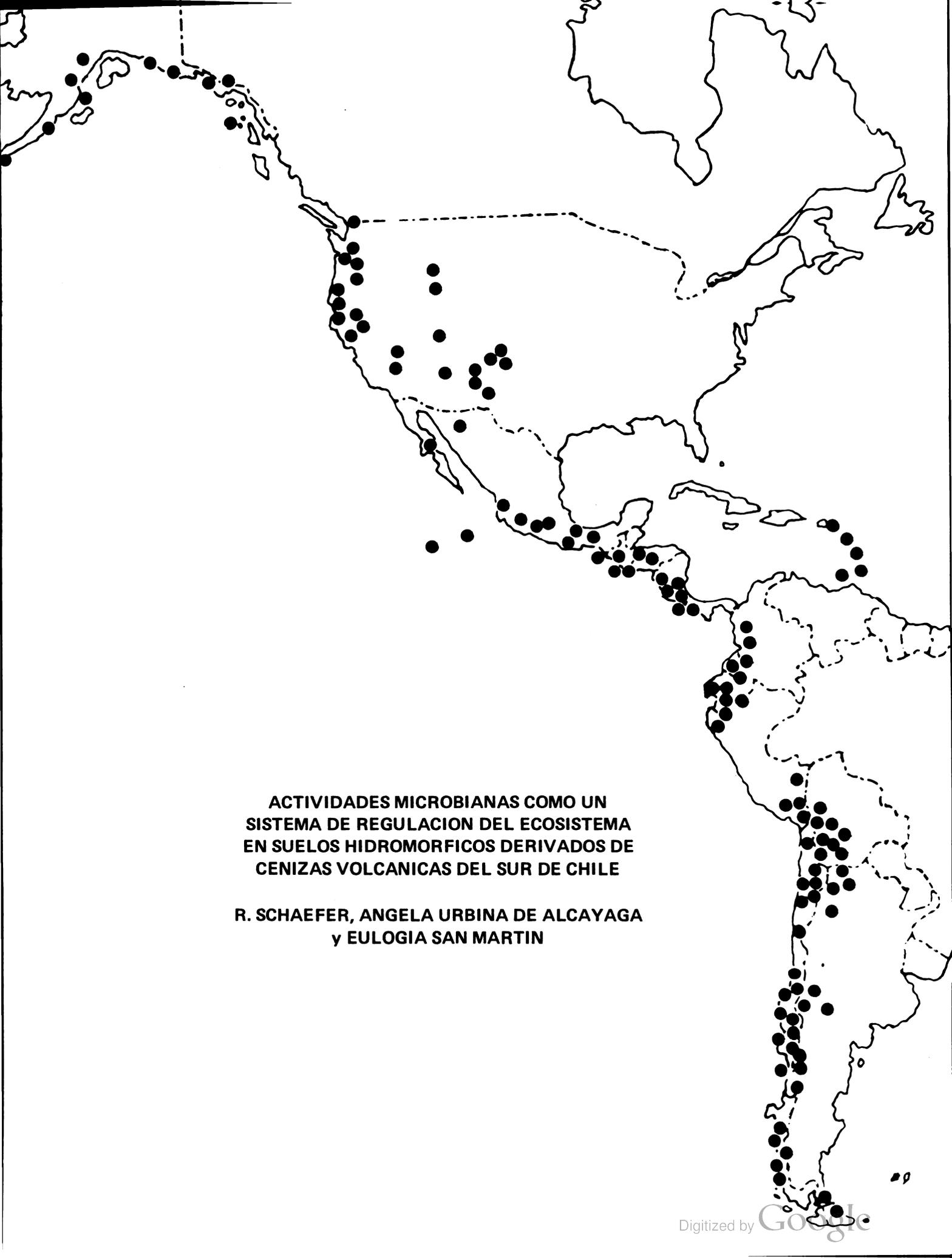
Horizonte	Profundidad (cm)	Relación promedio *	Porcentaje C.V.
AI	0-25	2.92	100
AC	25-45	2.95	91
C1	45-60	2.54	66
C2	60-72	2.22	44

* Promedios de relaciones de elementos menores de la fracción $< 2\mu$ en comparación a la composición promedio de vidrios del Mazama.

CUADRO 11. Efecto de inclusiones minerales en la composición en elementos menores (Muestras completas vs. vidrios solos).

	Mazama		Glacier Peak	
	Vidrio	Pómez fragmentada	Vidrio	Pómez fragmentada
Relación promedio *	1.05	1.09	0.36	1.02
% C. V.	14	22	49	91
Tierras raras *	1.13	1.12	.38	.83
Co (ppm)	3.05	2.36	1.40	5.94
Fe (%)	1.49	2.13	.52	1.85
Sc (ppm)	6.82	7.78	1.77	6.12
Cr (ppm)	1.00	2.80	.80	7.00

* Relacionado con la composición media de vidrios del Mazama.



**ACTIVIDADES MICROBIANAS COMO UN
SISTEMA DE REGULACION DEL ECOSISTEMA
EN SUELOS HIDROMORFICOS DERIVADOS DE
CENIZAS VOLCANICAS DEL SUR DE CHILE**

**R. SCHAEFER, ANGELA URBINA DE ALCAYAGA
y EULOGIA SAN MARTIN**

ACTIVIDADES MICROBIANAS COMO UN SISTEMA DE REGULACION
DEL ECOSISTEMA EN SUELOS HIDROMORFICOS DERIVADOS
DE CENIZAS VOLCANICAS DEL SUR DE CHILE

R. Schaefer, Angela Urbina de Alcayaga y Eulogia San Martín*

Los suelos derivados de cenizas recientes cubren áreas de Chile en las faldas de los Andes y en el Valle Central. Se reconocen generalmente dos tipos principales de suelos, los cuales están relacionados con cadenas topográficas: los "ñadis" en los cuales una capa de agua freática satura todo el perfil desde el otoño hasta el verano, y los "ñadis secos" en los cuales los ñadis son suelos generalmente secos.

Las características físico-químicas y biológicas muy peculiares y muy poco conocidas.

El estudio sobre el papel que juegan los microorganismos en la ecología y la biología, y los resultados de los análisis de los ñadis serán participes en la biocenosis como parte de la evaluación del sistema.

11CA
P1915CV
1969

El estudio (provincia de Osorno) muestra una capa muy delgada de restos orgánicos (0-40 cm) pardo oscuro a negro, muy permeable, donde la capa superior es moderadamente granular (a) muy fina subangular y una red bastante densa (10-40) muestra un cambio progresivo en la estructura de moderadamente fina. El límite con el horizonte mineral es una capa muy delgada con coloides orgánicos llamado "fierrillo", cuya presencia es característica en los suelos ñadi.

Las arenas de origen fluvio-glaciales, estratificadas y compactas. No es visible la estructura de las muestras del horizonte orgánico (capa alta y baja) indican: alta conductividad eléctrica (37%), punto de marchitez alto (37%), alta porosidad (80%), alta microporosidad (10-18%), nitrógeno (0,65-1,48%), baja densidad aparente (1,1-1,3), relación C/N (11,3-13,1) indica que el humus está perfectamente equilibrado. La temperatura del suelo, entre -30 y -70 cm, pero en verano baja notablemente hasta -150 cm, estable y gira alrededor de 11,5°C. Los cationes esenciales del agua freática (ppm); Fe no se encuentra. La fracción de arcilla consiste esencialmente de

arcillas.

La vegetación "ñadi"

La vegetación natural que cubre a los "ñadis" es característica de áreas forestales con gran cantidad de biomasa, pero de baja producción. Estas forestas están compuestas principalmente por especies laureaceas, siempre cubiertas de hojas y su tipo es muy cercano a las forestas valdivianas lluviosas de áreas templadas (*Nothofago-Eucryphia*). Está formada por elementos netamente tropicales relictuales: Gesneriaceae (epifíticas y trepadoras), Proteaceae, Mirtaceae, Liliaceae, Araliaceae (lianas) Moniniaceae, Hymenophyllaceae y también componentes antárticos como *Nothofagus* (Fagaceae) y *Aristotelia* (Elaeocarpaceae). Estos componentes se desarrollan adecuadamente por la constante humedad del aire y la ausencia de heladas, la última favorecida por la baja temperatura del aire y el agua freática. Estas dos últimas especies muestran tolerancia a la relativa sequedad del suelo en verano.

Esta mezcla de vegetación tuvo su origen bajo las condiciones de temperatura no tan extremas alcanzadas durante la glaciación en el hemisferio sur y también por la proximidad del mar, regulando y actuando como un factor térmico y permitiendo la existencia de cuevas templadas, en las cuales se inició la recolonización. Las áreas forestales ñadi muestran variaciones edáficas muy amplias, debidas a la profundidad del suelo arriba del fierrillo y también debido al régimen de la tabla de agua. Las especies forestales dominantes son: *Nothofagus dombeyi*, *N. obliqua*, *Drymis vinteri*, *Laurelia sempervirens*, *Embothrium coccineum*, *Lomatia hirsuta*, *Eucryphia cordifolia*. El sistema radicular de todos estos árboles es muy superficial. La cubierta inferior es muy tensa, formada a base de musgos y líquenes pequeños. Oviamente, hay que tomar en cuenta la flora epifítica bastante densa, principalmente criptógamas y su estratificación en la definición de la comunidad vegetal.

* Oficial Técnico, Sc.D., UNDP/SF/FAO/113/Chile (Fac. Ciencias, Univ. París, Francia), Agr., Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile, y Agr. Dept. Agrología, Div. Conserv., SAG, Proyecto N.U., Santiago, Chile, respectivamente.

Condiciones Climáticas

El clima regional es de tipo frío húmedo/templado; la lluvia anual es de alrededor de 1500 milímetros distribuidos con un 30% en otoño, 35% en invierno, 20% en primavera y 15% en verano. Mayo, junio y julio tienen cada uno más de 200 mm y, desde octubre hasta febrero, alrededor de 100 mm. La nubosidad es casi del 60% al año; la humedad relativa muestra un promedio anual del 82%, con muy pequeños cambios estacionales: otoño e invierno 86%, primavera 81% y verano 78%. La temperatura media anual es de alrededor de 10,3°C. La media de las máximas es de 14,8°C, la cual es también la media del mes más caluroso (enero); el promedio de las mínimas es 5,7°C, mientras que 6,5°C es el promedio del mes más frío (junio, julio). La evapotranspiración es alrededor de 25 y 50 cm/año en condiciones de campo abierto, con un máximo de 43 mm en enero y con un mínimo de 13,5 mm en mayo. Bajo condiciones forestales, la evapotranspiración es mucho más alta lo cual se debe a aguas subterráneas de nivel bajo.

El agua de lluvia que se percola a través del suelo es acumulada parcialmente en el perfil y equivale a 100–225 cm/año.

El microclima de la foresta típica de ñadis se caracteriza por una humedad relativa alta, un movimiento de aire muy reducido, ausencia de heladas, pero también por la proximidad de la capa de agua con una temperatura más o menos constante de 11,5°C, se presentan variaciones térmicas bastante pequeñas como las indicadas bajo las condiciones macroclimáticas. La estratificación de la vegetación y la densidad sirven como un fuerte filtro, presentando una baja incidencia de energía radiante en el ecosistema.

ACTIVIDAD DE LA MICROBIOCENOSIS

Ha sido iniciada una investigación completa sobre el mecanismo del funcionamiento de un ecosistema ñadi, modelando la actividad metabólica del grupo de microorganismos fisiológicamente seleccionados. Por eso, en este nivel de integración, se dio mucha mayor importancia a las actividades bioquímicas de la población en su medio natural, que a un reconocimiento descriptivo de los microorganismos.

Para alcanzar esta meta, era evidente que el mejor sistema sería un análisis factorial teniendo en cuenta diferentes tratamientos que eran considerados limitantes o estimulantes de los factores físicos y químicos y microclimáticos del medio. Para ello fueron aplicados diferentes nitratos *in situ*, en diferentes cantidades y forma variable, para evaluar su efecto en el metabolismo ñadi.

También se consideró la actividad actual, determinada bajo condiciones de campo, que a través del ciclo anual tienen también un efecto global sobre el ecosistema.

Además, si se compara el potencial de la actividad encontrado en diferentes experimentos bajo condiciones del medio controladas, se puede interpretar la variabilidad estacional por extrapolación y se pueden interpretar las vías de evolución.

Ciclo del Carbono

Mineralización del Carbono Orgánico. La producción de CO₂ no sólo refleja la actividad global en una micropoblación, el nivel de reactividad biológica, la integración del efecto de integrado del medio, sino también es una ligadura fundamental con el ciclo biogeoquímico, indicando que se producen aumentos de entropía en el sistema suelo a través de la mineralización.

Experimentos con suelo previamente condicionado *in situ*

Un número considerable de cajas de metal con suelo tamizado (2 mm, 750 mililitros) provenientes de 3 profundidades del suelo (0–10, 15–25, 20–40 cm), llevadas a la capacidad de campo y cerradas con una pieza de gasa de nylon, fueron colocadas invertidas tanto en la superficie del horizonte húmico como a otros dos niveles de profundidad. Algunas recibieron aplicaciones de sustratos: piruvato en polvo, NH₄, NO₃, alanina, K₂HPO₄, Al₂(SO₄)₃, solos o en combinaciones a diferentes niveles.

Entre las dos posiciones extremas dentro del perfil del suelo se tenían los extremos de modulación térmica, mucho más altos en la superficie del suelo y más bajos en las posiciones más profundas. La suma térmica recibida era, sin embargo, muy similar.

Las influencias de raíces y de la mesofauna y la lixiviación por el agua de lluvia fueron eliminadas y se probó que la aereación era adecuada.

B.6.3

Otra serie de cajas conteniendo muestras de suelo fresco fueron llevadas también al laboratorio donde fueron incubadas a 28°C. Así se obtenía la siguiente información: el efecto de la suma térmica recibida en el transcurso del tiempo, detallando el efecto de la oscilación térmica en el suelo.

El ataque del carbono mineralizable presente es acelerado en todos los casos a través de la homogenización de las muestras de suelo a través de su tamizado y aereación y llevado a la capacidad de campo. Las variaciones o pérdidas (Figura 1) sufridas *in situ* por una muestra del suelo superficial a la temperatura constante (posición 2) comparadas con la muestra sometida a oscilación periódica (posición 1) se compensan por una fase de aceleración cuando en ambas se tiene la misma influencia activadora correspondiente a los 28°C.

El paralelismo de las curvas después de un período o fase inicial de reajuste se traduce en la similitud de la actividad metabólica de la micropoblación en las 3 profundidades del horizonte orgánico.

La generalidad de los gráficos muestra cómo los procesos catabólicos en el ciclo del carbono sólo dependen de la disponibilidad de una fuente de carbono, cuando las condiciones del medio son mantenidas constantes, como en el caso del horizonte de la capa más profunda del suelo horizontal *in situ*. Los cambios paralelos con el tiempo de las dosis de mineralización son una evidencia de una regulación marcada, ya que ellas son proporcionales a las cantidades de humus presente.

Esto puede llevar a una estimación, en experimentos a largo plazo, del ciclo del humus del suelo bajo condiciones de campo.

Experimentos en suelos recibiendo varios sustratos e incubados bajo condiciones controladas

Se instalaron dos series, incubadas por 30 días a 28° después de recibir los siguientes tratamientos:

N mineral : NH_4NO_3 : 35, 350, 700 ppm
N orgánico : alanina : 700 ppm
P : KH_2PO_4 : 400, 4000, 16000 ppm
N (700 ppm, alanina) + P(400, 4000, 16000 ppm)
N (700 ppm, alanina) + Al (1000 ppm, $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$)

Una de las series recibió un tratamiento adicional de 1800 ppm de carbono como piruvato.

Una tercera serie fue incubada en forma alternada, 32 horas a 28°C y 16 horas a -15°C durante 30 días.

Los resultados obtenidos en la Figura 2 permiten los siguientes comentarios:

* N mineral:

En todos los casos, tanto en suelo solo como con piruvato, no se encontró efecto o en pocos casos una ligera depresión era evidente; esta última es más pronunciada en el suelo superficial y en el caso de las heladas o de la congelación del suelo.

* N orgánico:

Como el nitrógeno mineral no mostró ningún efecto, se puede asumir que la alanina fue utilizada como fuente de carbono. El incremento de las dosis de mineralización con la profundidad indica que el carbono disponible es un factor limitante importante en los suelos fñadis. Esto es más evidente en las capas o perfiles más profundos del suelo. En las tres profundidades: 6,5 – 28,9 – 40,3% del carbono teóricamente aplicado como alanina, fue recuperado respectivamente como $\text{C}(\text{CO}_2)$. Una fracción de este carbono fácilmente mineralizable fue inmovilizada biológicamente o probablemente ligada en formas de complejos organo—minerales.

* P Mineral:

Sólo en el nivel más alto (16000 ppm) se encontró una activación de la respiración, la cual es espectacular y continúa a través de todo el perfil y todo el horizonte húmico. La tasa de mineralización del C húmico aumentó, por este efecto, en 0,8, 1,4, 1,3% para las tres profundidades del suelo respectivamente, en los treinta días del ensayo. En las series sin el piruvato, se liberaron cantidades del humus del suelo equivalentes a 178, 8, 174, 1 y 148,9 miligramos, respectivamente. Con piruvato a 28° constantes se liberaron 150,3, 212,4, 138,7 miligramos de C respectivamente y con piruvato y enfriamiento en ciclos de 28°C, se encontró una liberación equivalente a 174,2, 241,2 y 149,0 miligramos, respectivamente. Estas cantidades corresponden al efecto de 0,45 hasta 0,75 gramos de piruvato, equivalentes a 1,2 hasta 1,5 gramos de materia orgánica/100 de materia orgánica; de 2,5 a 3,4 y de 2,1 a 2,3 en los niveles en las profundidades 0–10, 15–25, 20–45 cm, respectivamente. Esto lleva a una primera estimación del efecto activante del fósforo, el cual asciende notablemente a dosis situadas entre 4000 y 16000 ppm. Parece ser que el carbono disponible aplicado (piruvato) no fue recuperado totalmente a los 30 días como $\text{C}(\text{CO}_2)$. Así la cantidad de C liberado por acción de P, puede ser en realidad mucho más alta que la indicada a través de la producción de CO_2 .

B.6.4

* N orgánico + P:

Alanina fue usada como una fuente de carbono, la cual se añadió cuantitativamente al C liberado por acción del P de su sitio de adsorción en el suelo.

* N orgánico + aluminio:

La presencia de aluminio en cantidades bastante altas (1000 ppm) no influyó sobre la respiración, sólo en forma muy ligera en el subsuelo. En experimentos en invernadero se ha indicado que estas cantidades son tóxicas tanto para la germinación de la semilla como para el desarrollo de las plantas.

* C orgánico:

La adición de piruvato estimula fuertemente la respiración; la tasa de mineralización aumentó con la profundidad, lo cual indica que el C es un factor limitante en horizontes más profundos que el horizonte orgánico. Del carbono aplicado o añadido, se recuperaron 30, 0–42, 1 y 55,0% en forma de C(CO₂) en las tres diferentes profundidades, respectivamente.

Si se considera la suma térmica recibida por las muestras de suelo, la influencia del enfriamiento repetido es positivo; este efecto es mucho más pronunciado en las capas u horizontes más profundos que en horizontes superficiales. Las curvas acumulativas de producción de CO₂ son muy similares en sus tendencias cuando se comparan con la serie incubada a 28°C, lo cual indica la presencia de una microbiocenosis relictual, adaptada formalmente a las condiciones extremas y repetidas de frío.

* Suelo natural (control):

En este caso, la curva acumulativa de producción de CO₂ es lineal en todas las tres profundidades del suelo y durante los 30 días del experimento. El carbono orgánico del suelo húmico mineraliza a una tasa baja pero constante, lo cual no es modificado tampoco por una congelación repetida.

Las tasas de mineralización son similares en las 3 muestras, lo que indica cierta homogeneidad en la calidad del humus. De todo lo expuesto, se puede concluir que el carbono orgánico nativo del suelo mineraliza en forma adecuada y que el carbono añadido al suelo es mineralizado en una forma más rápida.

Los resultados expuestos para los diferentes tratamientos, llevan a la conclusión de que en estos suelos ñadi existe una micropoblación potencialmente activa en la mineralización, la cual está limitada por la falta de un sustrato adecuado.

Controversialmente, la acción desortiva del P demuestra la presencia del carbono fácilmente mineralizable en el suelo; éste es, sin embargo, protegido del ataque microbiano.

Degradación de celulosa bajo condiciones de campo

Para obtener información sobre la tasa de desaparición de la celulosa *in situ*, una gran cantidad de bolsas de gaza de nylon de trama fina, conteniendo 5 gramos de papel de filtro libre de cenizas, fueron colocadas a 3 profundidades en un perfil de suelo ñadi a 5, 20 y 35 cm. Los resultados obtenidos han sido sumariados en el Cuadro 1. Se observa que la celulosa es degradada rápidamente hasta un punto en el cual el déficit de nitrógeno viene a ser el factor limitante. Ni la falta de aereación o la modulación térmica limitada explicarían el descenso de la actividad de la celulolítica con la profundidad. Una respuesta adecuada a esta pregunta se encontró al colocar papel de filtro alrededor de un sustrato gelatinoso.

CUADRO 1. Degradación de celulosa en un suelo ñadi (en % de peso)

Profundidad (cm)	Tiempo transcurrido (meses) a partir del 13–9–68				
	2	3½	5	6½	8
5	5,5	30,6	61,1	72,4	80,4
20	4,6	16,9	42,3	56,6	62,6
35	3,9	4,5	23,9	41,0	41,6

Actividad de la deshidrogenasa

La actividad de la micropoblación se mide en un determinado momento, a través de la producción de CO₂, el cual fluctúa como función de los diferentes factores del medio que afectan la biocenosis. La respiración de un suelo está en relación directa con el grado de oxigenación. Sin embargo, el concepto de oxidación se puede extender a la

transferencia de electrones: el nitrógeno extraído del carbono contenido en sustratos es activado y después transferido por actuación de sistemas de deshidrogenasas a receptores intermediarios o terminales. Las deshidrogenasas absorbidas en complejos arcillas—humus son temporalmente estables y su actividad fluctúa menos que la producción de CO_2 en el transcurso de un ciclo estacional. Aunque no dependen del oxígeno molecular, ellas presentan sin embargo una actividad oxidativa “*sensu lato*”.

Durante el transcurso de los experimentos con adición de diferentes sustratos se determinó la actividad deshidrogenasa a través del aumento en la producción de CO_2 . La actividad de la deshidrogenasa fue observada y se encontró que es bastante uniforme, oscilando entre 5 y 30 ml H/20 g de suelo seco/24 horas, con un promedio alrededor de 10. Las capas más profundas del horizonte orgánico son muy activas; esto se nota en forma mucho más intensa si se expresan los resultados por 100 gramos de C orgánico. Ciclos de enfriamiento previo llevan a una ligera estimulación. El fósforo aplicado a su más alto nivel (16000 ppm) llevó a una respuesta excepcionalmente elevada: más que 70 ml H/20 gramos de suelo seco/24 horas para la profundidad de 15 a 25 cm. El aluminio (1000 ppm) llevó a una ligera disminución de la actividad de deshidrogenasa.

Ciclo del nitrógeno

Mineralización del nitrógeno orgánico. Se estudió la dinámica del nitrógeno orgánico bajo el mismo diseño experimental, ya que se había establecido por un lado que la mineralización del C orgánico disminuye *in situ* por las condiciones térmicas y más que todo bloqueado por las características de los fenómenos de absorción físico—químicos en el complejo de intercambio y por otro lado considerando los valores de la relación C/N de los fñadis; además, se logra así información sobre la interrogante de las relaciones entre los ciclos de C y N.

Acumulación de nitrógeno mineral en condiciones de campo

Muestreos frecuentes de suelos han indicado de que en verano se produce una acumulación grande de NO_3^- en el horizonte superficial y bajo cubierta forestal que llega hasta 200 ppm de N. En el invierno, debido a la lluvia y a la humedad del suelo, lo cual lleva muchas veces a puntos arriba del punto de capacidad de campo, los valores encontrados de nitratos son mucho más bajos y nunca sobrepasan de 10 y 20 ppm de N. Utilizando el método experimental antes explicado (cajas de metal invertidas) se colocaron muestras de suelo *in situ* y se extrajo el nitrógeno mineral en el transcurso del tiempo. Esto permitió ganar datos acerca del balance del nitrógeno durante un ciclo anual, pues se eliminaron las pérdidas a través de la lixiviación y la actuación de las raíces de las plantas y de la mesofauna. Además, se tomaron muestras del suelo de las cajas que fueron incubadas en el laboratorio a 28°C, demostrando la actividad potencial bajo la influencia de ciertos factores térmicos, pero reflejando al mismo tiempo el 10% del incremento y la interdegradación y el efecto de las condiciones en las cuales había sido expuesto el suelo anteriormente en el campo. Los nitratos se acumularon *in situ* constantemente en los tres suelos, pero mucho más en las muestras de la capa superficial del mismo. La fluctuación estacional de los valores obtenidos *in situ* indican que hay partes de muy marcada inmovilización del nitrógeno mineral producido, especialmente en las muestras superficiales en la profundidad del suelo.

Efecto de la adición de sustrato en la acumulación de nitrógeno mineral bajo condiciones de laboratorio

Los tratamientos fueron los mismos aplicados a aquellas muestras en las cuales se hizo una determinación de la producción de CO_2 (Figura 3). Así, una vez más, es evidente la ausencia de un efecto sobre el nitrógeno mineral. La adición de piruvatos lleva a la inmovilización del nitrógeno mineralizado. La alanina es amonificada en menos de 10 días y su conversión en nitratos es mucho más rápida en presencia de piruvato (60 días) que sin él. El fósforo, al nivel de 16000 ppm, libera una gran cantidad de NH_4 , el cual se empieza a nitrificar después de 30 días. El efecto de la alanina aplicada conjuntamente con aluminio es comparable a la alanina sola; sólo se observa una ligera disminución de la nitrificación después de 75 días.

La tasa de mineralización indica que cuando se añade nitrógeno al suelo se produce una activación de la función catabólica del mismo. El efecto del P depende probablemente de la liberación masiva de NH_4 y su nitrificación posterior. El piruvato y también la alanina, llevan a la inmovilización de N mineralizado y aceleran la nitrificación, así como en en la presencia de cantidades bastante altas de P.

Reducción desasimilativa de los nitratos. Esta función fisiológica corresponde a enaerobios facultativos. La respiración del nitrato está ligada a la reducción de un receptor de un electrón terminal exógeno, unida a la oxidación de un sustrato energético. Este tipo de metabolismo conduce a una evolución molecular N_2 y funciona tal como el sustrato está disponible. La medida de la cantidad de sustratos energéticos naturales presentes en el suelo o liberados bajo la influencia de los tratamientos dados, permite interpretar la situación. Esto fue lo que se

B.6.6

trató en el presente caso. Los ensayos anteriores han indicado que P, a un nivel situado entre los 4000 y 16000 ppm, libera una suma considerable de sustancia húmica fuertemente absorbida en el complejo de cambio. Estas sustancias, ácidos fúlvicos un poco polimerizados, con un poder reductante fuerte, representan un potencial energético el cual es estabilizado en frente del catabolismo microbiano, por el efecto protector de la alofana.

En la Figura 4 se observa el efecto de varios tratamientos aplicados a un gran número de muestras de la capa superior del suelo, incubadas a 28°, saturadas con agua, en bolsas de polietileno (50 g suelo seco, 0–10 cm). Han sido investigados tanto el efecto de cationes (Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{++} , Mg^{++}) como el de aniones. Si se compara la proporción inicial de reducción de los nitratos durante los primeros 10 días, se retarda al pasar de cationes monovalentes a cationes bivalentes y dentro de este último grupo de una relación: PO_4^{3-} /catión de 0,5 – 1,0 a 1,5. La fracción del humus fácilmente disponible constituye la única fuente de energía. El efecto del P es comparable con el de la glucosa al aplicarse estos elementos separadamente y también combinados en varias proporciones. La glucosa en dosis de 5000 ppm de C, induce en dos días en todos los casos a una denitrificación total de los 750 ppm del $\text{N}(\text{NO}_3)$ agregado, no importa el catión implicado. Este efecto no es modificado por una adición de 4000 a 16000 ppm de P. 500 ppm de glucosa –C dan la misma respuesta en todos los casos. Solamente después de 18 días es alcanzada una denitrificación de 100% en la marcha de una reacción marcadamente regular. El P, en una dosis de 4000 ppm, da un efecto inicial acelerante al ser comparado con el nitrato solo; el efecto del catión es evidente en la presencia de P o del nitrato solo, pero no en la presencia de la glucosa más el nitrato.

En la dosis 16000 ppm, el P acelera notablemente la reducción: con KH_2PO_4 y $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ este efecto es mucho más alto que con 500 ppm C (glucosa) y con CaHPO_4 ; con CaHPO_4 y $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ es muy parecido.

Los extractos de KCl del suelo después de incubación son todos incoloros, con la excepción de aquéllos donde el P ha sido aplicado al nivel de 16000 ppm; fueron amarillos con P solo, café amarillentos con P más 500 ppm C (glucosa), café con P + 5000 ppm C (glucosa).

No se podría interpretar que el hierro fue la causa por la cual la materia húmica fue extraída. En estos casos, la estructura del suelo sufrió un cambio causando una reducción notable en la permeabilidad. La evolución de gas ha sido cuantiosa en las muestras denitrificantes, la aparición de burbujas indicando el comienzo de la actividad, la cual no fue acompañada por la producción de ácidos grasos volátiles.

Ensayos hechos pero no representados en la Figura 4 se refieren a adiciones de NaH_2PO_4 , $\text{NaNO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$, comparable con $\text{KNO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$ y también $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$. En este último caso, la velocidad de la desaparición de nitrato es similar a la del tratamiento con aplicación de $\text{KNO}_3 + \text{KH}_2\text{PO}_4$, pero se redujo con nitrato solo y mucho más con glucosa (500 ppm C).

La desaparición de los nitratos no está influida por la presencia de una alta cantidad de NH_4 (hasta 780 ppm).

En el caso de una dosis alta de P (16000 ppm), la acumulación de NH_4^+ sigue después de la debilitación de los nitratos presentes. Esto es más notable con P solo y varía en las series descritas en la Figura 4 de 220 a 60 ppm $\text{NH}_4\text{—N}$. Tales efectos detrimentes también son evidentes en el caso de P más glucosa y mucho más con 500 ppm C que con 5000.

Estos experimentos, globalmente, suplen una primera valoración de las modalidades que gobiernan la denitrificación en los suelos ñadi, regulados *in situ* y limitados por el nivel de sustratos energéticos disponibles.

Interdependencia de los ciclos C y N. La lenta mineralización del humus bajo condiciones naturales es consecuencia de la influencia de factores físico—químicos del ambiente y da evidencia de las estrechas interrelaciones bioquímicas en los dos ciclos.

El C asimilable disponible bajo condiciones naturales es escaso y limita la actividad biológica. La adición de suelo a un sustrato energético elimina fácilmente esta limitación y prueba la existencia de una microbiocenosis potencialmente más activa. Estos sustratos existen en los ñadi en considerables cantidades, pero están bloqueados por la absorción, tal vez en la forma de complejos organo—minerales. Este es un hecho que abre perspectivas muy interesantes. Los fosfatos aplicados a un nivel muy alto, el cual no está relacionado con la nutrición de las plantas superiores, libera estos elementos y también altas cantidades de amonio. Esto se mantiene bajo condiciones aeróbicas lo mismo que anaeróbicas. La reducción desasimilativa de nitratos sólo funciona en la presencia de una fuente de C asimilable. Bajo condiciones naturales, la denitrificación es muy limitada.

Una activación térmica *in vitro* no tiene efecto. El P, a una dosis de 1600 ppm, es capaz de desplazar los aniones orgánicos de su sitio de absorción e iniciar una denitrificación en forma muy conveniente, equivalente o superior en su efecto a ese de 500 ppm C (glucosa). Esto también indica que, al menos, tal cantidad ha sido absorbida, estabilizada por el complejo de cambio. N no es más que un factor limitante secundario en las actividades

metabólicas de los ñadi *In vitro*, N orgánico mineraliza sin dificultad, la velocidad de amonificación es alta, pero esta actividad sólo toma lugar y va hacia la terminación si los heterotropos interesados pueden atacar al C y hacerlo disponible.

La inmovilización del N mineral es potencialmente muy eficaz y está limitada, bajo condiciones de campo, por un déficit del C disponible. Así, el tamaño de la micropoblación es gobernado y consecuentemente el proceso de mineralización es mantenido a un nivel bajo constante.

REGULACION DEL ECOSISTEMA

El suelo como un sistema

Ecología es el estudio de un sistema funcionando e interactante, compuesto de uno o más organismos vivos y su ambiente, tanto físico como biológico. Un análisis adecuado de los ecosistemas es difícil por la complejidad y diversidad de los organismos participantes. Además de esta complejidad, el estudio detallado de los factores en forma aislada se dificulta por las correlaciones de ciertos fenómenos o medidas exactas de un factor aislado. Situaciones complejas son posiblemente comprendidas por medio de procesos mentales subconscientes, basados en conocimientos íntimos de las condiciones de campo. Es posible una comparación de los ecosistemas en términos de su propia complejidad; así, la naturaleza de un sistema puede ser apreciada siguiendo los cambios en el grado de la organización de la complejidad o estableciendo lo que queda constante y lo que cambia, poniendo énfasis en el patrón de los hechos, entre uno y otro. Medida de las diferencias de energía inducidas por los rasgos climáticos, estimación de la productividad, del orden de organización tan evidente en patrones reguladores, como espaciar en la vegetación o desarrollo del horizonte del suelo, son métodos racionales y efectivos de trabajo que dan descripciones comparables, útiles en los ecosistemas.

Un análisis gradual basado en estimar la disminución y dirección de los elementos de sucesión ambiental, diversidad del tamaño y balance del biota, esto es, sistemáticos, diversidad evolucionaria, diversidad de los recursos explotados, son aproximaciones al patrón de los componentes de complejidad.

Comunidades clímax son aquéllas en las cuales existen un ámbito y grado de explotación mayor o utilización de los recursos disponibles en el ambiente, lo cual involucra una gran diversidad en la biota y mayor interdependencia de los organismos integrantes de la comunidad.

Aún más significativa es la complejidad organizada, que es una función del contenido de energía, el cual aumenta con el grado de complejidad y de organización. Una falta de energía potencial, u organización, desorden, desconcierto, hacen un concepto de entropía, el cual describe un aspecto del ecosistema. Fotosíntesis, humificación, elaboración de organismos, significan una entropía decreciente, colapso de la organización del sistema, reducción de su complejidad y aumento de la entropía. Un rasgo importante del sistema, observable durante cualquier tiempo de incremento, es por lo tanto el nivel de entropía, importante porque la complejidad asegura estabilidad, un estado fijo del ecosistema. Cuando la entropía aumenta, una pequeña cantidad de energía queda para el funcionamiento del mismo sistema y para explotación. El cambio sería de simplificación, siendo la velocidad del cambio la más significativa.

Originalidad y funcionamiento del ecosistema ñadi

Suelo

La alofana, predominante en la fracción arcillosa del ñadi: dirige la naturaleza y propiedades del microambiente, bajo las condiciones dadas de pluviometría, hidrología y microclima, los geles aluminosilicatados son bastante estables; su asociación con los geles orgánicos (materia humificada) asegura aún más estabilidad de los dos componentes.

Sin embargo, la transformación mineralógica y química puede ser acelerada, con drenaje, por ejemplo, aumentando la longitud total y la frecuencia del estado seco y mejorando la aereación en el ciclo anual, permitiendo una transformación de material amorfo a gibsita cristalina, parecida a arcilla y a haloisita estratificada.

- El vidrio volcánico es meteorizado en su masa homogénea entera; la alofana así formada controla su ambiente y persiste.
- Oxidos de aluminio y alofana son más activos que otro material del suelo en la absorción de aniones; su carga, como una propiedad inherente a estructuras amorfas, es variable y aumenta con pH decreciente.

B.6.8

- La acumulación del material húmico resistente a un ataque microbiano no se debe a deficiencia catabólica de la microbiocenosis ni a las propiedades químicas de los restos de plantas, sino a la lenta formación de un complejo con alofana.

Vegetación del ñadi: bosque climático

El gran ámbito de especies autotróficas contribuyendo a la productividad primaria del sistema, es una expresión de su complejidad y causa una diversidad química de los remanentes de plantas y complejidad del humus del suelo.

La frecuencia de especies ricas en taninos (*Eucryphia*) debe ser mencionada.

Son pocas las especies caducifolias, y si se produce una disminución aunque pequeña, es continua en el ciclo estacional y, como consecuencia, los procesos catabólicos funcionan sin periodicidad.

Es notable la falta de coníferas, comparados con bosques templados del hemisferio norte. Algunos géneros como *Araucaris*, *Fitzroya*, *Podocarpus*, *Saxegothea* están muy localizados.

La red superficial y densa de las raíces ejerce varias funciones:

- a. Explorar una mayor superficie en orden de asegurar nutrientes, no necesariamente disponibles.
- b. Mantener la estructura del suelo cuando está saturada.
- c. Raíces muertas ponen una red de galerías, permitiendo un intercambio de gas, circulación de la fauna e infiltración del agua de lluvia. Ellas aseguran una distribución homogénea de la materia orgánica dentro del suelo.

La intercepción de la lluvia por las coronas y los diferentes estratos es alta. Esto influye sobre la distribución de agua recibida por el suelo.

Con respecto a fotosíntesis, una deficiencia en la luz del sol puede ser compensada por el alto rendimiento de CO₂ de la biomasa ñadi.

El clima participa básicamente en la regulación de los ñadi: masas de aire húmedo viniendo del Pacífico y aire frío bajando de los Andes llevan a una baja temperatura media y reducen la amplitud de variación. La influencia oceánica causa una prevención de heladas. Así, el ambiente climático es muy constante.

Alta humedad y lluvia bajo clima fresco caracterizan el área ñadi. Así, grandes cantidades de O₂ se difunden dentro del horizonte orgánico del suelo y los elementos solubles en agua son redistribuidos microtopográficamente en un movimiento hacia abajo. El rocío es abundante y la niebla frecuente.

Al nivel del "fierrillo" existe una discontinuidad hidrológica en el perfil; el movimiento hacia abajo de la lluvia corre libremente hasta alcanzar esta capa. Por otro lado, el movimiento hacia arriba de agua freática es retardado cuando alcanza el "fierrillo".

Actividades microbianas

Mineralización del humus del suelo y del C asimilable librado por los sitios de adsorción

Balance de energía bajo condiciones aeróbicas

En el suelo, bajo condiciones naturales, las actividades catabólicas, como las indicadas por la velocidad de respiración, están en operación, aunque retardadas. La evolución del CO₂, representado gráficamente, resulta en una línea recta de un coeficiente angular bajo, para todas las profundidades del horizonte orgánico.

La actividad de deshidrogenasa, aunque baja, es encontrada en un patrón regular.

Una micropoblación mineralizadora potencialmente muy activa está presente, como es comprobado por la respuesta inmediata a una adición de una fuente de C fácilmente degradable como piruvato. Alanina es usada como una fuente de energía; aún la celulosa es atacada bastante rápidamente. La producción de CO₂ acumulativa muestra dos inclinaciones: una logarítmica, correspondiendo a la fase de degradación de C labil y una lineal que es paralela al vacío.

Un aumento muy fuerte en respiración y actividad deshidrogenasa es logrado con la adición de P en altas dosis (16000 ppm). De esta manera se comprueba que una gran cantidad de materia orgánica del suelo es actualmente mineralizable. El P desplaza los ácidos fúlvicos absorbidos en alofana.

B.6.9

Balance de energía bajo condiciones bióticas no oxidativas ('respiración de nitrato')

Reducción desasimilativa del NO_3^- se produce en suelos ñadi a extremadamente bajas velocidades, bajo condiciones de campo.

Una población denitrificante fuertemente activa está presente; ello es evidente cuando la glucosa es agregada como fuente de energía.

Denitrificación es muy eficaz cuando el P (16000 ppm) libera las fracciones absorbidas de C fácilmente metabolizable del humus ñadi. Altas cantidades de NH_4^+ no interfieren.

Una gran similitud puede verse entre las dos funciones fisiológicas, usando oxígeno molecular o ligado. El déficit de C disponible en ñadi no sólo limita la actividad global de los microorganismos, sino que también impide la reducción de cantidades sustanciales de NO_3^- acumuladas en el campo.

La mineralización del N orgánico en ñadi está unida al déficit de C disponible: la amonificación es retardada y, consecuentemente, la unificación.

El P en altas cantidades libera considerables cantidades de NH_4^+ , las cuales nitrifican rápidamente. En esa forma se comprueba que los autótrofos necesarios están presentes y activos.

El N mineral en el suelo de un clímax vegetal, no tiene, a la larga, efecto en la mineralización del C orgánico.

El NH_4^+ fácilmente extraíble no se acumula; es fuertemente fijado por la alofana, como es comprobado por el efecto de P, nitrificado y en parte inmovilizado biológicamente, al tanto que el C mineralizable parece ser bloqueado en los ñadi, bajo la forma de complejos organo-minerales.

Mecanismo de regulación del sistema

La regulación es el producto del balance de dos tendencias: una (a) concierne a todos los elementos que llevan hacia una disminución de entropía, que mantienen el grado del contenido de complejidad y energía, conservan el potencial del humus, reducen la accesibilidad de los metabolitos y aseguran el homeóstasis del sistema.

El otro (b) implica a todos los factores que aumentan la entropía, inducen el cambio y aceleran la evolución.

a) La humificación de los restos de plantas se produce rápida y totalmente, debido al proceso de regeneración que elimina una posible influencia de Al^{+++} (Figura 5).

La mineralización del humus, sin embargo, es retardada por un efecto múltiple de factores los cuales, bajo condiciones de campo, se oponen al cambio. Los ácidos fúlvicos son fuertemente absorbidos por alofanas y también las deshidrogenasas, las cuales no son inactivadas y representan una línea de enzimas regulando el flujo metabólico a largo plazo.

Poco P está disponible para desplazar los ácidos fúlvicos. No se produce ninguna fermentación bajo condiciones de saturación por el déficit de C fermentable. El NO_3^- , acumulado, a pesar de la alta acidez de los ñadi, impide un estado de anaerobiosis verdadera. El potencial redox no alcanza el nivel de reducción de S y ácidos grasos volátiles no son producidos. La fermentación movilizará la materia orgánica.

— El NO_3^- está inmovilizado en función del C disponible. Como éste está poco presente, la proteosíntesis es limitada, el tamaño de la micropoblación regulada y consecuentemente la mineralización del humus.

No se lleva a cabo la modulación estacional metabólica. La alta humedad y la baja temperatura, pero sin congelar, son constantes, como lo es la caída de las hojas.

— La densa red de raíces homogeniza, directa o indirectamente, al horizonte orgánico.

La adsorción de material energético previene lixiviación por la lluvia frecuente. El sistema es de esa forma adaptado a resistir al cambio.

— El Al^{+++} , presente en altas cantidades, es ligado por los ácidos fúlvicos, los cuales sí están y hasta esa cantidad, no disponibles para la mineralización.

B.6.10

- La baja actividad actual de la micropoblación en ñadi permite una acumulación de materia orgánica en equilibrio, con la producción primaria de la biomasa. Sin embargo, la alta actividad potencial indica una revolución efectiva en el suelo, pero que no desplaza la posición de equilibrio.

Factores que inducen el desplazamiento del equilibrio y así aumentan la mineralización

La periodicidad en la humedad y la aereación del suelo, y en la temperatura y oscilación de la capa freática de agua.

- El material energético agregado mineraliza bien cuando el Al^{+++} es mantenido ligado por los ácidos fúlvicos y el complejo de absorción saturado.

Modificación antropogénica del sistema:

Quemando o talando la cubierta del bosque aumenta drásticamente la entropía del sistema, permitiendo una formación secundaria. En esta etapa, un ingreso de N será necesario y también de C orgánico, para poder mantener todo el Al^{+++} complicado. Una cantidad demasiado grande de P aplicado como fertilizante llevaría a una disminución notable del humus natural.

- El drenaje también tendrá como consecuencia una evolución acelerada de la misma alofana, lo cual cambiaría las propiedades fundamentales del sistema.

PUNTO DE VISTA PERSPECTIVO

Una gran biomasa, pero de baja productividad, puede ser interpretada como un mecanismo que previene la acumulación de materia orgánica bajo condiciones de mineralización restringida. Una mineralización activa limita, por otro lado, la productividad al nivel del humus del cual depende el funcionamiento del sistema.

Todos los factores mencionados están interconectados, pero el estado relicto, aún presente, de estabilidad y autoregulación en bosque climático ñadi, es totalmente cambiado por la intervención del hombre. Para poder establecer, con proyecciones dentro de la agronomía y dasonomía, el patrón de modificación, no sólo es necesaria una comprensión completa del sistema natural, sino también la comprensión de toda la cadena de fases que llevan hacia un sistema simplificado al punto de colapso. Sólo entonces puede predecirse la evolución, tanto como las prácticas de cultivo adecuadas y las medidas tomadas con miras a conservar el potencial de fertilidad excepcional de los suelos ñadi, en los cuales las microbiocenosis juegan un papel fundamental.

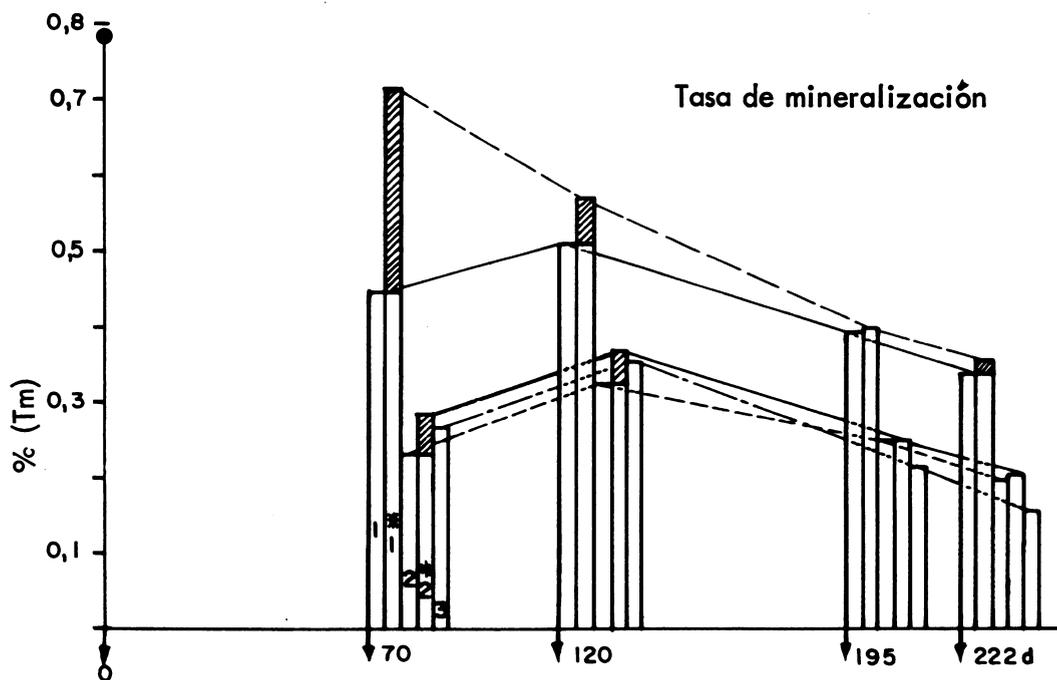
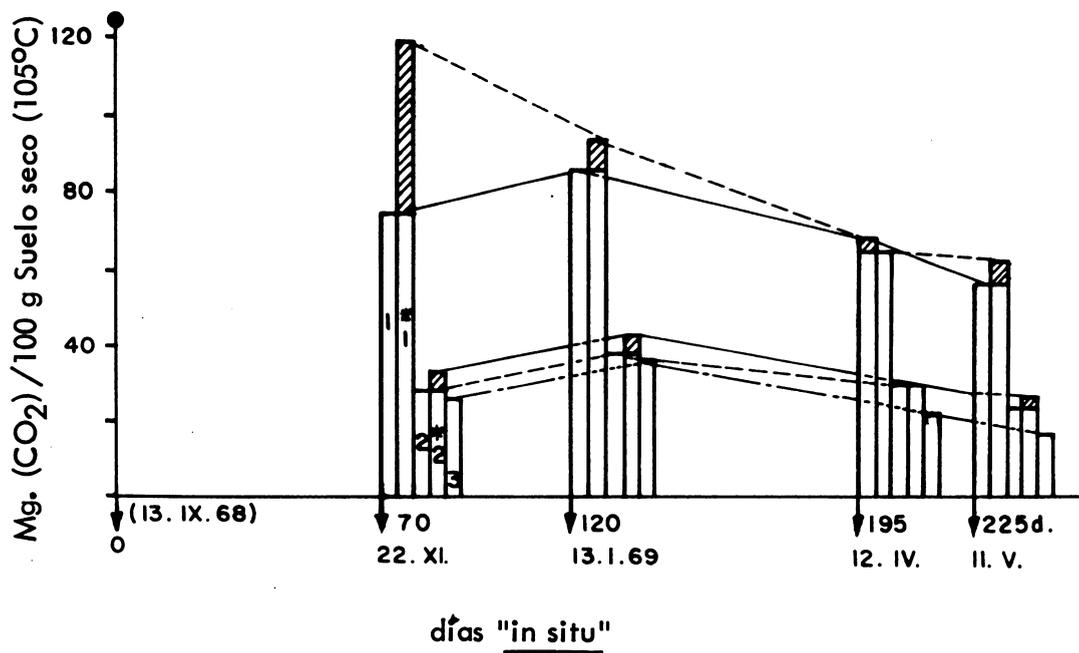


Figura 1. Mineralización de C en suelos incubados por 30 días a 28°C

Profundidad 1: 0-10 cm ———
 1: 0-10 cm, colocado a 15-25 cm - - -
 2: 15-25 cm
 2: 15-25 cm, colocado a 0-10 cm — · — · —
 3: 25-40 cm - - - - -

● Initial, 0-10 cm.

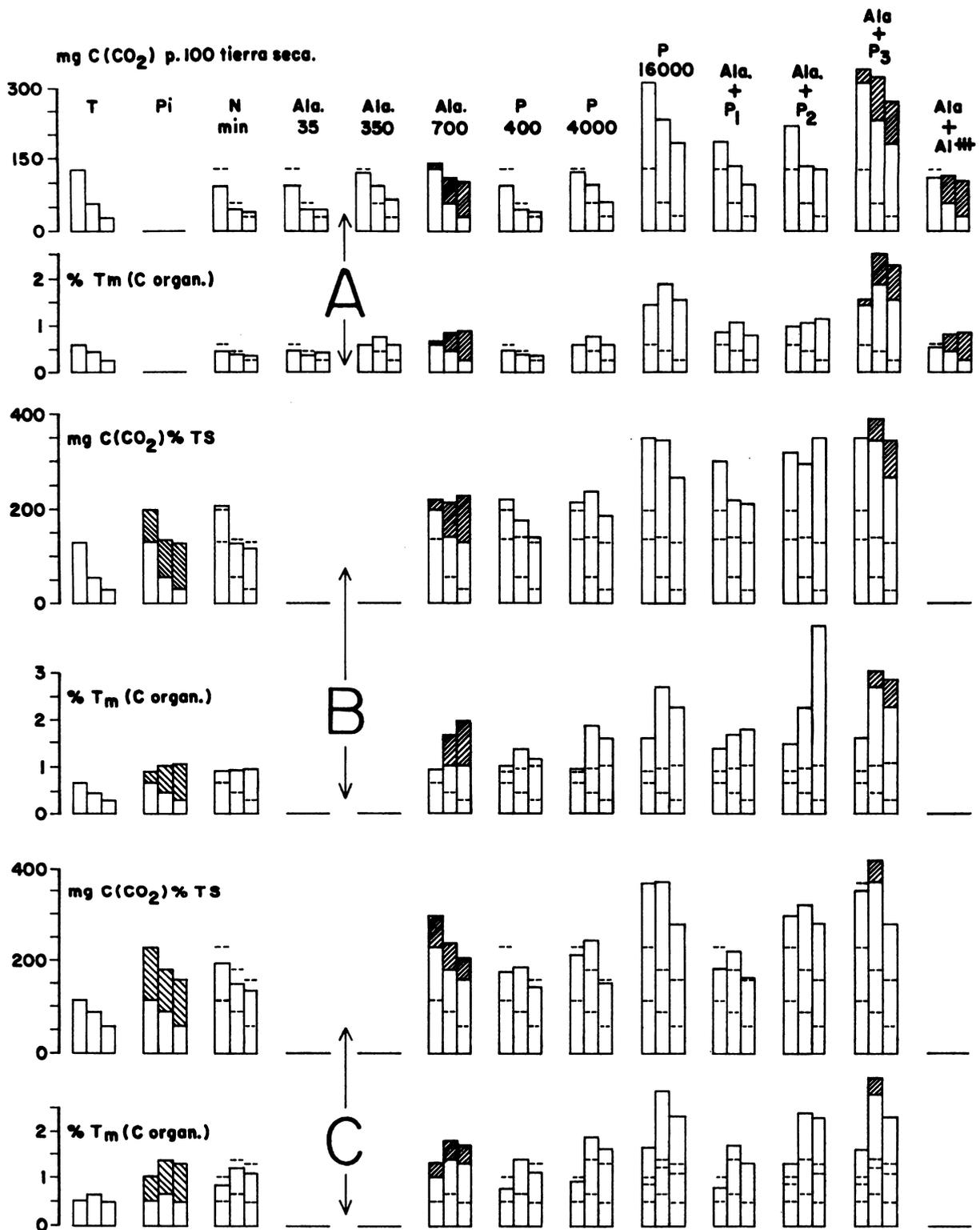


Fig. 2 Mineralización del carbono orgánico, en incubación controlada, en el perfil de un suelo Nadi (30 días).

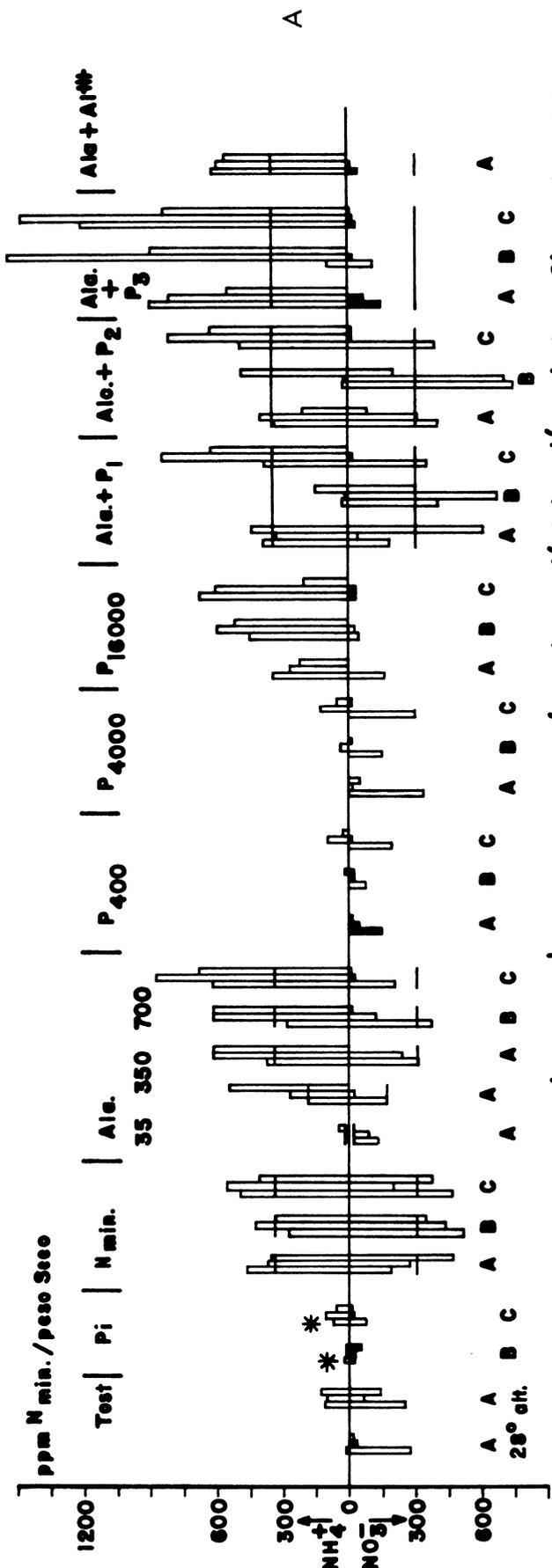
Desprendimiento de CO_2 en presencia de fósforo, alanina, N mineral y aluminio, y tasa de mineralización del C orgánico (T_m).

A: sin piruvato; B: con piruvato (1800 ppm C) 28°C; C: con piruvato 28°C alternados (32 h.) con -15°C (16 h.).

En cada grupo, las barras corresponden, en el orden, a los niveles del perfil: 0-10, 15-25 y 25-40 cms.

▨ CO_2 proveniente del piruvato

▩ CO_2 proveniente de la alanina



a) Acumulación de N (NH_4^+) y N (NO_3^-) en 30 días de incubación (aireación activa) a 80% de la humedad aprovechable (# : 22 días).

b) Tasa de mineralización del N orgánico (T_m)

■ : Tasa de inmovilización del N mineral acumulado el inicio del experimento (h 21-2-9: 56,6 ppm; 3-10: 34,6; 4: 957,7; 5: 801,5; 6: 734,2; 7: 257,7; 8: 101,5)

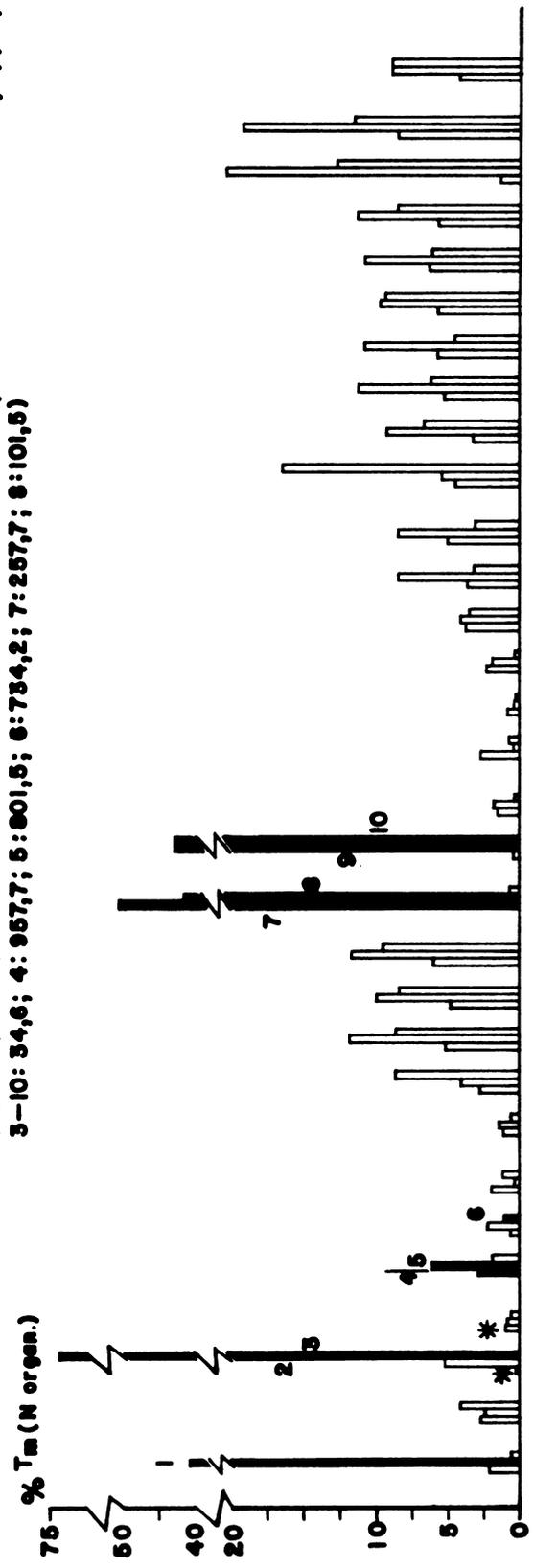


Fig. 3 Mineralización del N orgánico en el perfil de un feno. Efecto de tratamientos. A : Sin piruvato. B : Con piruvato (1800 ppm C), 28°C. C : Con piruvato (1800 ppm C), 28° alternados (2 días) con -15° (1d.)

■ : Inmovilización. — : Nivel de N agregado. En cada grupo, las barras corresponden, en el orden, a los niveles del perfil: 0-10, 15-25, 25-40 cm.

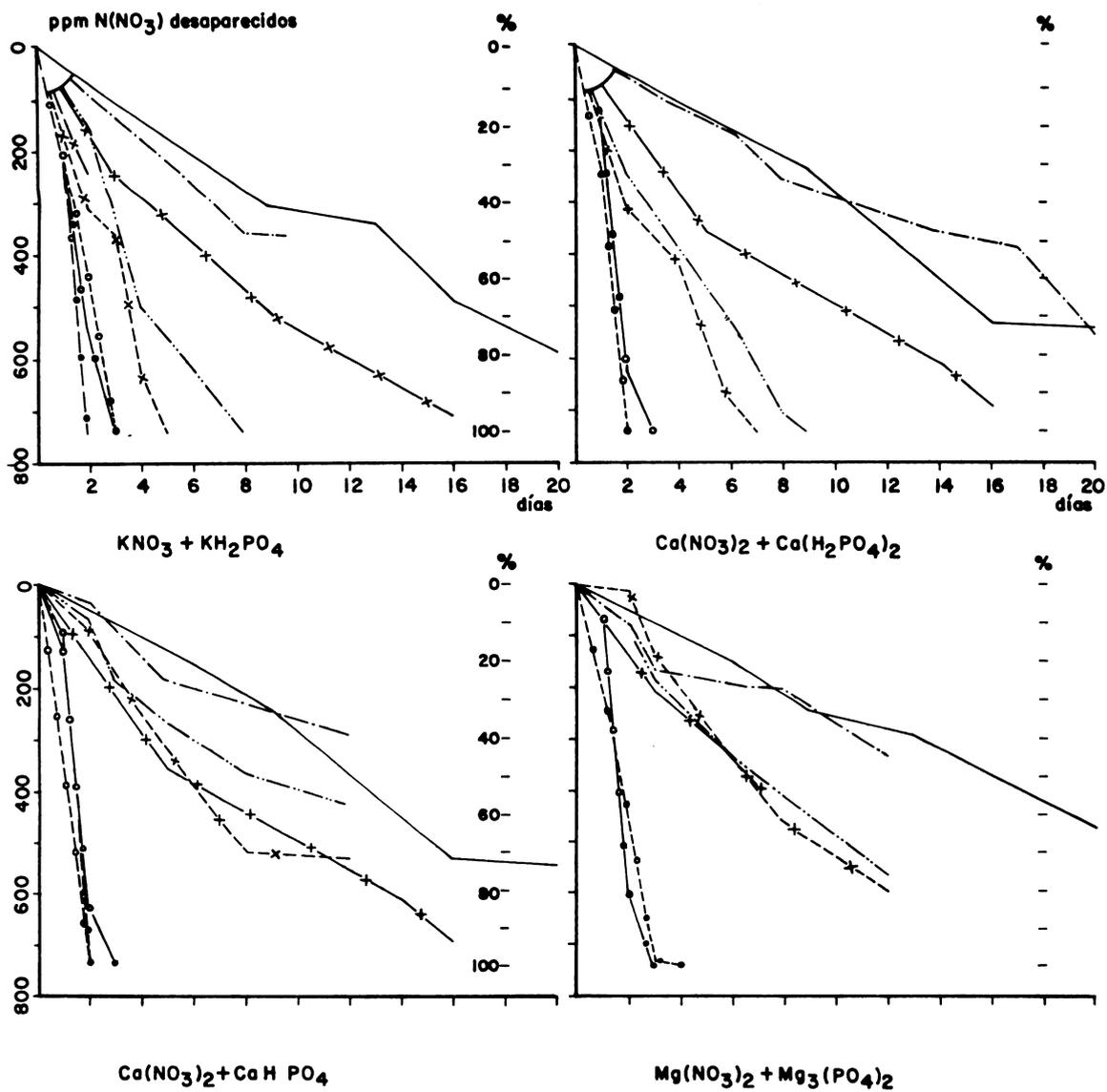


FIG.4.- REDUCCION DESASIMILATIVA DE LOS NITRATOS EN UN SUELO NADI (0-10)

— NO₃⁻ SOLO - - - 4000 x - - x 4000 500 o - - o 4000 5000
 x - x glucosa 500 P P + C P + C
 o - o " 5000 ppm C - - - 16000 x - - x 16000 500 o - - o 16000 5000

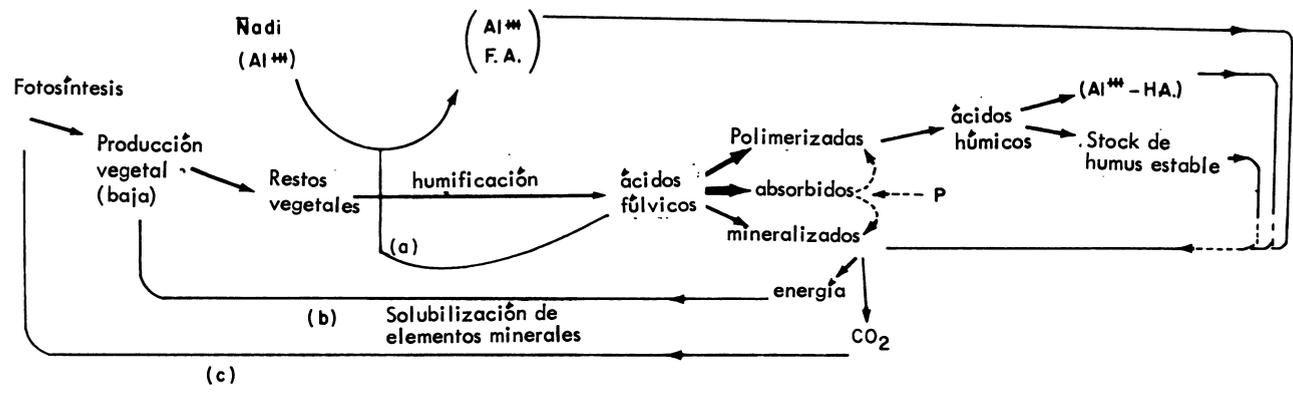
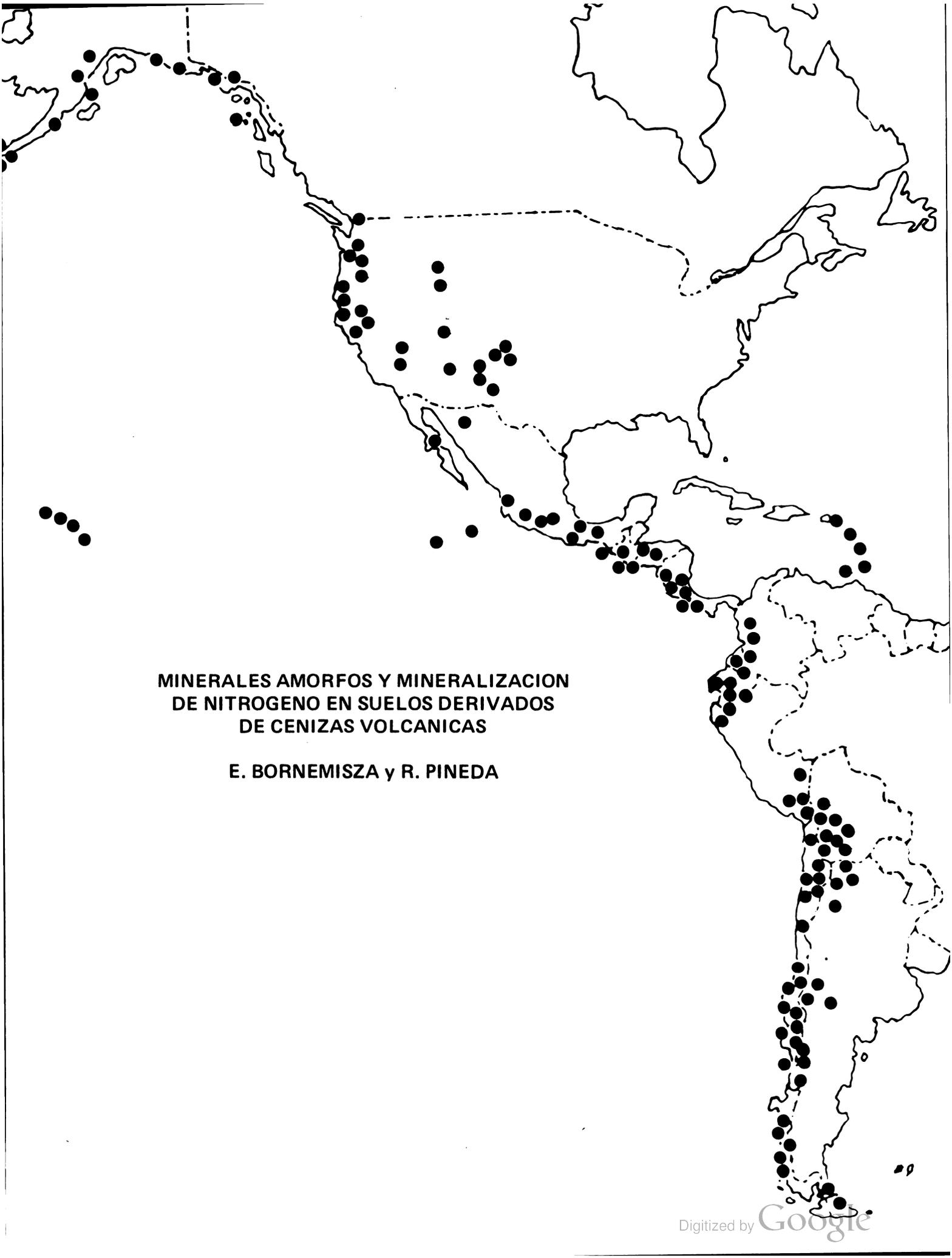


Fig. 5 Regulación del ecosistema del Nadi: efecto retroactivo (+) mecanismos (a,b,c,)



**MINERALES AMORFOS Y MINERALIZACION
DE NITROGENO EN SUELOS DERIVADOS
DE CENIZAS VOLCANICAS**

E. BORNEMISZA y R. PINEDA

MINERALES AMORFOS Y MINERALIZACION DE NITROGENO EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS

E. Bornemisza y R. Pineda*

INTRODUCCION

La mineralización del nitrógeno orgánico representa un paso importante en el ciclo de este elemento y una fuente considerable del mismo para la nutrición de plantas.

Sin embargo, se vio que la mineralización de N es bastante variable en suelos derivados de materiales volcánicos más o menos recientes (6). Como consecuencia de ésta, se notó que a veces hace falta la aplicación de abonos nitrogenados a suelos cuyo contenido de nitrógeno total alcance al 1 por ciento.

Se ha observado, también, en otros estudios, que los suelos de origen volcánico reciente a menudo tienen partículas de áreas superficiales muy altas (1, 3, 15). Esta superficie poco común, bastante mayor de lo que se podía esperar a base de la textura de los suelos correspondientes, podría estar envuelta en fenómenos que afectan la mineralización de la materia orgánica presente. La causa de esta superficie excepcional es la fracción amorfa grande de las arcillas, como se ve en el trabajo de Birrell y Gradwell (3).

Debido a que no se conoce información sobre la velocidad de mineralización del nitrógeno en suelos volcánicos centroamericanos y a que se necesita esta información, se realizó el experimento presente, estudiando suelos derivados de materiales volcánicos recientes — cuatro suelos y subsuelos; de materiales volcánicos antiguos, profundamente mineralizados — dos suelos y subsuelos; y de materiales aluviales montmorilloníticos — dos suelos y subsuelos.

Se investigó también el efecto de algunos tratamientos sobre mineralización.

MATERIALES Y METODOS

Suelos

Se estudiaron cuatro suelos de materiales volcánicos recientes, pertenecientes a las series Birrisito, Cervantes, Arenón Poasito y Coronado, coleccionados en las faldas de los volcanes Barba, Poás e Irazú. Las propiedades principales de estos suelos se encuentran en los Cuadros 1 y 2. Las muestras fueron secadas al aire y tamizadas para que tengan la finura necesaria antes de realizar las diferentes determinaciones.

Tratamientos

Para la determinación de la nitrificación las muestras fueron incubadas de acuerdo con Bremner (5).

En adición a las muestras que no han recibido ningún tratamiento especial, se aplicaron dos tratamientos de encalado. Un grupo fue tratado con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en la proporción de 6 meq de Ca/100 g de suelo e incubando por un lapso de 30 días con el mismo. En un segundo tratamiento de encalado se aplicó CaCO_3 en la misma proporción del caso anterior, para reproducir mejor las prácticas de campo.

Considerando que el contenido de materia orgánica es un componente importante en la mineralización, se aplicó guano de pato en la proporción de 40 Tn/ha y se estudió su efecto. Por último, se realizó un experimento considerando el efecto de dos ciclos de secamiento (105°C) y rehumedecimiento sobre la mineralización.

Métodos analíticos

El nitrógeno total se determinó con una digestión y una destilación Kjeldahl.

La materia orgánica se determinó con digestión húmeda y valoración posterior de acuerdo con Walkley-Black (16).

El análisis textural se hizo por el método de la pipeta. La capacidad de intercambio catiónico se determinó con el

* Edafólogo Adjunto y Estudiante Graduado, respectivamente, del IICA-CEI-NEP. Este proyecto se llevó a cabo dentro del Contrato de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos, AT(30-1)-2043. NYO-2043-203.

B.7.2

método de Rich (12), el cual toma en cuenta las propiedades absorbentes de muchos suelos volcánicos recientes.

Los cationes cambiabiles K, Na, C, My y Mn fueron extraídos con acetato de amonio normal y neutro y el Al cambiabie con KCl 1N. Los primeros cinco cationes se determinaron por medio de absorción atómica usando un aparato Perkin—Elmer 303 y el Al por colorimetría, usando la técnica de Chenery (7).

La determinación de alofana se hizo de acuerdo con el valor delta de Jackson (8). Los datos deben ser considerados como "alofana cruda", ya que no han sido corregidos por la presencia de otros minerales arcillosos, por cuanto no se disponía de las determinaciones correspondientes.

Métodos estadísticos

La comparación de los resultados de mineralización, con todos los diferentes tratamientos, se hizo individualmente en cada suelo, empleando la técnica de rangos múltiples de Duncan. Para comparar el comportamiento de los diferentes suelos, respecto a su mineralización, se procedió a una partición ortogonal de clases.

RESULTADOS Y DISCUSION

En el Cuadro 3 se presenta la cantidad de nitrógeno orgánico presente en los suelos antes y después de la incubación y el contenido de alofana cruda en ellos. Para visualizar la relación entre la nitrificación y el contenido de alofana, se ha incluido la Figura 1. Con base en esta figura, se sospechó la existencia de una correlación estadística entre las dos magnitudes. Sin embargo, un análisis estadístico cuyos parámetros se dan en el Cuadro 4, indicó la falta de correlación. Esta se debe, probablemente, a cuatro puntos que se separan nítidamente de la curva, indicando un comportamiento distinto de cuatro de las muestras, correspondiendo al suelo y subsuelo de Coronado y a los subsuelos La Lola y Tempisque.

Las dos últimas muestras presentan una mineralización bien baja a pesar de no contener cantidades grandes de alofana. La explicación de estos resultados es fácil, ya que ambos contienen bajas cantidades de materia orgánica y considerables concentraciones de arcillas montmorilloníticas. Se sabe que esta arcilla puede también absorber la materia orgánica y reducir así, considerablemente, su mineralización (10).

Se cree que la explicación del comportamiento del suelo Coronado se encuentra en el hecho observado por Broadbent 'et al' (6) de que hay una diferenciación entre la velocidad de mineralización de materia orgánica reciente y aquella que ya pasó un período en el suelo. Ellos indican que en el primer caso (materia orgánica reciente) la mineralización es rápida aun en suelos altos en alofana, mientras que la materia orgánica no reciente es más estable.

Para los demás suelos se nota una tendencia bastante clara, ilustrada en la Figura 1, de la relación curvilínea inversa entre contenido de alofana y mineralización de nitrógeno orgánico. Se puede observar que, en general, por encima de 15 por ciento de alofana en un suelo, se pueden esperar problemas de mineralización, como lo notaron, por ejemplo, Broadbent 'et al' (6) para los suelos francos amarillo—pardos de Nueva Zelandia. Es muy probable que ésta sea la explicación de la acumulación de materia orgánica en regiones de montañas en los trópicos, como lo observó Jenny en Colombia y Costa Rica (9). Esta observación está sustentada también en el informe de Mejía 'et al' (11), quienes informaron que alofana es una fracción muy importante de los minerales en los suelos estudiados por Jenny en Colombia.

Investigando los diferentes suelos del grupo, se usó la técnica estadística de una partición ortogonal de clases, que dio los siguientes resultados:

Se observó que la mineralización en los suelos es significativamente mayor (al nivel de 0,01) que en los subsuelos.

Se compararon también los cuatro suelos de origen volcánico reciente (Birrisito, Coronado, Cervantes y Arenón Poasito) con los otros cuatro suelos en estudio y se vio que los últimos presentaron una mineralización significativamente superior (al 0,01).

Dentro de los suelos de origen volcánico reciente se observa la posición especial del Coronado, con una mineralización significativamente mayor que el resto del grupo, aunque sus otras propiedades, como se ve en los Cuadros 1 y 2, no lo distinguen del grupo. Al suelo de Birrisito le corresponde una posición intermedia, mientras que las muestras Arenón Poasito y Cervantes ilustran claramente la baja mineralización de nitrógeno en muestras de origen volcánico.

B.7.3

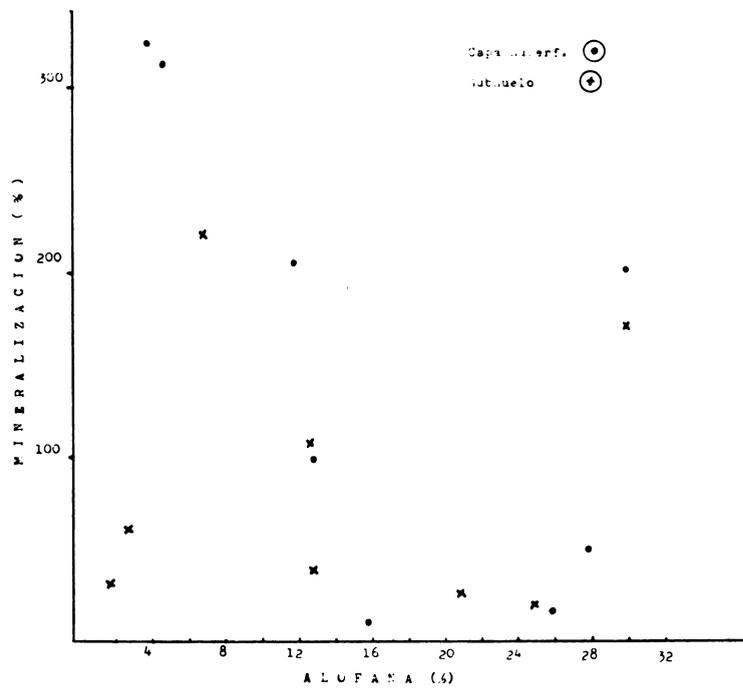


FIGURA 1. Relación entre el contenido de alofana y mineralización de N orgánico

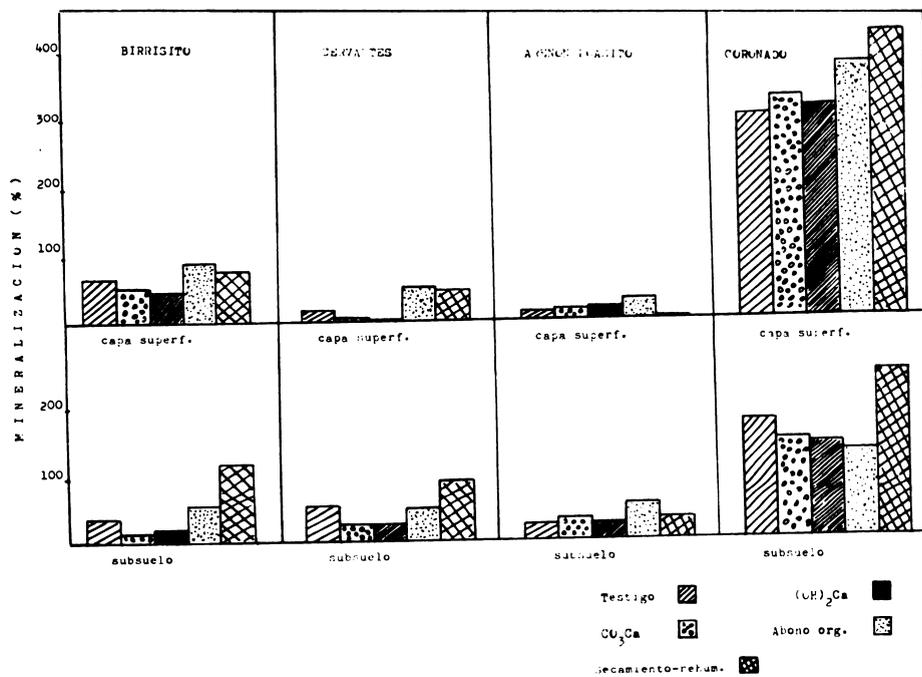


FIGURA 2. Efecto de cuatro tratamientos en la mineralización de nitrógeno orgánico en cuatro andosoles

Efecto de los tratamientos sobre la mineralización

Una ilustración de esto se ve en las Figuras 2 y 3 para los suelos de materiales volcánicos recientes y de otro origen, respectivamente.

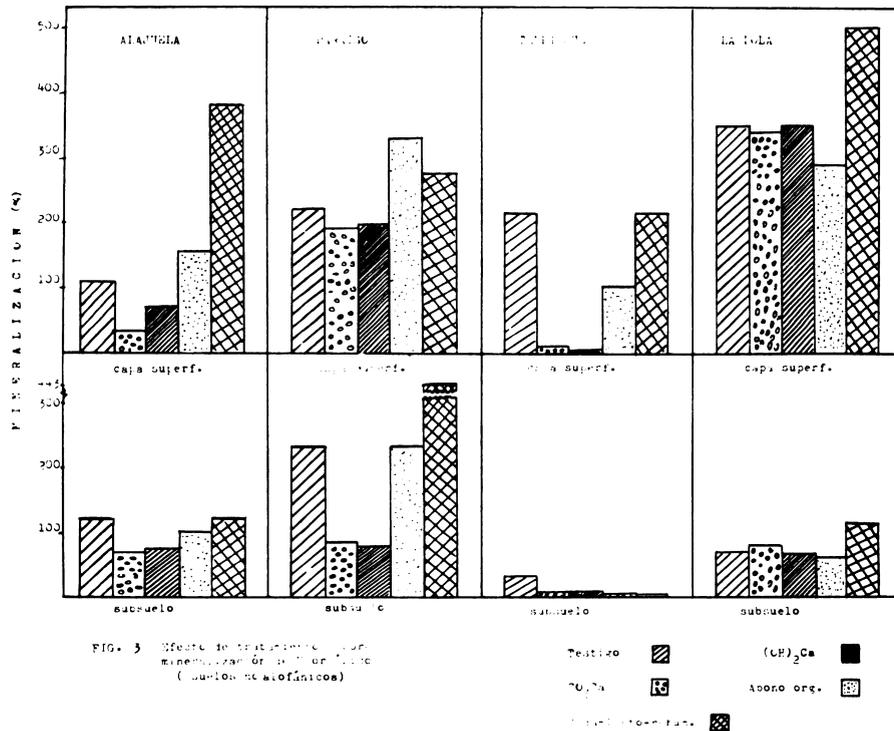
En la Figura 2 se observa (y se constató con el análisis estadístico) que para los suelos de origen volcánico reciente, los tratamientos que aumentaron significativamente la mineralización de N fueron la aplicación de materia orgánica y el secamiento y rehumedecimiento. En siete de los ocho casos, estos tratamientos están en los primeros dos lugares en mineralización. Para los subsuelos se aplica lo mismo con una ligera ventaja del tratamiento secamiento—rehumedecimiento, el cual parece ser el más efectivo.

A pesar del pH ácido de todos los suelos y subsuelos, la aplicación de cal no tuvo un efecto favorable y, en general, redujo significativamente la mineralización de N. Parece probable, a base de la observación anterior, que la presencia de cal fomenta la estabilidad de complejos alofano—materia orgánica. Tal vez se tiene aquí también una activación de los sitios de absorción mencionados por Swindale (15).

De acuerdo con la Figura 3, en los otros cuatro suelos se nota una mayor heterogeneidad en las respuestas a los tratamientos que en los volcánicos recientes. En este caso, secamiento—rehumedecimiento es de nuevo el tratamiento más efectivo, ya que es el tratamiento en el primer y segundo lugar en todos los casos. Los tratamientos con cal de nuevo resultan inferiores al testigo en todos los casos. Una particularidad interesante es que para los suelos aluvionales, la adición de materia orgánica reprime la mineración en ambos casos. Lo mismo se observa para los subsuelos, en cuyo caso, secamiento—rehumedecimiento es lo más efectivo y el encalado reduce el efecto por debajo del nivel del testigo.

Al comparar el conjunto total de los datos, no se nota la influencia de la textura de los suelos estudiados, a pesar de la diferencia considerable que presentan, como se puede ver en el Cuadro 1. Esto no está de acuerdo con lo que se observó para suelos viejos del Africa Oriental (13, 14) y la diferencia se debe probablemente a que en aquellos suelos la textura es el factor principal que regula las superficies activas, mientras que en el caso de suelos volcánicos recientes es posible tener muestras de gran superficie y textura no muy fina.

En comparación con los demás tratamientos y el testigo, el efecto del encalado ha sido detrimental. Esto confirma resultados de Blasco y Cornfield (4) quienes proponen el aumento de la concentración de humatos de calcio estables como explicación.



El mayor efecto de todos los tratamientos le corresponde al secamiento—rehumedecimiento. Birch (2) indica que este tratamiento tiene un efecto sobre la mineralización, en parte debido a la liberación de la materia orgánica entre las partículas de arcillas. Aunque este trabajo se refiere sobre todo a arcillas 2:1, considerando que las arcillas amorfas se hinchan también con la aplicación de humedad, se puede establecer una analogía.

RESUMEN

Estudiando la mineralización de nitrógeno orgánico en ocho suelos de origen diferentes, se encontró en los suelos (0–20 cm) una asociación lineal negativa que indica el efecto represivo de la alofana sobre la mineralización.

En promedio, los andosoles estudiados presentaron una mineralización altamente significativa, menor que los demás suelos.

Un tratamiento de secamiento—rehumedecimiento aumentó en general la mineralización, especialmente en el caso de muestras con textura fina.

El tratamiento con materia orgánica no tuvo ningún efecto claro, mientras que el encalado, tanto con carbonato como con hidróxido de calcio, redujo la velocidad de nitrificación.

BIBLIOGRAFIA

1. AOMINE, S. y N. YOSHINAGA. 1955. Clay minerals of some well drained volcanic ash soils in Japan. *Soil Sci.* 79:349–358.
2. BIRCH, H. F. 1958. The effect of soil drying on humus decomposition and nitrogen availability. *Plant and Soil* 10:9–13.
3. BIRRELL, K. S. y M. GRADWELL. 1956. Ion—exchange phenomena in some soils containing amorphous mineral constituents. *J. Soil Sci.* 7:130–147.
4. BLASCO, L. M. y H. A. CORNFIELD. 1967. Effects of soil moisture during incubation on the nitrogen mineralizing characteristics of the soils of Colombia. *Geoderma* 1:19–25.
5. BREMNER, J. M. 1965. Nitrogen availability indexes. En: C. A. Black ed. jefe. *Methods of soil analysis. ASA Agronomy Series No. 9, 2:1324–1344.*
6. BROADBENT, F. E., R. H. JACKMAN y J. McNICOLL. 1964. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. *Soil Sci.* 98:118–128.
7. CHENERY, E. M. 1955. A preliminary study of aluminum and the tea bush. *Plant and Soil* 6:174–200.
8. JACKSON, M. L. 1965. Free oxides, hydroxides and amorphous aluminum silicates. En: C. A. Black, ed. jefe. *Methods of soil analysis. ASA Agronomy Series No. 9, 2:578–603.*
9. JENNY, M. 1961. Comparison of soil nitrogen and carbon in tropical and temperate regions. *Univ. Missouri Agr. Expt. Sta. Res. Bull.* 765, pp. 5:31.
10. LYNCH, D. L. y L. J. COTNOIR. 1956. The influence of clay minerals on the breakdown of certain organic substances. *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.* 20:367–370.
11. MWJIA, G., H. KOHNKE y J. L. WHITE. 1968. Clay mineralogy of certain soils of Colombia. *Soil Sci. Soc. Amer., Proc.* 32:665–670.
12. RICH, C. A. 1962. Removal of excess salt in cation—exchange capacity determinations. *Soil Sci.* 93:87–94.
13. ROBINSON, J. B. D. 1967. Soil particle—size fractions and nitrogen mineralization. *J. Soil Sci.* 18:109–117.
14. SAUNDERS, D. H. y P. M. GRANT. 1962. Rate of mineralization of organic matter in cultivated Rhodesian soils. En: *Trans. Joint Meeting Comms. IV and V. Internl. Soc. Soil Sci. New Zealand* pp. 235–242.
15. SWINDALE, L. D. 1964. The properties of soils derived from volcanic ash. En: *Meeting on the Classification and Correlation of Soils from Volcanic Ash. World Soil Resources Rept. 14, FAO—UNESCO. Tokyo*, pp. 82–86.
16. WALKLEY, A. e I. A. BLACK. 1934. An examination of the Degtjareff method for soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29–38.

B.7.6

CUADRO 1. Caracterización de ocho suelos y subsuelos de Costa Rica

Suelo		pH			%	%	CIC	%		
		H ₂ O	KCl	CaCl ₂	M. O.	N-total	meq/100	Arcilla	Limo	Arena
Borrisito	A	5,3	5,0	4,5	20,3	0,360	19,5	7	18	75
	B	5,2	5,3	4,8	8,0	0,307	12,0	5	8	87
Cervantes	A	5,0	5,0	4,8	13,6	0,877	25,5	13	33	54
	B	6,0	5,4	5,3	3,3	0,184	15,0	24	34	42
Arenón Poasito	A	5,4	5,3	5,2	22,0	1,270	28,5	7	36	57
	B	5,6	5,3	5,0	13,8	0,637	19,5	4	34	62
Coronado	A	5,3	5,0	4,6	21,7	1,014	22,0	10	45	45
	B	5,6	5,3	4,9	17,5	0,679	22,0	13	38	49
Alajuela	A	5,5	5,0	4,8	9,1	0,340	16,0	54	20	26
	B	5,4	4,8	4,8	7,5	0,270	13,5	69	21	10
Paraíso	A	5,0	4,7	4,4	12,9	0,427	18,5	81	13	6
	B	5,4	4,6	4,5	4,5	0,150	15,5	86	11	3
Tempisque	A	6,4	5,5	6,1	2,1	0,136	35,0	44	17	39
	B	7,4	6,4	6,9	1,2	0,118	32,0	20	30	50
La Lola	A	5,6	5,1	5,3	3,0	0,231	42,0	38	37	25
	B	5,9	5,0	5,3	0,75	0,075	41,5	43	36	21

CUADRO 2. Capacidad de cambio catiónico y cationes cambiabiles en ocho suelos y subsuelos (en meq/100 g de suelo)

Suelo		Σ	Al	Cationes cambiabiles				
				Ca	Mg	Na	K	Mn
Borrisito	A	2,8	0,56	1,2	0,52	0,17	0,28	0,008
	B	1,2	0,11	0,8	0,06	0,09	0,11	0,004
Cervantes	A	9,2	0,20	6,9	1,26	0,14	0,64	0,004
	B	10,4	0,03	6,3	0,70	0,22	3,10	0,020
Arenón Poasito	A	8,1	0,08	5,2	1,24	0,52	0,97	0,090
	B	4,0	0,11	2,8	0,50	0,12	0,44	0,004
Coronado	A	3,0	0,50	1,5	0,46	0,09	0,36	0,003
	B	3,0	0,11	2,1	0,44	0,08	0,20	0,020
Alajuela	A	6,6	0,37	3,9	1,28	0,09	0,82	0,130
	B	5,0	0,56	2,6	0,94	0,15	0,57	0,080
Paraíso	A	5,4	1,37	2,5	0,96	0,13	0,35	0,050
	B	3,3	2,00	0,8	0,28	0,10	0,13	0,006
Tempisque	A	36,8	0,05	29,0	6,28	1,35	0,16	0,040
	B	36,2	TR	29,0	5,54	1,50	0,16	0,008
La Lola	A	32,7	0,06	26,0	5,94	0,26	0,25	0,194
	B	33,0	0,08	25,0	6,94	0,24	0,65	0,090

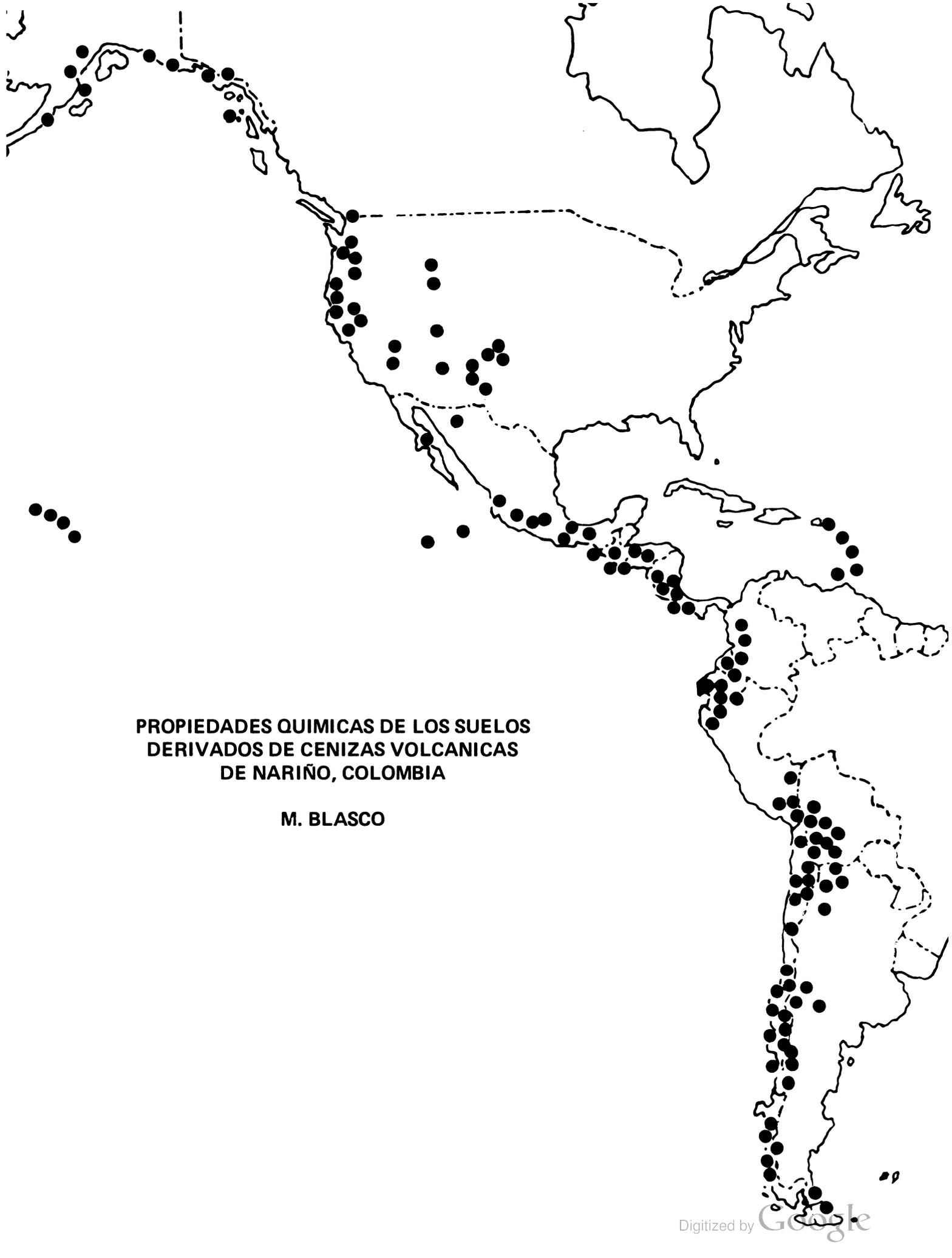
B.7.7

CUADRO 3. Mineralización de nitrógeno y contenido de alofana en ocho suelos de Costa Rica

Suelo	Suelos		Subsuelos	
	% Alofana	% Mineralización	% Alofana	% Mineralización
Birrisito	27,8	49	21,4	25
Cervantes	25,7	16	12,7	38
Arenón Poasito	15,6	9	25,2	18
Coronado	30,3	201	29,5	170
Alajuela	13,5	98	13,3	107
Paraíso	12,5	206	7,1	220
Tempisque	5,0	313	2,0	30
La Lola	3,6	323	2,9	60

CUADRO 4. Parámetros estadísticos de la correlación entre contenido de alofana y mineralización

	Coefficiente asociación lineal	Porcentaje asociación lineal	Coefficiente asociación cuadrática	Porcentaje asociación cuadrática
Suelos	- 0,63	39,7	0,45	20,3
Subsuelo	- 0,03	0,0	0,04	0,0
Suelos y subsuelo	- 0,31	9,6	0,57	32,5



**PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE NARIÑO, COLOMBIA**

M. BLASCO

CARACTERISTICAS QUIMICAS DE LOS SUELOS VOLCANICOS DE NARIÑO, COLOMBIA

Mario Blasco Lamenca*

INTRODUCCION

En este trabajo se presentan los primeros resultados obtenidos dentro del programa de investigación de diversos aspectos químicos de los suelos volcánicos de Nariño. El estudio total comprende 25 temas, de los cuales aquí se resumen los siguientes: a) Características, b) Nitrógeno, c) Fósforo, d) Potasio, e) Elementos Menores (cobalto, cobre y molibdeno) en los suelos del Altiplano Andino de Pasto, f) Fósforo y g) Potasio en los suelos de clima medio.

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA REGION ESTUDIADA

Situación y Extensión

El Departamento de Nariño está situado en el sur oeste de Colombia (0° 37' – 2° 43' Lat. N., 76° 47' – 79° 03' Long. O., Gr.). Su extensión es de 32.704 km² (3,9% de Colombia) (2).

Topografía

Nariño es sumamente montañoso, siendo dominado por el Nudo de los pastos a partir del cual los Andes se dividen en tres cordilleras. Al pie del Nudo de los Pastos aparecen algunas llanuras, siendo destacable la llanura del Pacífico situada al occidente del Departamento. Lo más destacado del sistema montañoso nariñense es la abundancia de volcanes. Hay 23 volcanes conocidos, siendo el Cumbal el de máxima altura con 4890 m y la menor elevación corresponde al cerro de Dinde con 2800 m. Actualmente muestran actividad Cumbal, Chiles, Galeras, Azufral y Doña Juana (20, 30).

Geología

Como es anotado por Varela (28), la mayor parte de Nariño está dominado por rocas eruptivas modernas que provienen de la actividad volcánica de fines del Terciario hasta nuestros días.

Bueno (11) indica que la composición predominante de las rocas eruptivas de los depósitos neovolcánicos es de brechas bastante compactas con cantos de andesitas, bombas andesíticas, tobas de lapilis, cenizas en diversos grados de compactación y derrames de andesita.

Climatología

La inconsistencia de los registros hace difícil establecer datos concretos para las zonas estudiadas. En el Altiplano de Pasto la Estación de Obonuco (2670 m sobre el nivel del mar) registra una precipitación anual de 700 mn con una temperatura media de 13°C. En la Granja Experimental de Botana (2750 m sobre el nivel del mar) de la Universidad de Nariño los promedios anuales de lluvia y temperatura son 781 mn y 13°C respectivamente.

En la zona de clima medio Consacá (1400 m sobre el nivel del mar) tiene precipitación anual de 1392 mn/año y temperatura media de 20°C. En San José (1935 m sobre el nivel del mar) las cifras de lluvia y temperatura promedias anuales son 1398 mm y 18°C, para Samaniego (1535 m sobre el nivel del mar) 1312 mm y 21°C y para San Pablo (1720 m sobre el nivel del mar) 1441 mm y 19°C.

En el piso tropical Tumaco (sobre el Océano Pacífico) tiene una precipitación de 2849 mm/año y una temperatura media de 26°C. En Cajapí (100 m sobre el nivel del mar) la precipitación es de 3829 mm/año y en El Diviso (800 m sobre el nivel del mar) 6869 mm/año.

Formaciones vegetales

De acuerdo a la clasificación de Holdridge (18) y siguiendo la dirección Tumaco (0 m sobre el nivel del mar). Volcán Galeras (4200 m sobre el nivel del mar), se encuentran sucesivamente las formaciones: Piso Tropical –

* Ing. Agr. Ph.D. Universidad de Nariño, Instituto Técnico Agrícola. Pasto, Colombia

B.8.2

bosques húmedo, muy húmedo y pluvial; Piso Subtropical — bosques pluvial, muy húmedo, húmedo y seco; Piso Montano Bajo — bosques seco y húmedo; Piso Montano — bosque húmedo; Piso Subalpino — monte húmedo; Piso Alpino — tundra húmeda.

MATERIALES Y METODOS

Para las determinaciones generales de caracterización de los suelos se tomaron diferentes perfiles repartidos en las distintas formaciones vegetales comprendidas entre Tumaco y el Volcán Galeras. Para el estudio de nitrógeno, fósforo, potasio y elementos menores se seleccionaron 10 áreas representativas en el Altiplano (2500 m sobre el nivel del mar o más) y otras 10 áreas en la zona de clima medio (cañones de los ríos Guaitara, Juanambú y Mayo). En cada una de esas áreas se escogieron tres perfiles que correspondiesen a condiciones de bosque, pradera y cultivos.

La metodología empleada para el análisis general de los suelos fue la descrita por Jackson (19): pH (relación 1:1), nitrógeno (Kjeldahl), carbono orgánico (Walkley — Black), capacidad catiónica de cambio (acetato de amonio), cationes intercambiables (espectrofotómetro de llama Coleman) fósforo aprovechable (Bray II), humedad (105°C). La textura se determinó por el método del hidrómetro de Bouyoucos (8).

En la determinación de algunas formas de nitrógeno se procedió así: nitrógeno total más nitratos (10). Nitrógeno total inorgánico: extracción con HCl—N: HF—N y destilación con borato amortiguado (9). Nitrógeno intercambiable: extracción con Cl_2Ca —N y destilación con borato amortiguado (4). Nitrógeno nativo fijo: por sustracción entre el nitrógeno total fijo y el nitrógeno intercambiable. Nitrógeno orgánico: por sustracción entre el nitrógeno total y el nitrógeno inorgánico total. Nitrógeno amoniacal: sistema de microdifusión (4).

El fósforo se fraccionó en fácilmente reemplazable, no apatítico, unido al aluminio, unido al hierro y apatítico mediante extracciones sucesivas con CINH_4 —N, CH_3COOH —0,5N, FNH_4 —0,5N (pH 7.0), NaOH—0, 1N y H_2SO_4 —0,5N sucesivamente siguiendo el método de Chang y Jackson con algunas modificaciones de Sen Gupta y Cornfield*. El fósforo orgánico se obtuvo por medio del método de ignición de Saunders y Williams**. Para el fósforo total se siguió el método de fusión con carbonato de sodio (19). La fracción de fósforo inerte fue obtenida mediante la sustracción de la suma de las fracciones inorgánica y orgánica del fósforo total en cada caso.

En cuanto al potasio la extracción del total se realizó tratando la muestra con los ácidos perclórico y fluorhídrico (19). Potasio soluble en agua: a partir de una relación suelo/agua 1:2 (21).

El potasio intercambiable se determinó mediante extracciones con acetato de amonio normal y ácido nítrico 0,1 normal (21). El potasio no intercambiable total usando cuatro extracciones sucesivas con ácido nítrico normal. La suma de las dos primeras extracciones menos la suma de las extracciones 3a y 4a se consideró la fracción más soluble del potasio no intercambiable (21). El potasio estructural representó la diferencia entre el potasio total y la suma de los potasios total no intercambiable e intercambiable.

Para la determinación de los elementos menores cobalto, cobre y molibdeno, se siguieron las técnicas indicadas por la Soc. An. Chem. (25). El cobalto fue extraído con ácido clorhídrico y determinado como complejo con 2—nitroso—1—naftol en una solución de tolueno. El cobre fue extraído con dietilditiocarbamato y determinado en tetracloruro de carbono. El molibdeno mediante la formación de un complejo que se colorea con tiocianato de potasio del cual se extrae con alcohol isoamilo.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados concernientes con las características químicas generales de los suelos (únicamente primera capa en este resumen) correspondiente a los distintos pisos altitudinales comprendidos entre Tumaco (0 m sobre el nivel del mar) y el Volcán Galeras (4200 m sobre el nivel del mar), aparecen en los Cuadros 1 a 6.

Los suelos son ácidos con un promedio generalizado de pH 5,66 oscilando entre 4,25 y 7,25. No obstante los suelos de reacción neutra o básica son excepcionales encontrándose únicamente en el Bosque seco—subtropical por razón de la escasa descomposición química imperante en el medio debido a la escasez de lluvias.

En promedio el máximo contenido de materia orgánica (10,85%) se presentó en el Monte Húmedo Subalpino, en la proximidad del cono volcánico del Galeras. Aunque estadísticamente se esperaba una correlación entre la acumulación de materia orgánica y altura (descenso de temperatura) no ocurrió así por encontrarse en la faja tropical

* Jour. Sci. Food Agric. 13:652. 1962

** Jour. Soil Sci. 6:254. 1955

B.8.3

dos suelos, manglares de Tumaco y un bosque primario en El Diviso con 19,63 y 27,27 por ciento de materia orgánica. En la misma forma quedó afectada la distribución del nitrógeno total cuyo promedio generalizado máximo (0,50%) se encontró en el Monte Húmedo Subalpino.

La relación C/N en el suelo, en promedio, fue de 10,1/1 (min. 6,55/1 máx. 14,75/1) y en el subsuelo 9,44/1. Esta similitud de relación C/N de acuerdo a los postulados de Burges (12) y Duchaufour (13) podría indicar cierto grado de podsolización en algunos suelos nariñenses. La relación C/N fue más estrecha en los pisos tropical y subtropical.

Estadísticamente la capacidad catiónica de cambio aparece más relacionada con la presencia de materia orgánica que con la fracción mineral menor de 2 micras. Un resultado similar se desprende del trabajo de Bornemisza y Fuentes (6) en suelos de Costa Rica. En general la capacidad catiónica de cambio en los suelos volcánicos es relativamente alta, aunque por el hecho de haber empleado el método del acetato de amonio, no se descarta una adsorción física del reactivo en los materiales inorgánicos amorfos como indican los investigadores mencionados en este párrafo.

La mayor concentración de bases se obtuvo en la faja altitudinal Montano (B.T. \bar{X} : 20,13 me/100 g). Esta es el área de más fuerte influencia volcánica en Nariño (excepción de los conos volcánicos que pertenecen a las fajas Subalpina y Alpina). Curiosamente y fuera de la faja Montano, la mayor acumulación de bases B.T. \bar{X} : 16,46 me/100 g) se produce en la Llanura del Pacífico, en suelos clasificados como ferralíticos u oxisoles. Una explicación probable es la de que estos suelos reciben las bases lixiviadas de los flancos de la cordillera andina occidental en donde se encuentran sucesivamente los bosques Pluvial Tropical y Subtropical.

En los Cuadros 7 y 8 se presentan los resultados para distintas formas de nitrógeno en los suelos del Altiplano de Pasto. En general se puede considerar que los contenidos de nitrógeno total y orgánico son altos, resultado esperado si se tiene en cuenta el hecho bien conocido (1) de la acumulación de materia orgánica al ser desestimulada la acción microbiológica por el descenso de temperatura y la acidez.

Aunque existe muy escasa información acerca del nitrógeno total y nativo fijo (N-NH₄), puede indicarse que los rangos encontrados aquí son similares a los señalados por Blasco (4) en suelos con alto contenido de alófano, y para nitrógeno fijo por Mikami y Kanehiro (22) en suelos de cenizas volcánicas de Hawaii. Es muy posible que la fijación de nitrógeno en suelos volcánicos sea un fenómeno de importancia. Tamini, Kanehiro y Sherman (26) consideran que la fijación es debida a la formación de complejos relativamente insolubles de NH₄ con sílice, hierro hidratado, óxidos de aluminio y fósforo, denominados Taranakitas. Por otra parte Blasco y Cornfield (5) encontraron que la fracción menor de dos micras separadas de dos suelos que contenían alófano, llegaba a fijar 0,18 y 0,27 me/100 g a temperatura ambiente, aumentando la fijación por ciclos sucesivos de humedecimiento y secamiento (100°C) hasta 4,37 me/100 g.

El nitrógeno intercambiable (N-NH₄) parece ser adecuado. No obstante desde el punto de vista de fertilidad de los suelos, posiblemente en cosechas de período largo (v.g. cereales) la cantidad de nitrógeno disponible no sea suficiente si se tiene en cuenta el débil poder amonificante encontrado en varios de los suelos estudiados. Es de anotarse que en distintas investigaciones llevadas en suelos colombianos (14, 27) no se ha encontrado relación entre la cantidad de nitrógeno total y el nitrógeno intercambiable.

Los resultados para distintas fracciones de fósforo en los suelos subsuelos estudiados aparecen en los Cuadros 9 y 10 (Altiplano de Pasto, y 11 y 12 (Zona de Clima Medio).

Se observa una gran diferencia en el contenido de fósforo total entre ambas áreas, especialmente en los suelos (aproximadamente la relación Altiplano/Zona Clima Medio es 3/1). En parte las diferencias de contenido deben ser atribuidas a la erosión, prácticamente inexistente en el Altiplano y muy severa en la Zona de Clima Medio correspondiente a los cañones de los ríos Guátara, Juanambú y Mayo, donde los suelos se presentan en pendientes que normalmente sobrepasan el 30 y aún el 50 por ciento.

En los andosoles del Altiplano tanto el fósforo total como las otras fracciones (excepción del inerte) presentan cantidades menores que las reportadas para otros suelos volcánicos de América Central (7, 15, 16). En los suelos de la Zona de Clima Medio, en donde dentro de la procedencia común volcánica, puede establecerse alguna separación entre entisoles, inceptisoles (andosoles) e incluso hay suelos que muestran ciertas características similares a las descritas por Duchaufour (13) para los suelos ferruginosos, los datos obtenidos son similares a los encontrados por Morillo y Fassbender (23) en los suelos "someros" desarrollados sobre materiales volcánicos de Choluteca, Honduras.

Los datos más discordantes con las investigaciones mencionadas previamente ocurren al comparar los porcentajes

B.8.4

que del fósforo total corresponden a los fosfatos de aluminio y hierro. Así por ejemplo, Fassbender (16) señala un promedio de hasta 82,65 por ciento de fosfatos de aluminio en los andosoles de Costa Rica. En los andosoles del Altiplano de Pasto el promedio general es inferior al 15 por ciento. Podría intentarse la explicación de que los materiales del Altiplano son muy recientes (el volcán Galeras ha tenido 22 erupciones en lo que va del siglo), y por tanto la meteorización no es muy adecuada.

Como otras características se puede anotar que el fósforo orgánico puede representar en algunos promedios del Altiplano hasta un 25 por ciento del fósforo total, mientras que en los suelos de la Zona de Clima Medio el promedio osciló entre 14,9 y 9,55 por ciento. La suma de los fosfatos de hierro y aluminio fue siempre superior a la suma de los fosfatos cálcicos (en los suelos de la Zona de Clima Medio se estableció una relación 2/1).

Los resultados para el potasio aparecen en los Cuadros 13 y 14 para el Altiplano de Pasto y Cuadros 15 y 16 para la Zona de Clima Medio. A la vista de los datos obtenidos se puede concluir que los suelos nariñenses estudiados tienen una cantidad adecuada de potasio, aunque las cantidades de potasio total estén por debajo del promedio general.

En los suelos y subsuelos de la Zona de Clima Medio hay mayor cantidad de potasio fijado que en el Altiplano. De acuerdo a la dinámica del potasio (3, 24) indicaría en aquella zona una mayor presencia de arcillas tipo montmorillonita y vermiculita además de illita. Las cantidades de potasio intercambiable en ambas áreas se pueden considerar adecuadas para el sostenimiento de las cosechas.

Por otra parte si se tiene en cuenta la tesis de MacLean (21), observando las cantidades de la fracción de potasio más soluble del no intercambiable (superiores a las correspondientes a la fracción intercambiable), se puede decir que los suelos tienen un adecuado potencial para suministrar potasio.

Los datos correspondientes a los contenidos de cobalto y molibdeno en los suelos del Altiplano de Pasto se muestran en los Cuadros 17 y 18. Los contenidos totales de los tres elementos son inferiores a los promedios mundiales indicados por Hodgson (17) y Vinogradov (29).

Habida cuenta de que en el Altiplano hay cierta abundancia de materia orgánica y de óxidos de hierro y aluminio, muy posiblemente las formas asequibles de esos tres oligoelementos, principalmente cobre y molibdeno, sean deficientes. El cobre por formar complejos con la materia orgánica y el molibdeno por reaccionar con los óxidos de hierro y aluminio para formar los molibdatos correspondientes.

SUMMARY

The soils used in this study were obtained from Nariño (32.704 km²), region situated in the SW of Colombia. The main feature of Nariño is the presence of 23 volcanos (5 in activity), which obviously influences the chemical characteristics of the soils, mainly classified as andosols. According to the results soils are acids, with high content of organic matter. The CEC appears to be related to this fraction.

Total-N content is high and the inorganic-N is an important part in the soils studied. Inert-P represents about 50 percent of the total-P, being the values for the other fractions rather low (Aluminum phosphate averages about 15% of total-P). Potassium values are adequate, although total-K is somewhat low (on average less than 1% soil basis).

Values for cobalt, copper and molybdenum ranged between 1 to 8,6 ppm, 0.4 to 27,6 ppm and 0 to 2.4 ppm respectively.

BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDER, M. 1961. Introduction to soil microbiology. John Wiley Sons Inc. New York. London. 39 p.
2. BANCO DE LA REPUBLICA. 1959. Atlas de Economía Colombiana. Aspecto Físico y Geográfico. Ed. B. República. Bogotá. (Sin paginación).
3. BARBIER, G. 1962. La fumure potassique dans le conditions mediterraneenes. La dynamique du potassium dans le sol. Symp. Inst. Inter. Pot. Atenas. 231-258.

4. BLASCO, M. 1966. Studies on some aspects of nitrogen in the soils of Colombia. Ph.D. Thesis. University of London. 311 p.
5. BLASCO, M. y A. H. CORNFIELD. 1966. Fixation of added ammonium and nitrification of fixed ammonium in soils clays. *Jour. Sci. Food Agric.* 17 17:481–484.
6. BORNEMISZA, E. y R. FUENTES. 1968. Cation exchange capacity of Costa Rican soils and subsoils at different pH values in the presence of organic matter or after its destruction. *Agron. Abst. Amer. Soc. Agron. New Orleans.* pp. 80.
7. BORNEMISZA, E. y K. IGUE. 1967. Comparison of Three methods for determining organic phosphorus in Costa Rica soils. *Soil Sci.* 103:347–353.
8. BOUYOCOS, G. H. 1934. A comparison between the pipette method and the hydrometer method for making mechanical analysis of soil. *Soil Sci.* 38:335–343.
9. BREMNER, J. M. 1959. Determination of fixed ammonium in soils. *Jour. Agric. Sci.* 52:147–166.
10. BREMNER, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldahl method. *Jour. Agric. Sci.* 55:11–33.
11. Bueno, J. 1946. Estudio geológico de Nariño. Min. Minas y Petróleos. Informe No. 625.
12. BURGESS, A. 1960. Chemical studies on humic acid from a podzol soil. *Physico-chemical investigations of humic acid.* 7th Intern. Cong. Soc. Soil. Sci. Madison.
13. DUCHAUFOR, P. 1965. *Précis de Pédologie.* Zme. ed. Masson Ed. Paris. 499 p.
14. DURAN, N. y M. BLASCO. 1969. Algunas formas de nitrógeno en los suelos áridos de la Guajira (Trabajo no publicado)
15. FASSBENDER, H. W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de La Meseta Central y de las llanuras Atlánticas de Costa Rica. *Fitotecnia Lat.* 3:187–202.
16. FASSBENDER, H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rican soils. *Agrochimica* 12:512–521.
17. HODGSON, J. F. 1963. Micronutrients in soils. *Adv. in Agron.* 15:119–159.
18. HOLDRIDGE, L. R. 1958. *Curso de Ecología Vegetal.* IICA, Turrialba. 45 p. (Texto en mimeógrafo).
19. JACKSON, M. L. 1964. *Análisis químico de suelos.* Trad. J. Beltrán M. Barcelona, Edit. Omega. 660 p.
20. LEGARDA, L. y MORA. 1969. Estudio de ciertas características de algunos suelos de Nariño relacionadas con las formaciones ecológicas. Tesis I.T.A. Univ. Nariño. 166 p.
21. MacLEAN, A. J. 1961. Potassium supplying power of some Canadian soils. *Canad. Jour. Soil. Sci.* 41:196–206.
22. MIKAMI, D. T. y Y. KANEHIRO. 1968. Native fixed ammonium in Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 32:481–485.
23. MORILLO, M. R. y H. W. FASSBENDER. 1968. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la cuenca baja del río Choluteca, Honduras. *Turrialba* 18:26–33.
24. SCHUFFELEN, A. C. y W. C. van der MAREL. 1955. Potassium fixation in soils. *Symp. Inst. Inter. Pot. Roma.* 203–214.
25. •SOC. ANALYTICAL CHEM. 1963. Determination of trace elements. Heffer and Sons Ltd. London. 39 p.

B.8.6

26. TAMINI, Y. N., Y. KANEHIRO y G. D. SHERMAN. 1963. Ammonium fixation in amorphous Hawaiian soils. *Soil Sci.* 95:426–430.
27. TAFUR, N. y M. BLASCO. 1968. El nitrógeno en los suelos del Valle del Cesar. *Acta agron.* 18:7–16.
28. VARELA, J. 1963. Estudio general de suelos del sector Pasto—Río Mayo. Instituto Geográf. A. Codazzi, Bogotá. 104 p.
29. VINOGRADOV, A. P. 1959. The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. Consultants Bur. New York (Trad. ruso).
30. ZAMBRANO, D. L. ERASO y W. NICHOLLS. 1969. Atlas agrológico del Departamento de Nariño. Tesis I.T.A. Univ. Nariño. 226 p.

B.8.7

CUADRO 1. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del Piso Altitudinal Tropical (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	bh-T 1	bh-T 2	bh-T 3	bh-T 4	bh-T 5	bmh-T 6	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso
Reacción del suelo (pH)	5,65	5,50	6,10	5,80	5,60	4,85	5,58	0,44	5,14	6,02
Porcentaje N Total	1,37	0,68	0,09	0,39	0,18	1,48	0,70	0,63	1,07	1,33
Porcentaje materia orgánica	19,63	8,98	1,02	4,95	3,47	27,27	10,87	4,22	6,65	15,09
Relación C/N	8,31	7,66	6,55	7,35	11,16	10,68	8,62	1,97	6,65	10,59
P. aprovechable ppm	3,91	1,74	6,17	3,23	1,30	1,03	2,90	2,02	0,88	4,92
CCC me/100 g	63,12	32,11	9,12	26,57	16,77	67,17	35,81	25,29	10,52	61,10
Bases totales me/100 g	48,00	9,47	12,66	16,44	10,12	2,06	16,46	16,96	0,00	33,42

CUADRO 2. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del piso altitudinal montano bajo. Bosque húmedo (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	bh-MB 10	bh-MB 11	bh-MB 12	bh-MB 20	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso	
Reacción del suelo (pH)		5,50	6,20	5,60	5,20	5,63	0,67	4,96	6,30
Porcentaje N total		0,62	0,13	0,35	0,13	0,31	0,37	0,00	0,68
Porcentaje materia orgánica		8,96	2,21	5,00	1,56	4,43	5,93	0,00	10,36
Relación C/N		8,38	9,84	3,28	7,00	8,37	2,06	6,29	10,45
P aprovechable ppm		0,39	2,36	9,39	1,89	3,51	6,38	0,00	9,89
CCC me/100 g		52,28	14,82	35,88	15,75	29,68	28,61	1,07	58,29
Bases totales me/100 g		3,08	4,59	19,08	8,41	8,79	11,48	0,00	20,27

CUADRO 3. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del piso altitudinal subtropical (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	bp-ST 7	bmh-ST 8	bmh-ST 9	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso	
Reacción del suelo (pH)		5,00	5,00	5,55	5,18	1,44	3,74	6,62
Porcentaje N Total		0,30	0,35	0,16	0,27	0,79	0,00	1,06
Porcentaje materia orgánica		5,51	6,03	1,91	4,43	7,14	0,00	11,62
Relación C/N		10,66	10,00	6,93	9,20	2,86	4,27	14,13
P aprovechable ppm		2,37	0,40	0,95	1,24	2,52	0,00	3,76
CCC me/100 g		53,90	9,18	44,49	29,39	44,19	0,00	73,48
Bases totales me/100 g		0,35	1,51	18,18	6,68	24,78	0,00	31,46

CUADRO 4. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del piso altitudinal montano bajo. Bosque seco (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	bs-MB 13	bs-MB 14	bs-MB 22	bs-MB 24	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso	
Reacción del suelo (pH)		5,70	6,25	6,60	6,00	6,13	0,59	5,54	6,72
Porcentaje N Total		0,42	0,27	0,10	0,11	0,23	0,24	0,00	0,47
Porcentaje materia orgánica		7,79	6,30	1,72	2,32	4,53	4,73	0,00	9,26
Relación C/N		10,76	13,55	10,00	12,27	11,64	2,51	9,12	14,16
P aprovechable ppm		8,49	12,03	3,32	15,75	9,87	9,82	0,00	18,71
CCC me/100 g		22,18	17,04	18,55	17,61	18,86	3,65	15,21	22,51
Bases totales me/100 g		4,92	16,82	21,73	16,20	14,92	11,31	3,61	26,23

CUADRO 5. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del piso altitudinal montano (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	bh-M 17	bh-M 18	bh-M 19	bh-M 21	bh-M 26	bh-M 27	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso
Reacción del suelo (pH)	5,50	6,05	6,35	6,40	5,70	6,10	6,01	0,37	5,64	6,38
Porcentaje de N total	0,31	0,40	0,15	0,19	0,35	0,58	0,33	0,16	0,17	0,49
Porcentaje materia orgánica	4,68	6,80	1,96	3,84	6,06	9,65	5,49	2,78	2,71	18,27
Relación C/N	8,77	9,87	7,60	11,74	10,05	9,65	9,61	1,45	8,16	11,06
P aprovechable ppm	9,32	2,27	5,11	1,89	1,31	4,26	4,03	3,12	0,91	7,15
CCC me/100 g	17,88	30,76	11,35	16,27	28,32	47,31	26,98	12,91	14,07	38,88
Bases totales me/100 g	8,31	18,75	12,84	22,51	20,30	38,10	20,13	23,15	0,00	43,28

CUADRO 6. Medias aritméticas de los perfiles de suelos (primera capa) del piso altitudinal subalpino (Probabilidad 95%)

Formación vegetal No. del perfil	p-SA 15	p-SA 16	p-SA 25	p-SA 28	p-SA 29	T 30	\bar{X}	P = 0,95%	Por defecto	Por exceso
Reacción del suelo (pH)	5,30	5,45	5,30	5,80	4,95	5,05	5,31	0,32	4,99	5,63
Porcentaje N total	0,58	0,44	0,60	0,50	0,50	0,40	0,50	0,25	0,25	0,75
Porcentaje materia orgánica	12,68	7,10	12,15	11,03	11,95	10,17	10,85	2,40	8,45	13,25
Relación C/N	12,68	9,36	12,75	12,80	13,86	14,75	12,53	1,96	10,57	14,49
P aprovechable ppm	39,21	16,07	1,00	1,35	4,27	5,92	11,30	6,06	5,24	17,36
CCC me/100 g	38,75	24,43	55,22	42,26	35,37	25,18	36,95	11,74	25,21	48,69
Bases totales me/100 g	0,56	5,29	1,55	11,87	2,37	3,05	4,19	5,27	0,00	9,46

T: Transición entre páramo subalpino a alpino

CUADRO 8. Contenidos máximo, promedio y mínimo (en ppm) de las fracciones de nitrógeno en los suelos estudiados Altiplano de Pasto

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
N-Total	6.145	4.709,7	2.320	6.226	4.043,6	2.500	6.794	4.000,8	1.769
N-Orgánico	5.919,8	4.555,6	2.218,7	6.041,4	3.849,3	2.300	6.358	3.834,5	161,2
N-NH ₄ Inorgánico	225,2	154,1	101,3	256,1	194,3	118,1	272,6	166,3	113,4
N-NH ₄ Fijo	141,2	89,5	32,4	176,0	123,5	62,0	208,6	102,8	51,0
N-NH ₄ Intercambiable	95,0	64,7	44,0	128,0	70,8	45,0	84,0	63,5	44,8
N-NH ₃	29,5	9,11	0,2	25,2	16,6	4,3	18,9	10,1	2,4

CUADRO 7. Contenido máximo, promedio y mínimo (en ppm) de las fracciones de nitrógeno en los subsuelos estudiados Altiplano de Pasto

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
N-Total	8.084	3.990,4	2.442	4.508	2.667,1	1.336	4.771	3.309,9	1.572
N-Orgánico	7.959,0	3.819,8	2.218,0	4.365,6	2.497,8	1.168,8	4.620	3.147,5	1.441,6
N-NH ₄ Inorgánico	252,0	170,6	103,2	246,7	169,3	112,3	257,3	162,4	102,7
N-NH ₄ Fijo	179,5	114,5	64,2	196,7	103,7	58,0	190,3	109,4	41,3
N-NH ₄ Intercambiable	72,5	56,1	39,0	78,0	65,6	28,0	67,0	53,0	33,0
N-NH ₃	13,1	6,6	1,3	14,5	8,5	0,4	20,7	7,5	1,3

CUADRO 9. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de fósforo (en ppm) en los suelos del altiplano

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Fácilmente reemplazable	42,5	9,9	0,4	19,8	6,7	0,3	44,6	10,5	0,3
P-Ca no apatítico	1.953,5	200,8	0,3	22,1	6,4	0,4	945,9	106,7	0,7
P-Ca apatítico	107,2	25,2	2,5	46,8	20,3	9,4	63,5	27,1	6,8
P-unido al Al	559,8	107,6	0,1	386,7	144,5	0,1	799,1	214,1	21,9
P-unido al Fe	408,7	158,9	0,1	383,2	165,8	78,2	483,6	207,4	53,2
P-Orgánico	188,9	133,1	83,3	202,4	101,5	72,3	183,9	136,7	91,9
P-Inerte	2.036,9	829,4	31,3	1.591,2	979,5	158,7	1.377,2	765,6	104,3
P-Total	2.213,4	1.465,3	464,9	2.494,9	1.394,8	575,3	3.378,4	1.467,6	368,2

CUADRO 10. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de fósforo (en ppm) en los subsuelos del Altiplano

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Fácilmente reemplazable	6,5	1,9	0,3	42,5	7,9	0,3	6,2	1,9	0,2
P-Ca no apatítico	196,9	29,3	2,2	36,7	10,2	0,4	97,4	16,3	0,3
P-Ca apatítico	47,0	18,5	3,3	39,1	22,8	8,1	44,6	25,2	8,3
P-unido al Al	258,5	75,0	0,1	267,1	98,2	6,0	393,2	70,0	0,1
P-unido al Fe	376,1	133,7	28,7	397,3	118,8	15,4	363,6	107,8	27,8
P-Orgánico	169,5	109,9	31,1	181,9	158,1	81,8	301,3	151,2	27,9
P-inerte	1.095,5	235,8	3,0	1.222,1	291,2	15,1	726,1	227,5	6,4
P-Total	1.321,5	604,3	300,3	1.668,1	707,4	391,4	1.104,7	600,1	276,8

B.8.9

CUADRO 11. Contenidos máximo, promedio y mínimo* de las fracciones de fósforo en los suelos estudiados – Zona de clima medio

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Fácilmente reemplazable	14,37	6,86	3,29	7,97	5,14	2,68	17,90	7,20	0,65
P–Ca no apatítico	84,26	22,37	2,98	80,23	22,55	0,35	149,74	34,72	2,63
P–Ca apatítico	101,96	23,72	7,29	49,37	14,68	1,34	79,38	23,10	8,02
P–unido al Al	88,25	48,80	10,23	118,20	56,72	7,45	269,53	66,59	6,28
P–unido al Fe	106,47	49,84	8,02	105,43	46,11	8,27	157,03	48,46	8,47
P–orgánico	147,63	74,16	26,24	141,79	82,03	39,31	131,41	67,44	14,17
P–Inerte	431,58	291,21	59,77	518,57	323,17	115,48	551,75	287,84	57,56
P–Total	614,04	516,95	265,28	813,19	550,40	306,25	1213,42	535,35	236,61

* ppm de P

CUADRO 12. Contenidos máximo, promedio y mínimo* de las fracciones de fósforo en los subsuelos estudiados – Zona de clima medio

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
Fácilmente reemplazable	12,24	5,96	3,40	7,46	3,12	0,33	8,69	5,18	0,81
P–Ca no apatítico	117,93	35,05	2,72	65,08	12,80	0,34	126,82	31,45	1,09
P–Ca apatítico	60,46	23,80	3,40	24,08	9,11	0,72	150,67	35,52	2,11
P–unido al Al	129,65	38,64	3,10	130,17	31,22	6,46	66,53	25,47	4,82
P–unido al Fe	87,37	46,96	12,93	72,90	45,11	21,59	142,50	52,73	10,04
P–orgánico	143,52	55,84	14,02	148,39	56,69	5,47	74,00	38,33	9,82
P–Inerte	411,88	172,75	35,10	417,83	233,84	12,16	514,00	212,67	57,23
P–Total	588,38	379,00	142,23	629,88	391,89	201,55	841,27	401,35	210,60

* ppm de P

CUADRO 13. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de potasio (en ppm) en los suelos del Altiplano

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
K–Total	10.843,4	8.484,8	5.449,5	10.919,1	7.689,8	4.819,0	12.642,9	8.506,5	5.363,2
K–Estructural	8.952,6	7.198,7	4.788,8	9.167,3	6.688,1	4.397,9	9.815,9	6.880,2	4.548,2
K–*	1.114,3	818,1	490,6	1.228,5	714,9	311,2	1.184,5	990,7	529,7
K–**	777,9	554,4	300,9	804,9	474,0	92,2	912,7	685,6	228,3
K–NO ₃ H–0.1N***	776,3	468,0	170,0	522,2	286,7	109,8	1.642,5	735,7	285,4
K–NH ₄ OAc–N***	700,8	482,1	205,3	550,6	312,3	103,7	1.336,9	662,1	279,7
K–Sol. en agua	174,7	79,0	19,9	48,9	38,5	14,8	239,5	96,2	29,3

* K no intercambiable total

** K no intercambiable más soluble del total

*** K intercambiable

CUADRO 14. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de potasio (en ppm) en los subsuelos del Altiplano

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
K–Total	11.931,5	8.617,8	4.907,0	10.355,8	7.980,6	4.969,9	11.607,7	8.374,1	4.279,2
K–Estructural	9.858,8	7.249,5	4.066,8	8.754,4	7.163,3	4.576,4	8.341,6	6.717,6	3.621,5
K–*	1.212,0	887,5	646,4	1.100,5	654,6	313,8	1.361,2	1.012,5	530,0
K–**	740,7	602,1	452,4	880,4	425,4	151,1	1.023,6	722,7	318,0
K–MO ₃ H–0.1N***	860,7	478,9	193,9	500,9	262,7	80,7	1.904,9	644,0	127,7
K–NH ₄ OAc–N***	871,5	484,3	166,9	565,0	281,3	80,7	1.816,4	647,7	153,2
K–Sol. en agua	171,8	58,1	12,9	41,5	22,9	12,9	139,2	54,9	13,6

* K no intercambiable total

** K no intercambiable más soluble del total

*** K intercambiable

B.8.10

CUADRO 15. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de potasio (en ppm) en los suelos de la zona de clima medio

Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
K-Total	7.096,2	5.680,4	3.878,4	6.544,9	5.395,2	3.067,7	7.498,6	5.716,6	2.331,9
K-Estructural	5.099,6	4.274,1	2.997,5	5.779,4	3.810,8	1.253,2	5.342,2	4.162,7	1.416,2
K-*	1.951,5	1.035,6	175,1	3.697,1	1.235,9	474,3	2.102,4	1.214,3	527,1
K-**	1.089,0	606,9	80,8	1.929,3	659,9	308,8	1.239,1	708,7	202,3
K-NO ₃ H-0,1***	564,3	370,7	173,6	1.055,1	348,5	67,6	735,3	339,6	122,7
K-NH ₄ OAc-N***	457,8	329,0	88,8	600,2	307,7	56,3	733,2	297,9	81,8
K-Sol. en agua	64,8	33,8	9,9	57,3	30,5	8,7	96,0	28,3	11,1

CUADRO 16. Contenidos máximo, promedio y mínimo de las fracciones de potasio (en ppm) en los subsuelos de la zona de clima medio

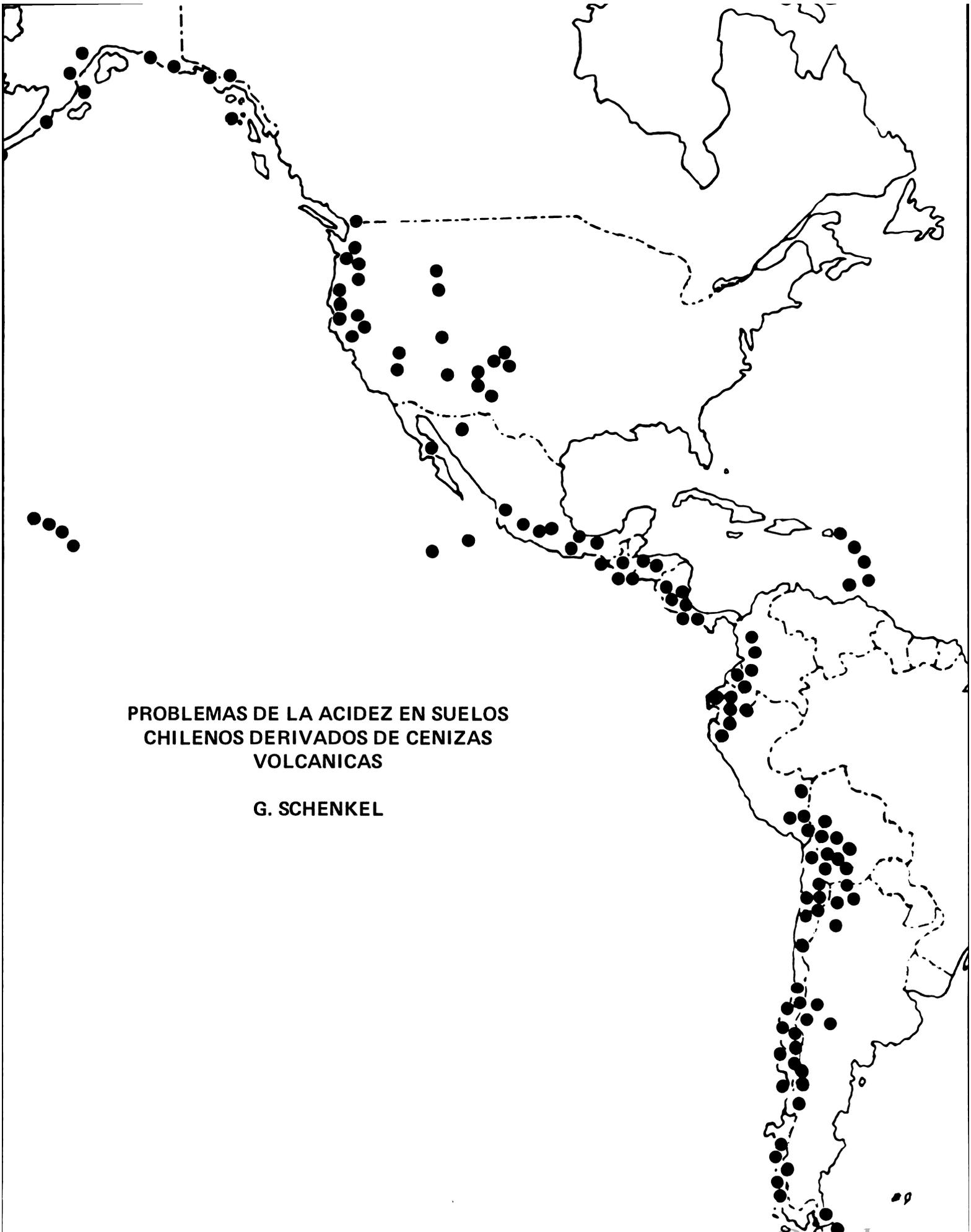
Fracciones	Bosque			Pradera			Cultivos		
	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo
K-Total	7.886,8	4.613,9	2.552,5	6.069,3	4.696,2	2.291,1	8.374,5	5.350,6	1.423,5
K-Estructural	5.623,3	3.578,1	1.960,5	5.600,6	3.563,8	1.285,3	5.839,7	4.234,2	1.192,4
K-*	2.150,6	872,0	64,0	3.664,9	984,4	262,4	2.473,6	1.002,9	185,6
K-**	1.280,3	506,6	55,4	1.464,6	487,4	95,8	1.357,0	567,3	94,9
K-NO ₃ H-0.1N	563,4	163,8	61,8	415,7	148,0	29,1	583,5	113,5	30,4
K-NH ₄ OAc-N	405,5	145,5	30,9	437,0	136,7	10,4	574,7	111,7	35,0
K-Sol. en agua	42,5	12,6	5,6	14,2	8,5	3,6	51,4	12,2	3,8

CUADRO 17. Contenido mínimo, promedio y máximo de molibdeno, cobre y cobalto total en suelos del Altiplano de pasto bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque (resultados en ppm)

	Molibdeno			Cobre			Cobalto		
	Cultivo	Pradera	Bosque	Cultivo	Pradera	Bosque	Cultivo	Pradera	Bosque
Mínimo	0,000	0,000	0,090	1,690	0,640	2,000	1,030	1,680	1,310
Promedio	1,047	1,034	1,041	8,631	5,993	10,969	4,120	3,397	4,417
Máximo	2,060	1,830	2,440	21,160	13,350	27,600	8,620	7,120	7,630

Cuadro 18. Contenido mínimo, promedio y máximo de molibdeno, cobre y cobalto total en subsuelos del Altiplano de pasto bajo condiciones de cultivo, pradera y bosque (resultados en ppm)

	Molibdeno			Cobre			Cobalto		
	Cultivo	Pradera	Bosque	Cultivo	Pradera	Bosque	Cultivo	Pradera	Bosque
Mínimo	0,000	0,580	0,000	0,420	1,730	1,260	0,980	2,050	1,060
Promedio	0,899	1,259	0,821	7,416	6,727	9,100	4,981	4,598	4,591
Máximo	2,430	2,150	1,760	23,230	12,540	21,970	8,110	8,090	8,080



**PROBLEMAS DE LA ACIDEZ EN SUELOS
CHILENOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS**

G. SCHENKEL

PROBLEMAS DE LA ACIDEZ EN SUELOS CHILENOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS*

Gotardo Schenkel**

Se expondrán solamente dos temas relacionados con la acidez del suelo: A— Reacción del suelo y B— Aluminio en el suelo.

REACCION DEL SUELO

Introducción:

Numerosas observaciones han permitido atribuir a la reacción del suelo trascendental participación en los fenómenos que afectan a la productividad de los suelos agrícolas. Se reconoce una notable influencia de la acidez del suelo sobre las siguientes características del mismo:

- a) Disponibilidad de fósforo
- b) Solubilidad de micronutrientes
- c) Actividad microbiana en general y nodulación de leguminosas en particular
- d) Disponibilidad de micronutrientes
- e) Propiedades físicas
- f) Toxicidad de algunos elementos químicos (por ejemplo: Al, Na, Mn, Fe)
- g) Cambios de oxidación de las formas del nitrógeno en el suelo (N orgánico por ejemplo)

Llama la atención la ausencia de conclusiones obtenidas con suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas que relacionen a esta característica con otras propiedades del suelo. Se desconoce si ello se debe a la carencia de trabajos efectuados o a la falta de asociación encontrada entre pH y otra propiedad de interés agronómico del suelo.

Parece fundamental recalcar que con un buen instrumento, provisto de sus respectivos electrodos, es fácil efectuar lecturas fidedignas de la actividad de los iones de hidrógeno a partir de soluciones químicas.

Sin embargo, la medida del pH de los suelos se complica notablemente. En primer lugar, los valores leídos son irreales respecto al suelo, considerando la complejidad que envuelve la técnica de medida del pH del suelo, pues se trabaja con muestras del mismo perturbadas, generalmente secadas y tamizadas, con soluciones de composición variada agregadas al suelo para obtener la suspensión respectiva, con procedimientos diferentes, todo lo cual agrava la situación.

Ha sido nuestro propósito encarar el conjunto de estos factores mediante varias experiencias, cuyos resultados se expondrán a continuación.

Experiencias y Resultados:

En este trabajo se han utilizado los resultados de dos experiencias:

- a) Una efectuada por P. Goic (5), R. Hurtado (7), R. Novoa (11), J. Peterson (12) y el autor del presente trabajo, en la Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía, con 335 muestras de suelo procedentes de alfalfares chilenos que abarcaban desde la provincia de Coquimbo hasta Magallanes, inclusive.

Se midió el pH de todos los suelos con 7 métodos y en forma complementaria se incluyó la determinación con K Cl N en una suspensión (1:2,5) tanto con electrodo de vidrio como quinhidrona. Finalmente se correlacionaron las 54 determinaciones individuales de cada muestra entre sí, para apreciar el grado de asociación que entre ellas pudiera existir.

* Trabajo realizado en colaboración con el Departamento de Suelos, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción, Chile.
** Ingeniero Químico, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca, Chile.

B.9.2

Los coeficientes de correlación lineal calculados mediante computador de la Universidad de Concepción se presentan en el Cuadro 1. Se entregan los coeficientes r en forma separada para el total de muestras y para el grupo de muestras cuyo pH en agua (1:2,5) es inferior a 6,5 cuando se mide con electrodo de vidrio. Ello permite separar a los grupos de suelos derivados de cenizas volcánicas (pH inferior a 6,5) de los restantes y dejaría de manifiesto la influencia de éstos sobre las correlaciones.

Los métodos que se comparan son los siguientes:

Método comparado	Relación suelo—solución	Electrodo
1. Agua destilada	1:2,5	vidrio
2. Agua destilada	1:1	vidrio
3. KCl N/10	1:2,5	vidrio
4. CaCl ₂ 0,01 M	1:2	vidrio
5. Agua destilada	1:1	quinhidrona
6. Agua destilada	1:2,5	quinhidrona
7. KCl N/10	1:2,5	quinhidrona

b) Una segunda experiencia efectuada por G. Schenkel con 591 muestras en la Estación Experimental Carillanca. El comportamiento peculiar de los "trumaos"* nos indujo a elegir un grupo de 591 muestras, dentro de las cuales constituyeron franca mayoría. Estas se eligieron en la cantidad que se indica, de las siguientes provincias:

Antofagasta	6
Santiago	12
Linares	22
Ñuble	17
Bío—Bío	38
Malleco	48
Cautín	120
Valdivia	22
Osorno	64
Llanquihue	227
Chiloé	15
Total	591

Como los suelos derivados de cenizas volcánicas se encuentran ubicados al sur del país, que es una zona de mayor pluviometría y temperaturas más bajas, se caracterizan por su mayor acidez. Puede admitirse que no sobrepasan pH 5.80 en KCl N (1:2,5) con electrodo de vidrio. Esta razón nos mueve a entregar separadamente los valores del coeficiente de correlación para todos los suelos y para suelos de pH inferior a 5.80, medidos en la forma antes mencionada.

Con estos suelos también se efectuó el cálculo de los coeficientes de correlación entre pH medidos por diferentes métodos, mediante el computador de la Universidad de Concepción. Los resultados y métodos usados se indican en el Cuadro 2.

Los métodos comparados son los siguientes:

Método comparado	Relación suelo—solución
1. KCl N	1:2,5
2. Agua destilada	1:1
3. Agua destilada	1:2,5
4. KCl N	1:1
5. CaCl ₂ 0,01 M	1:2
6. KCl N/10	1:2,5
7. KNO ₃ N	1:2,5
8. Ca SO ₄ 0,01 M	1:2,5

* Trumao: Nombre comúnmente dado a los suelos derivados de cenizas volcánicas.

Discusión:

a) Comparación de pH medidos con electrodo de vidrio o de quinhidrona

Muchos trabajos han encontrado la aplicación de uno u otro electrodo. Todavía se usan ambos (19) reconociéndose preferencia por el electrodo de vidrio (4).

Antes de elegir a uno u otro electrodo, es preferible comparar los resultados obtenidos con ambos. Como éstos podrían estar afectados por la solución empleada para la preparación de la suspensión de suelo, se eligió a ambos. La comparación de los resultados se hizo por el cálculo del coeficiente de correlación lineal que existiera entre métodos y los valores de r pueden verse en el Cuadro 1, del cual se deduce:

1. No hay ventajas en el empleo del electrodo de quinhidrona, pues las correlaciones entre métodos semejantes son iguales o aún superadas cuando se miden con electrodo de vidrio.
2. El coeficiente de correlación es independiente del grupo de suelo. Suelos ácidos (pH inferior a 6,5), se comportan igual al conjunto de todos los suelos.
3. La existencia de una correlación lineal altamente significativa entre pH leídos con los dos electrodos a partir de una misma suspensión de suelos. Esto permite convertir los valores experimentales leídos con un electrodo, en valores equivalentes calculados para el otro electrodo por el empleo de una adecuada ecuación de conversión.
4. La mayor dificultad para alcanzar una lectura estable de pH con el electrodo de quinhidrona.
5. La mayor simplicidad que significa trabajar con electrodo de vidrio, por cuanto no se agrega la quinhidrona a cada muestra.
6. Las mayores perturbaciones que puede provocar la presencia de algunos constituyentes del suelo sobre el electrodo de quinhidrona. (Por ejemplo manganeso).

b) Comparación de pH obtenidos con diferentes relaciones suelo/solución para una misma suspensión del suelo

Suelos derivados de cenizas volcánicas con alto contenido de materia orgánica (sobre 15 %) pueden alcanzar una capacidad de retención de humedad próxima al 100 por ciento. Esta circunstancia justifica dar al suelo un tratamiento semejante al de los suelos forestales (16) y hortícolas (9), es decir, debe aumentarse la fase líquida agregada al suelo para preparar la suspensión. Se eligieron dos suspensiones: una en agua y otra en KCl N, cada una de ellas con dos relaciones 1:1 y 1:2,5.

Los pH medidos para estas cuatro suspensiones se correlacionaron entre sí y sus coeficientes r se presentan en el Cuadro 2, del cual se desprende que:

1. Los pH de una misma suspensión, preparados con distinta relación suelo/solución, varían en forma lineal.
2. La asociación anterior subsiste tanto para los suelos derivados de cenizas volcánicas, como para el conjunto de todos los suelos.
3. Los pH en agua de suspensiones preparadas con distinta relación suelo/solución permiten ser vinculados entre sí por la relación: $\text{pH H}_2\text{O (1:1)} = -0,15 + 1,00 \times \text{pH H}_2\text{O (1:2,5)}$ para todos y por: $\text{pH H}_2\text{O (1:1)} = -0,04 + 0,98 \text{ pH H}_2\text{O (1:2,5)}$ para trumaos.
4. Los pH en KCl N de suspensiones preparadas con distinta relación suelo/solución permiten relacionarse del siguiente modo: $\text{pH KCl N (1:2,5)} = -0,05 + 1,02 \text{ pH KCl N (1:1)}$ para el conjunto de todos los suelos y $\text{pH KCl N (1:2,5)} = 0,12 + 0,98 \text{ pH (KCl N (1:1))}$ para suelos trumaos.
5. Para suelos ricos en materia orgánica y por lo tanto muestras con elevada capacidad de retención de humedad, se convierte insegura y difícil la lectura del pH a la relación 1:1. Ello explica la menor asociación encontrada en el cuadro anterior, entre los pH en KCl N y en agua, para la relación más estrecha.

Recurriendo a los 335 suelos de la primera experiencia (ver Cuadro 1), se determinó: $\text{pH (H}_2\text{O) (1:2,5)} = -0,33 + 1,02 \text{ pH H}_2\text{O (1:1)}$ con un coeficiente de correlación algo inferior: 0,910.

La conclusión más importante consiste en la conveniencia de preferir lecturas de acidez activa a partir de suspensiones que empleen relaciones suelo/solución más amplias que 1:1.

c) Comparación de pH medidos en distintas suspensiones de suelo

Para apreciar el efecto de las distintas soluciones empleadas en la preparación de la suspensión de suelo, se eligieron los métodos que tienen una relación 1:2 ó 1:2,5, leídos con electrodo de vidrio, de la primera experiencia con 335 suelos procedentes de todo Chile.

Comparando los coeficientes de correlación respectivos en el Cuadro 1, se observa que la correlación se mejora cuando se incluyen los suelos neutros. Podría pensarse por lo tanto, que las asociaciones encontradas para los pH indicados no se cumplirán con los trumaos. Esta situación se deseó aclarar con los 591 suelos, preferentemente derivados de cenizas volcánicas, pero probando un mayor número de soluciones para la preparación de la suspensión. Se consideraron todas las suspensiones (Cuadro 2), excepto las de relación 1:1, cuyos pH fueron medidos con electrodos de vidrio y calomelano.

Los resultados permiten concluir que:

1. La supuesta ley lineal de asociación entre pH de suspensiones preparadas por distintas soluciones se verifica mejor entre soluciones salinas, que entre una cualquiera de éstas y el pH de una suspensión en agua.
2. Los valores de cualquier método pueden ser calculados a partir del pH experimentalmente determinado por cualquiera de los otros métodos considerados.
3. Los trumaos se comportan en forma muy semejante a los restantes suelos. Esto significa que las relaciones anteriores son independientes de los suelos mismos.
4. Los dos grupos de suelos dan coeficientes de correlación muy semejantes cuando se comparan métodos semejantes, por ejemplo: pH (H₂O) versus pH CaCl₂ = 0,898 para todos los suelos y 0,896 para los suelos trumaos.

Al atenderse a factores de economía de reactivos, puede encontrarse una buena aplicación en los métodos que suspenden al suelo en Ca Cl₂ 0,01 M y en KCl N/10. Sin embargo, se prefiere considerar otros aspectos que envuelve la determinación de acidez activa del suelo, antes de tomar una decisión.

d) Amplitud máxima de pH para los métodos considerados

Cuando dos variables se asocian por un coeficiente de correlación altamente significativo y próximo a la unidad, como ocurre en este caso, queda la alternativa de elegir entre una u otra. Debería considerarse a continuación la mayor amplitud de valores que entregan los métodos considerados. La fuente de error que encierra la lectura de pH hace que pequeñas diferencias en el valor de éste afecten más al método que da menores diferencias en condiciones extremas. Por ejemplo: un suelo ácido puede arrojar un valor 4.00 con KCl N, mientras con agua da 4.8. Si ahora se elige un suelo neutro, puede ocurrir que en KCl N nos de pH 6.2, mientras en agua da 6.6. Las diferencias, amplitudes en este caso, serían mayores para el KCl (6.2 - 4.0) = 2.2 unidades - que para agua (6.6 - 4.8 = 1.8 unidades). Hemos calculado el promedio de los pH ubicados en el estrato inferior a pH KCl N. 4.00 para cada método. Este valor se restó del promedio calculado con cada método para los pH del estrato superior a pH KCl 5.80.

Las diferencias así obtenidas se ordenan de mayor a menor y son:

para KCl N (1:2,5)	3,187
para KCl N/10 (1:2,5)	3,071
para K NO ₃ N (1:2,5)	3,020
para Ca Cl ₂ 0,01 M (1:2)	2,865
para Ca SO ₄ 0,01 M (1:2,5)	2,552
para H ₂ O (1:2,5)	2,356

Los dos últimos métodos arrojan diferencias que son muy semejantes entre sí: el Ca Cl₂ asume un comportamiento intermedio, mientras que los restantes métodos dan diferencias mayores.

Integrando la propiedad de menor amplitud de valores de pH para condiciones extremas, con la menor correlación existente entre la suspensión en agua y en solución salina que entre éstos, puede preguntarse si en realidad el pH en

agua mide el mismo parámetro del suelo que se mide con el pH de cualquier otra solución salina.

e) Relación entre pH y otras propiedades del suelo

La determinación de una característica cualquiera se efectúa por su utilidad práctica o teórica. En general, una determinación implica la evaluación de otras propiedades del suelo de más larga, difícil o costosa ejecución.

Gran interés encierra, por tanto, esclarecer mediante la determinación de pH, si puede deducirse alguna otra propiedad. Esto se hizo con las 335 muestras procedentes de todo el país, para lo cual se computaron 54 determinaciones individuales hechas a todas las muestras. Se supuso una ley de variación lineal, entre el valor pH de cada método estudiado y la propiedad considerada. Admitimos que una asociación curvilínea habría sido más general; no obstante, la correlación rectilínea entregaría un buen antecedente.

Para mayor simplificación se mencionarán únicamente los coeficientes de correlación superiores a 0.400.

El balance es extraordinariamente desalentador. Los parámetros más importantes, K, P, materia orgánica, N total, N incubación, etc., se han demostrado absolutamente independientes en sus variaciones, respecto a los que experimenta el pH.

Si se atiende al Mn activo o extraíble del suelo, sorprende que el coeficiente de correlación entre estas características y el pH medido con electrodo de quinhidrona sean los mejores. En vez de constituir una ventaja, representa por el contrario una desventaja. Es una demostración evidente de lo inadecuado que resulta trabajar con electrodo de quinhidrona, sobre todo con los suelos derivados de cenizas volcánicas, por el envenenamiento de este electrodo en presencia de formas activas de Mn. Como estas formas abundan en suelos más ácidos, significa que aquí causan mayor interferencia con este electrodo. Debería incluirse en este sentido la significativa asociación existente entre pH y contenido de Al en extracto HCl al 10 por ciento; los coeficientes desmejoran cuando se trabaja con electrodo de vidrio y sólo subsiste con pH en Ca Cl_2 para el grupo de suelos más ácidos.

Resulta interesante comprobar que la resistencia eléctrica del suelo, medida en la suspensión de éste en 5 volúmenes de agua destilada, tiene una significativa correlación con el pH medido en cualquiera de los métodos. Algo semejante ocurre entre calcio de intercambio y pH, destacando, en cambio, que el coeficiente de correlación se mejora en este último caso cuando se incluyó a los suelos neutros. Por lo demás, Peterson (12) ya había establecido "que no existe una relación entre el porcentaje de saturación de base y la reacción del suelo, tanto en pH en agua como en KCl, excepto para el grupo neutro de KCl." La no inclusión del porcentaje de saturación en el cuadro anterior respalda la conclusión de Peterson.

f. Influencia del pH sobre la relación que existe entre otras propiedades del suelo

Puede enfocarse el valor de la acidez activa mediante la variación que produzca sobre el grado de asociación existente entre 2 parámetros. Esto nos parece particularmente interesante cuando se repara en el hecho de que en el párrafo precedente se supuso una ley lineal, donde bien puede existir una ley curvilínea. Del mismo conjunto de suelos antes considerados, separaremos las mejores correlaciones para comprobar si le afectan los intervalos de pH considerados.

El Cuadro 4 permite hacer las siguientes consideraciones:

1. En general, los coeficientes de correlación lineal se mantienen constantes e independientes de los estratos de pH en agua.
2. Resulta afectada la correlación entre P en extracto de Egner y P en extracto de Burriel Hernando, para los suelos con pH en agua inferior a 5.5. Tal anomalía se explica por la extrema pobreza en fósforo con extracto de Egner para la gran mayoría de las muestras ubicadas en este intervalo de pH. En cambio, con el extracto de Burriel Hernando se determinan cantidades pequeñas. Aún así, pobres en fósforo asimilable no es afectada por el pH del suelo.
3. Los suelos de pH en agua inferior a 5.0, tienen un coeficiente de correlación extremadamente bajo entre porcentaje de carbono orgánico y porcentaje de nitrógeno total. No se dispone de una interpretación clara para este comportamiento. Puede suponerse que el nitrógeno disponible por las plantas no se obtiene para estos suelos por los mismos mecanismos utilizados para el resto de los suelos considerados.

ALUMINIO EN EL SUELO

Introducción:

Otra manera de apreciar la acidez del suelo consiste en el conocimiento del aluminio soluble en distintos extractantes (20).

Particularmente los suelos ácidos con alofán, deben muchas de sus propiedades al aluminio que pueden solubilizar bajo determinadas condiciones. Especialmente deben destacarse las bajas concentraciones de fósforo disponible para las plantas, la elevada toxicidad del aluminio sobre los vegetales y la fuerte fijación de fósforo que originan.

En esta parte del trabajo se desea analizar algunos resultados encontrados con suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas y que vinculan al aluminio, fósforo y rendimientos de materia seca.

Discusión:

a) Aluminio en el suelo

En forma exhaustiva revisó P. Baherle (2) los trabajos que le habían preocupado de las funciones del aluminio en el suelo. Tres son las características más notables derivadas de su presencia:

1. Toxicidad para las plantas (2).
2. Participación en la fijación de fósforo (6, 17).
3. Aumento de la capacidad de intercambio de cationes

Alvarado (1) sostiene que tanto el Fe como el Al incrementan notablemente esta magnitud en los suelos trumaos, por la presencia de sesquióxidos y óxidos hidratados en una forma coloidal activa. Por el contrario, A. Urbina (17) opina que "gran parte de la capacidad total de intercambio de los suelos volcánicos reside en los coloides orgánicos.

La presencia de abundantes cantidades de Al, principalmente en los suelos derivados de cenizas volcánicas, fue claramente establecida por Goic (5). Sobre la base de este trabajo, D. Rodríguez (14) estimó que la producción de materia seca debía incrementarse esencialmente con fósforo; usó sales para análisis de distintos fosfatos de Na, K y Ca. No se preocupó del encalado, porque Vergara (18) y Pucheu (13) habían concluido en que no había ninguna conveniencia de efectuarlo.

Baherle (2) trabajando con los mismos suelos, comprobó que el método de extracción de aluminio y hierro tiene una gran influencia sobre las cantidades determinadas de estos cationes. Igualmente establece que el pH de la solución extractante es uno de los factores que más afectan a las cantidades de Fe y Al removidas, hecho que fuera demostrado por Yuan y Fiskell (20). Baherle (2) detecta las mayores cantidades de Al con los menores pH de las diversas soluciones extractantes.

Moschler "et al" (10) establecen que el rendimiento de materia seca en alfalfa disminuye a medida que aumenta el aluminio de intercambio en los suelos de Florida, E.U.A. Aunque Baherle (2) demuestra que una concentración de 100 ppm de Al intercambiable es una concentración común en los suelos trumaos estudiados por él, prefiere, en general, el extracto de Morgan porque éste se asocia mejor con los rendimientos y fósforo absorbido. También A. Urbina (17) coincide en esta preferencia por Al en extracto Morgan; cifras del orden de 120 ppm Al son indicadoras de una elevada fijación de fósforo.

A partir de los resultados obtenidos en la Estación Experimental Carillanca, se desprende que existe un notable aumento en la cantidad de aluminio extraíble al Morgan, a medida que se pasa a áreas de mayor pluviometría. Estos valores fluctúan entre unas pocas ppm de Al y 1900 ppm Al.

Baherle (2) apreció estas variaciones del Al en el extracto de Morgan y comprobó que las mayores cantidades de fósforo absorbido por la alfalfa, como sus más altos rendimientos en materia seca, se constatan en contenidos inferiores a 100 ppm de Al. Es interesante comparar este valor con las 120 ppm de Al dadas por A. Urbina (17), reconociéndose una coincidencia.

b) Relación P (de la fracción fosfato de Al) / Al (extracto Morgan)

M. Salgado (15) hizo el fraccionamiento del fósforo inorgánico en suelos trumaos por la técnica de Chang y

Jackson (3). Esto permitió conocer la fracción de fósforo presente en el fosfato de aluminio. Determinó que con el aumento de la dosis de fosfatos aplicados, crecía fundamentalmente la cantidad de fósforo encontrada en la fracción fosfato de Al.

Considerando este hecho, a Baherle (2) le pareció que podría ser de mayor utilidad conocer el cociente siguiente: cantidad de fósforo unida a la fracción fosfato de aluminio/aluminio extractable al Morgan, para predecir las respuestas de la alfalfa a la fertilización fosfatada. Determina en forma gráfica la existencia de un valor crítico de esta relación. Cuando se expresan ambas cantidades en ppm, se determina un valor crítico en 1.25 para los trumaos y en 0.60 para los demás suelos.

Al sobrepasar dichos valores críticos, tanto la absorción de fósforo por la alfalfa como sus rendimientos, aumentan considerablemente.

Todo lo anterior lleva a la conclusión de que la acidez de los suelos chilenos derivados de cenizas volcánicas no implica una carencia de calcio. Por el contrario, esta acidez debe tenerse muy presente por las complicaciones que surgen con la presencia de formas activas de aluminio y probablemente de otros sesquióxidos que interfieren en la absorción del fósforo por las plantas.

c) Consideraciones agronómicas

Para apreciar debidamente el significado de los dos criterios anteriormente expuestos, Al en Morgan y cociente P/Al en la forma definida por Baherle (2), deben interpretarse agronómicamente.

O. Inostroza (8) ha hecho la observación de un terreno que durante un año seco se caracteriza por los mayores rendimientos de los cultivos, a menos que interfieran ataques de insectos, plagas o heladas. Ahora bien, si la limitante en la producción de los vegetales deriva de una interferencia provocada por el Al en la absorción de fósforo, significa que las cantidades de éste determinadas en un mismo suelo, son afectadas por las condiciones climáticas o de intemperización hidrolítica.

Por lo tanto, años secos correspondientes a un estado seco del del suelo, se deberían caracterizar por una menor cantidad de Al en el extracto de Morgan. Por el contrario, años húmedos —¿equivalentes a invierno y/o primavera húmeda?— movilizan mayores cantidades de Al y de este modo acentúan su efecto tóxico. Este último inconveniente se subsana aumentando la fertilización fosfatada.

Nuestras propias observaciones permiten concluir que en un año agronómico "seco" disminuye notablemente la cantidad de aluminio extractable para muestras que proceden de un mismo lugar y no han sido fertilizadas. Más aún, en la Estación Experimental de Carillanca se han repetido las determinaciones de aluminio y fósforo después de transcurrir más de un año. Todos los análisis se hicieron en duplicado y los resultados pueden apreciarse en el Cuadro 5.

El Cuadro 5 muestra que:

1. Todos los suelos presentaron mayor contenido de aluminio y de fósforo en el año 1968, que un año después.
2. Las reacciones químicas o biológicas causantes de estos cambios se produjeron dentro de frascos plásticos herméticamente cerrados y con suelo secado al aire.
3. Las disminuciones del contenido de Al son muy variables para los distintos suelos considerados y aparentemente características para un mismo suelo. Hasta donde se ha podido apreciar este fenómeno, se observa la escasa o ninguna influencia que tiene la fertilización N P K S, previa a la toma de muestra en el terreno, sobre estas variaciones de Al.
4. Para algunas muestras se observa que las variaciones del Al y P en las dos fechas consideradas, siguen una relación inversa a mayor disminución en el aluminio, corresponde una menor en el fósforo, por ejemplo: # 1726, 1875 y viceversa, # 1741. Sin embargo, también hay suelos para los cuales ambas variaciones son máximas # 1832 o mínimas # 1816.

RESUMEN

Se estudia la acidez activa y el tenor de aluminio de numerosas muestras chilenas que incluyen suelos derivados de cenizas volcánicas. La utilidad del conocimiento del pH del suelo se estima escasa para los diagnósticos de su fertilidad. No se relaciona con otras propiedades del mismo, independientemente del electrodo de medida, suspensión, relación suelo/solución o procedencia de las muestras.

Se descartan medidas de pH en suspensiones con relación 1:1 (1 parte en peso de suelo y 1 parte en volumen de solución) o con electrodo de quínhidrona por dificultades experimentales y que determinan inseguridad en la determinación.

Las correlaciones lineales entre pH obtenidos con electrodo de vidrio en diversas suspensiones salinas del suelo son altamente significativas; permiten transformar un valor experimental cualquiera en el correspondiente valor equivalente para otra suspensión.

La acidez activa no interfiere en las correlaciones lineales existentes entre otras características del suelo, salvo ocasionalmente para el intervalo de pH en agua inferior a 5.5 o tal vez sólo a 5.0.

Consideraciones agronómicas permiten deducir que los suelos derivados de cenizas volcánicas se encuentran expuestos a intensos procesos dinámicos, provocados por modificaciones climáticas o hidrolíticas estacionales normales y que influyen notablemente sobre su productividad. Mientras la acidez activa permanece insensible a estos cambios, no ocurre lo mismo con el tenor de aluminio del suelo.

En ensayos en macetas se ha encontrado mayor utilidad en el conocimiento de la relación fósforo (contenido en la fracción inorgánica fosfato de aluminio)/Al (Morgan) que en la del aluminio, separadamente. El cociente anterior se asocia mejor con los rendimientos de materia seca, como con su contenido de fósforo. Este criterio deberá revisarse cuidadosamente pues encierra dificultades analíticas, aun sin resolver, derivadas de una variación en los contenidos de aluminio por el tiempo de almacenaje de las muestras de suelo.

BIBLIOGRAFIA

1. ALVARADO, R. 1964. Factores que afectan a la determinación de la capacidad de intercambio de cationes en algunos suelos chilenos. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 101 p. (Tesis mimeografiada).
2. BAHERLE, P. 1964. Influencia de la fertilización fosfatada sobre aluminio y hierro extractable. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 89 p. (Tesis mimeografiada).
3. CHANG, S. y M. L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science* 84(2):133-144.
4. FINCK, A. 1967. Uptake of Al, Fe and Mn by plants on acid soils as affected phosphate. In: Jacks, G. V. *Soil chemistry and fertility*. England, International Society of Soil Science. 188.
5. GOIC, P. 1962. Contenido y fracciones de fósforo en muestras de suelo procedentes de alfalfares chilenos. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 243 p. (Tesis mimeografiada).
6. HSU, P. y M. L. JACSON. 1960. Inorganic phosphat transformations by chemical weathering in soils as influenced by pH. *Soil Science* 90:16-24.
7. HURTADO, R. 1963. Potasio, nitrógeno y materia orgánica en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 295 p. (Tesis mimeografiada).
8. INOSTROZA, O. 1969. Efectos del sedado del suelo. Temuco, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Estación Experimental Carillanca. (Comunicación personal).
9. METSON, A. 1956. Methods of chemical analysis for soil survey samples. New Zealand, New Zealand Department of Scientific and Industrial Research. p. 74.
10. MOSCHLER, W., G. JONES y G. THOMAS. 1960. Lime and soil acidity effects on alfalfa growth in a Red-Yellow Podzolic soil. *Soil Science Society of America, Proceedings* 24(6):507-509.

11. NOVOA, R. 1962. Elementos menores en suelos dedicados al cultivo de la alfalfa. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 268 p. (Tesis mimeografiada).
12. PETERSON, J. 1962. Contenido de elementos secundarios (Ca Mg S) en muestras de suelos procedentes de alfalfares chilenos. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 235 p. (Tesis mimeografiada).
13. PUCHEAU, C. 1963. Comparación entre métodos de determinación de necesidades de encalado. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 163 p. (Tesis mimeografiada).
14. RODRIGUEZ, D. 1962. Influencia de fertilización con mono, bi y trifosfato de Ca, K y Na en alfalfa caliverde sembrada en maceteros con 4 suelos chilenos que presentan dificultades a su establecimiento. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 182 p. (Tesis mimeografiada).
15. SALGADO, M. 1963. Fracciones de fósforo presentes en 4 suelos empleados para ensayo de maceteros en alfalfa, con dosis crecientes de fosfato. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 169 p. (Tesis mimeografiada).
16. THUN, R., R. HERRMANN y E. KNICKMANN. 1955. Die untersuchung von Böden. 3 Auflage. Berlin, Neumann Verlag. p. 240.
17. URBINA, A. 1965. Relaciones entre algunas características físicas y químicas de suelos derivados de cenizas volcánicas. Agricultura Técnica (Chile) 25(1):9–18.
18. VERGARA, R. 1963. Influencia del encalado en la mineralización de nitrógeno y fijación de P y K en suelos representativos de la provincia de Ñuble. Chillán, Chile, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. 113 p. (Tesis mimeografiada).
19. WILLIAMS, R. y H. RIEHM. 1956. Intra-European study of the organisation and rationalisation of soil analysis. In: The European Productivity Agency of the Organisation for European Economic Co-operation. The organisation and rationalisation of soil analysis. París, Francia. pp 53–54.
20. YUAN, T. y J. G. FISKELL. 1959. Aluminum from some Florida soils. Soil Science Society of America, Proceedings 23(3):202–205.

B.9.10

CUADRO 1. Coeficientes de correlación lineal entre pH determinados por distintos métodos, con electrodo de quinhidrona o de vidrio en 335 suelos de alfalfares chilenos.

Método	Suelos	2	3	4	5	6	7
1	todos *-6,5	0.910 0.904	0.900 0.889	0.898 0.891	0.841 0.835	0.839 0.836	0.872 0.867
2	todos *-6,5		0.895 0.885	0.887 0.882	0.882 0.880	0.817 0.813	0.872 0.868
3	todos *-6,5			0.907 0.901	0.808 0.795	0.774 0.766	0.896 0.890
4	todos *-6,5				0.839 0.830	0.849 0.843	0.910 0.906
5	todos *-6,5					0.843 0.840	0.880 0.873
6	todos *-6,5						0.887 0.884

* Suelos de pH en agua (1:2,5) inferior a 6,5.

CUADRO 2. Coeficientes de correlación lineal entre los pH determinados por distintos métodos con electrodo de vidrio en 591 suelos preferentemente derivados de cenizas volcánicas.

Método	Suelos	2	3	4	5	6	7	8
1	todos *-5,8	0.875 0.828	0.867 0.812	0.980 0.974	0.964 0.951	0.977 0.968	0.951 0.927	0.943 0.924
2	todos *-5,8		0.946 0.926	0.838 0.778	0.900 0.863	0.865 0.814	0.879 0.832	0.883 0.843
3	todos *-5,8			0.822 0.754	0.896 0.852	0.847 0.784	0.891 0.844	0.890 0.848
4	todos *-5,8				0.946 0.927	0.970 0.959	0.924 0.895	0.926 0.902
5	todos *-5,8					0.963 0.949	0.928 0.897	0.946 0.927
6	todos *-5,8						0.925 0.894	0.922 0.897
7	todos *-5,8							0.936 0.912

* Suelos con pH en KCl N (1:2,5) inferior a 5,80 que corresponden casi exclusivamente a trumaos.

CUADRO 3. Coeficientes de correlación lineal entre pH y otras propiedades del suelo

Propiedad	Suelos	pH Electrodo vidrio			pH Electrodo quinhidrona	
		H ₂ O (1:2,5)	KCl N/10	CaCl ₂ (0,01 M)	H ₂ O (1:2,5)	KCl N/10
Mn activo (en H ₂ O)	-6,5*	—	—	0.451	0.611	0.588
Schachtschabel	todos	—	—	—	0.428	—
Mn extractable E. Boken	-6,5	—	—	—	0,534	0.483
Carbonatos	todos	—	0.467	0.459	—	—
Ca int./K int.	todos	—	—	0.410	—	—
Resistencia eléctrica (micromho)	-6,5	—	0.506	0.474	—	0.426
	todos	0.535	0.592	0.575	0.444	0.529
Ca interc. meq.	-6,5	0.446	0.439	0.517	0.521	0.510
	todos	0.555	0.556	0.617	0.598	0.581
Ca en HCl 10% mg Ca	todos	—	0.448	0.462	—	—
Mg en HCl 10% mg Mg	-6,5	—	—	0.436	0.431	0.456
	todos	0.468	0.430	0.499	0.486	0.487
% Fijación P 5 ton/ha	-6,5	0,49	—	—	0.401	0.420
Al en HCl al 10%	-6,5	—	—	0.455	0.491	0.521
	todos	0.430	0.445	0.483	0.525	0.535

* Considera únicamente los suelos de pH en agua inferior a 6,5.

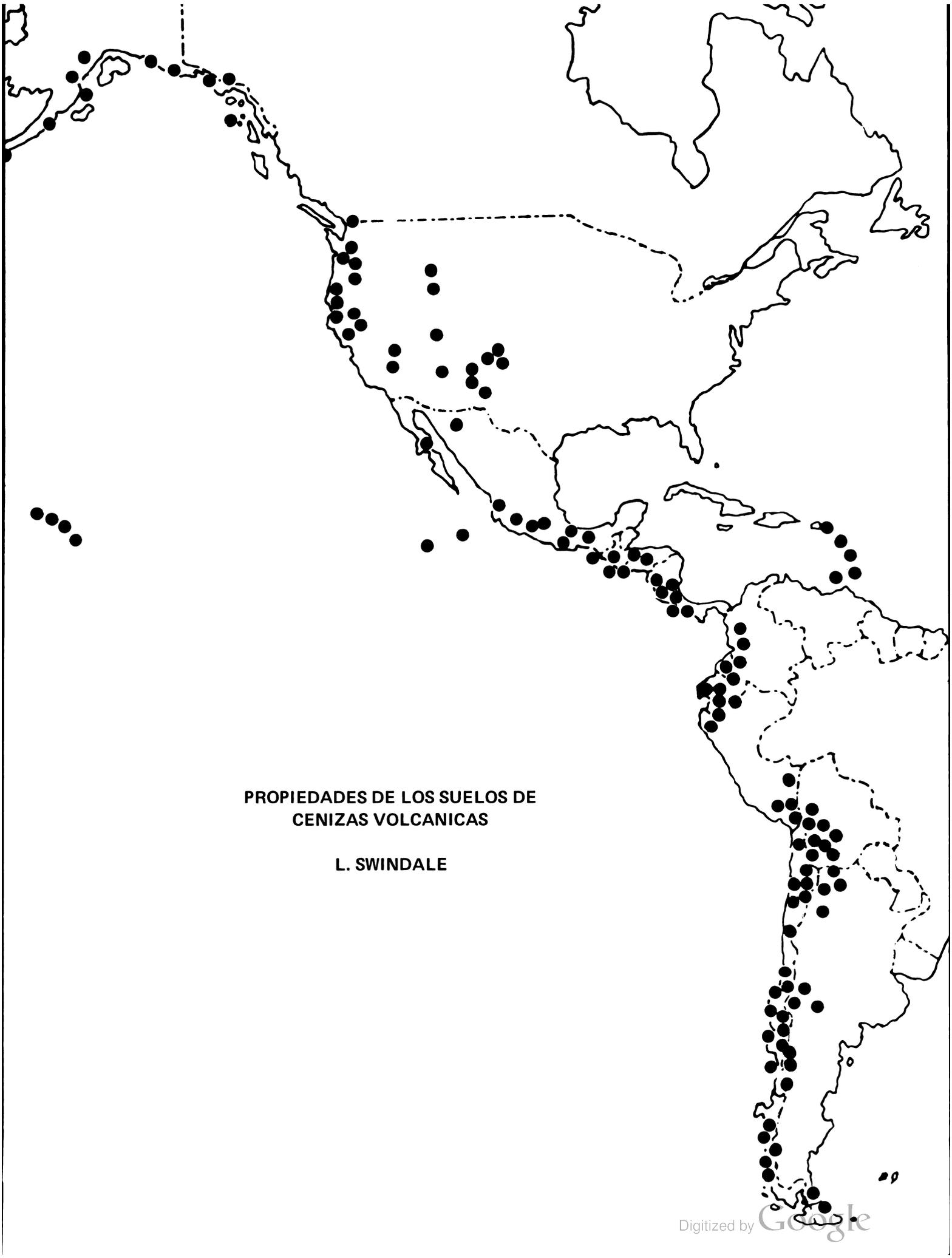
B.9.11

CUADRO 4. Valores del coeficiente de correlación acumulado para algunas determinaciones del suelo a distintos estratos de pH en agua.

Correlación entre	Estratos de pH en agua (1:2,5)					
	hasta 5.0	5.01-5.5	5.51-6.0	6.01-6.5	6.51-7.5	mayor 7.5
% C y % N	0.384	0.953	0.956	0.948	0.949	0.947
% C y Cap. intercambio	0.736	0.642	0.648	0.642	0.641	0.641
Cap. intercambio y humedad 1/3 atm.	0.828	0.453	0.523	0.539	0.550	0.560
P. Egner y P. B. Hernando	0.198	0.387	0.673	0.757	0.727	0.722
% arcilla y % arena (Sist. intr.)	0.886	0.889	0.907	0.907	0.905	0.908
K Egner y K Olsen	0.924	0.916	0.896	0.902	0.886	0.885
K Egner y K Nehring	0.943	0.962	0.932	0.931	0.915	0.914

CUADRO 5. Influencia del tiempo de almacenaje de la muestra del suelo trumao sobre los contenidos de P. Olsen y Al. Morgan.

Suelo No.	P. Olsen (ppmP)		Al. Morgan (ppm Al.)		Disminución (%)	
	8-III-68	14-V-69	8-III-68	14-V-69	P. Olsen	Al. Morgan
1712	18	7,2	365	276	60	24,2
1726	15,6	4,5	440	312	71,2	29,1
1741	6	3,9	706	352	35	50,1
1756	13,2	4,5	276	169	66	38,8
1771	11,4	5,2	455	338	53,9	25,7
1788	9,6	3,6	338	300	62,5	11,2
1802	22,2	10,2	318	265	54,5	16,7
1816	34,7	24,8	276	245	28,5	11,3
1832	20,4	9,1	288	142	55,9	50,8
1847	8,1	6,8	565	425	16,1	24,8
1875	15	4,8	440	312	68	29,1



PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE
CENIZAS VOLCANICAS

L. SWINDALE

PROPIEDADES DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS

L. D. Swindale*

INTRODUCCION

Muchos suelos de cenizas volcánicas no difieren en ningún grado significativo de otros suelos derivados de otros materiales de partida en las mismas áreas. Ejemplos de esto tenemos en los suelos que aparecen en regiones áridas y los suelos que tienen mucha montmorillonita. Sin embargo queda un grupo enorme de suelos cuyas propiedades los sitúan aparte; son éstos los suelos que nos interesan. Casi todos ellos están dentro del grupo que Thorp y Smith (37) llamaron "Suelos Ando" ; son "Andepts" en el último Sistema de Clasificación de Suelos de los Estados Unidos y "Andosoles" en el Mapa de Suelo de FAO/UNESCO, del Proyecto Mundial.

Los rasgos característicos del perfil de los suelos de ceniza volcánica son en sí mismos propiedades de estos suelos así como reflejos integrales de un conjunto de propiedades químicas, físicas y biológicas.

Wright (42), al describir los andosoles de Sur América, ha indicado las características especiales de estos suelos. Los rasgos que él describe son los siguientes:

- perfiles de suelos profundos, muy a menudo con clara estratificación producto de la deposición, y normalmente friables en la parte superior;
- las capas superiores del suelo tienen espesores hasta de un metro y color pardo-oscuro a negro; contienen compuestos húmicos que son relativamente resistentes a la descomposición microbiana;
- los colores del subsuelo son especialmente pardo—amarillo a pardo—rojizo y cuando el suelo está húmedo el material es graso al tacto;
- los perfiles son muy livianos y porosos con una densidad aparente baja y una alta capacidad de retención de agua;
- agregación estructural más bien débil, con "peds" porosos que se pueden destruir fácilmente y que carecen de cutanes; no hay diferenciación de horizontes en el subsuelo excepto por la presencia de "duripans" ; en algunos suelos;
- casi no hay adherencia ni plasticidad en húmedo (excepto en capas estratificadas más viejas y más profundas) pero al secarse completamente las partículas del suelo y los "peds" finos tardan con frecuencia mucho tiempo en remojarse y pueden flotar en la superficie del agua.

Los rasgos señalados anteriormente se aplican generalmente a los suelos de este grupo alrededor del mundo, pero al extender el grupo en áreas tropicales encontramos una o dos diferencias en las características, particularmente en relación al color. Las capas superiores de estos suelos en los trópicos son oscuras pero no tan intensamente, y los colores de los subsuelos pueden ir desde pardo—amarillo hasta rojo oscuro. Las consistencias grasas son notables únicamente en suelos de climas muy húmedos o per—húmedos. Los suelos que se forman en climas per—húmedos tienden a secarse irreversiblemente cuando se les deja secar en los cortes de carreteras o taludes. Este rasgo de secarse irreversiblemente es un criterio de clasificación muy útil, aunque los suelos en los campos nunca se secan lo suficiente como para exhibir la propiedad en grado significativo.

Estos rasgos morfológicos pueden relacionarse con las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos y con la naturaleza de los minerales que contienen. Sin embargo, para propósitos agrícolas los rasgos son a menudo importantes por sí mismos debido a la influencia que tienen sobre el uso y manejo agrícolas.

PROPIEDADES FISICAS

Características comunes de estos suelos son un muy alto contenido de humedad natural cuando se mide en peso y junto con él una densidad aparente baja en seco. En el cuadro 1 se dan valores típicos obtenidos de suelos de Nueva Zelandia y los Estados Unidos. Tanto el agua total como el agua retenida a 15 atmósferas dan valores altos. Sin embargo, cuando se mide en volumen, los valores del agua disponible no son notablemente diferentes de los de otros suelos. Por ejemplo, para la capa superior del suelo Hilo franco arcillo limoso, el agua disponible es 41 por ciento en peso, pero solamente 12 por ciento en volumen.

* Jefe, Sección de Recursos y Reconocimiento de Suelos. División de Desarrollo de Aguas y Suelos. FAO, Roma.

Cuando los suelos son secados a 15 atmósferas o más, la contracción llega a ser cada vez más irreversible. Conforme se extraen las películas de agua, aumenta el contacto de una partícula a otra y también aumenta la oportunidad de ligazones químicas entre las superficies de las partículas. Gradwell y Birrell (16) han encontrado que si las muestras de suelos han sido secadas al aire previamente, hay una disminución acentuada en los valores tanto del límite líquido, como del plástico conforme aumenta el contenido de alófana.

Los suelos y las capas de ceniza meteorizada que a menudo se encuentran debajo de ellos, tienen límites críticos de estabilidad bajo presión. Esto induce a fracasos de cimentación bajo carreteras y edificios pesados y a menudo ocasiona dificultades en el movimiento de maquinaria agrícola pesada. Las pruebas estándar de consolidación en el laboratorio pueden dar resultados anómalos con estos suelos. La presión pre-consolidación puede exceder la sobrecarga existente de presión, y una vez que este peso ha sido excedido, los suelos son bastante comprensibles. Gradwell y Birrell (16) han explicado que este efecto es debido a la tendencia de las partículas coloidales para formar agregados. Northey (27) ha señalado que una variedad de relaciones contenido de agua/densidad, pueden obtenerse para estos suelos dependiendo del procedimiento usado. La consolidación de suelos pumíceos pardo-amarillos de Nueva Zelanda en una secuencia de desecación a menudo no produce aumento significativo en densidad en seco, pero al mojarse de nuevo se puede obtener un pico normal. En muchos de estos suelos el contenido natural de agua es mucho más del óptimo requerido para la consolidación y solamente en temporadas particularmente secas es posible consolidar estos suelos en el campo para carreteras. Otras veces es mejor dejar el subsuelo como está y cubrirlo con un espesor adecuado de materiales para carreteras.

Las porosidades totales de estos suelos son generalmente altas. Youngberg y Dyrness (44) citan una variación de 68-85 por ciento para suelos de cenizas volcánicas en Oregon y Yamazaki; Yawata y Sudo (43) dan una cifra, 80 por ciento para el tipo Kanto franco, suelo predominante en el llano de Kanto alrededor de Tokio. Asociado con esta alta porosidad hay una alta permeabilidad saturada, aunque los suelos son muy difíciles de mojar cuando están secos debido a que las sustancias orgánicas que se adhieren a las superficies de partículas generalmente repelen el agua y los ángulos de contacto son grandes.

Las superficies totales pueden ser altas en estos suelos. Tada "et al" (32) da una cifra de 330 m²/g para el suelo Kanto franco y se han registrado cifras aún más altas, que se aproximan a las de la montmorillonitas (cerca de 800 m²/g), en algunos de estos suelos. Por lo tanto, los suelos tienen propiedades de absorción muy altas para materia orgánica, iones, partículas y agua. Lo graso que se nota en muchos de estos suelos en el campo y los resultados de consolidación anómalos se deben al comportamiento tixotrópico del agua de los suelos, lo que da a los mismos un alto punto de rendimiento pero baja viscosidad.

La variación de tamaño de partículas en estos suelos es a menudo muy grande y es común encontrar partículas tan pequeñas como 100 Å (como se ha descubierto por microscopía electrónica). Sin embargo, el análisis granulométrico se hace muy difícil por las características de absorción de la superficie que hace difícil que los suelos se dispersen. En los últimos años se ha utilizado la vibración sónica para aumentar la eficiencia de los agentes de dispersión, pero no puede haber garantía de que este método logre una completa dispersión o solamente rompa las uniones físicas que agregan las partículas. Los datos de análisis granulométrico generalmente tienen sentido en relación con el grado de meteorización que ha sufrido el suelo es decir, los suelos con poca meteorización tienen menos arcilla que los suelos muy meteorizados. Loganathan y Swindale (24) señalan contenidos de arcilla en una secuencia de "Dystrandeps" subtropicales que aumentan de 30 a 70 por ciento mientras aumenta la lluvia anual de 600 a 1800 mm y la temperatura anual de 13 a 19°C.

PROPIEDADES QUÍMICAS

En el Cuadro 2 se presentan las propiedades químicas de ciertos suelos de cenizas volcánicas. Los valores de pH de los suelos de ceniza volcánica son generalmente mayores de 5,0 (ver por ejemplo Müller "et al" (26); Flach (13); Loganathan y Swindale (23). Es raro encontrar valores de pH mucho menores de éstos, debido a la capacidad amortiguadora de la alófana en la sección del punto isoelectrico y la gran capacidad amortiguadora de los geles de alúmina polimerizadas.

Se ve que la capacidad de intercambio de cationes de estos suelos también es alta (véase Cuadro 2). Birrell y Gradwell (7) encontraron que la capacidad de intercambio de cationes de los suelos alofánicos varió con: 1) la concentración de la solución de lixiviación; 2) la naturaleza del ion en solución; y 3) el volumen de contenido de agua del alcohol de lavado. Kanehiro y Sherman (18) han señalado que ciertos suelos de Hawaii que tienen grandes cantidades de material amorfo disminuyeron la capacidad de intercambio de cationes al secarse y no recuperaron su capacidad de intercambio de cationes al remojarse. Ellos consideran que el efecto fue debido a la cristalización de elementos de la fracción amorfa al secarse. Como lo indican Birrell (5) y Frink (14), el método común de determinar la CIC puede estar sujeta a errores considerables cuando se aplica a suelos que contienen coloides minerales amorfos y todas estas determinaciones deben interpretarse con cautela. El cálculo de la CIC por la suma de las bases intercambiables, hidrógeno y aluminio puede ser el método más útil para estos suelos.

La saturación de bases de estos suelos varía mucho y aunque como en muchos grupos de suelos, la saturación de bases disminuye al aumentarse la lluvia (ver por ejemplo, Loganathan y Swindale, 24), los valores de pH pueden permanecer relativamente altos cuando la saturación de bases es baja. Como es sabido que los coloides minerales amorfos tienen carga dependiente del pH, la saturación de bases aparente, de los suelos que contienen estos coloides determinada a partir de la CIC medida a pH 7 u 8, puede ser más baja que la verdadera saturación de bases del suelo en su condición del campo a un pH de digamos 5,5. Por la misma razón no se puede confiar siempre en las estimaciones de las necesidades de cal para estos suelos.

Estos suelos pueden fijar grandes cantidades de fosfatos, molibdatos y otros aniones de estructura similar. Saunders (28) ha demostrado que la mayor parte de los fosfatos añadidos a suelos de cenizas volcánicas de Nueva Zelandia están ligados con la alúmina, y Fassbender (10) ha señalado una alta correlación significativa para suelos de Costa Rica entre la retención de fosfatos y el aluminio extraíble. Bornemisza e Igue (8) han encontrado un promedio de 17.3 por ciento de aluminio extraíble (calculado como Al_2O_3) en dos andosoles para la misma región en la cual Fassbender llevó a cabo sus investigaciones.

Numerosos investigadores han señalado que en presencia de soluciones concentradas que contienen fosfato y cationes, combinaciones cristalinas pueden producirse como por ejemplo la taranakita. Wada (40) ha desarrollado taranakita a partir de alófana en el Japón; Tamimi, Kanehiro y Sherman (33) y Liu, Sherman y Swindale (22) han desarrollado taranakita de amonio y taranakita, respectivamente, de geles de alúmina amorfos naturales en Hawaii. Las concentraciones de iones y los valores de pH que a veces es necesario utilizar para obtener cristales claramente reconocibles de minerales del tipo de la taranakita son a menudo muy diferentes de las concentraciones y valores de pH que existen en los suelos naturales. Las concentraciones y valores de pH también difieren, tal vez en menor grado, de aquéllos que existen por lo menos durante corto tiempo cuando se hacen grandes aplicaciones de fertilizantes. Aunque no se puede decir definitivamente que la formación de taranakita es la causa de la fijación de fosfatos en estos suelos, los trabajos de Saunders y Fassbender descritos en el párrafo anterior, y la facilidad con la cual la taranakita puede formarse en el laboratorio, tienden a apoyar esta hipótesis. Sherman "et al" (30) han demostrado, según Ayres y Hagihara (4), que la retención de K^+ ó NH_4^+ en suelos de cenizas volcánicas depende en gran parte del portador y es mayor cuando el anión es el fosfato (véase Cuadro 3). Esto indica por lo menos una relación suelo-K- PO_4 similar al que ocurriría si se formaran taranakita o su equivalente de amonio.

Los suelos de cenizas volcánicas generalmente contienen grandes cantidades de materia orgánica, especialmente en la capa superior. La relación C/N generalmente es alta. Investigadores en el Japón (Tokudome y Kanno, 38,39; Kawai e Ikegaya, 19; Adachi, 1) y en Indonecia (Tan, 34, 35) han demostrado que las relaciones ácidos húmicos/ácidos fúlvicos en estos suelos generalmente están cerca de uno o aún menos. Tokudome y Kanno (39) han demostrado que la relación C_h/C_f disminuye al disminuir la latitud tal vez debido al aumento correspondiente de la temperatura anual. Los mismos autores (39) han subrayado la alta aromaticidad del humus en suelos alofánicos húmicos comparados con la de suelos pardos forestales; aunque al observar esta tendencia se debe tener cuidado de anotar también que las comparaciones en el Japón entre las propiedades de suelos húmicos-alofánicos y suelos pardos forestales, pueden no diferenciar necesariamente los suelos de cenizas volcánicas de los de otros materiales originales.

Kosaka, Honda e Isekí (20) han demostrado la resistencia de material humificado de los suelos de cenizas volcánicas a la descomposición microbiológica. Ellos relacionan esto no tanto con la formación de compuestos de absorción en las superficies de los minerales, sino a la formación de compuestos específicos de Al-humus. Señalan asimismo como se ha mencionado anteriormente, que los suelos de cenizas volcánicas tienen con frecuencia mucha alúmina extraíble.

RELACION DE LAS PROPIEDADES CON LOS COMPONENTES DE LOS SUELOS

Aunque casi todos los investigadores han estado interesados en relacionar las propiedades de los suelos con los coloides minerales amorfos que contienen, debe recordarse que los suelos también contienen mucha materia orgánica. El suelo Akaka ya discutido en este artículo, es casi un suelo orgánico (Histosol) y los constituyentes orgánicos deben desempeñar un papel importante en la determinación de las propiedades de los suelos. Un trabajo reciente, todavía sin publicar, en la Universidad de Hawaii, señala que en varios "hydrol humic latosols", inclusive los suelos Hilo y Akaka, el contenido de agua en la capacidad de campo de los horizontes de suelo pueden relacionarse de una manera muy significativa con la materia orgánica. La ecuación es $hc\% = 4,2 + 34,7\% mo\%$. El coeficiente de correlación es $r = .882^{**}$. Hasta la fecha la gran dificultad de extraer la materia orgánica de los suelos en formas simplemente relacionadas con aquéllas en que se presenta en el suelo, impide la investigación más avanzada de la relación entre los constituyentes orgánicos y las propiedades del suelo en suelos de cenizas volcánicas. Como los constituyentes inorgánicos son mucho más fáciles de extraer, han sido estudiados mucho más.

B.10.4

Las características de desecación irreversible de los suelos de cenizas volcánicas han sido asociadas por muchos investigadores con la gran superficie total y densidad de cargas de los constituyentes alofánicos. Cuando se seca el suelo, se forman fuertes uniones de una partícula con otra, que no se pueden destruir. Cuando los suelos contienen geles de alúmina en vez de alófana, es posible, como lo ha sugerido Sherman (29), que se forme el mineral gibsita a partir del gel y la superficie total sea reducida permanentemente.

La falta de dispersión en los suelos de cenizas volcánicas la han atribuido, Aomine y Egashira (3), al componente alofánico. Según estos autores, los coloides alofánicos separados de suelos de cenizas volcánicas flocculan más fácilmente con los aniones bivalentes y no con los monovalentes. Esto se interpreta como una indicación de que los alofánicos están cargados positivamente. En los suelos esta porción de mineral cargada positivamente es co-precipitada con elementos húmicos cargados negativamente para producir un complejo neutro que es difícil de dispersar.

La capacidad de intercambio de cationes relativamente alta de los suelos está claramente relacionado con la capacidad de intercambio de cationes del componente alofánico. Varios autores han registrado valores que alcanzan de 23 a 74 para alófana (ver por ejemplo White, 41; Birrell y Fieldes, 6; o Aomine y Yoshinaga, 2). Loganathan (23) da una correlación de 0.834^{**} entre la CIC de algunos suelos de Hawaii y el porcentaje de alófana que contienen (ver Figura 1).

Lai y Swindale (21) han demostrado que para la fracción de arcilla fina alofánica ($< 0,1\mu$) de algunos suelos de Hawaii y Japón, los valores de capacidad de intercambio de cationes dependían mucho del pH (Figura 2). También encontraron que la relación $\text{Si O}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de los constituyentes alofánicos casi siempre era de alrededor de 1.0 y difería notablemente de la misma relación del suelo total, aunque los suelos tenían distintos grados de meteorización. Estos resultados parecen indicar que el componente alofánico que contienen los suelos, era similar a la alófana A, descrita por Fieldes (11). Esta parece ser la forma más común de alófana en los suelos de cenizas volcánicas y por lo tanto debe tener una energía de formación relativamente baja, comparada con otros aluminio-silicatos amorfos posibles.

La reactividad química de los suelos de cenizas volcánicas probablemente se debe al carácter ácido del aluminio tetraédricamente coordinado contenido en el componente alofánico. Fieldes y Schofield (12) han sugerido mecanismos para relacionar este carácter ácido y la coordinación tetraédrica con el orden relativo de retención de los diversos aniones por el mineral y los suelos en que se presenta. Como lo ha señalado Swindale (31), muchas de las alófanas tienen una relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ menor de 2, la cual es muy baja para estabilizar el aluminio tetracoordinado en toda la estructura. Egawa (9) ha demostrado experimentalmente que la alófana contiene aluminio tetracoordinado, pero para las muestras que él analizó el promedio estadístico de coordinación fue cinco. Por lo tanto, es probable que el estado tetracoordinado existe solamente en zonas dentro del cristal, siendo el resto del aluminio extracoordinado. Milliken, Mills y Oglad (25) han indicado que el aluminio de coordinación tetraédrica no existe naturalmente en las condiciones inestables, muy desordenadas de las superficies de los minerales, pero que puede disponerse otra vez en estado de tetracoordinación cuando hay un ion que se aproxima. Sin embargo, muchos autores estarían de acuerdo en que el aluminio estabilizado tetracoordinado existe en la alófana, y Lai y Swindale (21) han sugerido que las uniones estabilizadas $\text{Al}^{\text{IV}}\text{O} - \text{Al}^{\text{IV}}$ también pueden presentarse en el mineral.

En los suelos de los grupos que contienen alúmina hidratada amorfa en vez de alófana la reactividad se debe probablemente al carácter ácido de los geles de alúmina polimerizados. Jackson (17) ha demostrado que la primera constante de disociación para el ion hidrógeno de esos geles puede llegar a valores de 2×10^{-5} lo que es comparable a la constante de disociación para el ácido acético. Por lo tanto, los geles serán de naturaleza muy ácida y con altas capacidades amortiguadoras.

BIBLIOGRAFIA

1. ADACHI, T. 1963. (The humus composition of volcanic ash soils in Japan). *Pedologist* 7:2–14.
2. AOMINE, S. & N. YOSHINAGA. 1955. Clay minerals of some well-drained volcanic ash soils in Japan. *Soil Sci.* 79:349–358.
3. AOMINE, S. & K. EGASHIRA. 1968. Flocculation of allophanic clays by electrolytes. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 14:94–98.
4. AYRES, A. S. & H. HAGIHARA. 1953. Effect of anion on sorption of potassium by Humic and Hydrol Humic Latosol. *Soil Sci.* 75:1–15.
5. BIRRELL, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. *World Soil Resources Report* 14:74–81.

6. BIRRELL, K. S. & M. FIELDES. 1952. Allophane in volcanic ash soils. *J. Sci.* 3:157–166.
7. BIRRELL, K. S. & M. W. GRADWELL. 1956. Ion-exchange phenomena in some soils containing amorphous mineral constituents. *J. Soil Sci.* 7:130–147.
8. BORNEMISZA, E. & K. IGUE. 1967. Oxidos libres de hierro y aluminio en suelos tropicales. *Turrialba* 17:23–30.
9. EGAWA, T. 1964. Nature and properties of allophane, pp. 38–43 in "Volcanic ash Soils in Japan". Ministry Agric. and Forestry, Japan. 211 pp.
10. FASSBENDER, H. W. 1968. Phosphate retention and its different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rica soils. *Agrochimica* 12:512–521.
11. FIELDES, M. 1955. Clay mineralogy of New Zealand soils. P. + 2. Allophane and related mineral colloids. *New Zealand, J. Sci. and Techn. B.* 37:336–350.
12. FIELDES, M. & R. K. SCHOFIELD. 1960. Mechanisms of ion absorption by inorganic soil colloids. *New Zealand, J. Sci.* 3:563–579.
13. FLACH, K. 1964. Genesis and morphology of ash-derived soils in the United States of America. *World Soil Resources Report* 14:61–70.
14. FRINK, C. R. 1964. The effect of wash solvents on cation exchange capacity measurements. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 28:506–511.
15. GRADWELL, M. W. 1968. The moisture-holding properties of Waikato soils and methods of their determination. *New Zealand, J. Agric. Res.* 11:631–634.
16. GRADWELL, M. W. & K. S. BIRRELL. 1954. Physical properties of certain volcanic clays. *New Zealand, Journ. Sci. and Techn. B.* 36:108–122.
17. JACKSON, M. L. 1963. Aluminum bonding in soils; a unifying principle in soil science. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27:1–10.
18. KANEHIRO, Y. & G. D. SHERMAN. 1956. Effect of dehydration-rehydration on cation exchange capacity of Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20:341–344.
19. KAWAI, S. & K. IKEGAYA. 1964. (Studies of humus in soils of tea gardens. 1. Methoxyl content and difference spectrum of humic acid). *J. Soil Sci. Tokyo* 35:214–218.
20. KOSAKA, J., C. HONDA & A. ISEKI. 1962. Transformation of humus in upland soils, Japan. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 8:23–28.
21. LAI S-H, & L. D. SWINDALE. 1969. Chemical properties of allophane from Hawaiian and Japanese soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 33.
22. LIU P-I, G. D. SHERMAN & L. D. SWINDALE. 1966. Laboratory formation and characterization of Taranakite in a Hydrol Humic Latosol from Hawaii. *Pac. Sci.* 20:496–506.
23. LOGANATHAN, P. 1967. The properties and genesis of four middle altitude dystrandeps from Mauna Kea, Hawaii: unpubl. M. S. thesis U. H. 119 pp.
24. LOGANATHAN, P. & L. D. SWINDALE. 1969. The properties and genesis of four middle-altitude volcanic ash soils (dystrandeps) from Mauna Kea, Hawaii. *Pac. Sci.* 23. (In press).
25. MILLIKEN, T. H. Jr., G. A. MILLS & A. G. OGLAD. 1950. The chemical characteristics and structure of craking catalysts. *Farad. Soc. Disc.* 8:279–289.
26. MULLER, L., F. BALERDI, R. DIAZ-ROMEU & H. W. FASSBENDER. 1968. Estudio del fósforo en suelos de América Central. I Ubicación, características físicas y químicas de los suelos estudiados. *Turrialba* 18:319–332.
27. NORTHEY, R. D. 1966. Correlation of engineering and pedological soil classification in New Zealand. *New Zealand, J. Sci.* 9:809–832.

B.10.6

28. SAUNDERS, W. M. H. 1959. Effect of phosphate top dressing on a soil from andesitic volcanic ash. II. Effect on distribution of phosphorus and related chemical properties. *New Zealand, J. Agric. Res.* 2:445–462.
29. SHERMAN, G. D. 1957. Formation of gibbsite aggregates in latosols developed on volcanic ash. *Science* 125.
30. SHERMAN, G. D., Y. MATSUSAKA, H. IKAWA & G. UEHARA. 1964. The role of the amorphous fraction in the properties of tropical soils. *Agrochimica* 8:146–163.
31. SWINDALE, L. D. 1964. The properties of soils derived from volcanic ash. *World Soil Resources Report* 14:82–86.
32. TADA, A., H. TAKENAKA, & K. SOMA 'et al'. 1963. (Characteristics of the particles of Kantoloam volcanic-ash soil). *Trans. agric. Engng. Soc. Japan.* 7:14–21.
33. TAMIMI, Y. N., Y. KANEHIRO & G. D. SHERMAN. 1963. Ammonium fixation in amorphous Hawaiian soils. *Soil Sci.* 95:426–430.
34. TAN, K. H. 1964. The Andosols in Indonesia. *World Soil Resources Report* 14:30–35.
35. TAN, K. H. 1966. On the pedogenetic roles of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 12:80–84.
36. TAYLOR, N. H. 1964. The classification of volcanic ash soils in New Zealand. *World Soil Resources Report* 14:101–110.
37. THORPE, J. & G. D. SMITH. 1949. Higher categories of soil classification: order, suborder and great group. *Soil Sci.* 67:117–126.
38. TOKUDOME, S. & I. KANNO. 1965. Nature of the humus of humic allophane soils in Japan. Parts 1 and 2. *Soil Sci. Pl. Nutr.* 11:1–15.
39. TOKUDOME, S. & I. KANNO. 1968. Nature of the humus of some Japanese soils. *Trans. Int. Congr. Soil Sci.*, 9th Congr. Adelaide. III:163–174.
40. WADA, K. 1959. Reaction of phosphate with allophane and halloysite. *Soil Sci.* 87:325–330.
41. WHITE, W. A. 1953. Allophane from Lawrence County, Indiana. *Amer. Min.* 38:634–642.
42. WRIGHT, A. C. S. 1964. The "Andosols" or "Humic Allophane" soils of South America. *World Soil Resources Report* 14:9–22.
43. YAMAZAKI, F., T. YAWATA & S. SUDO. 1963. (Physical properties of Kanto loam). *Trans. Agric. Engng. Soc. Japan* 7:1–13.
44. YOUNGBERG, C. T. & C. T. DYRNESS. 1964. Some physical and chemical properties of pumice soils in Oregon. *Soil Sci.* 97:391–399.

B.10.7

CUADRO 1. Capacidad de contenido de humedad y densidad aparente seca para algunos suelos de cenizas volcánicas de Nueva Zelanda y los Estados Unidos de Norte América.

Suelo	Profundidad (pulgadas)	Capacidad de retención de humedad en g de agua/100 g suelo secado al horno			Densidad aparente en seco g/cc
		Capacidad de campo	1/3 bar	15 bar	
Tirau franco limoso (N. Z.) (de Gradwell, 15)	1 - 2 ½	79.8		33.3	0.62
	3 ½ - 5	54.5		28.9	0.76
	8 - 9 ½	55.8		35.2	0.69
	14 - 15 ½	53.4		34.0	0.80
Quillayute franco limoso (EUA, Oregon) (de Flach, 13)	0 - 4		58.9	35.4	0.96
	4 - 12		63.0	35.2	0.88
	12 - 27		68.0	28.1	0.89
Waimea franco arenoso muy fino (EUA, Hawaii) (de Flach, 13)	0 - 2		47.1	29.9	-
	2 - 5		41.5	29.1	0.71
	5 - 8		46.1	32.8	-
	8 - 23		61.4	48.3	-
	23 - 25		77.4	59.2	0.66
Hilo franco arcillo limoso (EUA, Hawaii) (de Flach, 13)	0 - 16		110	69	0.33
	16 - 21		156	105	-
	21 - 23		104	99	-
	23 - 26		215	123	-

CUADRO 2. Algunas propiedades químicas de suelos de cenizas volcánicas

Suelo	Clasificación probable	Profundidad (pulgadas)	pH H ₂ O	CEC meq/100 g	C %	C/N	Referencia
Tokutan franco arenoso Japón	cryandept	0- 2	5.9	34.7	9.31	16	FAO archivos
		3- 8	5.8	26.1	7.02	17	
		11-17	6.2	19.2	3.88	14	
Waimea franco arenoso muy fino EUA	typic eutrandept	0- 2	6.2	80.8	13.0	11	Flach, (13)
		5- 8	7.6	74.1	4.76	9	
		8-23	7.6	80.8	4.30	11	
Taupo limo arenoso Nueva Zelandia	entic dystrandept	0- 3	4.9	31.3	10.1	19	Taylor, (36)
		7½- 10	5.9	6.9	1.4	14	
		14-17	6.0	3.4	0.2	10	
Tirau franco limoso Nueva Zelandia	typic dystrandept	3- 7	5.8	28.1	7.2	12	Taylor, (36)
		8-12	5.9	15.6	2.3	10	
		13-20	6.3	15.1	1.1	9	
Maile franco arcillo limoso EUA	hydric dystrandept	0- 4	4.7	37.1	11.05	17	Loganathan y Swindale, (24)
		4-14	5.3	66.6	11.51	17	
		14-29	5.5	40.9	9.56	17	
Hilo franco arcillo limoso EUA	typic hydrandept	0-16	5.8	67.6	5.30	13	Flach (13)
		16-21	6.1	68.4	3.06	14	

CUADRO 3. Influencia del anión del portador del fertilizante potásico en la retención de K⁺ en el subsuelo Akaka arcilloso (de Sherman 'et al' 30).

Compuesto	K aplicado meq/100 g	K intercambiable después del tratamiento meq/100 g	K aplicado retenido %
Testigo	0	0.1	-
KCl	200	4.2	2.1
KNO ₃	200	4.3	2.2
K ₂ SO ₄	200	5.8	2.9
KH ₂ PO ₄	200	43.0	21.5
K ₂ HPO ₄	200	44.5	22.3
K ₃ PO ₄	200	44.2	22.1

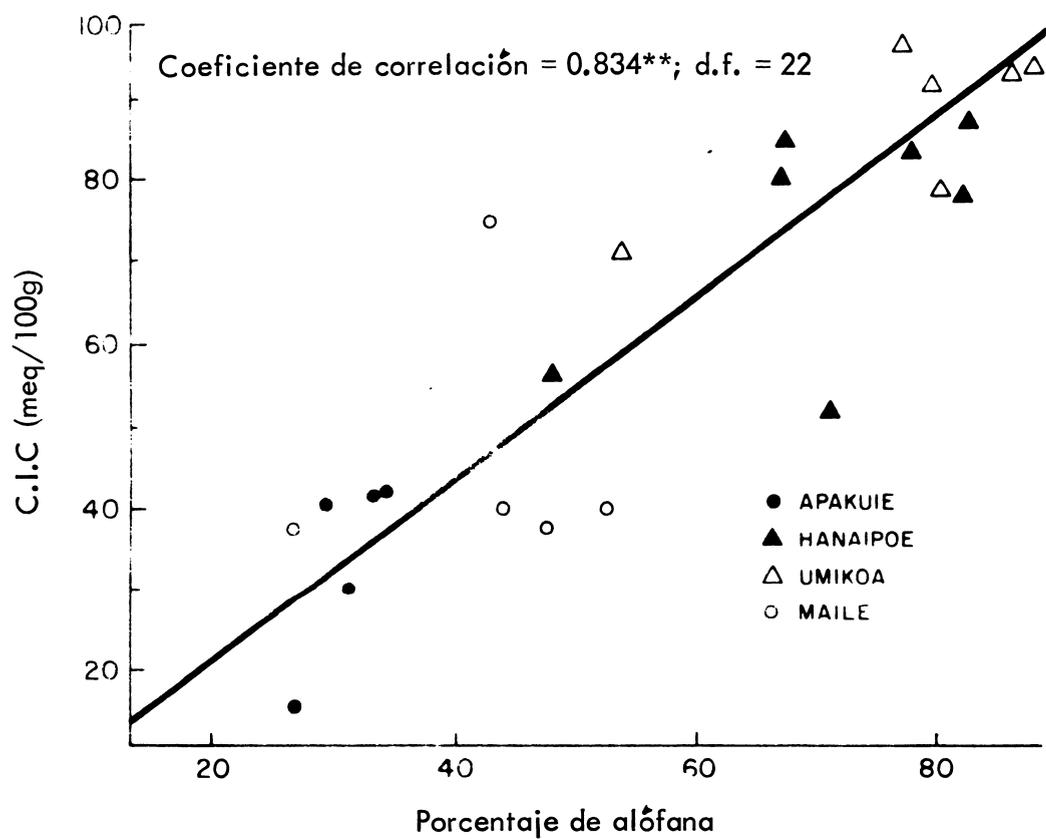


FIGURA 1. Correlación entre capacidad de intercambio de cationes y porcentaje de alófana para cuatro suelos de Hawaii.

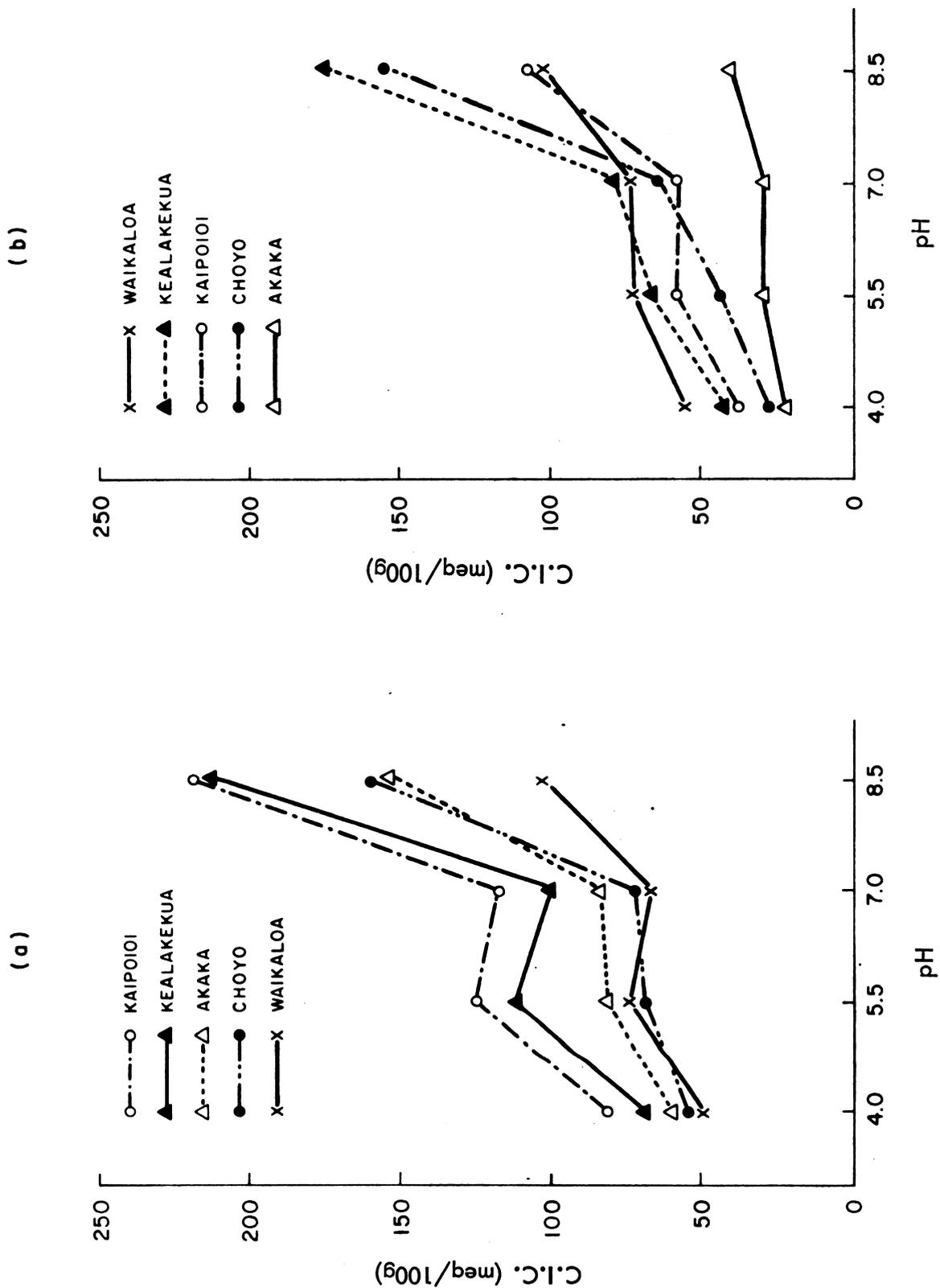
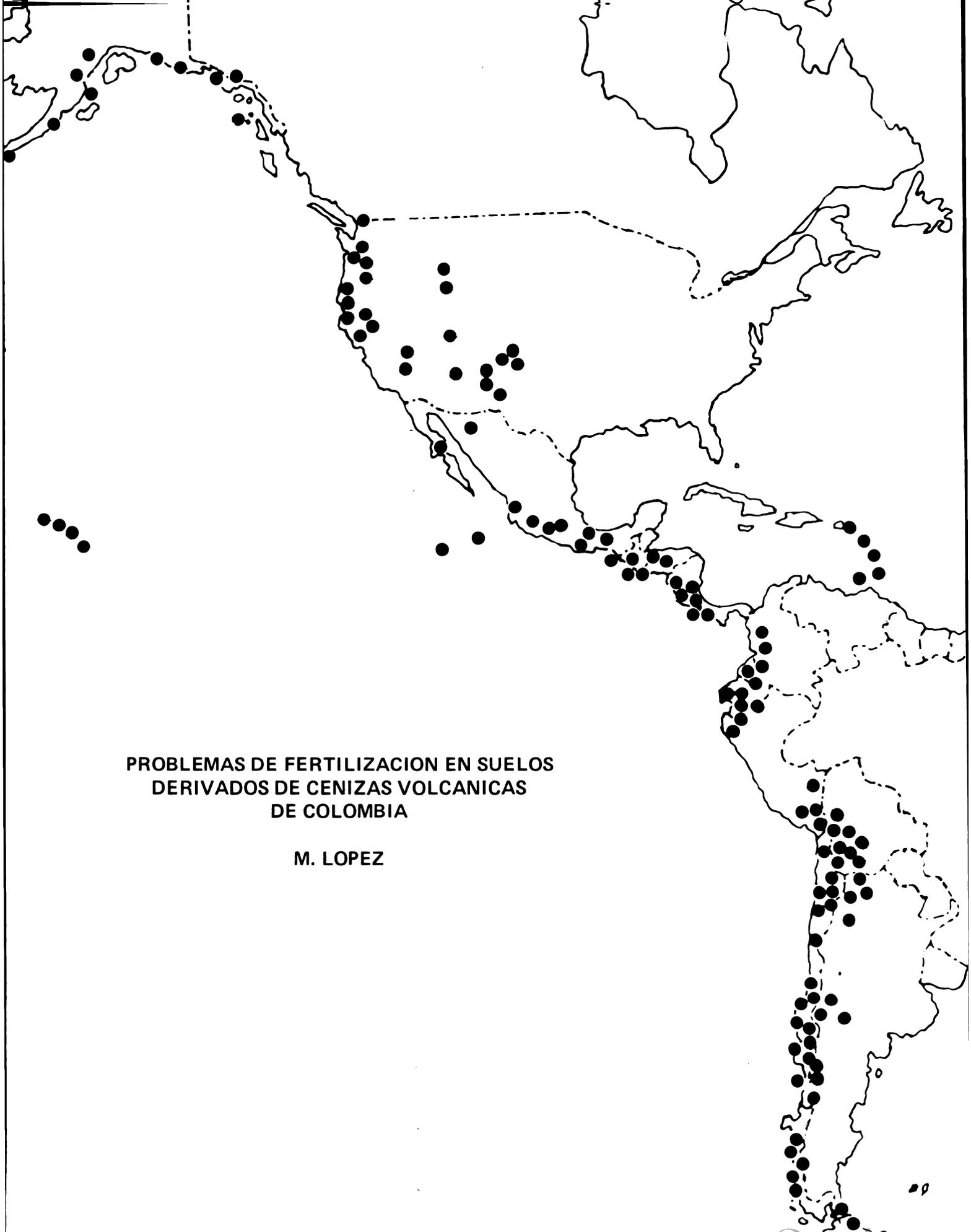


FIGURA 2. Influencia del pH en la CIC en: a) arcilla fina; b) arcilla gruesa de cinco suelos de Hawaii y Japón.



**PROBLEMAS DE FERTILIZACION EN SUELOS
DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS
DE COLOMBIA**

M. LOPEZ

PROBLEMAS DE FERTILIZACION EN SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS EN COLOMBIA

Mario López Arana*

La cordillera de los Andes se divide, en el sur de Colombia, en tres ramales principales que atraviesan el país de sur a norte en casi toda su extensión, llamados cordillera oriental, central y occidental. En sus vertientes existen amplias formaciones de suelos derivados de cenizas volcánicas, siendo los más importantes los localizados a lo largo de la cordillera central, originados por tres núcleos de reciente actividad volcánica y que son, en el sur: Nariño—Putumayo, en la parte sur—central: Cauca—Huila y en el centro del país el núcleo Caldas—Tolima.

Nos referiremos en este trabajo a algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de este último núcleo, Caldas—Tolima, dando especial énfasis más que a los aspectos formativos de los suelos, al carácter de fertilidad de los mismos.

PROBLEMAS DE NITROGENO Y MATERIA ORGANICA

El status de nitrógeno en suelos volcánicos está regido principalmente por el factor clima, con sus dos variables: precipitación vs. temperatura.

Considerando estas dos variables aisladamente, se observa como el contenido de materia orgánica decrece a medida que la temperatura media anual aumenta y como la materia orgánica decrece, a medida que la precipitación media anual también decrece (3).

Los valores de materia orgánica más usuales se encuentran dentro del rango de 6 a 15 por ciento de M. O. La relación C:N fluctúa alrededor de 10, pudiendo considerarse un estrecho rango de 9 a 12 como común para todos los suelos entre los 15°C y 25°C de temperatura media anual. A menores temperaturas en la zona de páramos esta relación es un poco mayor, pudiendo llegar hasta 20.

Estudiando una sola vertiente de la cordillera, en este núcleo Caldas—Tolima, es posible aislar estas dos variables (precipitación y temperatura) para estudiar sus efectos sobre la constitución de la materia orgánica, como también sobre otras transformaciones de la ceniza volcánica en suelos de distinto potencial de fertilidad.

En efecto, considerando la vertiente occidental de la cordillera central de la altura de 4000 metros, hasta los 1000 metros, se ocasionan transformaciones por aumento de temperatura, desde los 8°C hasta los 24°C. Y dentro del clima cafetero (alrededor de los 20°C o sea 1350 metros) se suceden en una corta extensión de 100 km, precipitaciones de 2800 mm a 1700 mm que también provocan distintas transformaciones del suelo.

Las mayores diferencias dentro de la gradiente temperatura que motivan problemas de fertilidad se presentan en la parte física del suelo. De suelos franco—arenosos bien drenados a temperaturas entre los 8°C y los 18°C (suelos de zona fría), le siguen suelos con pequeñas concreciones de hierro, de aceptable drenaje en general, a temperaturas entre los 18°C y 22°C (series Chinchiná, Quindío); y luego, a temperaturas superiores de 22°C se presentan suelos con mal drenaje por presencia de capas ferruginosas de distinto espesor. (Serie Malabar).

Dentro de la gradiente precipitación de 2800 mm a 1700 mm, a igual temperatura media (20°C), se suceden suelos de distinto contenido de materia orgánica, bases de cambio y fósforo asimilable, especialmente, ocasionadas estas diferencias por la distinta cantidad de precipitación pluvial y por la calidad de aguaceros y su distribución en el año.

Los dos suelos que tipifican esta diferencia por precipitación, a igual temperatura media, son la serie Chinchiná y la serie Montenegro, cuyos valores de fertilidad se dan en el Cuadro 2.

a) Nitrificación

Ubicándonos en la zona cafetera, o sea entre un gradiente de 18°C a 22°C, podemos estimar que existe una buena nitrificación de la materia orgánica, pues la temperatura, la humedad y las buenas condiciones físicas del suelo la propician. Sin embargo hay que considerar, por una parte, que la nitrificación está en razón directa de la materia orgánica nitrificable y, por otra parte, que se presenta fuerte lixiviación de nitratos en los períodos de lluvia con aguaceros de intensidades superiores a 10 mm en tres horas, de relativa frecuencia en esta zona (Proyecto QS—2).

* Jefe Sección Química de Suelos, Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Chinchiná, Colombia.

C.1.2

Por experimentos en lisímetros se han valorado pérdidas por percolación de nitrógeno nítrico de 320 kg/ha/año, en la serie Chinchiná, índice, además de la buena nitrificación ocurrida (Proyecto DS-24). La detección de nitratos en micro-lisímetros en el mismo suelo (micro-lisímetros cubiertos - vs - microlisímetros a intemperie) mostró como existe una nitrificación abundante provocada en semanas de lluvia cercanas a 30 mm (Proyecto QS-2). Es decir, que si la cantidad de lluvia estuviera uniformemente distribuida durante el año, una precipitación promedio de 1500 mm sería ideal para propiciar una buena nitrificación en estos suelos.

Este mismo experimento (Proyecto QS-2) mostró una relación, en aguas de lixiviación, de iones nitratos a cationes (Ca, Mg, K) entre 0.7 y 1.1, ocasionada por distintos aguaceros. O sea, que donde ocurre una buena nitrificación y son fuertes los aguaceros que produzcan lixiviación, los nitratos lixiviados arrastran consigo una cantidad equivalente de cationes, empobreciendo el suelo en forma continuada.

Tales efectos son los principales determinantes de la fertilidad de los dos suelos del Cuadro 2. La materia orgánica y el nitrógeno total, relacionados con la lluvia positivamente: 12 M. O. (2700 mm) y 7 por ciento M. O. (1700 mm). Y los cationes de cambio Ca, Mg y K, lo mismo que el fósforo asimilable, relacionados negativamente con la lluvia.

Dentro de esta gradiente de lluvia se encuentra un suelo de la fase Chinchiná (suelo Sta. Rosa, Cuadro 2) cuyo ambiente, T. media 19°C y precipitación anual de 2600 mm habrían propiciado un tenor de bases de cambio y de fósforo, iguales o superiores al suelo Chinchiná. Sin embargo, por fenómenos locales de ambiente, se suceden aguaceros en forma más continuada que en el suelo Chinchiná, aunque, en general, de menor intensidad. Esa lixiviación excesiva ha formado un suelo de igual o mayor tenor de M. O. que el suelo Chinchiná, pero pobre en extremo en bases de cambio y fósforo asimilable. (Ver Cuadro 2). El pH de estos tres suelos indica también, elocuentemente, el grado de lixiviación ocurrida por precipitación pluvial anual y por frecuencia de aguaceros.

En efecto, estudiando en el Cuadro 3, las precipitaciones para tres años son muy diferentes: el año 1967 fue anormal por lo baja para Chinchiná y Sta. Rosa, y por lo alta para Quindío; el año 1966 de promedios más normales, aún cuando alta para Quindío. Y el año 1963, de totales muy ajustados a los promedios de varios años, vemos lo siguiente: Sta. Rosa tuvo la lluvia efectiva mayor (lluvia entre 5 y 20 mm) en los 3 años, a pesar de la distinta precipitación total. Igualmente, Sta. Rosa tuvo el mayor número de aguaceros superiores a 5 mm que causan lixiviación y por lo tanto mayor pérdida de nutrientes. Es interesante observar en este cuadro que no fueron los aguaceros mayores (superiores a 20 mm) los que causaron la mayor pérdida de nutrientes, sino en general, las precipitaciones superiores a 5 mm.

b) Fertilizaciones nitrogenadas

Los cultivos en suelos con contenido de M. O. de 8 por ciento e inferiores, responden muy bien a las aplicaciones nitrogenadas. Entre 8 por ciento y 12 por ciento la respuesta es también positiva, aunque a veces incierta. Por sobre 12 por ciento de M. O. se puede considerar que no debe haber respuesta pues existe abundante nitrificación. Sin embargo, cuando ocurre una lixiviación continuada (como en el caso del suelo Sta. Rosa), es recomendable efectuar adiciones de nitrógeno.

Las fertilizaciones nitrogenadas en los suelos de amplia precipitación pluvial (Chinchiná y Sta. Rosa, especialmente), deben efectuarse con base en aniones (nitratos), en lugar de cationes (amonio), o en su defecto a base de urea, de rápida asimilación por las plantas y de mediana velocidad de descomposición en el suelo.

Un experimento, llevado por dos años en suelo Chinchiná (Proyecto QS-1) para medir los efectos residuales de las aplicaciones nitrogenadas sobre los cationes del suelo y sobre el pH, mostró como el ión NH_4 , aplicado como sulfato de amonio (200 kg de N/ha), tuvo un drástico poder de desplazamiento de bases calcio, magnesio y potasio, en los primeros 10 cm de suelo del orden de 64, 72 y 69 por ciento. Estos altos porcentajes de cationes se perdieron en el agua lixiviada en el primer mes después de la aplicación de la sal amoniacal. La fuente de nitrato (200 kg/ha de N como NaNO_3) provocó un desplazamiento mínimo de estos cationes del orden de 14, 11 y 16 por ciento; más que desplazamiento por el radical nitrato, lo fue por la acción del ión sodio acompañante. Sin embargo, tampoco se recomienda fertilizar con NaNO_3 , pues el ión sodio tiene efectos negativos que en el café se traducen en menores cosechas (1).

Por estas razones se está recomendando ampliamente el uso de la urea y se evita, en lo posible, efectuar fertilizaciones con fuentes de nitrógeno amoniacal.

La materia orgánica proveniente de residuos de cosechas (pulpa de café descompuesta, etc.) es otra buena fuente de nitrógeno, pero de uso muy restringido por el alto volumen necesario y por el alto costo de acarreo y distribución en el campo. El nitrógeno de esta materia orgánica artificial, una vez incorporado al suelo, se nitrifica velozmente, hasta el punto que el nitrógeno incorporado, a los 6 meses de aplicado, se ha nitrificado en un 80 por ciento (Proyecto QS-3).

C.1.3

Por lo tanto, las fertilizaciones nitrogenadas con base en material orgánico, tienen un período activo de aprovechamiento por las plantas en estos suelos únicamente de 6 meses (Proyecto QS-3).

PROBLEMAS DE FOSFORO

En general, la ceniza volcánica aporta cantidades aceptables de fósforo (300 a 800 ppm, o sea de 600 a 1600 kg de P/ha), a los primeros 20 cm del suelo.

El clima es también factor primario de la disponibilidad de este elemento. Volviendo al Cuadro 2, vemos como el fósforo asimilable es muy bajo en suelos con precipitación superior a 2500 mm y es aceptable en suelos con precipitación alrededor de 1500 mm. La deficiencia de fósforo ocurre entonces en suelos de alta precipitación pluvial.

Un estudio sobre fósforo en el suelo Chinchiná, mostró los siguientes valores promedios:

p total	750 ppm
p orgánico	590 ppm
p mineral	160 ppm

(5).

Es decir, que un 78 por ciento del fósforo total corresponde al fósforo orgánico, de escasa disponibilidad inmediata por los cultivos.

De los 160 ppm del fósforo mineral, se determinan con solución extractora ácida (0.08N de H_2SO_4) únicamente 8 ppm, o sea el fósforo asimilable. Aquí, los óxidos libres de Al y Fe son responsables de la retención del fósforo en forma insoluble.

En este mismo estudio se observó cómo aplicaciones de 1500 ppm y 3000 ppm de P, eran retenidas por los sexquióxidos libres del suelo en una proporción entre el 60 al 80 por ciento, y sólo entre el 5 y el 8 por ciento eran aparentemente retenidos por la fracción orgánica (5).

a) Problemas de fraccionamiento de fósforo.

En suelos de ceniza volcánica, con buena cantidad de óxidos libres y buena cantidad de materia orgánica, el fraccionamiento del fósforo conduce a resultados altamente erróneos, siguiendo una marcha sistematizada.

La marcha más simple y aparentemente la más lógica es la propuesta inicialmente con Chang y Jackson (2) en la cual fraccionan, en su orden, Al-P, Fe-P, Ca-P, reductante soluble Fe-P, Al-Fe-P ocluido. Y por otra parte, determinan P orgánico (Cuadro 1 y Cuadro 5 de dicho estudio). Los autores trabajan (Cuadro 5 de dicho estudio) con 3 suelos muy adecuados al objetivo de resultados que pretenden demostrar y, aparentemente, consiguen establecer la separación allí propuesta. Pero sus tres suelos poseen muy poco P-orgánico, 8.52 y 0 ppm. La base de las soluciones extractoras son, en su orden NH_4F 0.5N, NaOH 0.1N y H_2SO_4 0.5N, para Al-P, Al-Fe y Al-Ca, respectivamente.

Si tomamos con este criterio un suelo de ceniza volcánica con 12 por ciento de M. O. (como es el suelo Chinchiná) y lo sometemos a estas tres extracciones sucesivas, provocamos una descomposición de la materia orgánica del orden de 3, 2.5 por ciento y trazas. O sea que el P determinado en las soluciones de NH_4F y NaOH va a ser, en gran proporción, fósforo orgánico.

De allí que es importante estudiar la manera de caracterizar el fósforo en nuestros suelos sobre ceniza volcánica por procedimientos que se acomoden a las características especiales de estos suelos.

Un sistema sencillo de análisis simultáneo de Al y Fe libres, consiste en provocar la disolución de ellos mediante ácido diluido, que solubilice poca materia orgánica. En Cenicafé se empleó el HCl 0.8N, el cual provocaba amplia solubilidad del R2O3 libres (4%) y no afectaba, aparentemente, las fracciones mineral y orgánica, ricas en potasio, según se ve en el cuadro 4 (Proyecto QS-16).

Para la determinación del P orgánico, parece que los mejores métodos son los de ignición. En Cenicafé se obtuvieron los mayores valores para P orgánico, con períodos de ignición de 12 horas a 550°C (5). La diferencia entre P extraído con HCl 0.8N en muestras calcinadas y no calcinadas sería el fósforo orgánico. Sin embargo, en la ignición hay seguramente descomposición de la fracción mineral y, por lo tanto, los valores que se consigan para P

C.1.4

orgánico no son del todo correctos. De ahí la necesidad de emplear más de un método para la determinación de P orgánico, a fin de efectuar comparación de resultados según el mejor criterio del investigador.

La determinación del fósforo asimilable, como criterio para hacer recomendación de fertilizantes fosfóricos, es otro problema práctico y de interesante evaluación.

En Cenicafé se calibró en el año de 1958 (4) un método que ha dado los mejores resultados desde entonces, en muy distintos suelos. La solución extractora es H_2SO_4 0.08N. Se emplea un gramo de suelo, 10 cc de solución extractora y un minuto de agitación. Los cultivos en suelos con menos de 25 ppm, responden a aplicaciones fosfóricas.

En general, cualquier solución ácida de mediana capacidad puede ser una buena solución extractora. De las soluciones de la zona templada, la más empleada en Colombia es la Bray-2 (HCl 0.1N— NH_4F 0.03%). Sin embargo, el NH_4F de esta solución disuelve una buena proporción de materia orgánica que, en suelos muy altos en la solución indudablemente afectará los resultados.

El problema de la valoración del fósforo asimilable y de su enriquecimiento a través de fertilizaciones fosfóricas periódicas, radica en dos factores concomitantes: la alta fijación fosfórica de estos suelos, y el grado de disponibilidad de acuerdo con el clima.

Ya se vio como estos suelos retienen hasta un 80 por ciento del P, aplicado aún en aplicaciones tan altas como 3000 ppm de P, retención debida a los sexóxidos libres. Pero el factor clima afecta esta retención de acuerdo con el régimen de lluvia.

En un experimento de campo en donde se está aplicando P a seis niveles cada 4 meses y en donde se valora el P asimilable a intervalos de 2 meses, se ha obtenido la secuencia mostrada en el Cuadro 5.

En este cuadro se muestra cómo el suelo tiene una buena fijación de fósforo por una parte, aunque se observa algún efecto acumulativo en forma de fósforo asimilable, más acentuado en períodos de verano. En realidad, al adicionar un 100 por ciento de fósforo cada vez, por ciclos consecutivos, debería acumularse más fósforo que el mostrado a los 4 meses, el cual, según el Cuadro 5, es de 67 por ciento para un caso (que se convertiría en 167 por ciento al adicionar el fósforo) y vuelve a rebajar a los 4 meses para mostrar únicamente 55 por ciento del fósforo adicionado, como asimilable. Las precipitaciones por ciclos de 4 meses fueron de 860 mm y de 880 mm, o sea, más de 200 mm de lluvia como promedio mensual.

En suelos de tan alta fijación fosfórica, se está recomendando el empleo de "Escorias Thomas", opcionalmente, en lugar de superfosfatos, para evitar la alta fijación inmediata de estos últimos por una parte, y porque la unidad fosfórica de las "Escorias Thomas" tiene un costo comercial 4 veces inferior a la del superfosfato. Además, la respuesta (maíz y pastos), aunque un poco inferior con "Escorias Thomas" que con superfosfato, es muy similar entre ambas fuentes de fósforo.

PROBLEMAS DE POTASIO

El clima, que es responsable de la distinta conformación química del suelo, ha propiciado distinto contenido de potasio intercambiable, según se aprecia en el Cuadro 2 antes citado.

El potasio de cambio se valora a través de extracción con acetato de amonio N y neutro y lectura en espectrofotómetro de llama. Las soluciones extractoras de carácter ácido tienen efectos de extracción muy similares al acetato de amonio, pero con el agravante de la disolución de Al, principalmente. Por esta razón, se continúa trabajando únicamente con la solución de acetato de amonio.

En el Cuadro 2 se observan valores bajos para potasio en suelos de alta precipitación pluvial. Estos valores son iguales para las distintas localidades con similares cantidades de lluvia y, por lo tanto, las recomendaciones que se dan sobre fertilizaciones potásicas son extensivas a todos esos suelos.

Como la zona media colombiana de suelos sobre ceniza volcánica se confunde con la zona cafetera propiamente dicha, el mayor cultivo que demanda potasio es el café, cultivo muy exigente en este elemento.

Como límites tentativos de suficiencia potásica se han adoptado 0.4 me/100 g para pastos y cultivos anuales, y 1.2 me/100 para café en producción.

C.1.5

Con estas bases, vemos la necesidad de fertilizar prácticamente todos los suelos volcánicos de la zona cafetera, para establecer un status artificial de 1.2 me/100 g.

Teóricamente, al menos, el potasio aplicado como fertilizante lo retiene el suelo en forma adsorbida. Pero sucede que estos suelos volcánicos tienen un débil poder de retención del potasio adicionado. Es decir que, si fertilizamos un suelo de 0.2 me/100 g y elevamos su potasio de intercambio a 1.2 me/100 g, ese 1 me/100 g adicionado es retenido muy débilmente y se va trasladando hacia el agua del suelo, perdiéndose por lixiviación, hasta desaparecer totalmente del complejo de cambio.

Se ha valorado el ciclo del potasio en varios años por aplicaciones continuadas de potasio, dentro de varios experimentos. También se han efectuado aplicaciones cada 4 meses (como con el fósforo) y se ha valorado el potasio residual a los 2 y a los 4 meses.

El Cuadro 6 agrupa algunos valores parciales de potasio adicionado a un experimento en un cafetal. La relación del potasio en el suelo vs. la cantidad de lluvia es notable y da idea del débil poder de retención del potasio aplicado por estos suelos, hasta el punto en que el poder residual de potasio aplicado, después de 4 meses, es únicamente del 9 y del 21 por ciento, sin notarse aparente efecto acumulativo de potasio por las aplicaciones continuadas.

Otra valoración, esta vez en laboratorio, nos indica idéntico fenómeno. Se quiso simular la ocurrencia de los dos tipos de situaciones de clima: verano, con 100 mm de lluvia mensual e invierno con más de 400 mm de lluvia mensual. Los resultados se ven en el Cuadro 7, que confirma lo observado en el campo. Se tomó suelo y se adicionó con 0,50 y 100 ppm de K. A las 72 horas se iniciaron lavados, cada 24 horas, con agua equivalente a precipitaciones de 100 mm. El potasio adicionado fue fácilmente lixiviado, para perderse por una extracción, al cabo de 5 días de 500 mm, en un 94 por ciento, índice elocuente del bajo poder de retención de estos suelos del potasio aplicado como fertilizante.

El potasio natural, bajo aplicaciones de sales amónicas, como ya se dijo, es desplazado hasta en un 69 por ciento por el radical amonio. Sin embargo, si un suelo así tratado lo analizamos periódicamente, por 25 meses, se observa el fenómeno de reversibilidad de potasio insoluble —potasio intercambiable— hasta volver a alcanzarse los valores originales de potasio intercambiable, según lo muestra el Cuadro 8.

PROBLEMAS DE ACIDEZ

En los suelos volcánicos del núcleo Caldas—Tolima, no hay problemas de acidez propiamente dichos. El pH, como se ve en el Cuadro 2 es fiel reflejo de la fertilidad del suelo, causada principalmente por el clima.

Los intentos que se han hecho tendientes a aumentar la productividad a través de elevación del pH por adición de cal agrícola, principalmente, han sido nulos. No ha habido respuesta a aplicaciones de cal agrícola en caña de azúcar, maíz, pastos, menos en café.

El poder "buffer" de estos suelos es grande. Un suelo proveniente de un experimento factorial N, P, K, Mg, MO, con 32 tratamientos, fue sometido a incubación "in situ" por 3 meses bajo tratamiento de 0—1—2—4 y 8 ton/ha de CaCO₃, y luego se midió el pH final (Proyecto DS—27: QS—IA).

El pH final, promedio de los 32 tratamientos con 2 replicaciones por tratamiento, fue de:

CaCO ₃	Ton/ha	0	1	2	4	8
pH		5.34	5.45	5.48	5.54	5.63
Δ pH		— 0.11	— 0.03	— 0.06	— 0.09	

de donde el ión Al, en sus formas de aluminatos, es responsable de esta mínima variación de la acidez.

ELEMENTOS MENORES

a) Manganeso. Al tratar de modificar el pH con adiciones de cal se provoca deficiencia de manganeso, detectable por síntomas visuales y por análisis foliar, principalmente. El manganeso intercambiable es del orden de 5 ppm, y hay casos en que este valor es inferior a 1 ppm. En estos últimos suelos se presenta fácilmente la deficiencia de manganeso.

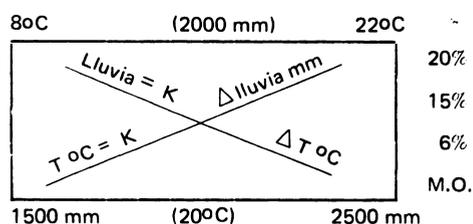
C.1.6

- b) Boro. Otra deficiencia que se presenta temporalmente en estos suelos en épocas de escasa lluvia es la de boro y es más acentuada en áreas con poco contenido de materia orgánica. Según un trabajo efectuado en Cenicafé, niveles de B en suelos inferiores a 0.5 ppm, responden a aplicaciones de borax, en proporción de 20 kg/ha. (Cenicafé B-1962). O también se recomienda efectuar 2 aspersiones de Borax al 1 por ciento con intervalo de 30 días, en cultivo de café.
- c) Magnesio. En suelos con cantidades menores de 1.0 me/100 g de magnesio, se presentan deficiencias. Se aconsejan aplicaciones anuales de 100 g/árbol de carbonato de magnesio en cultivo de café. Cuando existe buen contenido de magnesio en el suelo (unos 5 me/100 g o mayores cantidades) a veces se presentan deficiencias de magnesio asociadas con deficiencias de nitrógeno. En tales casos, la deficiencia de magnesio desaparece al corregir la deficiencia de nitrógeno, por aplicaciones de este elemento.

BIBLIOGRAFIA

1. ABRUÑA, F., J. VICENTE-CHANDLER y S. SILVAS. 1963. Effect of different nitrogen sources on the yield of intensively grown coffee. *Turrialba* 12:97-97.
2. CHANG, S. C. y M. L. JACKSON. 1957. Froctronation of soil phosphorus. *Soil Science* 84:133-144.
3. JENNY, H., F. BINGHAM y A. PADILLA-SARAVIA. 1947. Nitrogen and organic matter contents of equatorial soils of Colombia. *South America. Soil Science* 66:173-186.
4. LOPEZ, A. M. 1958. Determinación de fósforo aprovechable en suelos tropicales. *Cenicafé (Colombia)* 9(5-6):109-120.
5. LOPEZ, A. M. 1960. Valoración de las formas de fósforo, orgánica e inorgánicas, de un suelo de la zona cafetera de Colombia. *CENICAFE* 11(7):189-203.

CUADRO 1. Distribución de la materia orgánica por influjo de la temperatura media ambiente y de la precipitación pluvial anual, según datos de Jenny (3).



CUADRO 2. Suelos de la serie Chinchiná y Montenegro, con distinto grado de fertilidad, propiciado por la cantidad de lluvia y calidad de aguaceros.

	Serie Chinchiná		Serie Montenegro
	Chinchiná	Sta. Rosa	Quindío
T. media	21°C	19°C	21°C
Precipitación	2.700 mm	2.600 mm	1.700 mm
Mat. org. %	12.0	14%	7.0
N total %	0.62	0.68	0.34
Ca me/100 g	3.0	0.6	7.5
Mg	1.5	0.4	3.0
K	0.2	0.1	0.8
P ppm (Cenicafé)	8	4	30
pH	5.6	4.8	6.2

CUADRO 3. Relación de precipitación pluvial, en milímetros, y de días de lluvia para tres localidades de igual gradiente de temperatura, para 3 años de distinto comportamiento de lluvias

	Lluvia total	Lluvia > 5 mm	Lluvia entre 5 y 20 mm	No. de días de lluvia		
				Totales	> 5 mm	> de 20 mm
Año de 1967						
Chinchiná	2.265	2.040	1.432	246	102: 77 %	36
Sta. Rosa	2.326	2.092	1.658	264	132: 100 %	33
Quindío	2.404	2.270	1.421	177	92: 69 %	46
Año de 1966						
Chinchiná	2.726	2.499	1.739	233	115: 83 %	49
Sta. Rosa	2.926	2.734	2.034	259	138: 100 %	50
Quindío	2.069	1.868	1.190	198	81: 58 %	36
Año de 1963						
Chinchiná	2.729	2.540	1.750	245	118: 88 %	47
Sta. Rosa	2.662	2.467	1.820	267	133: 100 %	43
Quindío	1.730	1.613	1.271	195	86: 64 %	39

CUADRO 4. Solubilización de R203 en porcentaje de K en me/100 g con HCl de distinta normalidad.

N HCl	me/100 g Potasio	% R203
0.1	0.12	0.7
0.2	0.14	1.5
0.3	0.18	2.2
0.4	0.14	2.5
0.5	0.16	3.4
0.6	0.11	3.9
0.7	0.14	4.1
0.8	0.13	4.0
0.9	0.12	4.5
1.0	0.12	4.5

CUADRO 5. Acumulación de fósforo aprovechable por varias aplicaciones efectuadas cada 4 meses. Muestreros hechos cada 2 meses. Relación de lluvias cada 2 y 4 meses con el fósforo acumulado.

Tratamientos agrupados de fósforo	Adición de fósforo	4 meses después	Ad. de P	2 meses después	4 meses después
N ₀ P ₅ K ₀	100	93%	100	109	53
N ₀ P ₅ K ₂	100	56%	100	109	69
N ₂ P ₅ K ₂	100	53%	100	64	44
Promedio	100	67%	167%	94%	55%
Precip. mm	—	860	—	431	880

C.1.8

CUADRO 6. Potasio residual en me/100 g y en porcentaje, a los 2 y 4 meses después de adiciones y su relación con la lluvia total caída cada 2 y 4 meses

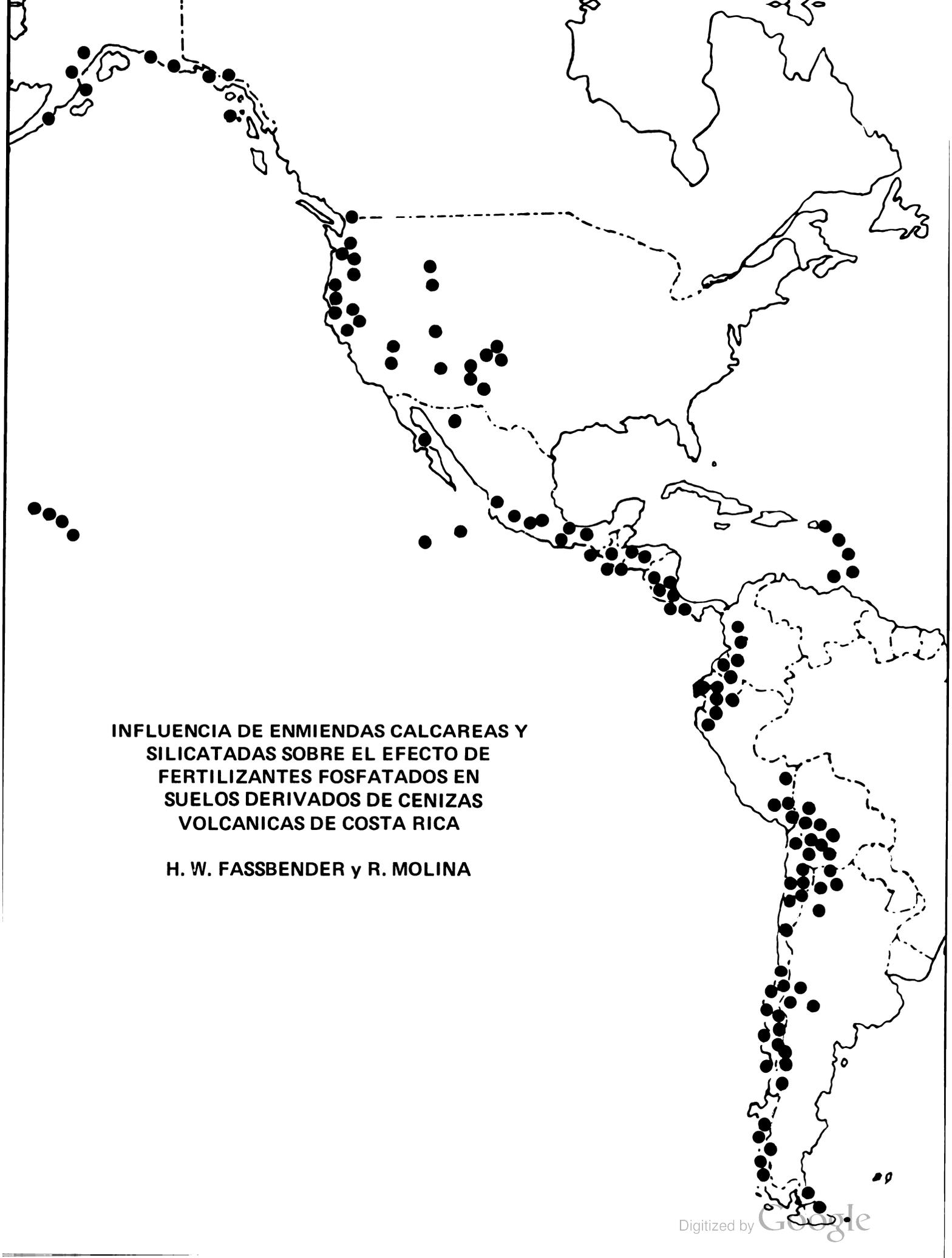
	Adición	A los 2 meses	A los 4 meses	Adición	A los 2 meses	A los 4 meses
K ₀	—	0.18	0.12	—	0.12	0.15
K ₁	0.13	0.20	0.13	0.13	0.14	0.18
K ₂	0.26	0.45	0.13	0.26	0.17	0.24
K ₃	0.39	0.26	0.17	0.39	0.19	0.21
K ₄	0.52	0.44	0.13	0.52	0.24	0.25
K ₅	0.56	0.65	0.17	0.65	0.30	0.29
		2.15	0.85		1.16	1.32
Adición	1.95	1.07	0.13	1.95	0.44	0.42
% adición 100		55	9	100	23	21
Lluvia mm	—	463	976	—	637	883

CUADRO 7. Adición de 0,50 y 100 ppm de potasio. Extracciones cada 24 horas con 100 mm de H₂O.

Adición en ppm	72 Horas	96 Horas	120 Horas	144 Horas	168 Horas	Total
0	3.0	0.9	1.2	0.7	1.0	—
50	21.0	11.5	7.2	5.0	4.3	—
100	47.0	29.0	15.0	10.0	9.0	—
0	—	—	—	—	—	—
50	36	21	12	9	7	85%
100	44	28	14	9	8	103%
Promedio	40	24	13	9	7	94%

CUADRO 8. Adición de 200 kg de N amoniacal en forma de (NH₄)₂ SO₄. Recuperación del potasio natural, en 25 meses, con base 100 para el K original

Meses	K	Meses	K	Meses	K
0	100	6	40	11	54
2	30	7	45	12	52
3	28	8	48	14	61
4	38	9	56	21	68
5	28	10	48	25	86

A black and white outline map of Costa Rica. Numerous small black dots are scattered across the map, representing sampling locations. The dots are concentrated in the northern and central regions, with a significant cluster in the southern region. A dashed line runs horizontally across the middle of the country, and another dashed line runs vertically on the left side, possibly indicating administrative boundaries or specific study areas.

**INFLUENCIA DE ENMIENDAS CALCAREAS Y
SILICATADAS SOBRE EL EFECTO DE
FERTILIZANTES FOSFATADOS EN
SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS
VOLCANICAS DE COSTA RICA**

H. W. FASSBENDER y R. MOLINA

INFLUENCIA DE ENMIENDAS CALCÁREAS Y SILICATADAS SOBRE EL EFECTO
DE FERTILIZANTES FOSFATADOS EN SUELOS DERIVADOS
DE CENIZAS VOLCÁNICAS EN COSTA RICA

H. W. Fassbender* y R. Molina**

Los suelos derivados de cenizas volcánicas generalmente tienen valores de pH mayores que 5 (2, 10, 29). Sin embargo, en condiciones determinadas de material parental y meteorización, se han encontrado también valores de pH más bajos en suelos de Nueva Zelanda, Japón y Costa Rica (2, 10, 29). En estos suelos altamente ácidos se encuentran también valores bajos de bases cambiables, alta acidez (2, 29) que muchas veces lleva a deficiencias de fosfatos y a una alta capacidad de fijación de fósforo (2, 9, 10, 29).

Las enmiendas calcáreas se aplican desde la antigüedad a los suelos a fin de suplir Ca y/o Mg, cuando estos elementos son deficientes y/o para corregir los efectos dañinos de la alta acidez de los mismos. En la actualidad, también se emplean enmiendas silicatadas para lograr esos efectos y el consiguiente aumento de la productividad de los suelos. A través del uso de tales enmiendas se espera mejorar:

1. La agregación de partículas y la estructura.
2. Las condiciones de aereación y movimiento de agua.
3. La disponibilidad de Ca y/o Mg.
4. Las condiciones de pH.
5. Las condiciones de disponibilidad o suprimir la posible toxicidad de Al, Mn y Fe.
6. Las condiciones de desarrollo de los microorganismos, especialmente de las bacterias.
7. La mineralización de la materia orgánica.
8. Los procesos dinámicos del N y S.
9. La disponibilidad de fosfatos a través de la influencia sobre:
 - a) La distribución de fosfatos inorgánicos, provocando la hidrólisis de fosfatos de hierro y aluminio y la formación de fosfatos cálcicos
 - b) La activación de la mineralización de fosfatos orgánicos
 - c) La disminución de la fijación de fósforo y
 - d) El aumento de la actividad iónica del $H_2PO_4^-$ presente en la solución del suelo

Los estudios sobre el efecto de aplicaciones de enmiendas calcáreas y silicatadas en la productividad de los suelos derivados de cenizas volcánicas y especialmente sobre su interacción con los fosfatos, son escasos. La mayor parte de los trabajos publicados están relacionados con las necesidades de los suelos, curvas de titulación, su efecto sobre el pH de los mismos y comparaciones entre materiales calcáreos y silicatados (20, 23, 24, 26, 27, 28). Algunos autores de Hawaii, de donde proviene la mayor parte de la literatura en este campo, han encarado también los aspectos relacionados con la influencia de las enmiendas sobre la utilización de fertilizantes fosfatados y la producción vegetal (5, 15, 16, 17). Se ha encontrado que a través del encalado y al aumentar el pH del suelo en 0,5 unidades, disminuye el aluminio cambiante a la mitad y con ello disminuye la fijación del p (5). Asimismo Fox 'et al' (15) informan que la utilización del fósforo y aluminio por las plantas guarda una relación inversa. Se ha indicado también que el sobreencalado, o sea el efecto detrimento sobre las cosechas causado por dosis altas de encalado, aparece en los suelos entre valores de pH 5 y 6,2 dependiendo de las características del suelo y la planta cultivada (16).

En América Latina son más escasos aún los trabajos sobre encalado de suelos derivado de cenizas volcánicas. Letelier y Wright (19) indican que en suelos de Chile el calcio es muy pocas veces limitante como elemento nutritivo

* Químico de Suelos, asignado por FAO al IICA, Turrialba, Costa Rica, dentro del Proyecto 80 del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

** Estudiante Graduado del IICA, Profesor de Suelos de la Universidad Autónoma de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

y su aplicación controla otros factores limitantes debidos a la acidez. Fassbender (12) estudió el efecto de diferentes niveles de encalado y dosis crecientes de fertilizante fosfatado, encontrando que existe una interacción favorable entre ambos sobre la producción de materia seca y absorción de P. Estudiando metasilicatos de sodio como materiales de enmienda en suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica, Fassbender y Müller (13) informan de su efecto detrimento, atribuyéndolo a la aplicación de Na. En los mismos experimentos el uso de fertilizantes sílico—fosfatados resultó favorable (13).

Las características de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica y los resultados preliminares anteriormente comentados, han sido un buen incentivo para estudiar a fondo los fenómenos relacionados con el efecto de las enmiendas calcáreas y silicatadas sobre el efecto de fertilizantes fosfatados en la producción de esos suelos. En este trabajo se informa sobre los resultados obtenidos.

ESTUDIO DEL EFECTO DE ENMIENDAS CALCAREAS

Materiales y Métodos

Se han considerado tres aspectos sobre la influencia de aplicaciones de encalado en suelos derivados de cenizas volcánicas:

- a) Efecto sobre el pH, bases cambiables y aluminio extraíble
- b) Efecto sobre las formas, solubilidad y fijación de P y
- c) Efecto sobre la producción de materia seca y absorción de P, Al y Ca por plantas indicadoras.

Se utilizaron muestras de dos series de suelos de la zona oriental de la Meseta Central de Costa Rica descritas por Dóndoli y Torres (6). Estos suelos han sido caracterizados por Fassbender (8). Algunas características han sido presentadas en los Cuadros 1 y 2 de las muestras que no fueron encaladas. Se trata de suelos ácidos, con un alto contenido en materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de fijación de P. El suelo de la serie Birrisito es bajo en bases cambiables y presenta una acidez cambiabile alta; predominan los fosfatos de hierro y aluminio dentro del complejo inorgánico. El suelo Cervantes, por el contrario, presenta un mayor contenido de bases cambiabile y predominan los fosfatos de calcio sobre los férricos y alumínicos.

Para el estudio se aplicaron a los suelos dosis ascendentes de cal correspondiendo a 0,1 2, 4, 8, 16 y 32 meq Ca+Mg/100 g de suelo. Se utilizaron carbonatos químicamente puros en proporción Ca:Mg de 4 a 1, aplicándose con una mezcladora rotativa. Se humedecieron los suelos y se regaron semanalmente para facilitar la disolución de los carbonatos aplicados. Al cabo de cinco meses de incubación se tomaron muestras en las macetas para determinar, después de su desecamiento y preparación, las siguientes características:

- a) pH con CaCl_2 en proporción 1:2,5, utilizando un potenciómetro con electrodo de vidrio
- b) Capacidad de intercambio y bases cambiables con BaCl_2 y trietanolamina (21) y espectrofotometría de absorción atómica
- c) Aluminio extraíble con NH_4ACO 1N a pH 4,8, determinado con aluminona
- d) Fosfatos inorgánicos según el fraccionamiento de Chang y Jackson (4)
- e) Fosfatos totales con una digestión con una mezcla de ácidos nítrico, perclórico, sulfúrico a clorhídrico (31) y por diferencia entre ambas determinaciones, se calcularon los fosfatos orgánicos
- f) Retención de fosfatos según Fassbender (9) y
- g) Potenciales químicos de los elementos nutritivos de acuerdo a Ulrich (30). (Ver también 11).

Una parte del suelo incubado se utilizó para conducir un experimento en quintuplicado en macetas conteniendo 600 g de suelo. Se consideraron como tratamientos las dosis de encalado (0, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 meq Ca+Mg (4:1)/100 g suelo) y se aplicó una fertilización básica de 235 ppmN y 500 ppmP como fosfato de amonio, 0,5 meq K/100 g de suelo como KCl y dosis adecuadas de elementos menores. Se humedeció el suelo y después de dos semanas de la instalación del experimento, se tomaron nuevamente muestras de suelo para determinar otra vez los

C.2.3.

potenciales químicos de los elementos nutritivos (11, 30). Se sembró el experimento con tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, var J. Durán), teniéndose seis plantas por maceta. Se cosechó a los 45 días, se determinó la producción de materia seca y la absorción de P, Ca y Al después de una digestión con una mezcla de ácido nítrico y perclórico, en proporción 5:1.

RESULTADOS Y DISCUSION

A. Efecto sobre el pH, capacidad de intercambio, bases cambiabes y aluminio extraíble

Los resultados están presentados en el Cuadro 1. Se puede interpretar que los suelos tienen una alta capacidad tampón pues, a pesar de la aplicación máxima de 32 meq Ca+Mg/100 g de suelo, el pH solo aumentó en el suelo Birrisito 1,8 y en el Cervantes 1,2 unidades (ver Figura 1).

Con sendas aplicaciones de encalado en otros suelos aluviales o latosólicos se han encontrado variaciones de pH mucho mayores (3,22). Sin embargo, los resultados aquí presentados están de acuerdo con los encontrados en otros suelos derivados de cenizas volcánicas. Así, Fassbender encontró que una aplicación de 9 meq Ca+Mg/100 g de suelo, a un suelo de Juan Viñas (perteneciente a la serie Birrisito) llevó a un aumento de 0,9 unidades de pH. Rixon y Sherman (26, 27) encontraron en suelos de Hawaii que después de aplicarse un equivalente a 26 Tn carbonato/ha, el pH solo varió entre 0,8 y 1,2 unidades de pH.

En los valores de la capacidad de intercambio catiónico —también presentados en el Cuadro 1— se observa un aumento progresivo en ambos suelos al aumentar las dosis de cal o el valor de pH resultante. Esto es explicable por la formación de nuevas cargas electronegativas dependientes del pH en el complejo coloidal de los suelos (25).

El calcio y el magnesio cambiabes sufren aumentos proporcionales a las aplicaciones ascendentes de sus carbonatos (Cuadro 1). Los datos indican, sin embargo, que la disolución de carbonatos no fue total, especialmente en los tratamientos con dosis altas de encalado.

Los datos sobre el aluminio extraíble también han sido incluidos en la Figura 1. Se observa que el aluminio

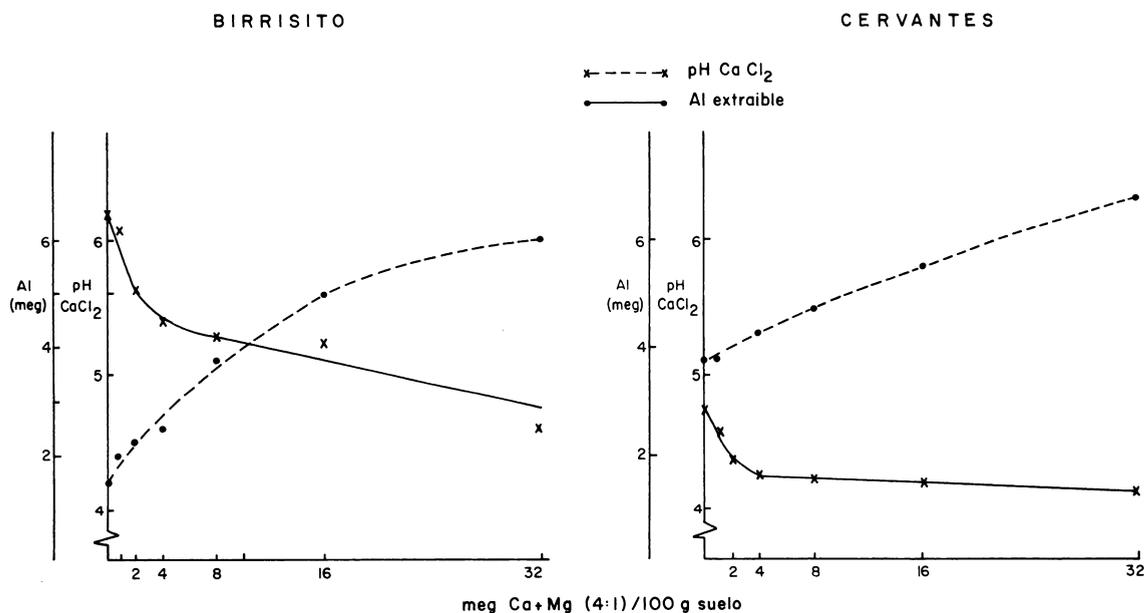


FIGURA 1. Efecto del encalado sobre el pH y aluminio extraíble en dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica.

C.2.4

desciende con las dosis de cal en forma exponencial, siendo la disminución notable con las primeras dosis de hasta 4 meq Ca+Mg. Estas tendencias han sido comprobadas por otros autores, inclusive para suelos derivados de cenizas volcánicas (3, 13, 23, 26, 27).

B. Efecto sobre las formas de fosfatos

Los resultados presentados en el Cuadro 2 indican que la fracción soluble en NH_4Cl no ha variado notablemente en los suelos experimentales. Igualmente y contrario a lo esperado, no se puede encontrar una disminución de los fosfatos de hierro y aluminio debido a su hidrólisis y el correspondiente aumento de los fosfatos de calcio. Más bien se observa un cierto aumento de los fosfatos de hierro, lo cual permite interpretar la validez de los conceptos de Hsu y Jackson (18), quienes indican que bajo condiciones de un alto contenido de humedad en los suelos se produce una acumulación de fosfatos de hierro. Por otro lado, con el análisis después de la disolución de los carbonatos, se está evaluando la suma total de los procesos ocurridos. Es posible que se haya producido una hidrólisis de fosfatos de hierro y aluminio en los suelos, pero existiendo aún iones Fe y Al en la solución del suelo, posiblemente se produjo una reprecipitación de estos fosfatos ya que la energía libre producida es más alta que la que resulta de la precipitación de fosfatos de calcio (30).

Los datos sobre fosfatos orgánicos presentados en el Cuadro 2 no indican que se haya producido un aumento en la mineralización de fosfatos inorgánicos. En el suelo Birrisito solamente se obtiene una ligera disminución del porcentaje del P orgánico en el P total, con el aumento de la dosis de encalado.

C. Efecto sobre la retención de fosfatos

Los datos sobre la capacidad de fijación de fosfatos, determinada al ofrecerle al suelo 100 ppmP guardando la proporción suelo:solución de 1:50 y agitando mecánicamente por 6 horas, también se encuentran en el Cuadro 2. Los resultados obtenidos para el suelo Birrisito demuestran grandes variaciones sin tendencia definitiva. Para el suelo Cervantes se observa una disminución con el incremento de pH resultante del encalado y después de alcanzarse el valor 5,8 de pH, se produce nuevamente un aumento no explicable. En los suelos experimentales no se ha podido comprobar los resultados de Fox 'et al' (15) encontrados para suelos de Hawaii, donde la fijación de P disminuye notablemente con el encalado.

D. Efecto sobre la solubilidad de los fosfatos del suelo

El efecto del encalado sobre la solubilidad de los fosfatos del suelo evaluado con parámetros físico—químicos está presentado en la Figura 2. El diagrama de solubilidad de los fosfatos ha sido adaptado de Ulrich y Khanna (32), en el cual se representan las isotermas de solubilidad de los diferentes fosfatos, basándose en sus productos de solubilidad de acuerdo a las siguientes fórmulas:

1. $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 2,00 (\text{pH} - 0,5 \text{ pCa}) - 0,53$ para fosfato dicálcico
2. $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 2,66 (\text{pH} - 0,5 \text{ pCa}) - 3,26$ para fosfato octacálcico
3. $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 3,33 (\text{pH} - 0,5 \text{ pCa}) - 4,70$ para apatito hidroxidado
4. $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 3,00 (\text{pH} - 0,33 \text{ pAl}) + 2,50$ para fosfato aluminico cristalino
5. $\text{pH} + \text{pH}_2\text{PO}_4 = 3,00 (\text{pH} - 0,33 \text{ pAl}) + 0,50$ para fosfato aluminico amorfo

El uso de este diagrama de solubilidad de fosfatos ha sido comprobado con resultados satisfactorios en suelos tropicales (11, 14). En los suelos en estudio, se logró la transición entre $\text{pH} - 0,5 \text{ pCa}$ y $\text{pH} - 0,33 \text{ pAl}$, a base de la correlación calculada para el caso, que obedece a la fórmula:

$$Y_{\text{pH}0,33\text{pAl}} = 0,184 + 0,918 X_{\text{pH}0,5\text{pCa}}, \quad r = 0,941^{++}, \quad n = 14$$

En la Figura 2 se observa que la solubilidad de los suelos antes del encalado está subordinada a la solubilidad de los fosfatos de aluminio, ya sean amorfos o cristalinos. A medida que aumentaron las dosis de encalado se fue produciendo un aumento de la solubilidad de los fosfatos del suelo, estando las dosis máximas de aplicación de Ca + Mg subordinadas a la solubilidad de fosfatos del tipo del apatito hidroxidado. También se observa que el suelo Cervantes es más propenso a este cambio.

E. Efecto sobre la producción de materia seca y absorción de P, Ca y Al por las plantas

Como se puede observar e interpretar de los datos del experimento en macetas (Cuadro 3, Figura 3), las primeras dosis de encalado bajo una dosis constante de fertilización fosfatada llevaron a un aumento muy marcado en la producción de materia seca y absorción de P, Ca y Al por las plantas de tomate. En el caso del suelo Cervantes, se

C.2.5

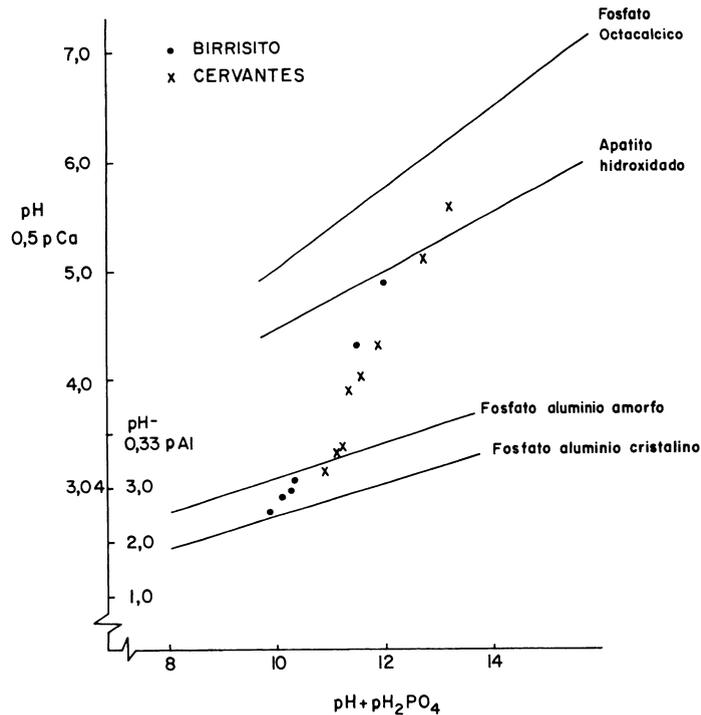


FIGURA 2. Efecto del encalado sobre la solubilidad de los fosfatos de los suelos Birrisito y Cervantes.

observa que la producción y los otros factores considerados decrecen rápidamente con la aplicación de 16 meq Ca+Mg /100 g de suelo, o sea cuando se sobrepasa el valor de pH de 5,8; a partir de esas condiciones se produce un efecto detrimento de sobreencalado. En el suelo Birrisito no se produjo el efecto del sobreencalado en la producción de la materia seca, pero sí se le observa en la absorción de P, siendo el pH de absorción máxima igualmente 5,8. Estos resultados coinciden, con muy pequeñas variaciones originadas en los diferentes suelos y plantas cultivadas, con los resultados de Fox 'et al' (15, 16). La absorción de Ca y Al sigue las mismas tendencias que la producción de materia seca y la absorción de P, aumentando hasta un determinado valor de pH y disminuyendo después. El comportamiento en la absorción de Al difiere a los resultados de Fox 'et al' (15, 16), lo que se podría quizás explicar por una absorción preferencial de Al por las plantas experimentales de tomate.

El sobreencalado se podría explicar por un desbalance producido entre elementos nutritivos mayores o quizás también por una deficiencia de un micronutriente en el suelo, resultando un factor limitante para la producción.

Los resultados indican que el encalamiento adecuado de los suelos lleva a un aumento de la productividad de los mismos; por ello es recomendable profundizar y aumentar los estudios de este tipo en suelos ácidos derivados de cenizas volcánicas.

F. Interpretación de las relaciones suelo—planta en los experimentos conducidos en macetas

Para interpretar los aumentos de la producción de materia seca y la absorción de P, Ca y Al por las plantas de tomate, se usarán a continuación los parámetros de intensidad (actividad iónica) y capacidad (formas en la fase sólida o coloidal) del suelo. Las actividades iónicas de los elementos nutritivos en estudio, determinados en el momento determinado de la siembra del experimento, están presentados en el Cuadro 3. En la Figura 4 se observa que existe una correlación significativa al representar gráficamente la relación de las actividades iónicas

$$\frac{a \text{ H}_2\text{PO}_4}{\sqrt[3]{a \text{ Al}}}$$

o su expresión logarítmica $\text{pH}_2\text{PO}_4 - 0,33 \text{ pAl}$ con la proporción de absorción de ambos elementos por las plantas. Igualmente se encuentra una asociación directa con la relación $\text{pH}_2\text{PO}_4 - 0,5 \text{ pCa}$ y la proporción P/Ca en la planta.

C.2.6

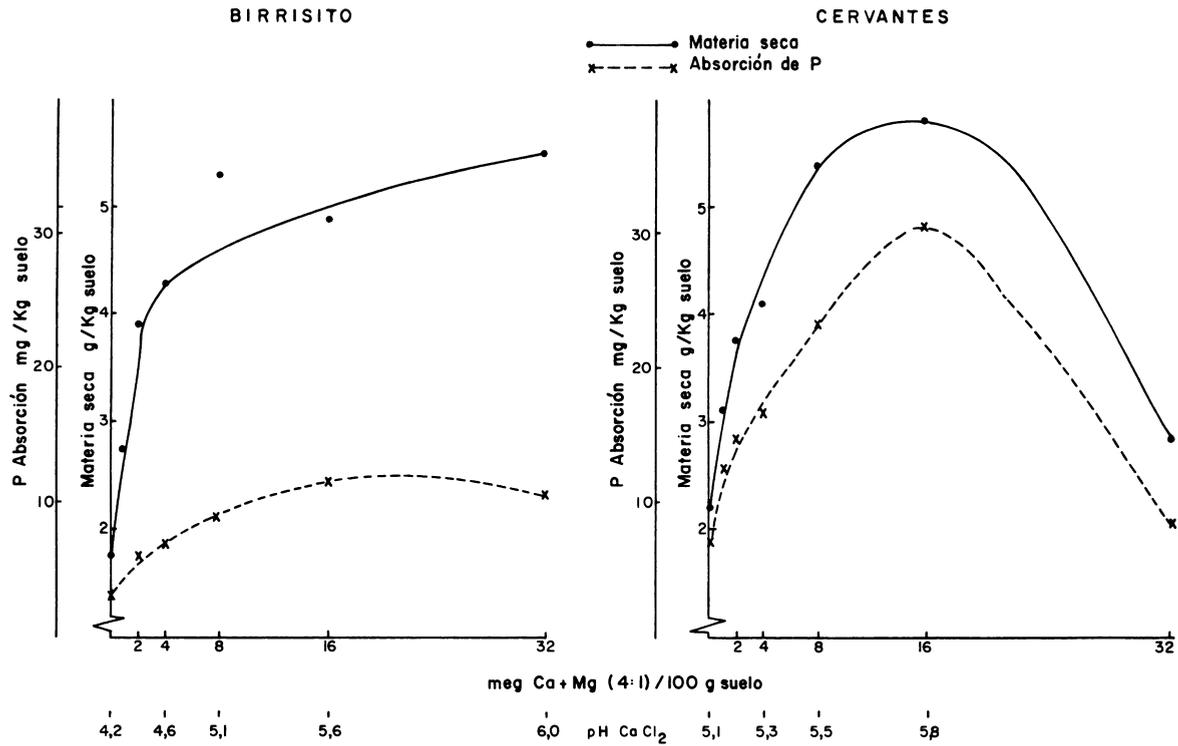


FIGURA 3. Efecto del encalado sobre la producción de materia seca y la absorción de P en dos suelos derivados de cenizas volcánicas de Costa Rica

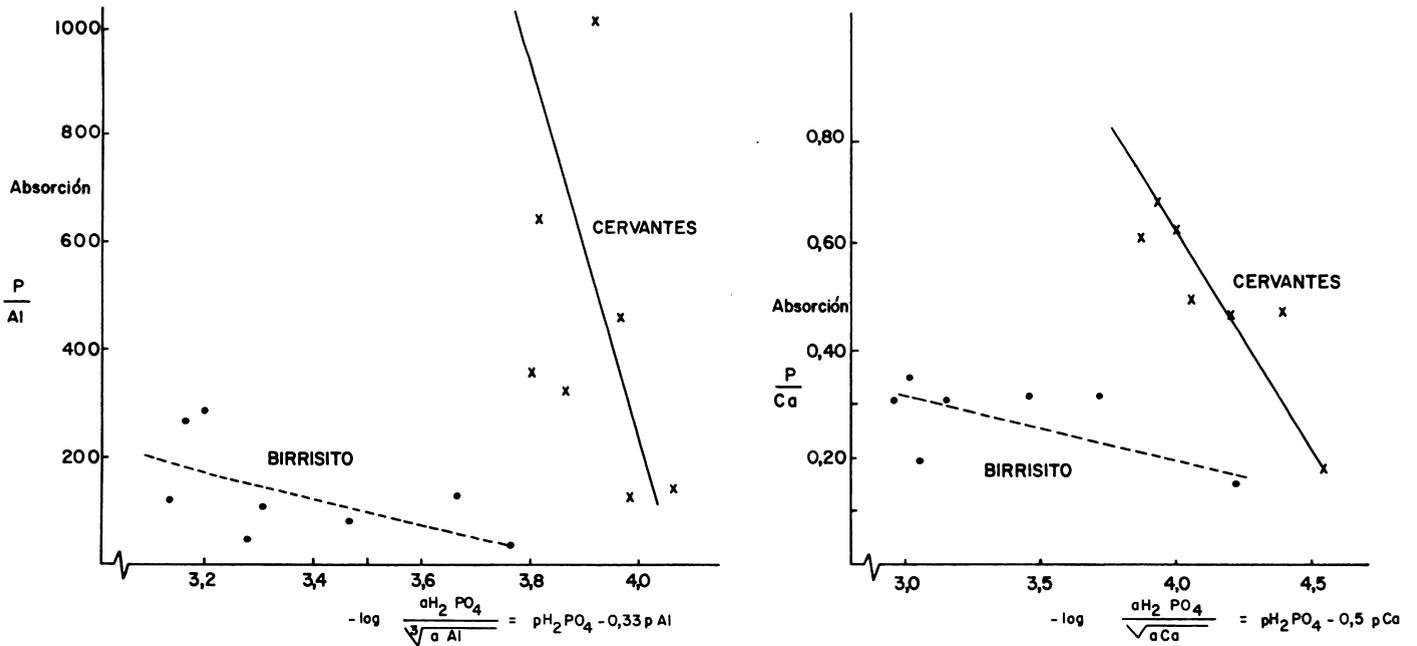


FIGURA 4. Asociaciones entre $pH_2PO_4 - 0,33 pAl$ y $pH_2PO_4 - 0,5 pCa$ y las relaciones de absorción de nutrientes P/Al y P/Ca por las plantas;

C.2.7

Por otro lado, al evaluar la asociación entre la capacidad de reposición de P y Ca o de P y Al en la solución del suelo a partir de las cantidades de elementos nutritivos presentes en la fase sólida o coloidal del suelo expresada como

$$\frac{\text{Fosfato de aluminio (ppmP)}}{\text{Aluminio extraíble (meq)}} \quad \circ \quad \frac{\text{Fosfato de calcio (ppmP)}}{\text{Ca cambiante (meq)}}$$

y la relación de P entre Ca y P entre Al, no se encontró significancia estadística.

No se encontró tampoco un grado de asociación adecuado al evaluar las relaciones de absorción PCa y PAI de las plantas con los potenciales químicos de los elementos nutritivos determinados después de la cosecha del experimento.

De ello se puede concluir que los parámetros físico-químico $\text{pH}_2\text{PO}_4 - 0,33 \text{ pAl}$ y $\text{pH}_2\text{PO}_4 - 0,5 \text{ pCa}$ permiten describir en forma adecuada la disponibilidad de estos elementos en el suelo y su absorción por las plantas. Esto indica igualmente que la absorción de los iones por las plantas no es independiente, sino que se ajusta a una serie de antagonismos y sinergismos. Debe indicarse igualmente que en las condiciones experimentales, o sea bajo una aplicación de carbonatos y una fertilización con N, P y K produjeron condiciones ideales para la formación de taracnitas, tal como lo indicó Wada (33), que posiblemente regularon después la disponibilidad de estos elementos para las plantas.

ESTUDIO DEL EFECTO DE ENMIENDAS SILICATADAS

Materiales y Métodos

Se condujo un experimento en macetas con cuatro repeticiones por tratamiento, aplicándose dosis crecientes (0, 44, 88, 175 y 350 ppmP) de cinco fertilizantes: superfosfato triple (48,2% P_2O_5 , 21,6% CaO), escorias Thomas (16,1% P_2O_5 , 48,6% CaO y 6,5% SiO_2), fosfato térmico Renania (28,8% P_2O_5 , 39,8% CaO y 9,3% SiO_2), Rekapfos granulado (0,5 – 2,5 mm) y superfosfato triple granulado. Estos fertilizantes han sido caracterizados por Fassbender (7), y se colocaron a 5 cm de profundidad en las macetas conteniendo 2,0 kg de suelo Juan Viñas. Este suelo pertenece a la serie de suelos Birrisito, descrita anteriormente. Se utilizó tomate (*Lycopersicon esculentum* var. J. Morán) como planta indicadora, teniéndose 10 plantas por maceta. Para obtener un buen desarrollo de las plantas se hizo una fertilización básica con N, S, K, Ca, Mg y elementos menores; como en los experimentos anteriores, las plantas se cosecharon a los 55 días de sembradas y se determinó la producción de materia seca y la absorción de P por maceta.

Después de la cosecha se tomaron muestras de suelos de las macetas para determinar el pH en una solución de CaCl_2 en una proporción suelo/solución de 1 a 2,5.

Resultados y Discusiones

Los resultados se encuentran presentados en el Cuadro 4. La respuesta a la fertilización de P fue favorable: las dosis crecientes de P llevaron a aumentos crecientes de producción de materia seca y de absorción por las plantas; sin embargo, a pesar de una dosis de 350 ppmP, no se llegó a la cosecha máxima posible, pues siempre se observa un aumento lineal de la producción. Esto refleja la gran capacidad de fijación de fosfatos que presenta el suelo experimental, reteniendo la mayor parte del fertilizante aplicado el cual no pudo ser utilizado por las plantas. En el mismo cuadro se observa que los silicofosfatos lograron mejores cosechas que el superfosfato triple cuando todos estos materiales fueron aplicados finamente molidos. Las escorias Thomas son ligeramente superiores en su efecto que el fosfato de Renania.

Se observa al mismo tiempo una gran diferencia al aplicarse los fertilizantes en forma de polvo o granulado; esta última forma condujo a cosechas hasta 6 veces mayores que al aplicarse en polvo. Al obtenerse una disolución lenta del fertilizante a través de su granulación, se disminuye la velocidad de la fijación de fosfatos y así la planta absorbe paulatinamente el P que necesita. La importancia del tamaño del gránulo, que condiciona la velocidad de disolución, también se observa en los resultados: a mayor tamaño de partículas, como en superfosfato triple granulado, se obtuvieron mejores resultados.

En los resultados presentados en el Cuadro 4 se observa que la aplicación de superfosfato triple no produjo ningún cambio en las condiciones de pH durante el período del experimento (diez semanas). Las aplicaciones de escorias Thomas y de fosfato de Renania produjeron aumentos progresivos del pH conforme a las dosis crecientes aplicadas.

C.2.8

Las variaciones máximas, sin embargo, fueron de solamente 0,6 unidades de pH. Esto refleja la gran capacidad tampón del suelo experimental.

Los resultados aquí obtenidos sobre el efecto de enmiendas silicatadas en forma de fertilizantes silicofosfatados, confirman los obtenidos en suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawaii (18, 23, 28). La aplicación de estos fertilizantes—enmienda tiene un efecto múltiple a través de las variaciones del pH del suelo, la subsiguiente disminución del aluminio cambiante y el aumento de la disponibilidad de fósforo a través de las interacciones entre los iones silicato y fosfato, resultando de todo ello un aumento de la producción.

EFECTO DEL ENCALADO SOBRE LA PRODUCCION DE CAÑA DE AZUCAR

Materiales y Métodos

Se condujo un experimento en un campo de la hacienda Juan Viñas, localizado en la serie de suelos derivados de cenizas volcánicas denominada Birrisito. Se adoptó un diseño experimental de cuadrado latino, considerándose cinco tratamientos (0, 1, 4, 2, 8, 5, 6 y 12, 2 Tn CaO/ha), utilizándose como material de enmienda el calcáreo del yacimiento de las Animas, cercano a Turrialba (80,6% CaCO₃), localizado al fondo del surco antes de la siembra de la caña de azúcar. Se plantó la variedad HW-44-3098 y se aplicó la fertilización básica utilizada en el área de 126 kg N, 230 kg P₂O₅ y 170 kg K₂O/ha. La cosecha se realizó a los veinte meses de sembrada, se determinó la producción de caña de azúcar y después de un análisis de su pureza y sacarosa, se calculó el rendimiento en azúcar.

Resultados y Discusión

Los resultados de la producción de caña y de azúcar en función de la aplicación de encalado están presentados en el Cuadro 5. Se observa un aumento estadísticamente significativo, tanto de la producción de caña como de azúcar, hasta la tercera dosis de aplicación correspondiente a 2,8 Tn CaO/ha. Después de ese nivel y en las condiciones de fertilización anotadas, se produce también un efecto de sobreencalado. Resultados similares han sido obtenidos también en otros suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawaii, utilizados en caña de azúcar (1).

Dado el bajo costo del material de enmienda y su transporte al campo (US\$5 por tonelada en el campo) y el valor del producto final (US\$100 por tonelada de azúcar), la aplicación de la dosis óptima del encalado es económicamente muy favorable. Actualmente y en cosechas sucesivas, se obtendrán nuevos datos para corroborar los aquí presentados.

RESUMEN

Se informa sobre diferentes trabajos realizados para evaluar la influencia de enmiendas calcáreas y silicatadas en suelos derivados de cenizas volcánicas. Los trabajos sobre enmiendas calcáreas estuvieron orientados al estudio de: a) efecto sobre el pH, bases cambiables y aluminio extraíble; b) efecto sobre formas, solubilidad y fijación P y c) efecto sobre la producción de materia seca y absorción de P, Al y Ca por plantas indicadoras. Se aplicaron a dos suelos dosis ascendentes de cal correspondiendo a 0, 1, 2, 4, 8, 16 y 32 meq Ca + Mg (4:1)/100 g de suelo. Se incubaron las muestras de suelos por 5 meses. El pH aumentó 1, 8 y 2,1 unidades con las aplicaciones máximas de cal, indicando un poder tampón elevado en los suelos. El aluminio extraíble descendió en forma exponencial y a dosis crecientes de encalado.

No se encontró una influencia marcada sobre las diferentes formas inorgánicas y orgánicas de fosfatos. La capacidad de fijación de fósforo disminuye hasta un pH 5,8 y aumenta posteriormente. La solubilidad de los fosfatos, evaluada con parámetros físico químicos, sufre un aumento en función del encalado.

La producción de materia seca y absorción de P aumentan considerablemente con las dosis crecientes de encalado. A partir de la dosis de 16 meq Ca + Mg/100 g, equivalente a un pH de 5,8, se produce un efecto de sobre encalado. Las relaciones de absorción P/Ca y P/Al son interpretadas adecuadamente con los parámetros de intensidad pH₂PO₄ - 0,5 pCa y pH₂PO₄ - 0,33 pAl.

Los trabajos sobre enmiendas silicatadas estuvieron orientados a la evaluación de fertilizantes sílico fosfatados aplicados en dosis ascendentes (0, 44, 88, 175 y 350 ppmP). Se encontró un efecto favorable de la fertilización fosfatada y las enmiendas produjeron un aumento favorable del pH del suelo.

Las escorias Thomas y el fosfato de Renania lograron mejores cosechas que el superfosfato triple. Se encontró un efecto favorable en la granulación de los fertilizantes.

En un experimento de campo en el cual se aplicaron dosis crecientes de encalado (0, 1, 4, 2, 8, 5, 6 y 12,2 Tn de CaO/ha) a un cultivo de caña de azúcar, se encontró un aumento económicamente significativo de producción de azúcar. Dosis de encalado mayores que 2,8 Tn CaO/ha produjeron un efecto de sobreencalado.

BIBLIOGRAFIA

1. AYRES, A. S. 1961. Limming Hawaiian Sugar cane soils. Hawaii Plant. Rec. 56, 227–244.
2. BIRRELL, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. FAO, World Soil Resources Report N. 14, 74–81.
3. BORNEMISZA, E., F. A. LAROCHE y H. W. FASSBENDER. 1968. Effects of limming on some chemical characteristics of a Costa Rican latosol. Soil and Crop Sci. Soc. Florida 27, 219–226.
4. CHANG, S. C. y M. L. JACKSON. 1957. Fractionation of soil phosphorus. Soil Science, 84:133–144.
5. DE DATTA, S. K., R. L. FOX y G. D. SHERMAN. 1963. Availability of fertilizer phosphorus in three latosols of Hawaii. Agron. Jour. 55:311–313.
6. DONDOLI, C. B. y J. A. TORRES. 1954. Estudio geagrónomico de la región oriental de la Meseta Central. San José, Costa Rica, Ministerio de Agricultura e Industrias. 175 p.
7. FASSBENDER, H. W. 1966. Löslichkeit und Lösungsgeschwindigkeit von Thomas und Rhenaniaphosphat. Zeitschrift für Pflanzenernährung, dungun und Bodenkunde 112(3):220–228.
8. FASSBENDER, H. W. 1966. Formas de los fosfatos en algunos suelos de la zona oriental de la Meseta Central y de las llanuras atlánticas de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana 3(1–2):187–202.
9. FASSBENDER, H. O. 1968. Phosphate retention and the different chemical forms under laboratory conditions for 14 Costa Rican soils. Agrochimica (Italia) 12(6):512–521.
10. FASSBENDER, H. W. 1969. Deficiencia y fijación de fósforo en suelos derivados de cenizas volcánicas en Centroamérica. Memoria del "Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas", Turrialba, Costa Rica.
11. FASSBENDER, H. W. 1969. Conceptos físicoquímicos en la interpretación del sistema suelo–planta. X Congreso Latinoamericano de Química, San José, Costa Rica (en prensa).
12. FASSBENDER, H. W. 1969. Efecto del encalado en la mejor utilización de fertilizantes fosfatados en un andosol de Costa Rica. Fitotecnia Latinoamericana, Vol. 6 No. 1.
13. FASSBENDER, H. W. y L. MULLER. 1967. Uso de enmiendas silicatadas en suelos altamente fijadores de fosfatos. I. Efecto de aplicaciones de metasilicatos de sodio. Turrialba 17(3):371–375.
14. FASSBENDER, H. W., J. A. ROLDAN y L. MULLER. Physikalisch–chemische Interpretation der Phosphatformen und ihre Beziehung zur Pflanze in Boden Zentralamerikas. Geoderma (en prensa).
15. FOX, R. L., S. K. DEDATTA y J. K. WANG. 1962. Phosphorus Solubility and Availability to Plants and the Aluminium Status of Hawaiian Soils as influence by limming. International Society of Soil Science. Transaction of Joint Meeting. Commissions IV and V. New Zealand. pp 574–583.
16. FOX, R. L., S. K. DEDATTA y J. K. WANG. 1964. Phosphorus and Aluminium Uptake by Plants from latosols in relation to limming. Proceedings, International Soil Science Congress, Bucharest. (En prensa).
17. FOX, R. L., J. A. SILVA, O. R. YOUNGE, D. L. PLUCKNETT y G. L. SHERMAN. 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugarcane. Proceedings, Soil Science Society of America 31(6):775–779.
18. HSU, P. H. y M. L. JACKSON. 1960. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering in soils as influence by pH. Soil Science 90:16–24.
19. LETELIER, E. y A. C. S. WRIGHT. 1962. Some relationships between soils processes and fertilizer response in Chile. Trans. Joint Meeting. Con. IV y V, International Soil Science Society. New Zealand. 125–131.

C.2.10

20. MATSUSAKA, Y. y G. D. SHERMAN. 1950. Titration Curves and buffering capacities of Hawaiian soils. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin No. 11, 36 p.
21. MEHLICH, A. 1939. Use of triethanolamine acetate barium hydroxide buffer for the determination of some base exchange properties and lime requirements of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 3:165–166.
22. MOLINA, R. 1969. Efecto del encalado sobre las formas y absorción de P en seis suelos de Costa Rica. IICA. Tesis de grado (En preparación).
23. MONTEITH, N. H. y G. DONAL SHERMAN. 1963. The comparative effects of calcium carbonate and of calcium silicate on the yield of Sudan Grass grown in a ferruginous latosol and a hydrol humic latosol. Hawaii Agricultural Experiment Station. Technical Bulletin No. 53, 40 p.
24. MONTEITH, N. H. y G. D. SHERMAN. 1962. A comparison of the use of liming materials on a hydro humic latosol and on a humic ferruginous latosol in Hawaii. *International Society of Soil Science Transaction of Joint Meeting Commissions IV and V. New Zealand.*
25. PRATT P. F. y F. L. BAIR. 1962. Cation exchange properties of some acid soils of California. *Hilgardia* 33:689–706.
26. RIXON, A. J. 1963. Effects of Heavy applications of lime to soils derived from volcanic ash on the humid hilo and hamakua coasts. Island of Hawaii Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin No. 47, 52 p.
27. RIXON, A. J. y G. D. SHERMAN. 1962. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils in the humid tropics. *Soil Science* 94:19–27.
28. SUEHISA, R. H., O. R. YOUNGE y G. D. SHERMAN. 1963. Effect of silicates on phosphorus availability to Sudan Grass grown on Hawaiian soils. *Agr. Exp. Sta. of Hawaii. Tech. Bull. No. 51.* 40 p.
29. SWINDALE, L. D. 1964. The properties of soils derived from volcanic ash. *FAO—World Soils Resources Report. N. 14:*82–86.
30. ULRICH, B. 1961. *Boden und Pflanzen. Ihre Wechselbeziehungen in Physikalischchemischer Betrachtung.* Ferdinand Enke Verlag, 114 p.
31. ULRICH, B. K., HEMPLER y J. H. BENZLER. 1960. Zur Analitischen Bestimmung von Gesamtposphorsäure und Laktatiösllicher Phosphorsäure in Bodenproben. *Die Phosphorsäure,* 20:344–347.
32. ULRICH, B. y P. K. KHANNA. 1968. Schofield'sche Potentiale und Phosphatformen in Böden. *Geoderma* 2(1):65–78.
33. WADA, K. 1959. Reaction of Phosphate with allophane and hallosinite. *Soil Sci.* 87:352–360.

C.2.11

CUADRO 1. Efecto de enmiendas calcáreas sobre el pH, bases cambiables y aluminio extraíble de dos suelos derivados de cenizas volcánicas.

Serie de suelo	Dosis enmienda meq Ca + Mg/100 g	pH _{CaCl₂}	CIC	K	Ca	Mg	Al
			meq/100 g de suelo				
Borrisito	0	4,2	52,4	0,09	1,9	0,5	6,6
	1	4,4	50,9	0,09	2,1	0,7	6,2
	2	4,5	50,6	0,09	2,7	1,0	5,0
	4	4,6	52,8	0,09	3,3	1,3	4,5
	8	5,1	53,0	0,08	5,7	2,2	4,2
	16	5,6	53,4	0,09	8,1	4,6	4,1
	32	6,0	57,4	0,09	11,6	9,2	2,5
Cervantes	0	5,1	82,3	0,70	7,0	1,4	2,8
	1	5,1	81,2	0,72	7,4	1,6	2,4
	2	5,2	83,4	0,67	7,3	1,8	1,9
	4	5,3	85,1	0,67	8,1	2,4	1,6
	8	5,5	86,1	0,70	11,0	3,8	1,6
	16	5,8	87,5	0,75	14,0	6,1	1,5
	32	6,3	88,2	0,75	19,2	11,2	1,3

CUADRO 2. Efecto del encalado sobre las formas (ppmP) y retención de fosfatos en los suelos Borrisito y Cervantes.

Serie de suelo	Dosis encalado meq Ca + Mg/100 g	Fosfatos inorgánicos					% P org. en P total	% Retención P
		NH ₄ Cl-sol	Al-P	Fe-P	Ca-P	Total		
Borrisito	0	0,3	67	47	11	475	70	51,2
	1	1,0	43	62	10	380	75	66,3
	2	1,5	56	70	13	532	73	40,8
	4	1,0	63	61	13	470	71	53,2
	8	0,6	52	64	10	398	75	73,2
	16	1,4	50	74	10	477	71	69,6
	32	0,7	69	95	11	542	65	41,3
Cervantes	0	0,3	62	64	246	686	69	75,8
	1	0,3	69	70	233	658	70	59,7
	2	0,4	72	77	218	687	68	74,7
	4	0,3	69	90	225	653	72	44,8
	8	0,3	70	76	222	654	70	41,6
	16	0,3	70	92	186	607	73	79,2
	32	0,4	59	115	183	680	70	80,6

CUADRO 3. Efecto del encalado y fertilización sobre la actividad iónica de los elementos nutritivos, la producción de materia seca y la absorción de P, Ca y Al en los suelos Borrisito y Cervantes.

Serie de suelo	Dosis encalado meq Ca + Mg/100 g	Actividades iónicas a la siembra				Producción mat. seca g/kg suelo	Absorción mg/kg suelo		
		pH	pH ₂ PO ₄	pCa	pAl		P	Ca	Al(ug)
Borrisito	0	4,8	4,96	3,62	5,00	1,8	2,6	8,4	11
	1	4,9	4,85	3,68	5,00	2,8	4,8	14,0	17
	2	5,1	4,82	3,72	5,00	3,9	6,1	19,6	22
	4	5,2	4,82	3,55	5,10	4,3	7,0	35,0	57
	8	5,2	5,42	3,41	5,29	5,3	10,9	34,3	83
	16	5,6	5,17	3,42	5,16	4,9	11,7	35,6	137
	32	6,0	5,10	3,14	5,52	5,5	10,2	76,2	211
Cervantes	0	5,1	5,66	3,20	5,11	2,2	6,7	13,5	14
	1	5,2	5,57	3,16	5,00	3,1	12,3	19,4	12
	2	5,3	5,47	3,20	5,00	3,6	14,6	24,0	23
	4	5,4	5,51	3,16	5,15	4,1	16,6	35,2	51
	8	5,5	5,62	2,85	5,30	5,8	23,4	34,7	66
	16	5,8	5,77	2,77	5,4	6,7	30,6	62,6	237
	32	6,5	5,89	2,70	5,52	2,7	8,3	42,9	58

C.2.12

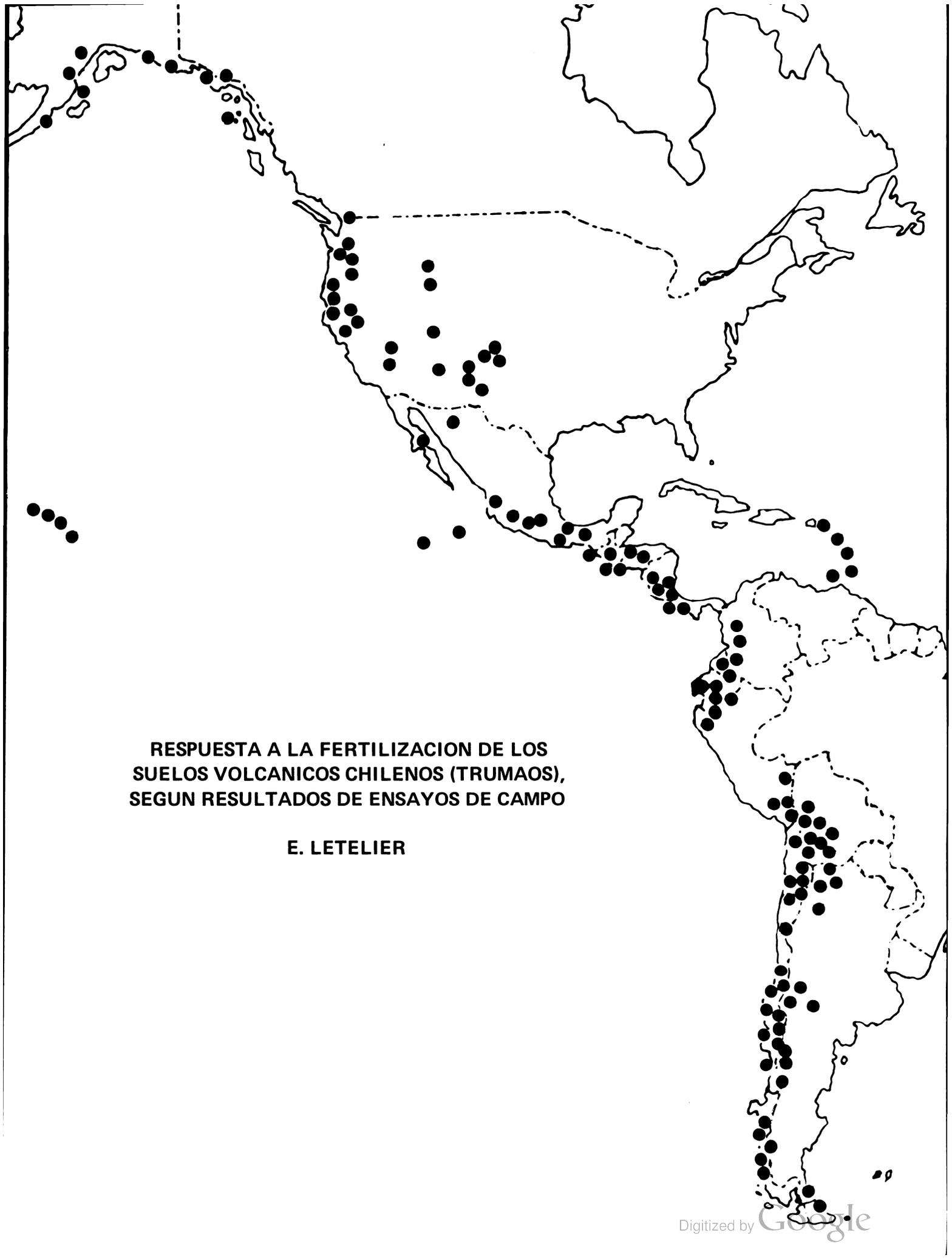
CUADRO 4. Efecto de fertilizantes sílicofosfatados sobre la producción de plantas de tomate y pH del suelo Juan Viñas.

Fertilizantes	Dosis ppmP	Datos de la cosecha		pH _{CaCl₂} final
		g MS/mac	mg P/mac	
No P	0	0,2	0,4	4,1
Supertriple polvo	44	0,3	0,6	4,4
	88	0,5	1,2	4,5
	175	1,0	2,0	4,1
	350	4,9	9,3	4,1
Escorias Thomas	44	0,3	0,7	4,1
	88	0,7	1,5	4,2
	175	1,9	3,6	4,3
	350	5,8	11,0	4,6
Fosfato Renania	44	0,3	0,7	4,1
	88	1,1	2,5	4,1
	175	1,6	3,0	4,2
	350	4,9	8,8	4,4
Rekaphos granulado	44	1,7	3,7	4,1
	88	4,1	10,3	4,2
	175	8,8	20,2	4,3
	350	11,8	33,0	4,5
Supertriple granulado	44	4,0	10,0	4,1
	88	7,1	17,7	4,1
	175	12,1	28,1	4,2
	350	19,1	53,5	4,3

Valor relativo de los fertilizantes:		
Supertriple polvo	<u>100</u>	<u>100</u>
Escorias Thomas	129,0	127,4
Fosfato Renania	117,3	114,0
Rekaphos granulado	385,0	500,7
Supertriple granulado	662,1	831,0

CUADRO 5. Efecto del encalado sobre la producción de caña de azúcar en el suelo Birrisito (Hacienda Juan Viñas)

Tratamiento		Rendimiento Tn/ha	
Tn. Carbonato Las Animas/ha	Tn CaO/ha	Caña	Azúcar
0	0	199,2	22,3
3,8	1,4	224,7	24,2
7,6	2,8	243,1	27,1
15,2	5,6	235,4	25,2
30,4	11,2	231,7	25,6

A black and white map of Chile and its surrounding regions, including parts of Peru, Bolivia, and Argentina. The map is marked with numerous black dots representing sampling locations for volcanic soils. The dots are distributed along the coast and in the interior, with a high concentration in the southern part of the country. Dashed lines indicate national boundaries. The title and author's name are printed in the lower-left quadrant of the map area.

**RESPUESTA A LA FERTILIZACION DE LOS
SUELOS VOLCANICOS CHILENOS (TRUMAOS),
SEGUN RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO**

E. LETELIER

RESPUESTA A LA FERTILIZACION DE LOS SUELOS VOLCANICOS CHILENOS (TRUMAOS), SEGUN RESULTADOS DE ENSAYOS DE CAMPO

Elías Letelier Almeyda*

INTRODUCCION

El objetivo de este trabajo es definir la conducta de los suelos de trumao frente a la fertilización y al encalado, tal como dicha conducta se puede apreciar por los resultados de los experimentos de campo. Con este fin se ha hecho una revisión de los ensayos realizados en los principales cultivos. Esta revisión ha sido necesariamente selectiva debido a las limitaciones de tiempo. Se ha tratado de relacionar grupos de ensayos que representen la norma de la conducta de estos suelos, como ella aparece según la experiencia del autor. En lo posible, se ha tratado de comparar la conducta de los trumaos con la de otros suelos chilenos.

El Cuadro 1 indica las principales características físicas y químicas de los suelos a que se refiere este estudio.

RESPUESTA DE LOS TRUMAOS A N, P, K Y AL ENCALADO: COMPARACION CON OTROS SUELOS CHILENOS

Trigo

El Cuadro 2 muestra los incrementos promedio producidos en trigo por N, P, K y el encalado, según un grupo de cien ensayos efectuados por el Departamento de Investigaciones Agrícolas. Como en estos ensayos los rendimientos medios fueron bajos (aunque bastante superiores a los promedios nacionales), los incrementos aparecen en general reducidos; este hecho se acentúa para el nitrógeno y el fósforo que se aplicaron en dosis bajas y se acentúa todavía más para el fósforo, pues este fertilizante se aplicó al voleo, en lugar de localizarlo, que es la forma más eficiente, sobre todo en los trumaos. Sin embargo, el ejemplo es válido como comparación entre diversos suelos y zonas.

El efecto del nitrógeno se muestra inferior en los suelos de trumao a los que no son trumaos dentro de cada zona. Este hecho podría explicarse por los siguientes factores:

1. Mucho mayor porcentaje de materia orgánica en los trumaos
2. Mayor retención de agua y, por lo tanto, menor lixiviación en los trumaos
3. Mayor grado de erosión en los suelos que no son trumaos.

El efecto del fósforo tiende a aumentar hacia el sur; esto es muy claro en los trumaos. Sin embargo, dentro de las zonas más australes, no hay diferencias fundamentales entre el grado de respuesta al fósforo entre suelos trumaos y no trumaos.

Sí la hay en la zona Linares—Concepción, en la que una gran proporción de suelos no trumaos son suelos rojos sobre toba, de drenaje restringido, cuya respuesta al fósforo es generalmente nula. Los suelos de la zona central responden menos al fósforo que los trumaos de cualquier zona.

La respuesta al sulfato de potasio es pequeña y tiende a aumentar hacia el sur, posiblemente debido a un efecto de lixiviación. Dentro de cada zona, la respuesta es mayor en los suelos no trumaos que en los trumaos. Observaciones y ensayos posteriores han demostrado que el efecto del sulfato de potasio debe atribuirse especialmente al azufre, aunque no debe destacarse cierta contribución del potasio, especialmente en la provincia de Llanquihue.

El efecto del encalado es muy bajo en los trumaos, pero alcanza cierta significación en la provincia de Llanquihue, debido posiblemente a las altas precipitaciones (más de 1500 mm). Como el trigo no es un cultivo especialmente calcípeto, debe esperarse en dicha zona un mayor efecto en otras especies tales como tréboles, remolacha, etc.

En el Cuadro 3 se indica la respuesta al nitrógeno en diversos suelos en dos grupos de ensayos con altos rendimientos; la dosis de nitrógeno no fue limitante. Se comprueba la mayor respuesta al nitrógeno en los suelos rojos que en los trumaos. En la misma forma, se aprecia la respuesta a P en el Cuadro 4 y vuelve a comprobarse la no diferencia en la respuesta del trigo al fósforo en los trumaos, con respecto a los suelos rojos.

En el Cuadro 5 se resumen los resultados de nueve ensayos factoriales P x Ca. Se vuelve a comprobar el efecto

* Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.

C.3.2

nulo del encalado sobre el rendimiento del trigo en la zona de Bío—Bío, así como el mayor efecto de esta enmienda en los suelos rojos y graníticos. Se aprecia que en estos suelos la interacción P x Ca es negativa, ya que el efecto desaparece cuando el fósforo es abundante.

Se señala corrientemente que en los trumaos existe un fenómeno de "fijación" del fósforo. ¿Cómo se manifestaría este fenómeno en la práctica de fertilización fosfatada en el campo? De dos maneras: a) la fertilización fosfatada en dosis pequeñas o moderadas no tiene efecto; b) la curva de incrementos producida por la fertilización fosfatada es más extendida, es decir, se necesita una mayor dosis de fósforo para alcanzar el rendimiento máximo.

La observación indica que la posibilidad 'a' no se cumple en los suelos volcánicos de Chile.

Para estudiar la posibilidad 'b', se trazaron las curvas de respuesta a P en varias series de ensayos y en diversos suelos. Puede observarse que, para curvas que parten del mismo origen (nivel de P) y alcanzan un rendimiento máximo similar, no se notan diferencias importantes entre los trumaos y los suelos rojos. Según el criterio de Mitscherlich, la unidad Baule para fósforo es de más o menos 45 kg de P_2O_5 por ha; ésta es la dosis necesaria para producir la mitad del incremento máximo. En el gráfico puede observarse que en los suelos rojos y trumaos la unidad Baule estaría en todos los casos alrededor de 65 kg de P_2O_5 por ha. En este sentido, habría un fenómeno de fijación en los suelos rojos y trumaos. Sin embargo, la unidad Baule es semejante en los suelos de la zona central a la de los rojos y trumaos. La diferencia para los suelos de la zona central consiste en que, sobre los 160 kg de P_2O_5 /ha, los incrementos disminuyen, pero esto sugiere más bien un fenómeno de toxicidad causado por un exceso de fósforo.

La curva de los suelos graníticos difiere de las anteriores en que con 50 kg de P_2O_5 /ha, se alcanza el 80 por ciento del incremento máximo; esto puede indicar una menor "fijación", pero puede también estar relacionado con la curva de producción más baja en estos suelos.

En la Figura 2 se presentan las curvas de respuesta al nitrógeno obtenido en una serie de 30 ensayos efectuados en Cautín y Malleco. Ambas curvas parecen bastante semejantes y en ningún caso alcanzan su máximo con la dosis más alta aplicada (120 kg de N/ha).

Remolacha

La remolacha presenta frecuentemente una conducta muy notable en los trumaos; en efecto, sucede en muchos casos que si no se la fertiliza con fosfato, el rendimiento es nulo (); las plantas quedan enanas y mueren prematuramente. Una dosis baja de fósforo (50 kg de P_2O_5 /ha) convenientemente localizada basta para superar esta limitación. Sin embargo, los rendimientos siguen aumentando hasta dosis muy elevadas (800 kg/ha).

El Cuadro 6 muestra los resultados de los primeros ensayos de fertilizantes efectuados por CORFO en este cultivo. Las dosis de N y P aplicadas en estos ensayos fueron muy bajas y por lo tanto los rendimientos reducidos; sin embargo, pueden servir para comparar trumaos y no trumaos. El efecto del fósforo es muy alto en los trumaos y sólo moderado en los otros suelos; en cambio, el efecto del nitrógeno es más notorio en los otros suelos que en los trumaos. No obstante ser la remolacha un cultivo considerado calcípeto y ávido de potasio, los efectos de Ca y K son bajos o nulos, especialmente en los trumaos.

La mayor necesidad de fertilización fosfatada en los trumaos en relación a los otros suelos de la zona sur se comprueba en el Cuadro 7, que es un resumen de 64 ensayos efectuados por IANSA (Industria Azucarera Nacional S.A.), Chile.

En la Figura 3 se puede apreciar la tendencia de las curvas de respuesta al fósforo en remolacha en suelos trumaos y no trumaos, de la zona comprendida entre Linares y Llanquihue (Experimentación de IANSA). A similitud de la riqueza fosfórica del suelo y rendimiento máximo, las curvas de los trumaos indican una mayor respuesta y mayor "fijación", si se entiende el hecho de que el rendimiento máximo se alcance con dosis más elevadas. En efecto, en los trumaos, este máximo no se alcanza con 600 kg de P_2O_5 /ha; en cambio, en los otros suelos, el máximo se alcanza con 300 kg de P_2O_5 /ha.

El efecto del nitrógeno es muy importante en la remolacha, tanto en los trumaos como en otros suelos, cuando los rendimientos suben de 50 ton/ha. En suelos con bajo nivel de nitrógeno nítrico y alta potencialidad, los incrementos producidos por la adición de nitrógeno alcanzan en promedio, a las 30 ton/ha. No se han observado diferencias importantes entre la respuesta a nitrógeno en trumaos y en otros suelos. En cambio, se nota que hacia el sur, la respuesta al nitrógeno sobre las raíces es pequeña, manteniéndose en cambio el efecto sobre el desarrollo vegetativo; parece que éste es más un efecto de clima que de suelo. No obstante lo anterior, en los suelos trumaos recientemente incorporados al cultivo de Chiloé y Llanquihue, se han observado deficiencias anormalmente altas de nitrógeno.

C.3.3

El encalado ha sido probado por IANSA en los trumaos en numerosos ensayos. Las respuestas han sido, en general, pequeñas, con excepción de algunos trumaos más ácidos de Llanquihue y Chiloé, en los que se obtiene una respuesta relacionada con el pH (Figura 4). Como se sabe, el pH en los trumaos es generalmente superior a 5,5. La experimentación de IANSA indica también que la respuesta al encalado es más frecuente en los suelos que no son trumaos, aunque el pH de esos suelos sea superior al de los trumaos.

La respuesta al potasio por parte de la remolacha en los trumaos es de carácter secundario; es más frecuente en la provincia de Llanquihue.

Más frecuentes que las respuestas al Potasio, aunque siempre de carácter secundario, son las respuestas al azufre.

También la carencia de boro se presenta a veces, especialmente en los trumaos en la provincia de Llanquihue.

Otras deficiencias que afectan a la remolacha en los trumaos no han sido comprobadas.

Tanto las respuestas al potasio, como al azufre y al boro, no son exclusivas de los trumaos, sino también de otros suelos de la región sur y centro—sur.

Raps o colza

Este cultivo es afectado por la deficiencia de fósforo en los trumaos, en forma parecida a la remolacha (Cuadro 8); frecuentemente, los rendimientos son nulos si no se aplica una dosis mínima de fósforo. También este cultivo es afectado por la deficiencia de azufre, posiblemente en mayor grado que la remolacha; sin embargo, la experimentación es muy pobre a este respecto. En trumaos muy ácidos (pH inferior a 5) de las provincias de Cautín, Osorno, Llanquihue y Chiloé, se han encontrado efectos importantes del encalado.

Papa

Los ensayos en papa han sido muy localizados debido a que este cultivo sólo es de importancia en determinadas regiones climáticas. Estos ensayos indican lo siguiente, con respecto a la conducta de la papa en relación a los fertilizantes en los suelos de trumao (Cuadro 9):

- a) El efecto del fósforo es importante, pero no presenta el cuadro crítico tan frecuente en la remolacha y el raps
- b) El efecto del potasio es relativamente más importante que en los demás cultivos
- c) El efecto del encalado es negativo
- d) No se manifiestan deficiencias de azufre.

Praderas

Siendo las praderas tan diversas y complejas, tanto en su composición como en su manejo, es difícil establecer conclusiones generales respecto a su respuesta a la fertilización en los suelos de trumao. La mayor parte de los ensayos efectuados se han hecho sobre praderas recientemente establecidas a las cuales, al sembrarlas, se les ha aplicado fósforo en forma localizada. Esto explica tal vez que en estos ensayos los efectos del fósforo sean frecuentemente inferiores a los presentados por otros cultivos (Cuadro 10); es posible también que las especies componentes de la pradera, especialmente las leguminosas, tengan una capacidad de extracción de fósforo mayor que la de los cultivos. Por otra parte, cuando se trata de praderas naturales o naturalizadas, sometidas a un manejo adecuado, los efectos son superiores; otro tanto sucede en praderas artificiales establecidas en suelos de agricultura poco desarrollada, en los que no se han hecho anteriormente un uso adecuado de fertilizantes fosfatados. Las respuestas al nitrógeno son generalmente del mismo orden que las del fósforo, aunque haya leguminosas en abundancia.

En establecimiento de praderas se han señalado efectos importantes del potasio en suelos "ñadi" (trumaos de drenaje restringido por hardpan férrico). En otras series de ensayos efectuados en la provincia de Llanquihue, por la Oficina de Estudios Especiales, se ha observado efecto del potasio en la composición de la pradera pero no en el rendimiento; posiblemente se trata de suelos en los que la deficiencia de potasio es incipiente y donde las especies resistentes a estas deficiencias no son afectadas en su desarrollo.

La cal ha tenido efectos desde nulos hasta moderadamente importantes, en praderas mixtas. Parece que la mayor parte de los tréboles naturalizados en la zona de trumaos son bastante resistentes a la acidez moderada e incluso

C.3.4

pueden ser francamente acidófilos, como el trébol subterráneo. En cambio la alfalfa debe establecerse con un adecuado encalado (Cuadro 11).

Algunas observaciones indican que la deficiencia de azufre tiene cierta importancia sobre el desarrollo de las praderas en algunos trumaos.

EFFECTO RESIDUAL DEL FOSFORO APLICADO COMO FERTILIZANTE

Uno de los principales síntomas del fenómeno de la "fijación" del fósforo en los trumaos consiste en que, a través de los años, los agricultores deben aplicar siempre a sus cultivos cantidades elevadas de fósforo sin que parezcan disminuir las necesidades de este elemento. Este aserto es, sin duda, cierto, en general y no menos cierto en casos específicos de algunos agricultores progresistas que usan abonos con asiduidad y abundancia a través de toda su rotación cultural; es posible observar, además, que la necesidad de fósforo no es tan crítica como en el resto de los trumaos.

Cuando se aplica fosfato localizado al trigo asociado a trébol rosado, se observa, por lo menos en el primer año de pradera, un efecto residual bastante notorio del fertilizante aplicado (Cuadro 12). Cuando se aplica fósforo a la remolacha y al año siguiente se pone trigo, el abono aplicado a la remolacha, aún en cantidades altas, no se nota en el rendimiento del trigo; esto sucede tanto en trumaos como en otros suelos del sur de Chile, indicando una "fijación" del fósforo por parte de estos suelos. Debe recordarse que después del cultivo de remolacha, el suelo se "laborea" y es probable que la fijación sea causada por la pérdida del efecto de localización originado por dichas labores. Si el trigo es asociado a trébol, en el primer año de trébol se nota, como se ha expresado anteriormente, el efecto residual del fosfato aplicado al trigo en forma localizada, pero frecuentemente reaparece también en los rendimientos del trébol un notable efecto residual del fósforo aplicado a la remolacha dos años antes. En los pocos ensayos efectuados, se ha notado este efecto en forma más consistente en los suelos que son trumaos, que en los que no lo son (Figura 5).

LOCALIZACION DEL ABONO FOSFATADO

Una de las características que distinguen a los trumaos de los demás suelos chilenos, es el gran efecto de localización que se presenta en la remolacha (Figura 6)*. Es tan importante el efecto de la localización en este cultivo, que la adopción de esta práctica reduce a cerca de la mitad la necesidad de abonos fosfatados en este cultivo, dejando las curvas de respuesta de los trumaos muy parecidas a las de los demás suelos.

Los ensayos de localización han sido muy escasos en otros cultivos. De unas cinco observaciones efectuadas en trigo, en la provincia de Osorno, sólo en una de ellas se observó un efecto importante a la localización; se trataba de un suelo recién incorporado al cultivo, que también tuvo una respuesta anormalmente alta al nitrógeno.

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los suelos volcánicos chilenos, llamados "trumaos", son suelos profundos, permeables, de fácil laboreo y con una gran capacidad de retención de agua. Están situados en regiones de clima templado y, en general, con suficiente pluviometría. Son, por lo tanto, suelos de gran potencialidad lo que, por otra parte, ha sido ampliamente demostrado por los altos rendimientos que obtienen los buenos agricultores en ellos.

Desde el punto de vista nutricional, los problemas de los trumaos deben considerarse moderados, más si se toma en cuenta que su alta productividad garantiza una utilización económica de los fertilizantes. En nitrógeno, las necesidades de estos suelos no son superiores a los de los suelos comunes, a pesar de que podría esperarse menor necesidad en los trumaos, tomando en consideración su alto tenor orgánico. La necesidad de potasio es relativamente escasa y se limita a algunas subregiones y localidades. Las deficiencias de azufre y boro, aunque indudables, no constituyen un problema serio.

Es probable, como ha sido sugerido a veces, que la gran capacidad de retención de agua de los trumaos defienda a éstos de la lixiviación del nitrógeno y de otros elementos móviles, no obstante la gran pluviometría predominante en casi todo el sur de Chile.

A pesar de su acidez moderada y su bajo porcentaje de saturación de bases, el encalado no es necesario en la

* Para la interpretación de esta figura debe tomarse en cuenta que en la provincia de Linares, casi no hay trumaos propiamente dichos. Estos son abundantes en Llanquihue y existe una proporción intermedia en Bío-Bío.

C.3.5

mayor parte de los trumaos, aún para especies consideradas calcípetas, como la remolacha azucarera. La mayor parte de las leguminosas forrajeras adaptables a la región, crece perfectamente sin necesidad de encalado.

Los trumaos son suelos muy necesitados de fertilización fosfatada, es decir, la mayoría de ellos la requiere en dosis de regulares a altas. Se ha dicho que tienen un gran problema de "fijación" del fósforo. Si por fijación se entiende una baja proporción de fósforo aprovechable, en relación a la reserva contenida en forma mineral y orgánica, esta aseveración sería probablemente efectiva para los trumaos; así como también habría que reconocer una fijación del nitrógeno en dichos suelos. Sin embargo, no es esa la acepción que se da corrientemente a la palabra "fijación", sino más bien la de que el fertilizante que aplica no se aprovecha o se necesitan dosis muy grandes para alcanzar el rendimiento máximo. En este sentido, los trumaos no serían tampoco suelos anormalmente fijadores, pues su curva de respuesta al fósforo se asemeja bastante a la de otros suelos chilenos, a iguales niveles de fósforo aprovechable y de rendimiento máximo. La fijación tampoco se manifiesta en el hecho de que en los trumaos el efecto residual del fósforo sea inferior al de otros suelos, por lo menos en un plazo no muy largo.

Indudablemente, la gran diferencia entre trumaos y otros suelos, en lo que respecta al fósforo, se encuentra en la conducta de algunos cultivos específicos como la remolacha y posiblemente el raps, en los que frecuentemente el rendimiento se anula si no se adiciona cierta dosis de fósforo. En la remolacha, por lo menos, parece claro también que la curva de respuesta se hace más extendida que en los otros suelos de la región, alcanzándose el rendimiento máximo con dosis bastante más elevadas de fertilizante fosfatado. Aún así, no habría base para decir que esta curva revela una gran fijación del fósforo, tanto más si se considera el gran incremento en los rendimientos que producen dosis muy moderadas de fósforo (50 kg de P_2O_5 /ha producen más o menos el 45% del incremento máximo). En realidad, el fenómeno indicado sugiere más bien una toxicidad a la cual estas especies serían especialmente susceptibles y que sería neutralizada por la adición de fósforo. La localización del abono fosfatado en la remolacha ha resultado muy eficaz para contrarrestar este posible efecto tóxico, hasta tal punto que las curvas de respuesta se hacen muy semejantes a las que presenta la remolacha en otros suelos; ello significa que es posible economizar mucho fertilizante. Algunos ingenieros agrónomos han pensado en disminuir las necesidades de fósforo y nitrógeno de los trumaos, buscando un método para acelerar la mineralización de las grandes reservas orgánicas de estos suelos. Si esto implicara la destrucción de la magnífica estructura de estos suelos, no sería recomendable aplicar esta solución en la práctica.

BIBLIOGRAFIA

1. CORPORACION DE FOMENTO DE LA PRODUCCION (CORFO), Chile. Experimentación con remolacha azucarera, 1955—1957.(Informe mimeografiado).
2. INDUSTRIA AZUCARERA NACIONAL (IANSA), Chile. Investigación Agronómica en remolacha 1960—1964.
3. LETELIER, E. Efecto del encalado sobre el rendimiento del trigo en Chile. Agricultura Técnica XIII:109—154.
4. LETELIER, E. 1961. 100 ensayos NPK en trigo. Depto. de Investigaciones Agrícolas, Boletín Técnico No. 9. Santiago, Chile.
5. LETELIER, E. Uso actual y necesidad potencial de fertilizantes en la agricultura chilena. Agric. Técnica XXV:135—154.
6. LETELIER, E. Análisis de los resultados de los ensayos de fertilizantes en trigo de invierno efectuados durante la campaña del trigo en la provincia de Cautín. Trabajo presentado a las Jornadas Agronómicas de 1966, Chile.
7. MULLER, O. G. 1962. Ensayos de abonos en Raps.
8. URBINA, A. 1964. Interacción calcio—fósforo en suelos de cenizas volcánicas. En: Mesa Redonda de Suelos Volcánicos, Sociedad Agronómica, Chile.

C.3.6

CUADRO 1. Principales características de algunos suelos chilenos

Suelo	Textura	Densidad aparente	pH agua	Materia orgánica %	Capacidad interc. de cationes me/100 g	Porcentaje saturación cationes	Fijación P en ppm*	Al disponible ppm
Aluviales recientes Zona Central	Franco arenoso	1,2	6,5 8,0	2	20	90	500	10
Graníticos	Franco arenoso	1,2	5,6	2	15	50	500	10
Rojos (Malleco—Cautín)	Arcilla poco densa	1,0	5,2	6,0	25	50	7000	50
Trumao (O Arrayán-Bío-Bío)	Franco arenoso fino	0,8	5,9	1,2	30	50	9000	300
Trumao (O Pto Octay-Llanquihue)	Franco arenoso fino	0,7	5,5	2	35	30	9500	450

* En 10.000 ppm aplicadas (Método Demolon).

CUADRO 2. Incrementos de rendimientos producidos por la adición de fertilizantes y cal en trigo en diversos suelos chilenos. Promedios de un grupo de ensayos efectuados en 1954 a 1956 por el Departamento de Investigaciones Agrícolas

Provincias	Suelos	Incrementos medios producidos por la adición de fertilizantes (qq/ha)				No. ensayos	Rendimiento fórmula completa
		N	P	SK	Ca		
Coquimbo a Colchagua	Especialmente aluviales	2,1	0,8	-0,2	-	24	26,8
Linares, Maule, Ñuble, Concepción	Trumaos	3,3	3,1	-1,6	0,0	14	23,7
Linares, Maule, Ñuble, Concepción	No trumaos, rojos y graníticos	4,7	1,7	1,2	0,9	29	20,6
Bío-Bío, Malleco, Cautín	Trumaos	2,0	4,5	-1,1	-1,0	12	26,2
Bío-Bío, Malleco, Cautín	No trumaos, rojos y graníticos	10,2	12,9	8,5	8,1	3	27,3
Osorno y Llanquihue	Trumaos	1,5	9,2	2,6	2,6	15	23,0
Osorno y Llanquihue	No trumaos, rojos	2,6	10,8	3,3	1,7	2	17,7

N 64 kg nitrógeno nítrico/ha
 SK 100 kg/ha sulfato de potasio
 P 100 kg P₂O₅/ha
 Ca 2000 kg/ha Ca CO₃

C.3.7

CUADRO 3. Necesidad de nitrógeno en diversos suelos chilenos. Tratamiento sin nitrógeno en porcentaje de N máximo. Promedios de dos grupos de ensayos en trigo con más de 30 qq/ha de rendimiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Servicio Agrícola y Ganadero

Suelo	Nivel de N en el suelo %	No. ensayos
Aluviales recientes Zona Central	51	4
Aluviales antiguos, fluvio glaciales y grumosoles Zona Central	74	17
Rojos. Cautín y Malleco	57	17
Trumaos. Cautín y Malleco	68	24

NOTA:

La respuesta al nitrógeno se expresa como el rendimiento de la fórmula sin N en relación a la con N alto (más de 150 kg/ha), en presencia de P.

CUADRO 4. Necesidad de fósforo en diversos suelos chilenos. Tratamiento sin P en relación a P máximo. Promedio de dos grupos de ensayos en trigo con más de 30 qq/ha de rendimiento. Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Servicio Agrícola y Ganadero.

Suelo	Nivel de P en el suelo %	No. ensayos
Aluviales recientes Zona Central	71	4
Aluviales antiguos, fluvio glaciales y grumosoles Zona Central	88	17
Rojos. Cautín y Malleco	62	17
Trumaos. Cautín y Malleco	69	25

NOTA:

La respuesta al fósforo se expresa como el rendimiento de la fórmula sin P en relación a la con P alto (más de 200 kg de P₂O₅/ha), en presencia de N.

CUADRO 5. Interacción P x Ca en trigo, promedios de tres años. Rendimientos relativos. Departamento de Investigaciones Agrícolas.

kg/ha		Rendimientos		
CaO	P ₂ O ₅	Collipulli (rojo arcilloso)	Cauquenes granítico	Los Angeles Trumaos
0	0	100	100	100
4000	0	142	138	98
0	300	222	155	162
4000	300	232	166	150

CUADRO 6. Resultados de 14 ensayos de abonos en remolacha (Linares a Llanquihue 1955-57). Corporación de Fomento de la Producción (CORFO).

Tratamientos	Rendimientos promedios ton/ha (Raíces)	
	Trumaos (9 ensayos)	No trumaos (5 ensayos)*
N P K Ca	49,0	54,8
N P K	48,2	50,0
P K Ca	47,3	46,2
N P Ca	49,5	53,0
N K Ca	18,4	47,5
Testigo	16,0	40,3

* La mayor parte, arenas finas, Serie Santa Fe

N 80 kg N/ha

P 120 kg P₂O₅/ha (en surco de siembra)

K 75 kg K₂O/ha (Cloruro o sulfato de K)

Ca 2 ton/ha (Carbonato de calcio)

CUADRO 7. Porcentaje de casos con respuestas al fósforo, bajas, medias y altas en trumaos y no trumaos, en 64 ensayos.* (Remolacha)

	Trumaos	No trumaos
Respuestas 'Altas' Testigo, entre 0 y 20% de la fórmula máxima	67	21
Respuestas 'Medias' Testigo, entre el 20 y 60% de la fórmula máxima	22	49
Respuestas 'Bajas' Testigo 1, entre el 60 y 80% de la fórmula máxima	7	19
Respuestas 'Muy bajas' Testigo, más del 80% de la fórmula máxima	4	11

* Experimentación de IANSA (Industria Azucarera Nacional)

CUADRO 8. Ensayos de abonos en raps. Rendimientos medio de seis ensayos efectuados en suelos "trumaos". Departamento de Investigaciones Agrícolas

Tratamientos	Rendimientos qq/ha
N P K	25,4
P K	22,1
N K	9,0
N P	24,3
Testigo	6,6

N 64 kg/ha de N
P 150 kg/ha de P₂O₅
K 75 kg/ha de K₂O

CUADRO 9. Ensayos de abonos en papas en trumao Puerto Octay. Rendimientos promedios de tres ensayos Departamento de Investigaciones Agrícolas

Tratamientos	Rendimientos qq/ha
N P K Ca	157
P K Ca	144
N K Ca	83
N P Ca	137
N P K	171
Testigo	80

N 64 kg/ha de N
P 100 kg/ha de P₂O₅
K 108 kg/ha de K₂O
Ca 450 kg/ha de CaO

CUADRO 10. Efecto de la aplicación de nitrógeno y fósforo a praderas establecidas de trébol y gramíneas en las provincias de Osorno y Valdivia. Temporada 1953-64. Promedios de siete ensayos. Departamento Técnico de la Corporación de Ventas de Salitre y Yodo

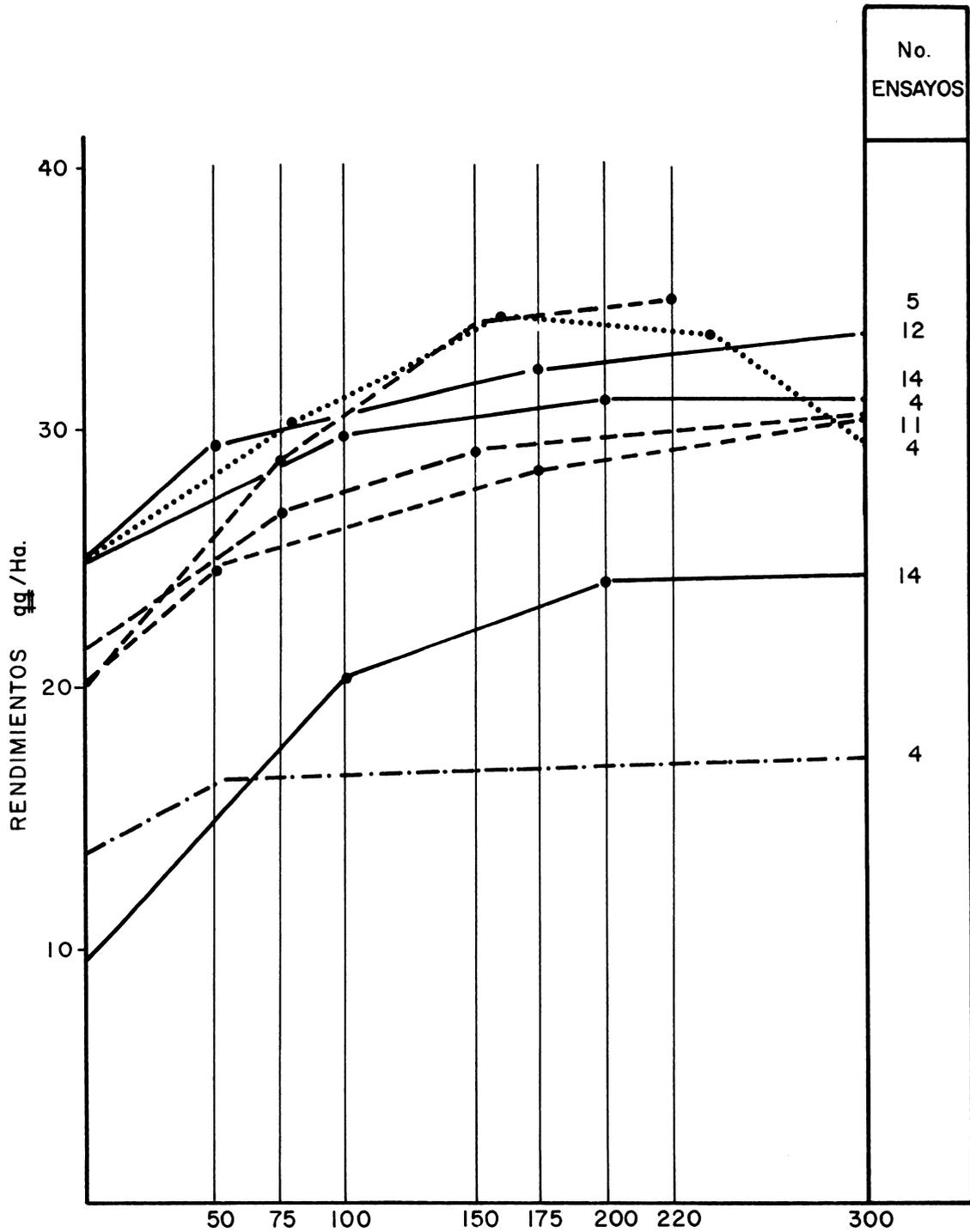
Nitrógeno kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	Rendimiento en pasto verde ton/ha
0	0	33,9
0	180	40,8
120	0	49,5
120	180	53,1

CUADRO 11. Efecto del encalado aplicado en el establecimiento de la alfalfa, provincia de Cautín. Oficina de Estudios Especiales

Carbonato de calcio aplicado en el establecimiento (1960) kg/ha	Producción en verde ton/ha	
	1960-61	1961-62
0	15,2	26,9
6.400	17,8	41,4
25.600	20,2	53,6

CUADRO 12. Efecto comparativo de la aplicación de fósforo al trigo y efecto residual de estas aplicaciones en el trébol. Ensayo en trumao, provincia de Bío-Bío.

P ₂ O ₅ aplicado al trigo localizado kg/ha	Rendimientos relativos		
	Trigo	Trébol 1er año	Trébol 2o año
0	100	100	100
150	164	165	112
300	200	205	119



— TRUMAOS
 - - - ROJOS
 - · - · GRANITICOS
 ······ ZONA CENTRAL
 (Solo ensayos con efecto de P.)

P₂ O₅ -KGS/Ha.
 Ensayos: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
 AGROPECUARIAS.
 DEPTO. DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS
 SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO

FIGURA 1. Curvas de respuesta al fósforo en suelos chilenos.

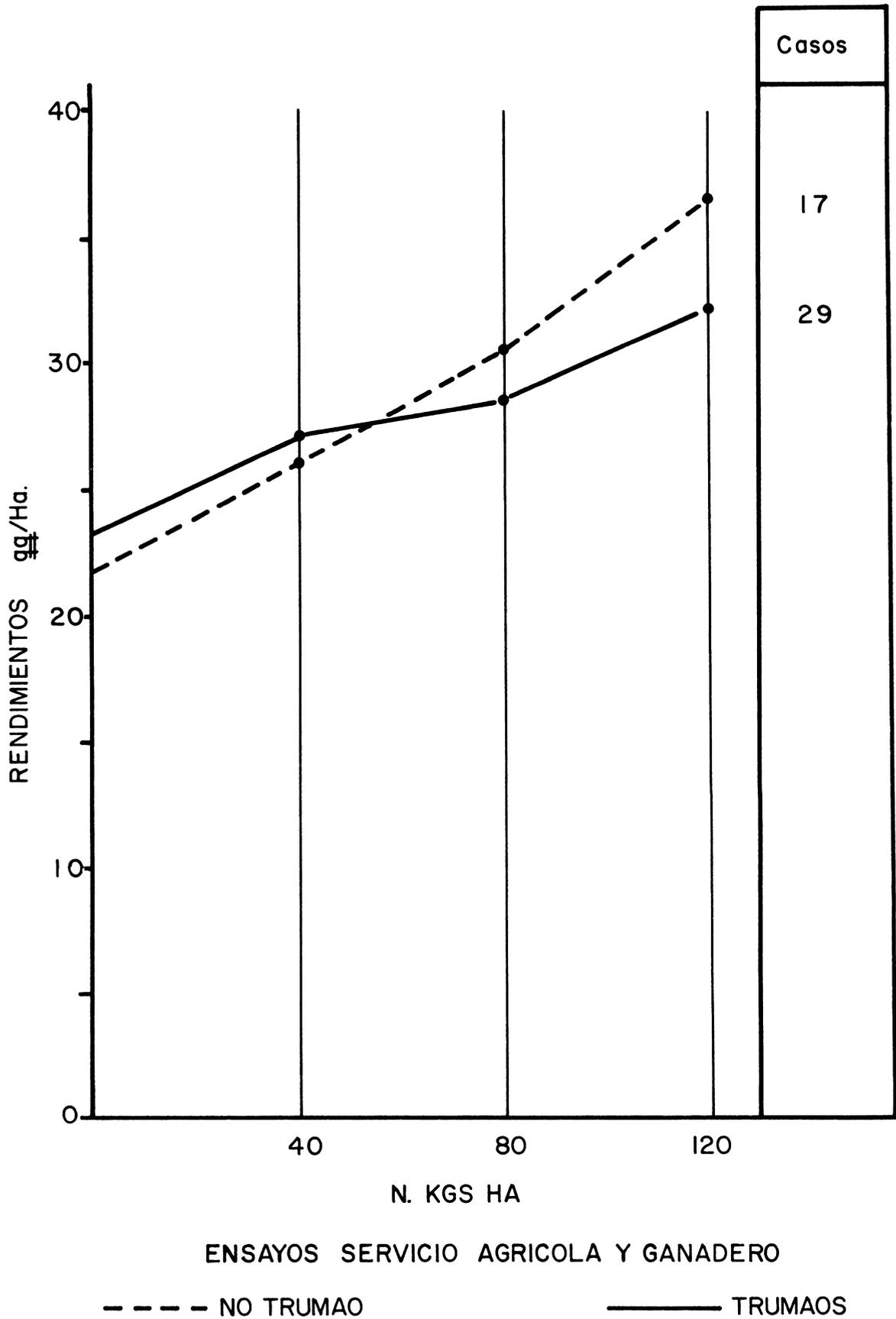
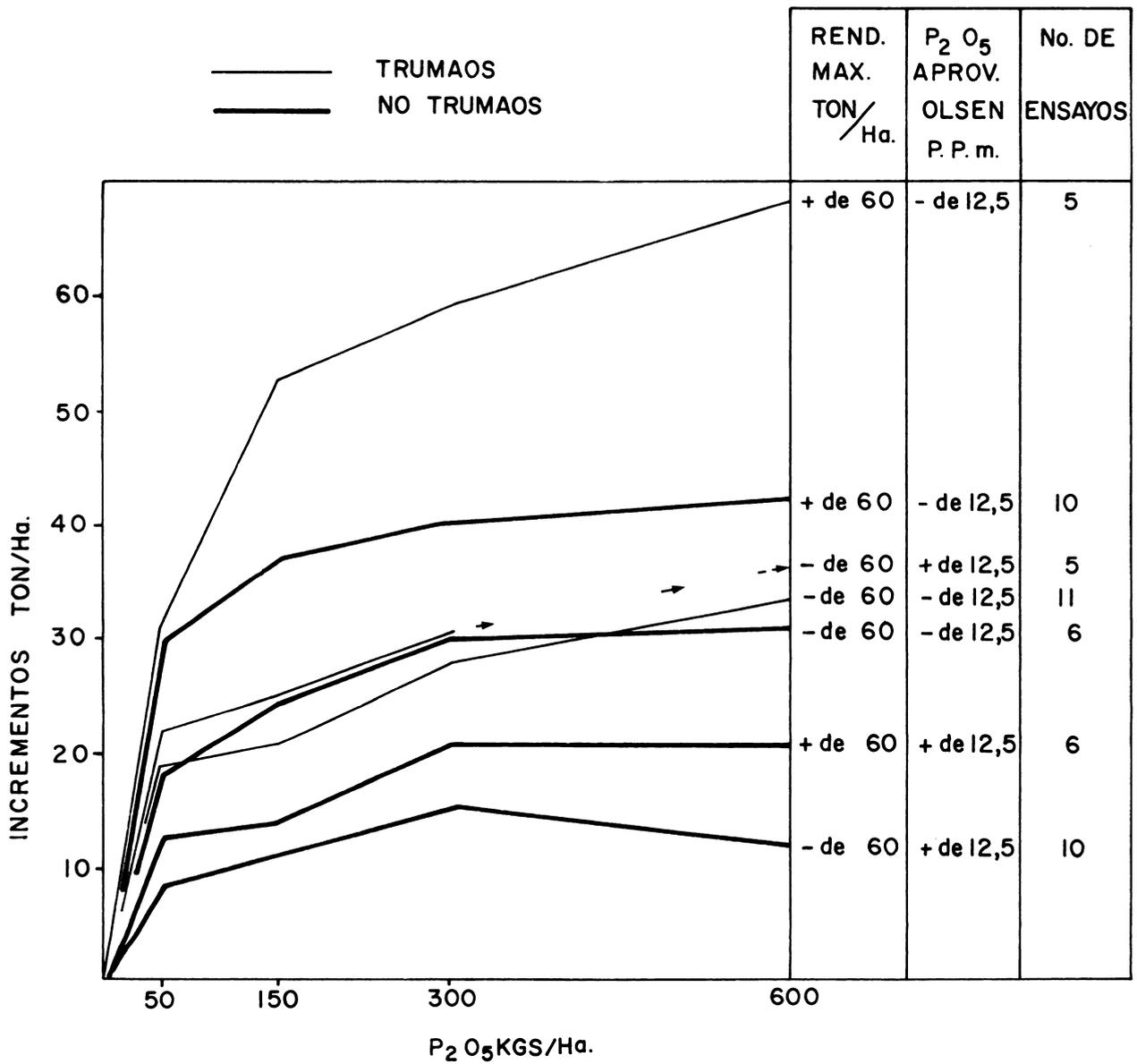
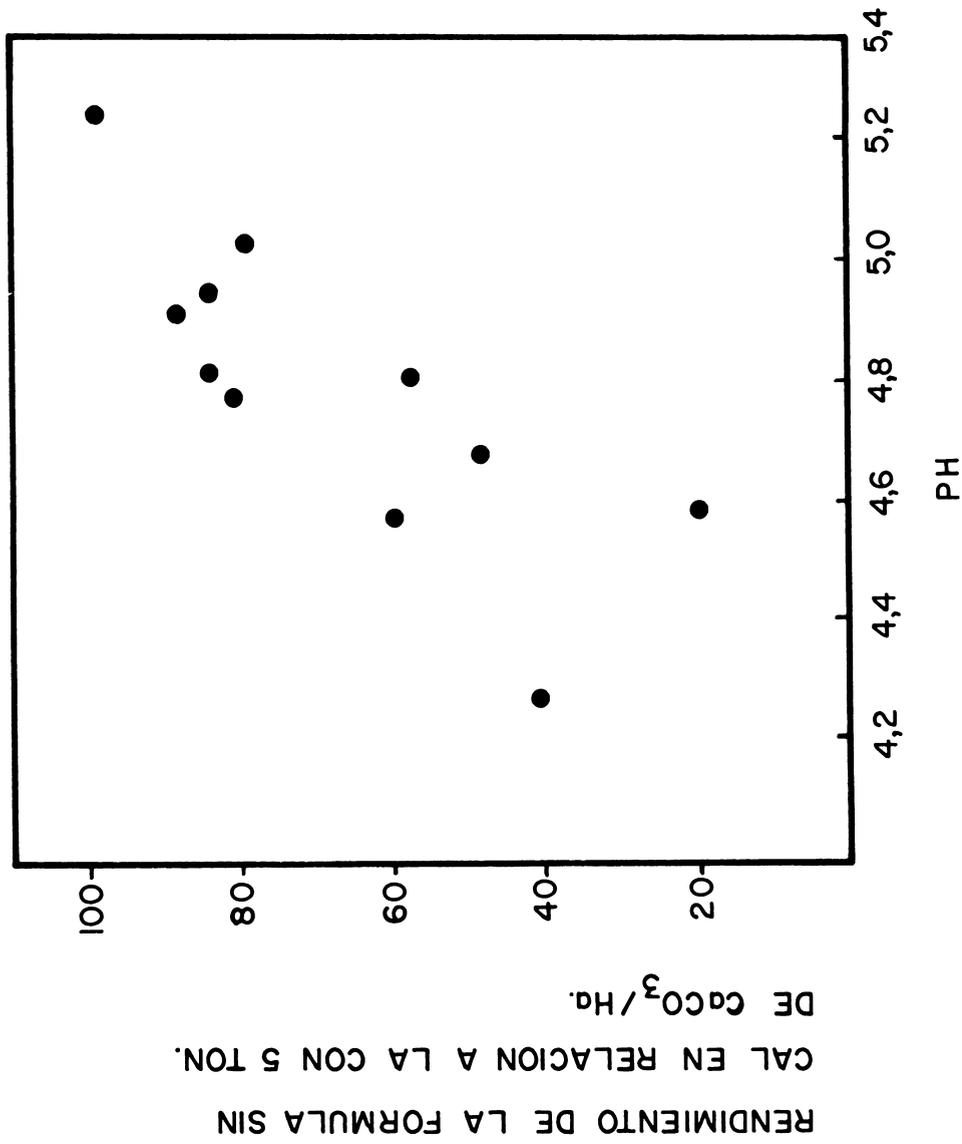


FIGURA 2. Respuesta del trigo a N en Cautín y Malleco.



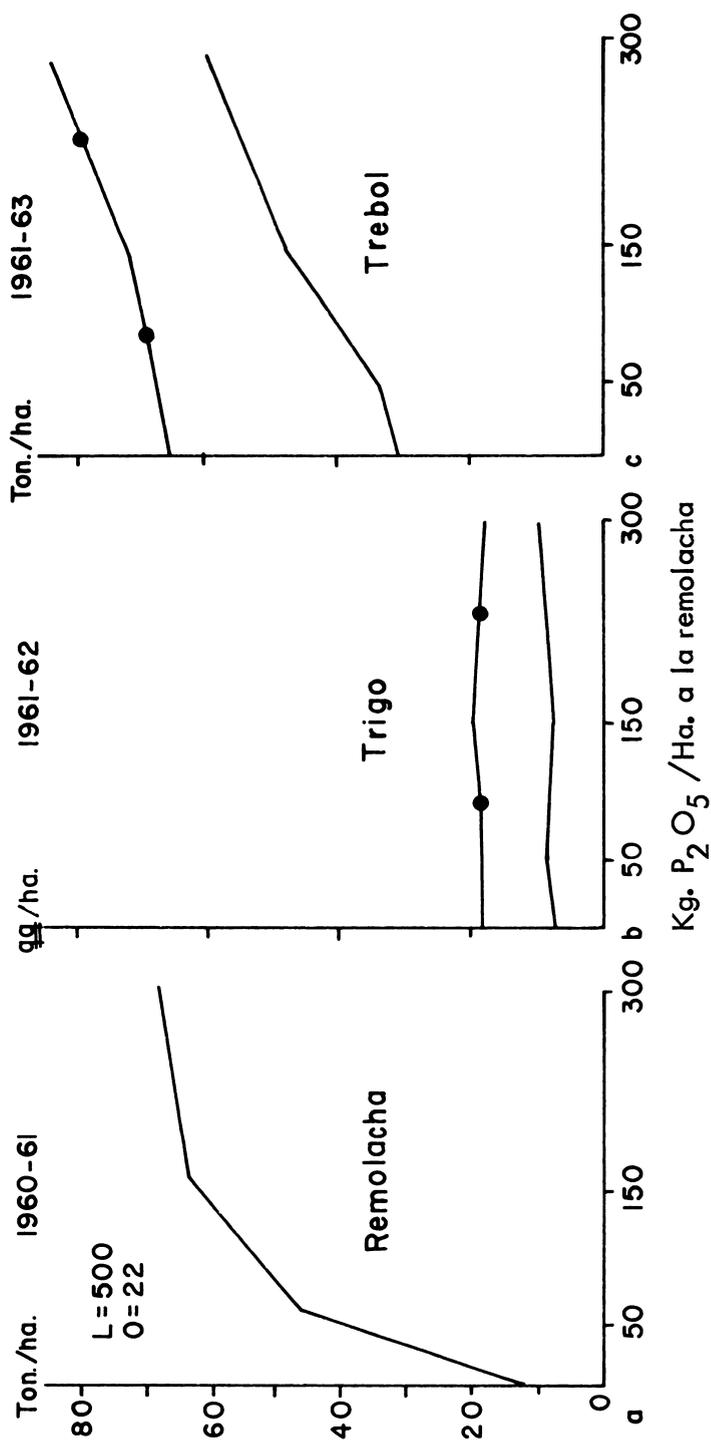
(EXPERIMENTACION DE IANSA) - ABONO NO LOCALIZADO

FIGURA 3. Relaciones entre rendimiento máximo, fósforo aprovechable, tipo de suelo, incremento de rendimientos producidos por el abono fosfatado.



INDUSTRIA AZUCARERA NACIONAL (IANSA).

FIGURA 4. Relación entre el incremento de rendimiento de remolacha producido por la adición de 5 ton/ha de CaCO₃ y el pH en suelos de la Isla de Chiloe.



Efecto residual de abonos aplic. a la remolacha 150 Kg. P₂O₅/Ha. al Trigo

L = Liberación P₂O₅ Kg./Ha. agregando 20.000 Kg./Ha. P₂O₅

O = P₂O₅ aprovechamiento Olsen Kg./Ha.

FIGURA 5. Efecto residual en trigo y trébol de los abonos aplicados a la remolacha.

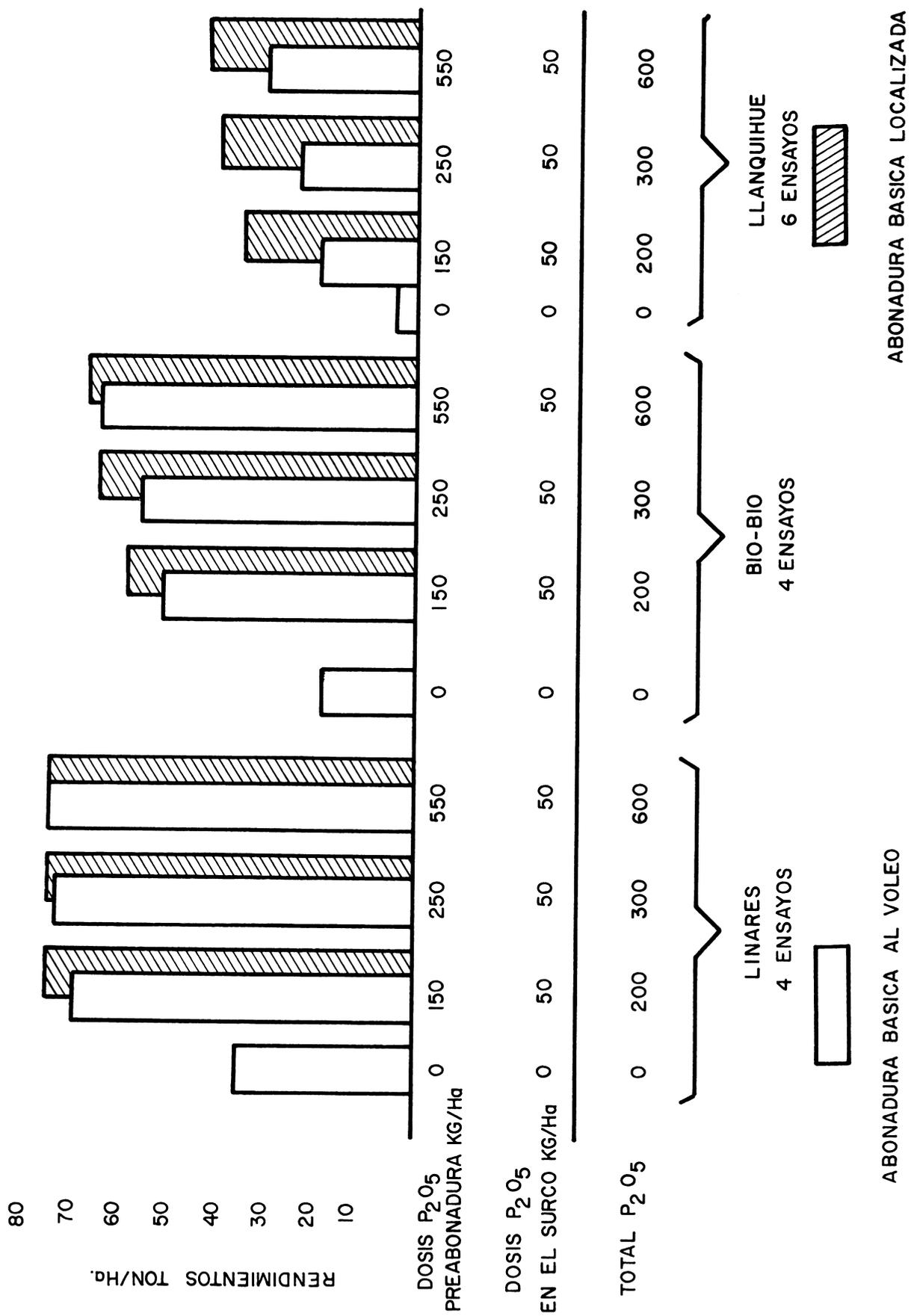
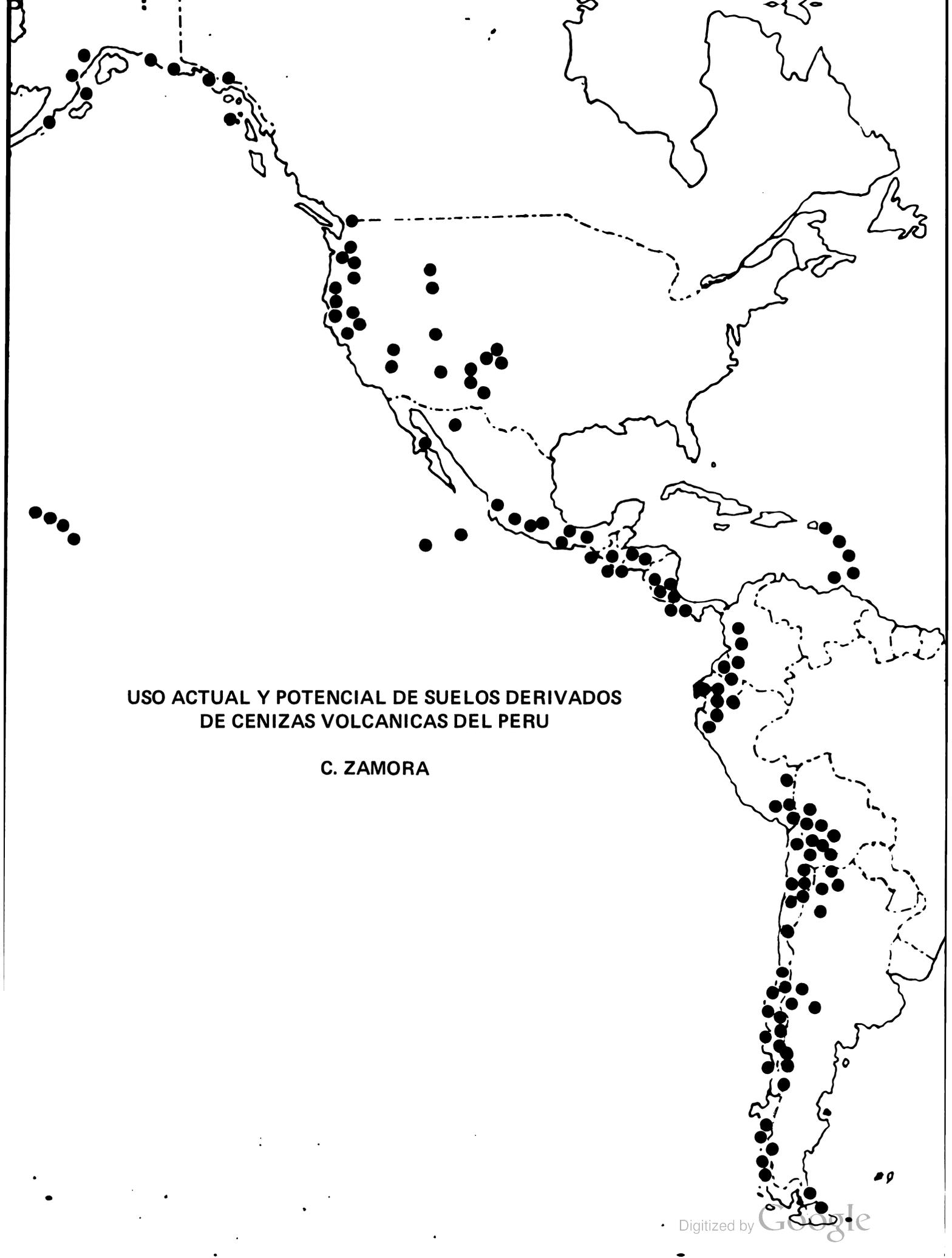


FIGURA 6. Industria Azucarera Nacional (IANSA). Ensayos de localización de superfosfato triple.



**USO ACTUAL Y POTENCIAL DE SUELOS DERIVADOS
DE CENIZAS VOLCANICAS DEL PERU**

C. ZAMORA

USO ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCANICA DEL PERU

C. Zamora J. y R. Bao E.*

INTRODUCCION

El Perú presenta una extensa acumulación de materiales volcánicos que comprende aglomerados, brechas, tufos, cenizas volcánicas y flujos de lava, en su mayoría de composición andesítica, sobre una superficie geográfica aproximada de 18,000,000 de hectáreas (180,000 km²). Aunque los afloramientos volcánicos y sedimentos piroclásticos aparecen en forma desglosada en la región septentrional de los Andes peruanos (Departamentos de Cajamarca y Amazonas), no es sino a partir de la zona Central Andina (Cordillera Negra en Ancash) hasta la frontera con Chile por el sur, que se presentan en forma casi ininterrumpida. Alcanza su mayor desarrollo en la porción meridional del macizo sur y flanco occidental andino del país, donde se extiende una cadena volcánica con elevaciones sobre 5,000 metros, conformadas por una sucesión de conos que han originado gran parte de la cobertura de cenizas y fragmentos volcánicos eyectados. La edad de las rocas y materiales volcánicos diversos datan del Plioceno al Reciente. Sin embargo, la actividad volcánica en el Perú fue completada en los tiempos del Pleistoceno, debido a la fuerte erosión glacial Pleistocénica que modeló el paisaje volcánico, destacando grandes valles en u, circos glaciares, formaciones aborregadas y colinas de depósitos morrénicos, entre las principales.

La condición climática es variable, desde cálido a semicálido (desierto sur subtropical) en las zonas costeras, hasta frígido húmedo en los bordes más orientales del área volcánica. La vegetación varía en base a las condiciones climáticas prevalentes, desde áreas totalmente ausentes de formas vegetales, pasando por cactáceas dispersas a grupos más densos de especies xerofíticas, de gramíneas coriáceas y subarbustos, en el cual destaca el "ichu" (*Stipa* sp.) y la "tola" (*Lepidophyllum* sp.), hasta los pastizales o graminales (*Festucas* y *Calamagrostis*, principalmente), en las planicies alto andinas.

La topografía está dominada por el severo relieve andino de carácter fuertemente empinado y abrupto, tipificado por gargantas o valles intramontanos estrechos, flanco occidental andino y estribaciones cordilleranas, que alternan con áreas de topografía relativamente suave, constituida por las pampas del desierto costero sur y las planicies alto andinas.

Al hablar de suelos derivados de ceniza volcánica hacemos referencia, específicamente, a aquellos grupos edáficos que se derivan de materiales eruptivos recientes y que han sido eyectados por los conos volcánicos. Se excluyen aquellos suelos sobre materiales volcánicos consolidados como aglomerados, brechas, lavas y tufos (acumulamientos tufáceos modificados y consolidados).

USO ACTUAL Y POTENCIAL

Para trazar el cuadro sobre el uso y potencialidad de los diferentes grupos de suelos derivados de ceniza volcánica en el Perú, en base a su marcado contraste climático y topofisiográfico, creemos conveniente partir y apoyarnos en un esquema de clasificación edafológica, fuente principal para las interpretaciones de uso. Tomando como base de partida el Mapa de Suelos del Perú a escala 1:1.000,000 (Zamora, 1967), complementado con la revisión efectuada por FAO a este documento en la preparación del Mapa de Suelos de Sud América y, en el aspecto de nomenclatura pedológica, la publicación sobre "Definitions of Soils Units for the Soil Map of the World", del Proyecto Mapa de Suelos del Mundo FAO – UNESCO, se ha elaborado la siguiente clasificación sobre los suelos derivados de ceniza volcánica o andosoles del Perú y subdivididos en fases medio-ambientales (Fisiográficas y Bioclimáticas). Este esquema se anota a continuación.

1. Andosoles háplicos, frígido subhúmedo a húmedo de las regiones alto andinas
2. Andosoles vítricos, semicálido a templado árido de las planicies costeras
3. Andosoles vítricos, templado a frío, árido a semiárido del flanco occidental andino
4. Andosoles vítricos, frígido semiárido de las planicies alto andinas (sur-centro y borde occidental)
5. Andosoles vítricos, frígido subhúmedo de las regiones alto andinas

* División de Suelos, Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima, Perú.

6. Andosoles vítricos, frío semiárido a subhúmedo del altiplano.

En el Perú, el grupo más significativo de andosoles, por su extensión y dominancia, lo conforman los andosoles vítricos. Estos se distribuyen ocupando gran parte de las pampas del desierto costero sur, flanco occidental meridional y las planicies alto andinas pegadas al borde occidental y la porción sur oeste del altiplano del Titicaca. Los andosoles háplicos, en menor cantidad y de carácter más localizado, se ubican principalmente en los bordes orientales del área volcánica, donde las condiciones ambientales más húmedas han favorecido su formación. Localmente, en aquellas áreas húmedas y de impregnación de materiales volcánicos vítricos, aparecen los andosoles gleizados o gleicos.

1. Los andosoles háplicos, frígido subhúmedos a húmedos de las regiones alto andinas: Símbolo An en el mapa.

Estos suelos se desarrollan entre 4,000 y cerca de los 4,700 metros de altura, distribuidos principalmente en la porción norte y centro-sur, pegados al borde oriental del área volcánica. También, en el extremo norte del altiplano peruano (áreas circunvecinas a La Raya: 4,300 metros de elevación, aproximadamente) aparecen andosoles háplicos. Reciben precipitaciones pluviales medias anuales entre 700 y 1.000 mm, localizadas principalmente en los meses de verano (enero a marzo). Las temperaturas medias anuales son alrededor de 6°C, con temperaturas medias de verano 10 – 11°C. Se producen heladas en cualquier época del año y precipitaciones sólidas en la forma de granizo, cellisca y nieve. La vegetación está compuesta mayormente por pastos, plantas herbáceas y especies semileñosas perennes (*Puya sp.*), entre otras. La topografía varía entre suave a ondulada, hasta colinado.

Tradicionalmente, estos suelos se utilizan casi en su totalidad para pastoreo de ganado lanar, ovinos y auquénidos. En forma localizada, se tiene ganado vacuno en aquellas áreas de topografía más suave y climáticamente un tanto abrigadas, correspondiente a los pisos más bajos de la asociación edáfica. Cultivos de subsistencia, a base exclusiva de tuberosas, se siembran para sustento de los pastores indígenas. Originalmente, estos suelos han tenido una cobertura vegetativa de buena calidad y capacidad para la producción de plantas forrajeras, constituyendo una de las tierras más importantes para pastoreo de ganado lanar, principalmente. La inadecuada utilización de estos suelos y su abuso a través del excesivo sobrepastoreo sin cercos, que no permite un crecimiento y rejuvenecimiento de las pasturas y la quema incontrolada por parte de los pequeños propietarios y de la población indígena, han sido las causas de mayor incidencia en los cambios efectuados en la cubierta vegetativa. Como consecuencia, se ha producido un marcado empobrecimiento de los suelos y degradación de las pasturas, naturales, con una fuerte reducción en el volumen como en la calidad del material vegetal. En muchos lugares fuertemente pastoreados han aparecido plantas espinosas indeseables como las cactáceas blanquecinas de porte almohadillado (*Opuntia floccosa*) y bromiliáceas (*Puya sp.*), reduciendo las áreas de uso efectivo para el ganado.

Estos suelos, por sus condiciones climáticas prevalentes, no tienen potencial para cultivos agrícolas. Al contrario, lo indicado en el uso de estos suelos es su destino permanente para una actividad pecuaria, siempre que se apliquen medidas re-orientadoras en el manejo de los pastos y del ganado, a fin de reestablecer las condiciones normales de densidad y composición vegetal. Una de las medidas o prácticas más importantes para favorecer en estos suelos una buena producción y adecuada cubierta vegetativa de carácter permanente, es el cercado de los campos. Esta medida permite el pastoreo rotativo de los terrenos, siega controlada, control del número de animales por hectárea, así como el mantenimiento adecuado de las condiciones físicas de los suelos. Paralelamente a esta práctica básica, se tiene la selección de pastos nativos, resiembras en las áreas un tanto denudadas para control de la erosión pluvial y un balanceado programa de fertilización a base de fertilizantes nitrogenados y fosfáticos, así como encaladuras, debido a la acentuada acidez predominante de estos suelos. Evidentemente, para el logro de este sistema general de manejo de los suelos como de las pasturas, es indispensable superar las hondas barreras socio-culturales, económicas y demográficas de esta región cordillerana.

Dentro de la superficie alto andina volcánica del país, estimada tentativamente en 13.100,000 ha y cuya porción norte y centro-sur está ocupada en su mayoría por esta asociación edáfica, es la que presenta mejores posibilidades de mejoramiento y de mayor potencialidad para propósitos pecuarios. Se estima como máxima capacidad receptiva promedio de los pastizales naturales una unidad animal (expresado en auquénidos) por tres hectáreas o un ovino por hectárea.

2. Andosoles vítricos, semicálido a templado árido de las planicies costeras: Símbolo Av1 en el mapa.

Estos suelos ocupan gran parte de las planicies del desierto costero sur del Perú, es decir, aquellas pampas elevadas de Arequipa, Moquegua y Tacna, que se extienden a más de los 1,000 metros de altura, aproximadamente y enmarcadas dentro de una superficie geográfica de 600,000 ha. Estas se ven interrumpidas por valles aluviales, cerros, colinas y estribaciones cordilleranas bajas. Los suelos se desarrollan bajo condiciones climáticas de marcada aridez, con precipitaciones pluviales medias anuales no mayores de 100 mm. El régimen térmico medio anual es alrededor de

C.5.3

16 – 18°C con medias de verano 22°C y temperaturas de invierno que oscilan entre 10 a 12°C. La vegetación se encuentra prácticamente ausente, limitándose a formaciones xerofíticas dispersas como cactáceas del género *Opuntia* y otros del tipo tabular. El relieve topográfico es predominantemente suave.

Actualmente, la mayor proporción de estos suelos están sin uso por la falta de agua que subsane las condiciones climáticas áridas. En lugares con disponibilidades de agua o cercanos a fuentes hídricas, se llevan cultivos como alfalfa, papa, cereales, hortalizas y olivos, entre otros. En general, estos suelos, en base a su régimen térmico, son potencialmente aptos para una amplia variedad de cultivos temporales y permanentes, así como para el asentamiento y desarrollo de una ganadería intensiva, siempre que puedan incorporarse a la agricultura mediante el riego. Por sus condiciones topofisiográficas, conforman las nuevas áreas de expansión para la agricultura de la costa sur del país, como lo atestiguan los proyectos de irrigación de las pampas de Majes y La Joya (Arequipa). Se estima que un 20 por ciento (120,000 ha) de la superficie de esta asociación presenta condiciones favorables para utilización agrícola.

Los andosoles vítricos de la campiña de la ciudad de Arequipa, dotados de riego permanente y bajo incorporaciones adecuadas de fertilizantes nitrogenados y fosfáticos, mantienen producciones altas y en forma continuada. Destacan los cultivos de cebolla y ajo, con rendimientos sobre 30,000 kilos por hectárea para el primero de los nombrados, y los pastos, alfalfa principalmente, con producciones promedio de 70,000 kilos por hectárea y con 8 cortes al año.

3. Andosoles vítricos, templado a frío árido a semiárido del flanco occidental andino: Símbolo Av2 en el Mapa.

Los andosoles vítricos constituyen regiones empinadas que se extienden desde aproximadamente 1,500 hasta más de 4,000 metros de altura. Se desarrollan bajo precipitaciones pluviales medias anuales de 0 a 250 mm. Las temperaturas medias anuales varían, de acuerdo a la altitud, entre menos de 12°C y 15°C, con medias de verano entre 15° a 19 – 20°C, y medias térmicas de invierno entre menos de 6°C para las partes más altas y alrededor de 10°C en los niveles más bajos. La vegetación se reduce a formaciones de cactáceas dispersas y comunidades xerofíticas más densas en las regiones elevadas, donde domina la "tola" (*Lepidophyllum* sp.). La topografía es muy empinada, reflejo de la abrupta e imponente vertiente occidental andina.

Se estima, de los 3.800,000 hectáreas que representa la superficie aproximada de esta asociación edáfica que sólo alrededor del 10 por ciento sostiene una actividad agrícola. El uso actual de esos suelos se reduce a mantener una actividad pecuaria extensiva de ovinos, caprinos y, en menor proporción, de ganado vacuno. En las partes más elevadas y frías aparecen las manadas dispersas y semi-nómadas de ganado auquénido. La agricultura es muy reducida y fraccionada, localizándose en los pisos estrechos de gargantas, valles encajonados, pedimento de laderas, terraplanes irregulares cercanos a corrientes de agua y donde se conducen ciertos cultivos temporales: maíz y tuberosas como papa, oca (*Oxalis tuberosa*) y olluco (*Ullucus tuberosus*). Dentro de los andosoles vítricos del país, son los de menor potencialidad e interés para propósitos agropecuarios en base a sus condiciones climáticas áridas, topografía empinada y características edáficas de morfología esquelética.

4. Andosoles vítricos, frígidos semiáridos de las regiones alto andinas del sur-centro y borde occidental: Símbolo Av3 en el Mapa.

Estos suelos ocupan la porción sur-centro y borde occidental, extendiéndose aproximadamente entre los 4,100 y 4,700 metros de elevación y sobre una superficie geográfica de 4.700,000 ha. Se desarrollan bajo características térmicas similares a los andosoles háplicos alto andinos antes indicados, con temperaturas medias anuales alrededor de 6°C y medias de verano de 10°C. Reciben precipitaciones anuales que promedian entre los 250 y cerca de 500 mm, y el 70 por ciento se concentra en los meses de verano entre enero y marzo, permaneciendo los suelos secos gran parte del año. Esta condición climática semiárida alto andina, ha generado un paisaje de marcado xerofitismo, representado por una cubierta vegetativa natural muy especial denominado "tolar". El tolar se reduce a una comunidad vegetal en la cual predominan los arbustos y subarbustos erguidos (*Lepidophyllum* cuadrangulares, l. rígida y *Senesio* sp.). Las gramíneas están representadas por especies de los géneros *Poa*, *Festuca*, *Calamagrostis* y, en las partes más bajas de la región, las *Stipas*. La topografía de estos suelos varía entre suave a fuertemente colinada.

Estos suelos mantienen un pastoreo seminómada y escasamente tecnificado, con una densidad actual muy baja de animales. Debido al carácter leñoso de las especies vegetales prevaecientes, los pastos nativos tienen limitada capacidad para la alimentación de cualquier clase de ganado domesticado, incluyendo a los auquénidos. Son suelos que han sido fuertemente pastoreados y, como consecuencia, han generado, al margen de las sequías periódicas y prolongadas, una escasa cobertura de especies nutritivas deseables. El potencial pecuario, debido a su medio climático seco, es muy inferior al de los andosoles, vítricos o háplicos de aquellas áreas alto andinas más húmedas. Se estima, como máxima soportabilidad promedio de las pasturas naturales, en una unidad animal (auquénido) por 12 hectáreas o 1 ovino por cada 4 hectáreas.

C.5.4

5. Andosoles vítricos, frígidos subhúmedos de las regiones alto andinas: Símbolo Av4 en el Mapa.

Estos suelos se desarrollan bajo condiciones altitudinales, térmicas y de cobertura vegetativa similares a los andosoles háplicos antes señalados, diferenciándose de éstos por recibir precipitaciones pluviales medias anuales entre 500 – 600 mm. Se distribuyen predominantemente hacia el lado occidental norte y centro-sur del área volcánica.

Estos suelos se utilizan exclusivamente para pastoreo de ganado lanar (ovinos y auquénidos) y, en menor proporción, vacunos en aquellos lugares más bajos y de topografía suave. Presentan los mismos problemas indicados anteriormente en el manejo de las pasturas, como son la pobre tecnificación, sobrepastoreo y quema incontrolada, habiendo generado una degradación de la calidad y composición de la cubierta vegetal, así como en la integridad física de los suelos. El fenómeno erosivo es mucho más acentuado y severo en estos andosoles vítricos, de por sí más secos (absorbentes), que en las áreas donde se distribuyen los andosoles háplicos. La aptitud de estos suelos, por sus condiciones de clima y topografía, se reduce para propósitos pecuarios, principalmente ganado lanar. Presenta una potencialidad intermedia entre los andosoles háplicos situados en condiciones más húmedas y los andosoles vítricos del extremo seco. En unión con los andosoles háplicos y otros grupos edáficos, forman una asociación geográfica estimada en 8.400,000 hectáreas.

6. Andosoles vítricos, frío semiárido a subhúmedos del altiplano: Símbolo Av5 en el Mapa.

Estos suelos se distribuyen en el extremo sur oeste, vecinos al Lago Titicaca, con altitudes que exceden los 3,800 metros y sobre una superficie bruta de 500,000 ha. Se desarrollan bajo precipitaciones medias anuales de 500 – 600 mm concentradas en su mayor parte en los meses de verano, de enero a marzo. El régimen térmico medio anual es alrededor de 10 – 11°C, con medias de verano de 16°C y medias de invierno por debajo de 8°C. Presenta fuertes oscilaciones térmicas que llegan cerca de 20°C de variación diurna, y con heladas frecuentes en cualquier época del año. La vegetación natural prevalente de las áreas secas (sin problemas de drenaje) está compuesta por la tola y especies de ichu (*Stipa* spp.). La topografía es suave a ondulada.

Estos suelos han sido intensamente cultivados desde épocas remotas, especialmente aquéllos que se distribuyen cerca del Lago Titicaca, soportando cultivos como papa y cebada. En cambio, en las zonas más alejadas y de fuertes oscilaciones térmicas, se conducen cultivos de papa amarga, cañigua y quinua (*Quenopodium*). Ovinos y auquénidos (alpacas) constituyen el ganado principal, el ganado vacuno se radica en las áreas más húmedas, circunvecinas al lago.

La morfología gruesa, asociada a las carencias acentuadas de nitrógeno y fósforo de los andosoles vítricos que tipifican esta parte del altiplano peruano paralelamente con los sistemas de manejo tradicionales y rudimentarios, dan como resultado producciones muy bajas en promedio. A esto hay que añadir las condiciones climáticas limitantes: heladas frecuentes y sequías prolongadas. Estos suelos, sometidos a cultivos temporales, se les deja descansar cada 3 – 4 años a fin de que recobren su fertilidad; asimismo, se realizan incorporaciones de guano animal, de por sí insuficiente de suplir los requerimientos de nitrógeno y fósforo tan deficitarios en estos suelos.

Debido a las condiciones climáticas prevalentes, estos suelos son aptos mayormente para la actividad pecuaria. En las áreas de topografía plana o suave y cercanas al lago, donde las oscilaciones térmicas son mucho más moderadas, se prestan para agricultura mecanizada, centrada en pocos cultivos intensivos adaptados a estas alturas, con la cual pueden mejorarse notablemente los rendimientos mediante el riego permanente, preparación adecuada de la tierra y aplicación de fertilizantes minerales, principalmente nitrogenados y fosfáticos.

En el Cuadro 1 se ilustra el uso actual y potencial agrícola a pecuario de los diferentes grupos de suelos derivados de ceniza volcánica del Perú.

CONCLUSIONES

En referencia al uso y potencialidad de los suelos derivados de ceniza volcánica en el Perú, se pueden señalar las siguientes conclusiones:

- 1) El mayor uso y potencialidad de la superficie geográfica volcánica del Perú recae en la actividad ganadera, principalmente lanar (ovinos y auquénidos). Se estima que de los 18 millones de hectáreas que representa la extensión bruta donde se desarrollan los suelos derivados de ceniza volcánica del país, el 73 por ciento ó 13.100,000 hectáreas, soportan una actividad pecuaria. Aquí se incluyen los andosoles háplicos y vítricos alto andinos.

C.5.5

- 2) En referencia a la extensión señalada de 13.100,000 hectáreas, el 64 por ciento (8,4 millones de hectáreas) presenta condiciones entre mediana a buena potencialidad para el desarrollo pecuario. El 36 por ciento restante (4,8 millones de hectáreas) se caracteriza por su inferior calidad o potencial para propósitos ganaderos, vinculado estrechamente a la baja capacidad receptiva de sus pasturas naturales.
- 3) Alrededor de 1.100,000 hectáreas (6%) conforma la superficie geográfica bruta que incluye suelos de condiciones favorables para el desarrollo de una agricultura intensiva y mecanizada. A esta parte pertenecen los andosoles vítricos de las planicies costeras del desierto sur y de la olla altiplánica del Titicaca. De las planicies costeras, aproximadamente 120,000 hectáreas conforman el potencial de nuevas tierras que presenta aptitud para la irrigación, permitiendo la fijación, debido a sus características térmicas, de una amplia variedad de cultivos temporales o permanentes, así como el asentamiento y desarrollo de una ganadería intensiva.
- 4) Finalmente, se tiene una extensión aproximada de 3,8 millones de hectáreas o el 21 por ciento del área total volcánica del país, que presenta muy bajo potencial, tanto agrícola como ganadero. A este grupo pertenecen los andosoles vítricos empinados y litosólicos del flanco occidental andino, donde se mantiene una actividad ganadera extensiva, de carácter marginal y una agricultura fraccionada muy débilmente desarrollada.

BIBLIOGRAFIA

1. BELLIDO, B.E. y FRANK S. Simons. 1956. Memoria Explicativa del Mapa Geológico del Perú, publicado por la Sociedad Geológica del Perú; Lima, Perú.
2. ECHENIQUE, C. J. 1964. Estudio Exploratorio del Area Tacna—Jancochulpe (copias a máquina); Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Lima, Perú.
3. ELECTRO CONSULT. 1967. Estudio de Factibilidad de Irrigación de las Pampas de Majes, Siguas y La Joya: Capítulo Suelos (Arequipa); Ministerio de Fomento, Dirección de Irrigación, Lima, Perú.
4. FAO. 1968. Publicación No. 33; Definitions of Soils Units for the Soil Map of the World; Roma, Italia.
5. FAO. 1968. Publicación No. 34; Draft Explanatory Text Soil Map of South America; Roma, Italia.
6. OFICINA TECNICA DE AGRICULTURA. 1956. Informe Agrológico de las Pampas de La Joya (Proyecto de Integración del Fraile); Ministerio de Fomento, Dirección de Irrigación, Lima, Perú.
7. ONERN. 1965. Mapa Litológico del Perú a escala 1:4.000,000. Departamento de Suelos, Lima, Perú.
8. TOSI, J. A. 1960. Mapa Ecológico del Perú y Memoria Explicativa; Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, Zona Andina, Lima, Perú.
9. ZAMORA, J. C. 1967. Mapa de Suelos del Perú a escala 1:1.000,000. Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales, Departamento de Suelos, Lima, Perú.
10. ZAMORA, J. C., G. M. CALDERON, E. R. BAO y F. A. GOYTENDIA. 1965. Estudio de Reconocimiento Sistemático de los Suelos del Sector II del Departamento de Puno. ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú.
11. ZAMORA, J. C. y G. M. CALDERON. 1966. Notas de Viaje sobre los Suelos entre Nazca — Puquio — Cuzco — Puno — Arequipa. ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú.
12. ZAMORA, J. C. 1968. Breve Reseña sobre el Uso de la Tierra en el Perú. ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú. (En prensa).
13. ZAMORA, J. C. y E. R. BAO. 1968. Reconocimiento de los Suelos de la Parte Alta de la Cuenca del Río San Juan (Chincha). ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú.
14. ZAMORA, J. C. y E. R. BAO. 1969. Reconocimiento de los Suelos de la Parte Alta de la Cuenca del Río Pisco. ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú.
15. ZAMORA, J. C. y E. R. BAO. 1969. Reconocimiento de los Suelos de la Parte Alta del Río Grande. ONERN, Departamento de Suelos, Lima, Perú.

C.5.6

CUADRO 1. Uso actual y potencial de los suelos derivados de cenizas volcánicas

Grupos de suelos	Uso actual	Potencial agropecuario
Andosoles háplicos, fríos subhúmedos a húmedos de las regiones alto andinas (An).	Pastoreo extensivo de ganado lanar (ovino y auquénidos). Vacunos localmente.	Buen potencial para pastoreo de ganado lanar principalmente, previa mejora de las pasturas naturales.
Andosoles vítricos, semi-cálido a templado árido de las planicies costeras (Av1).	Mayormente sin uso, salvo lugares con irrigación; cultivos criofílicos temporales como permanentes (alfalfa, papa, cereales, olivos).	Moderado a buena, con riego permanente tanto agrícola como pecuario. Tierras aptas para agricultura mecanizada.
Andosoles vítricos, templado a frío, árido a semi-árido del flanco occidental (Av2).	Mayor parte sin uso. Pastoreo disperso de ganado lanar; agricultura localizada.	Bajo potencial agrícola-pecuario.
Andosoles vítricos, fríos, semi-áridos de las regiones alto andinas (Av3).	Pastoreo extensivo de ganado lanar (ovino); seminómádicos de auquénidos.	Moderado a bajo, exclusivamente para la actividad pecuaria.
Andosoles vítricos, fríos subhúmedos de las regiones alto andinas (Av4).	Pastoreo extensivo de ganado lanar (ovinos y auquénidos). Vacunos, localmente.	Moderado a bueno, para pastoreo de ganado lanar principalmente, previa mejora de las pasturas naturales.
Andosoles vítricos, frío semi-árido a subhúmedo del altiplano (Av5).	Cultivos agrícolas temporales: papa, cebada y quinua. Pecuaria lanar principalmente (ovino y alpacas).	Moderada, con riego puede mejorarse la producción de cultivos; permite mecanización agrícola.

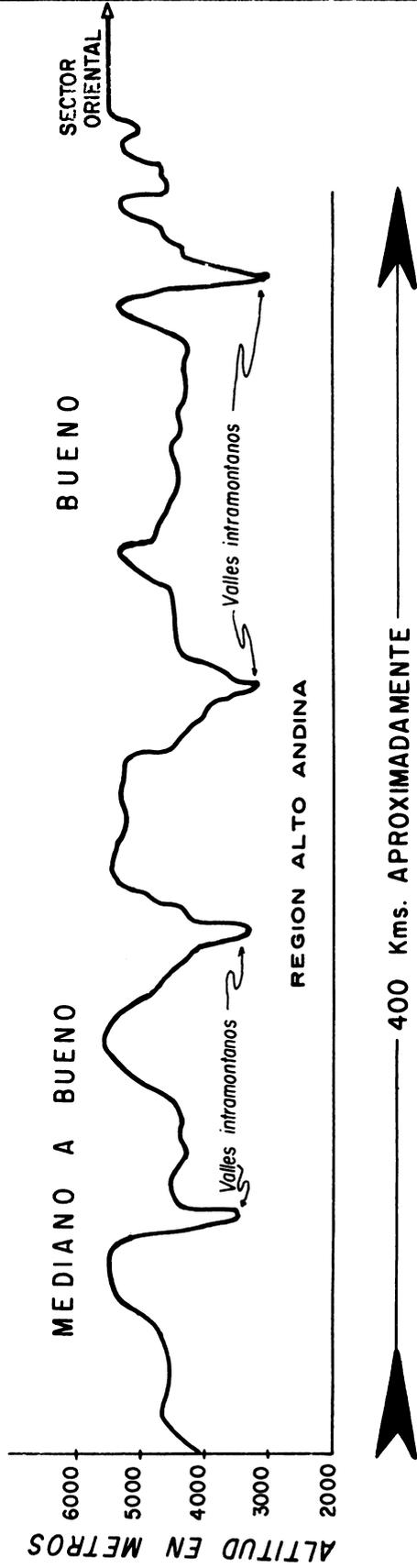
PERFIL DISTRIBUTIVO DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCANICA EN EL PERU EN RELACION A SU USO Y POTENCIAL

(TRANSECTO CENTRO - SUR)

LAT. 14°30' S.; LONG. 70° - 74° O.

ANDOSILES VITRICOS (Sub - húmedos) ANDOSILES HAPLICOS (Húmedos)

PASTOREO GANADO LANAR, PRINCIPALMENTE

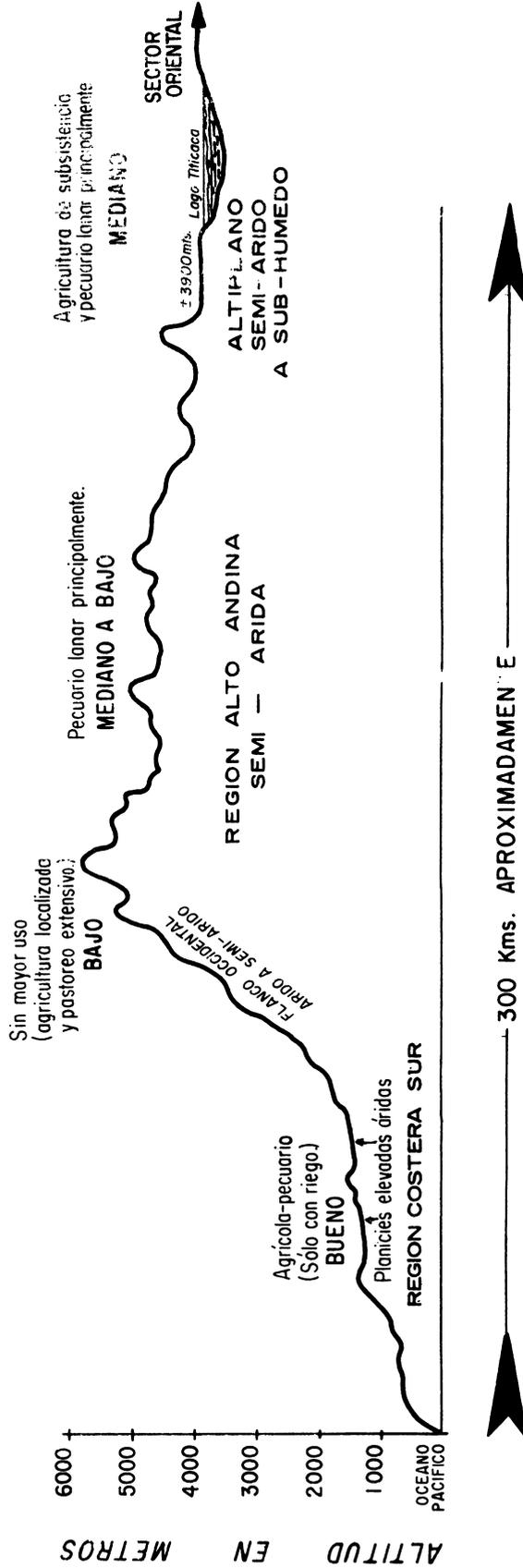


PERFIL DISTRIBUTIVO DE LOS SUELOS DERIVADOS DE CENIZA VOLCANICA EN EL PERU EN RELACION A SU USO Y POTENCIAL

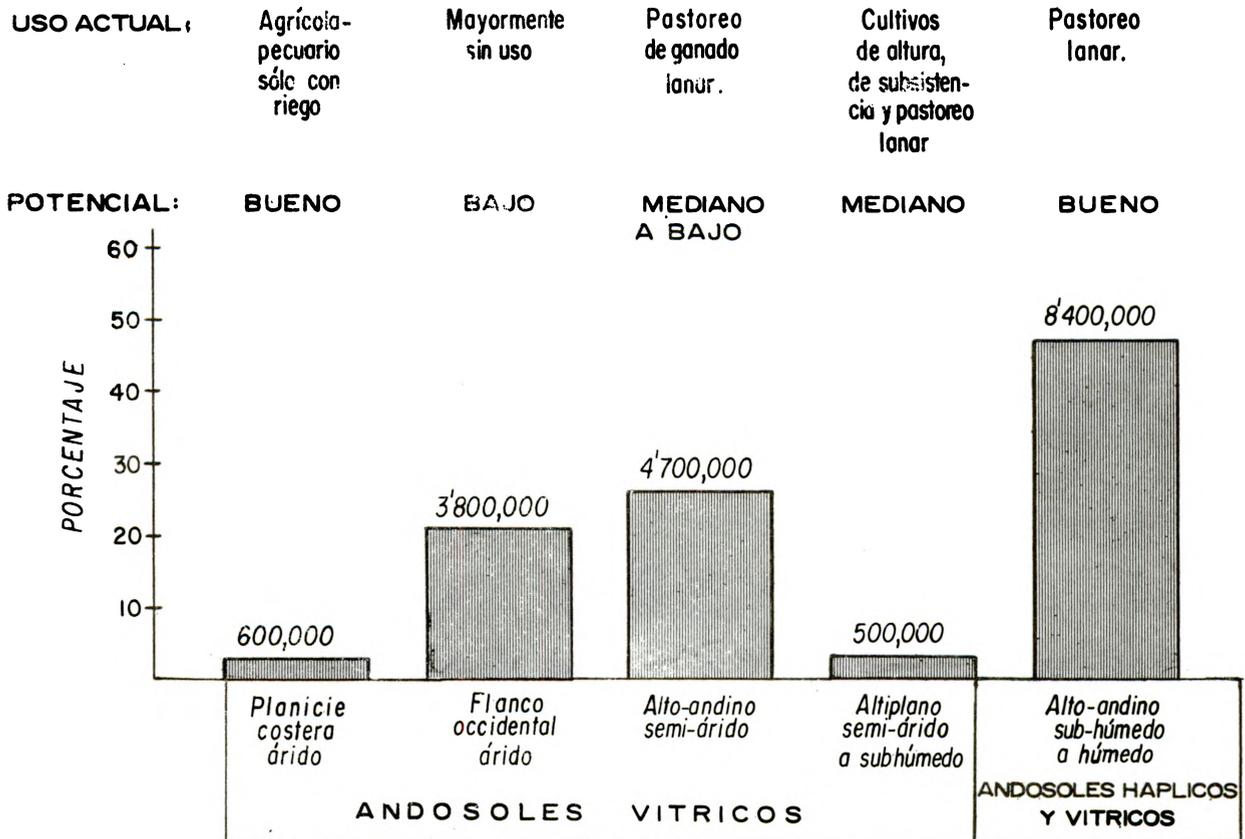
(TRANSECTO SUR)

LAT. 16° 30' S; LONG. 71° - 73° O.

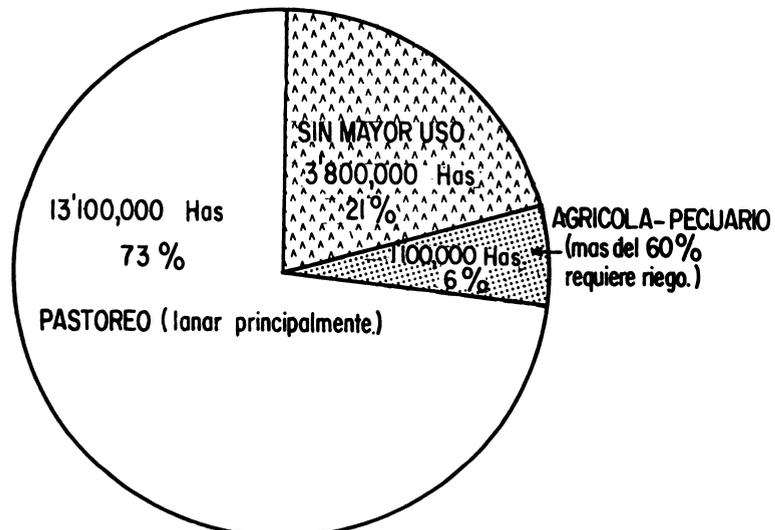
ANDOSILES VITRICOS

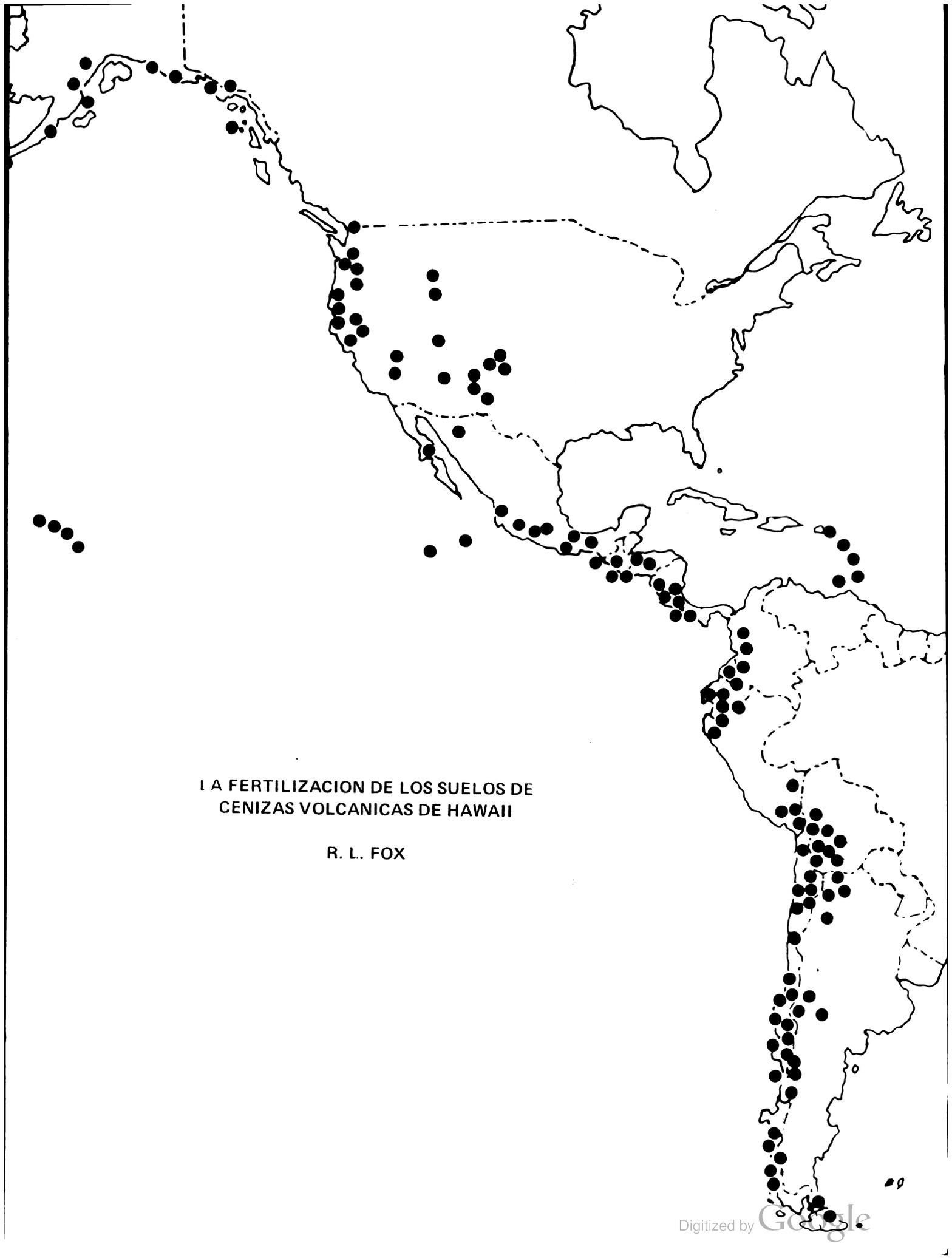


EXTENSION Y PORCENTAJE APROXIMADO DE LOS DIFERENTES GRUPOS DE SUELOS DERIVADOS DE CENIZAS VOLCANICAS DEL PERU EN RELACION A SU USO Y POTENCIAL



APTITUD GENERAL DEL AREA VOLCANICA DEL PERU
 (Sobre una superficie geográfica aproximada de 18'000,000 Has.)





LA FERTILIZACION DE LOS SUELOS DE
CENIZAS VOLCANICAS DE HAWAII

R. L. FOX

LA FERTILIZACION DE LOS SUELOS DE CENIZAS VOLCANICAS DE HAWAII*

Robert L. Fox**

La diversidad de los suelos hawaianos puede verse en la complejidad del último sistema de clasificación que divide los suelos de unas pocas islas pequeñas en 10 órdenes, 15 subórdenes, 27 grupos, 60 subgrupos, 118 familias y 167 series. Los materiales de partida de la mayor parte de los suelos son lavas basálticas, escorias y ceniza. Casi todos los suelos agrícolas de la isla más grande, Hawaii, se han derivado de cenizas andesíticas y basálticas. Swindale y Sherman (29), han informado sobre la distribución y la importancia de la ceniza en la distribución de los suelos en las Islas. Algunos volcanes están todavía en actividad mientras otros dejaron de ser activos hace miles de años, de modo que el tiempo es un factor importante en la disposición actual de los suelos. Sin embargo, la lluvia es el factor dominante en la formación de los suelos. La precipitación varía desde menos de 250 mm por año en la sección más seca, a más de 10,000 mm en los picos montañosos más mojados. La faja de producción de caña de azúcar más grande de las islas está en la isla de Hawaii, en donde la precipitación varía de 2500 a 6000 mm por año. La distribución estacional de la precipitación varía enormemente: algunas áreas reciben menos de 25 mm por mes durante más de seis meses del año, pero hay otras áreas que reciben más de 250 mm por mes en todos los meses del año. A semejanza de muchas regiones tropicales y subtropicales, la temperatura varía muy poco durante el año dentro de una localidad dada, pero se puede tener una variación acentuada de la temperatura cuando hay variaciones en altura. De todo esto resulta que Hawaii es un laboratorio natural excelente para la investigación de las relaciones clima-suelo-planta.

Las condiciones tropicales húmedas que predominan en las costas de barlovento en alturas medianas y bajas, suministran un ambiente que conduce a la alteración activa del material de partida. Hay una gran pérdida de sílice y bases y una acumulación de compuestos de Fe y Al. Los suelos que resultan de esto son casi completamente amorfos y si la precipitación es suficiente, poseen baja saturación en bases, especialmente en lo que se refiere al Ca.

Aunque muchos suelos de cenizas tienen alta capacidad de intercambio de cationes cuando se la mide a pH 7, la carga con la cual se retienen los cationes es casi toda dependiente del pH. A los valores de pH que se encuentran corrientemente en el campo, la capacidad de estos suelos para retener cationes es extremadamente baja. En muchos casos la carga negativa neta es claramente cero y en otros hay una carga positiva neta.

EL ENCALADO DE SUELOS DE CENIZA

La práctica del encalado de suelos muy meteorizados de ceniza está influida por muchos aspectos que no pueden ser apreciados en su totalidad por los que han trabajado con suelos que tienen arcillas cristalinas (22).

1. Gran parte del complejo coloidal inorgánico está constituida por óxidos hidratados de Al y Fe.
2. Los coloidales inorgánicos tienen carga permanente baja en relación con la amplitud de sus superficies.
3. Gran parte de la carga es dependiente del pH y con el pH que se encuentra con más frecuencia, la carga positiva puede exceder a la carga negativa. La capacidad tampón de estos suelos puede ser muy alta cuando se acerca al pH 7.
4. El potencial de lixiviación excede al que tiene la mayor parte de áreas agrícolas.
5. Las proporciones de infiltración de los latosoles son con frecuencia muy altas.
6. El aluminio soluble de muchos de estos suelos es notablemente bajo y algunos cultivos tropicales tales como la caña de azúcar son tolerantes al aluminio del suelo.
7. Se presentan con frecuencia problemas de fósforo y elementos nutritivos menores a valores de pH que se considerarían como muy favorables en otras partes.

En la Figura 1 se presentan las curvas de titulación típicas de dos suelos, uno desarrollado de ceniza volcánica muy meteorizada (coloides no cristalinos) y el otro desarrollado a partir de basalto en una área de poca precipitación (minerales del grupo del caolín). Las curvas de titulación de los suelos de importancia agrícola de Hawaii, presentadas por Matsusaka y Sherman (23) demuestran que se necesitan grandes cantidades de carbonato de calcio para llevar el pH del suelo de ceniza volcánica a valores de 7. Afortunadamente esto no es necesario para muchos suelos. El calcio es extraído fácilmente de los suelos amorfos por las plantas. Conforme el pH disminuye como

* Publicado con aprobación de la Estación Experimental Agrícola de Hawaii como Revista No. 1127. Gran parte de la investigación que se informa se realizó con donaciones del Instituto de Azufre y la Fundación Nacional de Ciencias.

** Departamento de Agronomía y Ciencias del Suelo, Facultad de Agricultura Tropical, Universidad de Hawaii, Honolulu, Hawaii.

C.6.2

resultado de la salida de bases, la CIC también baja puesto que la carga es dependiente del pH. De este modo, el porcentaje de saturación de bases tiende a permanecer constante. Un suelo con carga positiva neta puede proporcionar cantidades adecuadas de calcio aun si este elemento se presenta en pequeñas cantidades.

La Figura 2 es un ejemplo del contenido de calcio de hojas de caña de azúcar cultivada en dos suelos a los que se suministraron diversas cantidades de calcio. En los dos casos el porcentaje de calcio de la planta aumentó conforme hubo incremento de la saturación con calcio de los coloides del suelo. Sin embargo, las plantas que crecían en el suelo Akaka (Typic Hydrandept), que tiene coloides no cristalinos, fueron capaces de extraer el calcio con mucha más facilidad, que las que crecían en el suelo Lahaina (Tropeptic Haplustox), con minerales arcillosos del grupo de caolín.

El grado de saturación de carga permanente con cationes de elementos nutritivos proporciona una base más real para juzgar el estado de fertilidad de los suelos con arcillas alofánicas, que el porcentaje de saturación en bases, de la CIC medida según la saturación con amonio (6, 17). Empleando la suma de cationes intercambiables como el criterio para la estimación, la CIC (pH 4,8) del suelo Akaka es de alrededor de 4 me/100 g de suelo húmedo (45%) de materia seca, para una capacidad de intercambio de 30 me (22). Basándose en esto, la carga permanente del suelo Akaka fue de 10 ó 12 por ciento de saturación en calcio. Aun con esta saturación muy baja en calcio, se mejoraron muy poco los rendimientos de caña, con el encalado en el sitio investigado por Mahilum. Clements (8) ha informado los valores siguientes para el Ca en corteza de caña de azúcar que se cultivaba en este suelo:

<u>Cal (tons/ha)</u>	<u>Ca (%)</u>
Nada	0,168
2	0,235
10	0,296
19	0,296

Puesto que el nivel mínimo de calcio de las vainas de las hojas que se necesita para el crecimiento completo de la caña de azúcar está entre 0,15 y 0,17 por ciento, había pocas razones para creer en una deficiencia de Ca. Se debe señalar sin embargo, que se añadieron 400 kg/ha de Ca bajo los pedazos de caña de semilla en la época de plantación. Sin duda este calcio contribuyó al contenido relativamente alto de las vainas de las hojas. No obstante, se observa que para los suelos con coloides no cristalinos la cantidad de calcio que se necesita es muy baja. Para la caña de azúcar hay pocas razones para encalar los suelos a fin de suministrar calcio si el calcio intercambiable del suelo es mayor de 500 a 1000 kg/ha (5). Los beneficios que se derivan de añadir proporciones de cal mayores de las que bastan para las necesidades de calcio, probablemente están relacionadas con los efectos del encalado sobre las raíces y los subsuelos. Los beneficios más probables tal vez son los efectos directos de calcio sobre el desarrollo de las raíces y la precipitación de los iones que pueden estar en concentraciones tóxicas.

Uno de los elementos que puede estar presente en concentraciones tóxicas en suelos ácidos de cenizas es el aluminio. Está bien establecida la solubilidad del aluminio en relación con el pH del suelo. La Figura 3 es un ejemplo de estas relaciones para un suelo Akaka (Typic Hydrandept) que había sido encalado 5 años antes. El pH original (sin encalado) fue de 4,8.

El pH de los subsuelos ácidos es con frecuencia mayor que el de los suelos correspondientes (Figura 4). De este modo, el aluminio activo extraído con KCl normal neutro de estos subsuelos puede ser de 0,1 me/100 g o menos. Con todo, no se puede descuidar el problema de la toxicidad del aluminio puesto que algunas plantas tienen sistemas radiculares muy ácidos y pueden movilizar el Al a partir del hidróxido de aluminio precipitado.

Una consecuencia importante de la facilidad con que los cationes se disocian de los coloides amorfos es la lixiviación de cationes. La Figura 4 es un ejemplo de cómo se modificó el pH del suelo hasta una profundidad de 120 cm encalando con cantidades hasta de 19 t/ha. Se ve claramente que aun proporciones moderadas de encalado están asociadas con cantidades considerables de lixiviación de calcio. Todo esto sucedió durante un período de 5 años.

La fácil liberación del Ca del complejo de intercambio de los suelos de cenizas volcánicas tiene ramificaciones importantes en la nutrición de las plantas. Por ejemplo, el encalado de un suelo Akaka, aumentó el Ca en las raíces de caña de azúcar de 900 a 4750 ppm mientras que el Ca en el nudo basal, permaneció casi constante (25). Aparentemente se estaba moviendo un exceso de calcio por movimiento en masa a las raíces en donde era precipitado más bien que transportado en la planta. Una acumulación de Ca fuera de la raíz o en el espacio libre dentro de la raíz, puede tener efectos adversos en la nutrición de los microelementos en las plantas o sobre la nutrición con el fósforo. Barber (4) ha observado un aumento en la acumulación de Ca y aumento del pH en la vecindad de las raíces de plantas que crecían en suelos con un exceso de Ca en la solución del suelo. Fox 'et al' (13) han observado una absorción de fósforo que disminuyó bruscamente en plantas que crecían en suelos de ceniza que habían sido encalados hasta un pH 7.

Hemos tenido numerosos ejemplos de clorosis desarrollada a partir de deficiencias de Fe y Mn cuando los suelos

C.6.3

amorfos se encalan hasta pH de 6,5 a 7 (9). Esto se comprende fácilmente si se asocia lo dicho por Barber de que la acumulación de calcio exterior a las raíces está relacionada con el aumento del pH. Un pH alto y el exceso de Ca están frecuentemente asociados con deficiencias de los micronutrientes Zn, Fe y Mn; y se conoce bien la insolubilidad de los fosfatos de calcio en presencia de exceso de calcio y alto pH.

Estas consideraciones nos conducen a creer que no es prudente encalar coloides no cristalinos y muy meteorizados a un pH mayor de más o menos 5.6.

La facilidad con que el Ca se lixivia en los suelos amorfos, hace posible suministrar este catión nutritivo a los subsuelos complicados con la presencia de Al soluble. El Cuadro I, tomado del trabajo por Green 'et al' (16), muestra la relación entre la profundidad de la penetración de las raíces de maíz y la relación Al:Ca. Las raíces penetraron el suelo con una relación Al: Ca. de 3,7 pero no penetraron el suelo que tenía una relación Al: Ca de 29,7.

El encalado de los suelos con coloides amorfos puede influir en la cantidad de K retenido por los suelos (2). Los datos de Mahilum 'et al' (22) presentados en el Cuadro 2 parece que confirman esta conclusión. La retención de potasio y sodio, fue más grande en el suelo que había sido encalado con una proporción de 10 t/ha 4 años antes. Dos factores pueden ser responsables del aumento de retención de cationes por los suelos encalados. En primer lugar, la CIC es una función de pH y además el Ca, como un ion complementario, se reemplaza más rápidamente que el Al con el Na o K.

LA ADSORCION EN RELACION CON LAS NECESIDADES DE FOSFORO DE LOS SUELOS DE CENIZA

Es enorme la capacidad de algunos suelos para inmovilizar el fosfato. La Figura 5 (tomada de una tesis por Mekar, 24) es un intento para demostrar cómo el fosfato puede ser adsorbido con el consiguiente aumento de CIC o aumento del pH. Puesto que las superficies totales específicas de los suelos de cenizas pueden ser grandes, la capacidad del suelo para adsorber fosfatos es en realidad muy grande.

La solubilidad del fosfato adsorbido puede ser extremadamente baja. No hemos podido medir directamente la solubilidad del fosfato en los suelos más profundamente meteorizados, pero hemos añadido fertilizante fosfatado marcado radioactivamente y hemos medido las cantidades del fósforo añadido que permanecían en solución. En un caso (12) se añadieron 44 ppm de fosfato marcado a un suelo Akaka y se equilibró esto por dos días; sólo dos partes por mil millones de fosfato permanecieron en solución. La Figura 6 compara la capacidad de este suelo para adsorber fosfato, con suelos desarrollados a partir de basalto o aluvión. Para este suelo se necesitaron alrededor de 1800 $\mu\text{g P/g}$ para fijar el P en la solución supernatante a 0,2 ppm.

No todos los suelos desarrollados a partir de ceniza tienen altas capacidades para adsorber fosfatos. La Figura 7 presenta las isotermas de adsorción para una serie de suelos derivados de cenizas volcánicas. La adsorción de fosfatos está íntimamente relacionada con la meteorización (precipitación). El hierro libre y los óxidos de aluminio varían también con ella. Para los Hydrandepts más meteorizados, llegan a más o menos 50 por ciento, para un Hydric Dystrandep menos meteorizado, alrededor de 35 por ciento y para Typic Vitrandepts y Typic Eutrandedpts cerca de 20 por ciento.

Uno de los factores más importantes que contribuyen a la nutrición de las plantas con fósforo es la concentración de fosfatos en las soluciones del suelo. Es evidente que la cantidad de fosfato que se requiere para adaptar los suelos de la Figura 7 a un nivel "standard" (es decir 0,2 ppm) en la solución varía enormemente. Para el suelo Naalehu (Typic Eutrandedpt) se necesitaría poco o nada de fosfato, pero para el Typic Hydrandedpt muy meteorizado, la cantidad de fosfato necesaria para ajustar el fosfato en la solución del suelo a una cantidad fija de alrededor de 0,2 ppm es de cerca de 1800 $\mu\text{g/g}$.

Aparentemente la cantidad de fosfato que se necesita en la solución del suelo para el crecimiento óptimo de algunas plantas en ciertos suelos de cenizas es más o menos 0,2 ppm. Esto se ilustra en la Figura 8 para unos pocos suelos en los cuales el fósforo en la solución del suelo se ha ajustado a varias concentraciones "standard". Los dos suelos Akaka necesitaron alrededor de 1600 a 1700 $\mu\text{g P/g}$ de suelo para dar 0,2 ppm P en la solución supernatante. Este valor fue de más o menos 250 $\mu\text{g P/g}$ de suelo para el suelo Hanipoe (Typic Dystrandep) y de 80 $\mu\text{g P/g}$ para el suelo Kawaihae (Typic Vitrandep). Esta alta fijación de fosfato concuerda con los resultados que tenemos para suelos de cenizas volcánicas recogidos en México, Washington y Oregón.

El contenido de agua en los suelos es un factor importante que influye en la difusión de los elementos nutritivos. La deshidratación de los suelos de ceniza muy hidratados va acompañada de un crecimiento reducido de las plantas que parece a su vez acompañado de una baja disponibilidad de los nutrientes de las plantas (9). Puesto que estos suelos se desecan irreversiblemente, la difusión lenta de los nutrientes puede ser responsable de este problema.

La fijación de fosfatos por el subsuelo es casi siempre más grande que la de las capas superficiales. Esto lo demuestra la Figura 9. Se indica la necesidad de buenas prácticas de conservación y manejo de la materia orgánica.

La Figura 9 también demuestra un problema que se encuentra frecuentemente cuando fertilizan los suelos de ceniza que fijan mucho fosfato. Aun las aplicaciones de fosfatos moderadamente altas, aparentemente tienen poco efecto después de unos pocos años. Los tratamientos B y C representan 160 y 320 kg/ha de P dos años después de la aplicación. Los dos presentan poca diferencia en la cantidad de fosfato que se necesita para ajustar la solución del suelo a 0,2 ppm. Esto no significa que las proporciones pequeñas de fosfato son completamente ineficaces o que se han perdido sin remedio los beneficios obtenidos. Estos resultados indican que no se pueden esperar grandes efectos residuales si se aplican pequeñas cantidades de fosfatos a suelos que tienen enorme capacidad para adsorber fosfatos. Nuestros datos muestran que en suelos muy meteorizados desarrollados sobre basalto, las aplicaciones masivas de fosfato son eficaces por lo menos durante diez años (15). Aún más, el fosfato que queda es eficaz para reducir la necesidad subsiguiente de fosfato en el suelo. Nuestra experiencia con los suelos de ceniza no ha sido muy grande, pero los resultados presentados en la Figura 10 indican que aun pequeñas cantidades de fertilizante fosfatado aplicadas a suelos desarrollados en cenizas más bien recientes, pueden tener efecto residual considerable.

La "fijación" del fósforo es y seguirá siendo uno de los obstáculos más serios a que se enfrenta el desarrollo agrícola de los suelos de ceniza. El fósforo fijado no es completamente inprovechable. Las aplicaciones masivas de P han satisfecho suficientemente el complejo de absorción del suelo de modo que la nutrición de las plantas puede mantenerse por varios años. El efecto residual de este fósforo disminuirá las necesidades de fósforo en aplicaciones futuras.

Se pueden hacer varias cosas para disminuir la fijación del fósforo. Entre ellas tenemos: colocar el P para aumentar al máximo el acceso directo a la planta y disminuir al mínimo la interacción con el suelo; emplear silicatos junto con los fosfatos; apropiada regulación del pH; conservación de la capa superficial y de la materia orgánica del suelo y selección de cultivos apropiados a variedades de cultivos.

La adsorción de fosfatos por los suelos de cenizas se disminuye con aplicaciones de escorias de silicatos. Esto se muestra en la Figura 11 que presenta la absorción de fosfatos por dos muestras de subsuelo, una de las cuales recibió una aplicación de escoria de silicato cinco años antes (27). Estos tratamientos realzan la eficacia de los fertilizantes fosfatados y en algunos casos aumentan la disponibilidad del fósforo nativo del suelo. Un ejemplo de la eficacia mejorada del fertilizante fosfatado se da en el Cuadro 3. El silicato aplicado con fosfato, sea en una banda o mezclados juntos en el suelo intensificó la toma del fosfato por la lechuga, maíz y caña de azúcar. El efecto con el arroz fue exactamente lo contrario. El arroz acumula cantidades muy grandes de Si, lo que parece obstaculizar la absorción de fosfato por la planta. Este cuadro también demuestra el valor de la colocación localizada de los fertilizantes fosfatados en los suelos que fijan el fosfato muy fuertemente.

LA ADSORCIÓN DE SULFATOS POR LOS SUELOS DE CENIZAS Y LA FERTILIZACIÓN CON AZUFRE

Los suelos de ceniza muy meteorizados pueden contener grandes cantidades de sulfato adsorbido en sus perfiles (11, 14). Esto lo demuestra el Cuadro 4 que compara el suelo Akaka, muy meteorizado, un suelo desarrollado sobre ceniza, que ha sido mucho menos meteorizado y dos suelos desarrollados de basalto. Algunos horizontes del suelo Akaka tienen dos por ciento de sulfato en peso seco.

La solubilidad del sulfato adsorbido en suelos de ceniza muy meteorizados es baja. Si no lo fuera se perdería con la lixiviación. La mayor parte de nuestro trabajo con estos suelos indica que cuando no hay extracción de sulfatos, el S en solución llega alrededor de 2 a 5 ppm.

Los suelos de ceniza menos fuertemente meteorizados contienen mucho menos sulfato adsorbido. El sulfato de la solución del suelo es muy bajo. En la Figura 12 se presenta una comparación de las isoterms de adsorción del sulfato para varios suelos de cenizas. Se deben añadir grandes cantidades de sulfato al suelo Akaka para cambiar significativamente el sulfato en solución, mientras que la misma cantidad añadida a suelos menos meteorizados puede producir altas concentraciones de azufre en solución. Todos los suelos cuyos datos se presentan en la Figura 12 reaccionan a la aplicación de S en macetas (Figura 13). Suelos tales como el Hanipoe que tienen una capacidad más bien grande para adsorber sulfato pero que en la naturaleza contienen cantidades relativamente pequeñas de sulfato adsorbido responden muy bien a las aplicaciones de azufre en el campo si se eliminan otras deficiencias. El sulfato aumentó el rendimiento del pasto kikuyu que crecía en este suelo, en 87 por ciento (14). Aun los suelos muy meteorizados con grandes cantidades de sulfato absorbido pueden responder a las aplicaciones de azufre en el suelo si éste no es capaz de mantener la concentración de sulfatos en las soluciones del suelo a niveles óptimos. Los datos de la Figura 13 indican que esta concentración debería ser aproximadamente de 5 ppm para aquellos suelos que tienen alta capacidad para adsorber sulfatos. Para los suelos con baja capacidad para adsorberlo, la concentración en solución debe ser más alta.

Cuando el sulfato es extraído del suelo, la concentración de S en la solución disminuye. Para los suelos de ceniza muy meteorizados tales como el Akaka (Figura 14), la cantidad de sulfato que puede suministrarse sin agotar las reservas del suelo es enorme. Sólo recientemente se han usado intencionalmente los fertilizantes de azufre en los cultivos de Hawaii. Anteriormente se añadían grandes cantidades de sulfatos al mismo tiempo que se lo hacía con otros elementos nutritivos de las plantas. En nuestros días se añade muy poco sulfato de esta manera, de modo que la aparición reciente de deficiencias de S y la respuesta a la fertilización con S casi seguramente llegarán a extenderse más.

EL POTASIO DEL SUELO Y LA FERTILIZACION CON POTASIO

El estado del potasio de los suelos de ceniza varía enormemente y la fertilización con potasio debe asimismo variar. El Cuadro 5 presenta los valores de potasio intercambiable para una serie de cinco suelos de ceniza de la isla de Hawaii. Los suelos muy meteorizados contienen poco potasio intercambiable mientras que los suelos más secos tienen mucho K intercambiable.

La caña de azúcar que crece en los Eutrandedpts a veces contiene tanto K en los jugos, que surgen dificultades cuando las sales de potasio cristalizan junto con la sacarosa. Por otra parte, los suelos muy lixiviados son extremadamente deficientes en potasio. La lixiviación de este elemento es un problema, tal como se mencionó anteriormente. Las adiciones de potasio deben hacerse con mucha frecuencia, a menudo varias veces durante un ciclo de cultivo. Muchas plantaciones de azúcar aplican K con N, cuatro o cinco veces durante el ciclo bienal de cultivo de la caña.

Puesto que la pérdida de cationes de los coloides amorfos por la lixiviación es a menudo un problema, se necesitan medios prácticos para aumentar la retención de los cationes. En el Japón (19, 20) se han aumentado los rendimientos de arroz pardo hasta a 1200 kg/ha, con adiciones de bentonita al suelo para retardar la lixiviación del amonio. En Hawaii, Ayres y Hagihara (3) encontraron que el potasio se lixivaba rápidamente cuando se añadía a los coloides amorfos en forma de cloruros. Cuando se añadía en forma de sulfatos, la lixiviación se retardaba algo, pero el retardo máximo se obtuvo cuando se añadió el potasio como fosfato. Esta observación puede explicarse ahora con la creación de sitios de intercambio cuando el fosfato presenta interacción con las superficies de óxidos hidratados (24).

LA MATERIA ORGANICA Y LA FERTILIZACION CON NITROGENO

Los informes publicados sobre los suelos de cenizas concuerdan en que la materia orgánica de estos suelos es muy estable (6, 7, 19). Los experimentos de Broadbent 'et al' (7) confirman el punto de vista de que los suelos alofánicos contienen un complejo de arcilla —materia orgánica estable. Las observaciones en Hawaii corroboran esta conclusión. Agarwal (1) comparó la mineralización del nitrógeno en dos suelos de cenizas, Akaka y Koko (Ustollic Eutrandedpt), con otros pocos suelos; del grupo, la mineralización producida por el suelo Akaka fue la menor y la del suelo Koko estuvo entre las mayores. Esencialmente, todo el nitrógeno acumulado en el suelo Akaka era amonio mientras sólo nitratos se acumularon en el suelo Koko.

La desecación tuvo un efecto especialmente grande en la mineralización del nitrógeno del suelo Akaka. Los datos siguientes (1) son para períodos de 8 días de incubación.

	<u>Sin secar</u>	<u>Secos al aire</u>
NH_4^+	2 ppm	92 ppm
NO_3^-	4 ppm	0 ppm

Aunque el contenido de materia orgánica del suelo de ceniza puede ser muy alto, las deficiencias de N son muy comunes, a menos que la fertilización con nitrógeno sea muy grande. La caña de azúcar, que es el cultivo que ocupa mayores extensiones en los suelos de cenizas de Hawaii, recibe de 300 a 400 lb de N/acre, durante el ciclo vegetativo de dos años. Normalmente son varias aplicaciones de N que se hacen. El número de aplicaciones depende de la cantidad de precipitación recibida y de la probabilidad de lixiviación. En las áreas de mucha precipitación es necesario hacer hasta 4 ó 5 aplicaciones.

En la mayor parte de las zonas de pastoreo de Hawaii se presentan graves deficiencias de N. La introducción de leguminosas en las tierras de pastoreo no ha tenido el mismo éxito que en Nueva Zelandia (6). Esto puede estar relacionado en parte, con la poca nutrición con P; sin embargo, la mala distribución de la precipitación es un problema que se presenta en muchas zonas de pastoreo de Hawaii.

LOS PROBLEMAS DE LOS ELEMENTOS MENORES EN LOS SUELOS DE CENIZA

La primera deficiencia en micronutrientes que se diagnosticó en los suelos de ceniza de Hawaii fue la de Mn en caña de azúcar y la de Fe en piña. El problema de Mn fue grave en una área de cenizas alcalina o neutra cerca de la ciudad de Pahala. Localmente se llama a este problema "Pahala blight". Este defecto se corrige con aplicaciones de sulfato de manganeso al suelo. El encalado excesivo de un suelo Akaka produjo clorosis del pasto Sudán que probablemente se debió a deficiencia de manganeso (9).

La clorosis del hierro en la piña se corrigió con aspersiones de sulfato de hierro a las hojas y manteniendo el suelo ácido. Aplicaciones grandes de fosfatos han conducido a clorosis en los árboles de macadamia; esta clorosis probablemente se debe en especial a deficiencia de hierro, pero se pueden esperar también deficiencias de zinc. Se han observado graves deficiencias de Zn en maíz cultivado en suelos de ceniza muy meteorizados que han sido fertilizados con grandes cantidades de fosfatos. No obstante, el Zn soluble en ácido de la capa superficial de estos suelos es relativamente alto (18).

Se necesitan grandes cantidades de boratos para la producción de apio en los suelos desarrollados de cenizas volcánicas, lo que sugiere que el borato es adsorbido por el suelo de modo que su solubilidad disminuye.

Kurmarohita ha investigado la toma del molibdeno por el pasto kikuyu cultivado en suelos de ceniza (21). El molibdeno extraído con agua fue el más alto en los suelos que estaban relativamente menos meteorizados. Algunos pastos que crecían en estos suelos contenían grandes cantidades de molibdeno. En Nueva Zelandia, en donde la deficiencia de Molibdeno es el peor problema de los micronutrientes, no se encuentra la deficiencia en los suelos desarrollados a partir de cenizas andesíticas, basálticas o riolíticas (10).

Se aumentó la concentración de molibdeno en la solución en agua en equilibrio con el suelo Akaka, con aplicaciones de sulfatos y especialmente de fosfatos (21). El crecimiento de *Desmodium intortumum* aumentó ligeramente en suelos que parecían ser marginales en su capacidad de suministrar Mo, al aplicarles molibdeno. Las aplicaciones de fosfatos a estos suelos aumentaron la toma de Mo por las plantas. Sin embargo, las plantas que crecían en suelos que adsorbían poco fosfato no recibieron ninguna influencia en su contenido de Mo con las aplicaciones de fosfato.

Ha habido varios indicios de deficiencia de Cu en plantas forrajeras que crecían en suelos de Hawaii. Generalmente estas respuestas han sido muy pequeñas, pero hay suficientes observaciones como para confiar en que existe esa deficiencia. En Nueva Zelandia, los suelos Yellow Brown Pumice desarrollados a partir de ceniza riolítica tienen cantidades más bien bajas de Cu pero los Yellow Brown Loams de ceniza andesítica tienen altas cantidades de Cu (26).

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los conceptos generales desarrollados aquí acerca de la nutrición de las plantas en los suelos de cenizas concuerdan con los resultados publicados sobre los suelos de cenizas de otras regiones. Reconocemos que los suelos de cenizas de Hawaii están sujetos a una variabilidad muy grande. Mientras esta variabilidad nos ha causado cierta frustración, como resultado de ella hemos sido capaces de desarrollar algunos conceptos que sirven para aplicarse mucho más allá de los estrechos confines de nuestras islas.

Los principios resumidos aquí los ponen en práctica los agricultores de Hawaii. Por ejemplo, un programa típico de fertilización para la caña de azúcar en suelos de cenizas de regiones de alta precipitación exige altas proporciones de aplicación de P que están de acuerdo con las grandes capacidades de estos suelos para fijar los fosfatos. Aun después de muchos años de uso de fertilizantes, se emplean alrededor de 175 kg/ha de P para el cultivo de la caña de azúcar. Las aplicaciones de potasio son también altas, y van desde 250 a 400 kg/ha. Las aplicaciones de nitrógeno son de más o menos 300 a 400 kg/ha y éste y el potasio se aplican con frecuencia debido a la lixiviación, no es raro que se fertilice cuatro o cinco veces en un cultivo de dos años. La estabilidad de la materia orgánica del suelo es muy alta y por esto se presentan deficiencias de N y S aun en suelos con alto contenido de materia orgánica, pero especialmente en los suelos que contienen poco sulfato absorbido. Los fosfatos y sulfatos son absorbidos fuertemente y en grandes cantidades por los suelos de ceniza muy meteorizados. La concentración de estos elementos nutritivos en la solución del suelo es un factor esencial que influye en el movimiento de los nutrientes a las raíces. La concentración depende del grado en el cual se satisface la capacidad de sorción. Con la mayor parte de los sistemas de manejo, la concentración será muy baja. Para estas condiciones es importante que los parámetros físicos que influyen en el movimiento de nutrientes hacia las raíces sean al mismo tiempo no limitantes y prácticos. Por ejemplo, no se debe dar mucha importancia a la humedad del suelo puesto que el alto contenido de agua en el suelo da una gran área transversal para difusión y disminuye la longitud del camino por el cual se mueven los nutrientes hasta las raíces.

La carga permanente de los coloides amorfos es muy baja. En condiciones ácidas, la carga positiva puede igualar o aun exceder a la carga negativa. Los cationes de elementos nutritivos están retenidos con muy poca energía. Para la nutrición adecuada no son necesarias grandes cantidades de cationes intercambiables, pero la lixiviación de los cationes es un problema.

BIBLIOGRAFIA

1. AGARWAL, A. S. 1967. Immobilization and mineralization of nitrogen in Hawaiian soils. Unpublished Ph.D. thesis, University of Hawaii, p. 159.
2. AYRES, A. S. 1961. Liming Hawaiian sugar cane soils. Hawaiian Planters' Record 48:83–92.
3. AYRES, A. S. y H. H. HAGIHARA. 1953. Effect of the anion on the sorption of potassium by some Humic and Hudrol Humic Latosols. Soil Sci. 75:1–17.
4. BARBER, S. A. 1968. On the mechanisms governing nutrient supply to plant roots growing in soil. 9th Inter. Congr. Soil Sci., Trans. Adelaide 2:243–250.
5. BAVER, L. D. y A. S. AYRES. 1962. Soil analyses as bases for fertilizer recommendations in sugar cane. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V. Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand 835–841.
6. BIRRELL, K. S. 1964. Some properties of volcanic ash soils. F. A. O. World Soil Resources Rept. 14:74–81.
7. BROADBENT, F. E., R. H. JACKMAN y J. NICOLL. 1964. Mineralization of carbon and nitrogen in some New Zealand allophanic soils. Soil Sci. 9:118–128.
8. CLEMENTS, H. F. 1962. Factors determining the response of sugar cane to calcium carbonate in Hydrol Humic Latosols. Proc. Inter. Soc. Sugar Cane Tech. 11:140–161.
9. DIAS, I. P. S. 1965. Effect of the use of lime and other soil amendments. Unpublished Ph.D. thesis, University of Hawaii. 140 pp.
10. DURING, C. 1962. Growth responses of pastures to molybdenum applications as related to soil classification. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V. Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand 721–725.
11. FIELDS, M. 1962. The nature of the active fraction of soils. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V. Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand 62–78.
12. FOX, R. L., S. K. DeDATTA y G. D. SHERMAN. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminum status of Hawaiian soils as influenced by liming. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V, Inter. Soc. Soil Sci., New Zealand, 574–583.
13. FOX, R. L., S. K. DeDATTA y J. M. WANG. 1964. Phosphorus and aluminum uptake by plants from latosols in relation to liming. 8th Inter. Congr. Soil Sci. Trans. Bucharest IV:595–603.
14. FOX, R. L., D. G. MOORE, J. M. WANG, D. L. PLUCKNETT y R. D. FURR. 1965. Sulfur in soils, rainwater and forage plants of Hawaii. Hawaii Farm Science 14(3):9–12.
15. FOX, R. L., D. L. PLUCKNETT y A. S. WHITNEY. 1968. Phosphate requirements of Hawaiian latosols and residual effects of fertilizer phosphorus. 9th Inter. Congr. Soil Sci. Trans., Adelaide 2:301–310.
16. GREEN, R. E., R. L. FOX y D. D. F. WILLIAMS. 1965. Soil properties determine water availability to crops. Hawaii Farm Science 14(3):6–9.
17. HOUNG, K. H., G. UEHARA y G. D. SHERMAN. 1966. On the exchange properties of allophanic clays. Pacific Sci. 20:507–514.
18. KANEHIRO, Y. 1967. Distribution of total and 0.1 normal hydrochloric acid–extractable zinc in Hawaiian soil profiles. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 31:394–399.
19. KOBO, K. 1964. Properties of Volcanic Ash Soils. F. A. O. World Soil Resources Rept. 14:71–73.
20. KOBO, K. 1964. Amelioration of volcanic ash soils and their potentiality. F. A. O. World Soil Resources Rept. 14:126–128.
21. KURMAROHITA, K. 1964. Molybdenum content of pasture species and some factors that affect it. Unpublished M. S. thesis, University of Hawaii. 130 pp.
22. MAHILUM, B. C., R. L. FOX y J. A. SILVA. 1970. Residual effects of liming volcanic ash soils. Soil Sci. 109 (In press).

C.6.8

23. MATSUSAKA, Y. y G. D. SHERMAN. 1950. Titration curves and buffering capacities of Hawaiian soils. Hawaii Agr. Expt. Sta. Tech. Bull. 11, 36 pp.
24. MEKARU, T. 1969. Anion adsorption in Hawaiian soils. Unpublished M. S. thesis, University of Hawaii.
25. RIXON, A. J. y G. D. SHERMAN. 1962. Effects of heavy lime applications to volcanic ash soils in the humid tropics. Soil Sci. 94: 19–27.
26. ROLT, W. F. 1962. The copper nutrient status of some soils of the North Island, New Zealand. Trans. Joint Meeting Comm. IV and V. New Zealand 842–846.
27. ROY, A. C. 1969. Phosphorus–Silicon Interactions in Soils and Plants. Unpublished Ph.D. thesis, University of Hawaii.
28. SHERMAN, G. D., Y. MATSUSAKA, H. IKAWA y G. UEHARA. 1964. The role of amorphous fraction in the properties of tropical soils. Agrochimica 80: 146–163.
29. SWINDALE, L. D. y G. D. SHERMAN. 1964. Hawaiian soils from volcanic ash. F. A. O. World Soil Resources Rept. 14:36–49.

C.6.9

CUADRO 1. Relación Al:Ca en tres profundidades del suelo Haiku. Suelos de dos lugares en el mismo campo.

Depth (cm)	Al/Ca	
	Site 1	Site 2
	Roots abundant to 15 cm	Roots abundant to 75 cm
0-15	2.3	0.7
15-30	6.9	0.6
40-51	29.7	3.7

CUADRO 2. Cationes cambiabiles en el suelo superficial Akaka en relación a encalado.

Cation	Lime		
	No Lime	6 ton/ha	10 ton/ha
		7 years	4 years
		me/100 g soil	
Ca	0.4	0.4	16
Mg	0.2	0.2	1.1
K	0.08	0.08	0.13
Na	0.02	--	0.04
Al	3.1	--	0.4

CUADRO 3. Influencia de aplicaciones de fosfatos y silicatos en la absorción del P por plantas creciendo en el suelo Akaka. (Datos de la tesis Ph.D. de Animesh Roy).

Fertilizer added	Manner of placement	Relative phosphorus uptake			
		Lettuce	Corn	Sugar cane	
				Rice	Rice
P + Si	Banded together	100	100	100	86
P + Si	Banded separately	97	90	76	91
P	Banded	90	87	76	93
P + Si	Mixed together	80	94	98	88
P	Mixed separately	83	87	87	91
P	Mixed	70	77	72	100

CUADRO 4. Distribución de SO₄ en perfiles representativos de 4 latosoles de Hawaii.*

Depth (cm)	Soils from Ash			Soils from Basalt	
	Hanipoe (1100 mm rain)	Akaka (6500 mm rain)		Wahiawa (1000 mm rain)	Kapaa (2500 mm rain)
		Field moist	Air dry		
0-15	26	273	607	135	111
15-30	9	603	1675	66	82
30-45	2	975	4062	116	74
45-60	10	1098	4774	176	114
60-75	41	1286	5591	167	225
75-90	7	1365	6825	152	317
90-105	9	1458	4860	176	333
105-120	10	1541	5137	230	426

* Suelo extraído con Ca(H₂PO₄)₂ en concentración equivalente a 500 ppm P usando una proporción suelo:solución de 1:5 y 30 minutos de agitación.

CUADRO 5. Potasio cambiabile en suelos derivados de cenizas volcánicas de Hawaii en relación a meteorización. (Datos cortesía del Dr. E. R. Graham).

Soil	Rainfall (mm)	Exchangeable	
		pH	K ⁺
Typic Hydrandept (Akaka)	4500	5.8	0.08
Typic Hydrandept (Honokaa)	2200	5.2	0.20
Hydric Dystrandept (Maile)	2300	5.4	0.22
Typic Vitrandept (Kawaihae)	200	6.6	1.54
Typic Eutrandept (Naalehu)	600	6.2	3.90

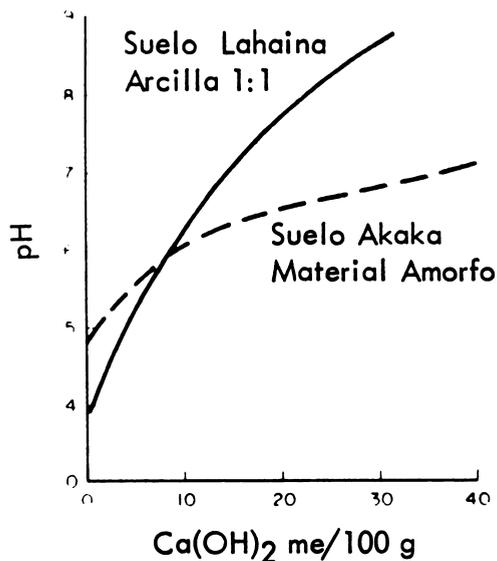


Fig. 1 Curvas de titulación para suelos desarrollados de cenizas (Akaka) y basalto (Lahaina) (Datos de M. Misra)

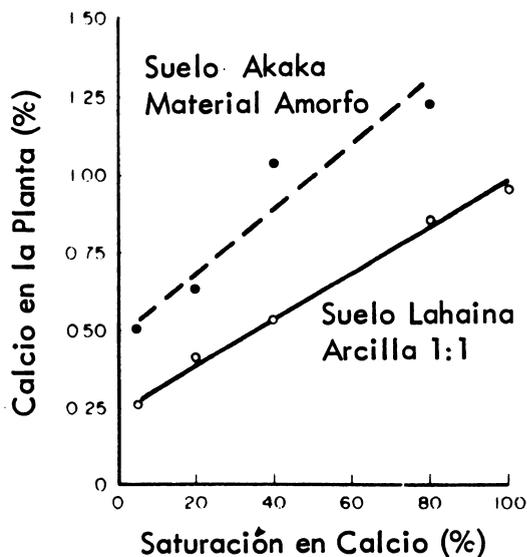


Fig. 2 Contenido de calcio de las hojas de caña de azúcar cultivada en dos suelos (Datos de M. Misra)

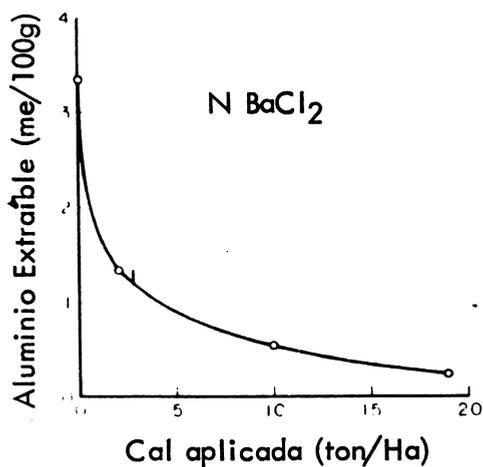


Fig. 3 Al extraído de un suelo Akaka en relación con el encalado (Datos de B. Mahilum)

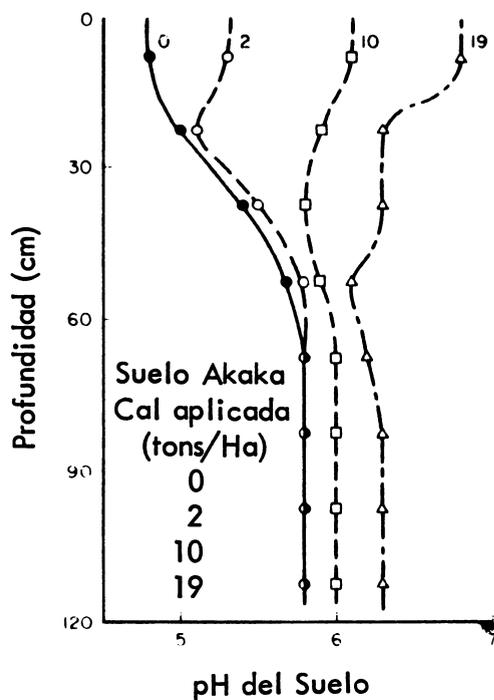


Fig. 4 Influencia del encalado de un suelo Akaka sobre el pH del perfil 5 años más tarde (Datos de B. Mahilum)

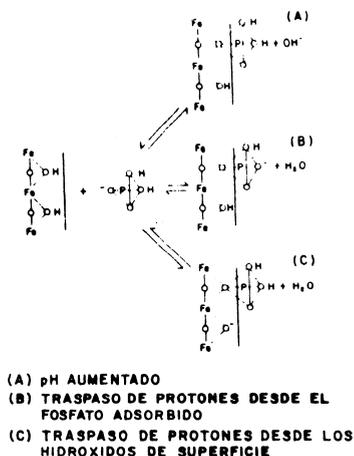


Fig. 5 Mecanismo probable de absorción de fosfato (Según Mekaru, 1969).

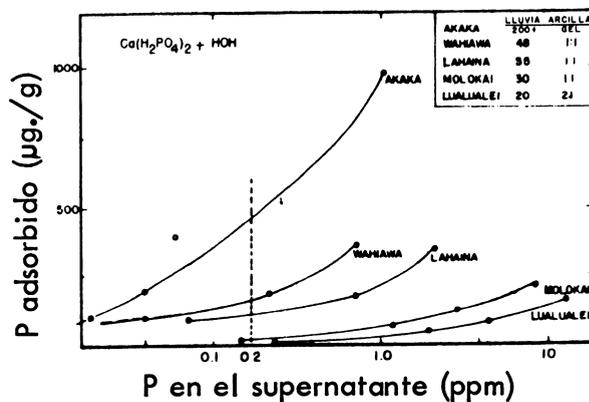


Fig. 6 Comparación de la adsorción de fosfato por varios suelos hawaianos (Fox et al, 1968)

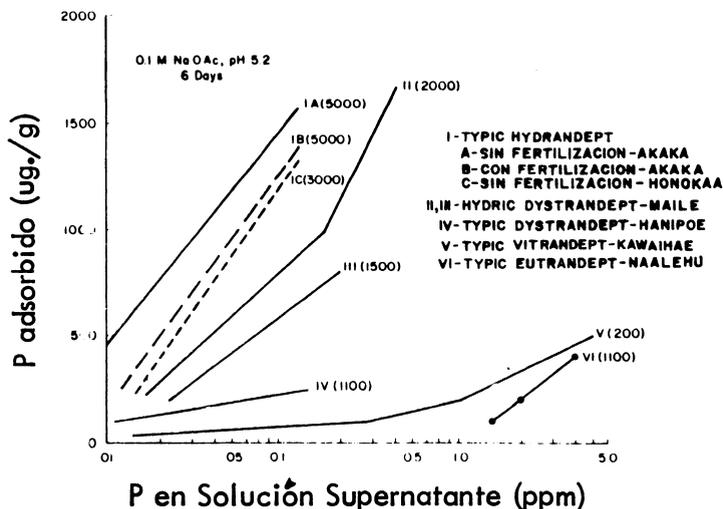


Fig. 7 Isotermas de adsorción de fosfatos para varios suelos de ceniza volcánica. Los valores entre paréntesis son las precipitaciones medias anuales aproximadas (mm).

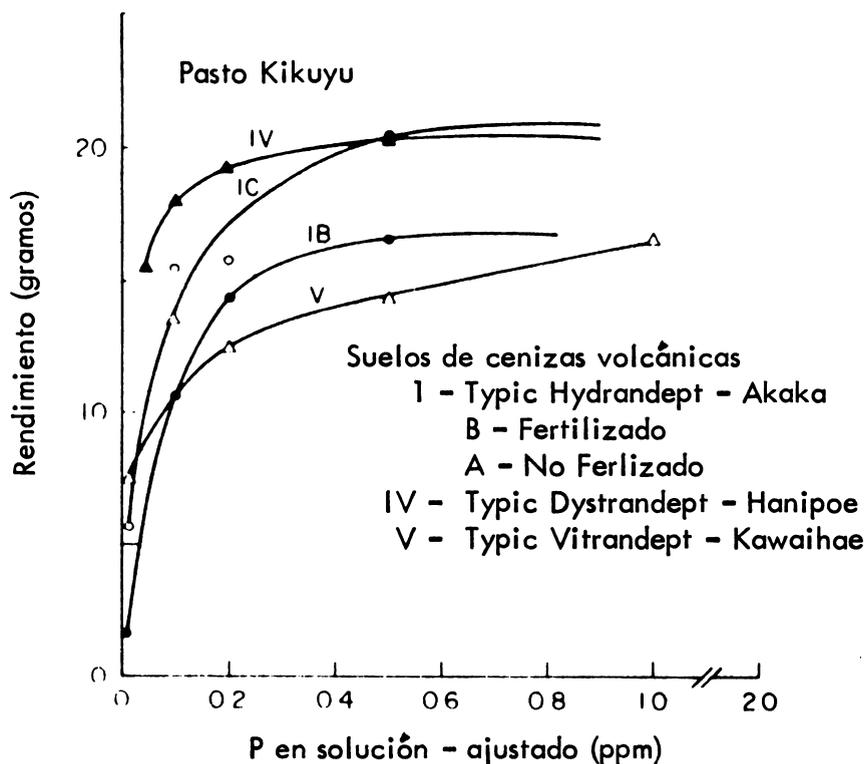


Fig. 8 Rendimiento del Kikuyu en relación con la concentración de fosfato ajustado de las soluciones del suelo. Las isothermas de sorción se dan en la fig. 7.

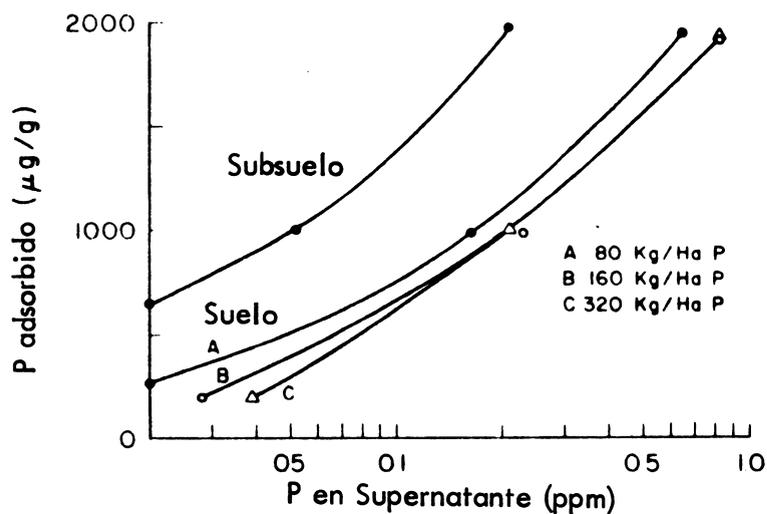


Fig. 9 Sorción de fosfatos en un suelo Honoka (Typic Hydrandept) en relación con la profundidad de la muestra y el tratamiento de fertilización anterior.

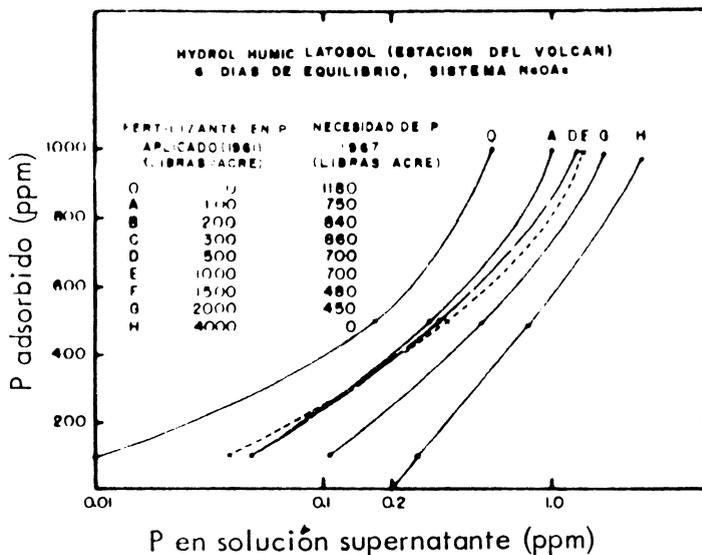


Fig. 10 Adsorción de fósforo en un suelo Puaulu (Typic Hydrandept) en relación con las cantidades de P aplicadas 6 años antes. Este suelo estuvo cubierto con ceniza en 1883 y 1924.

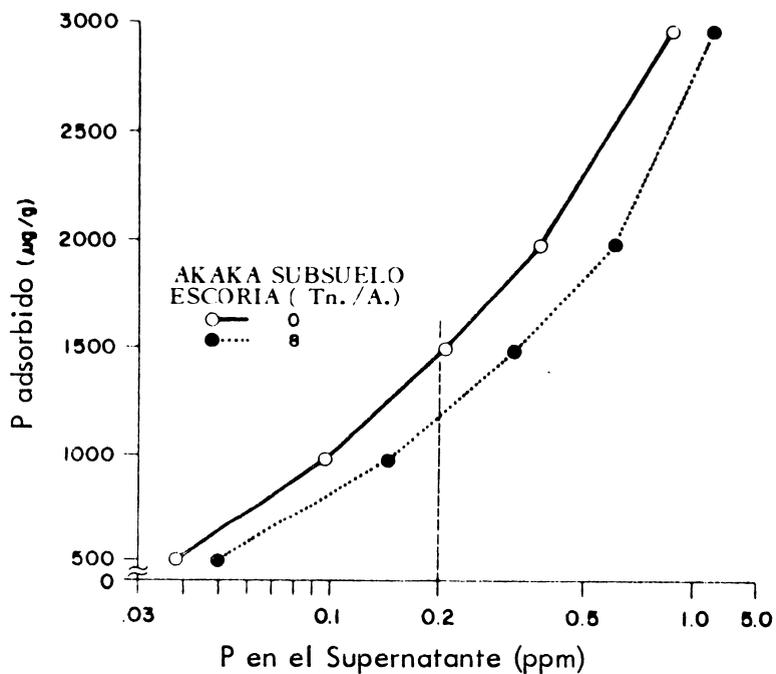
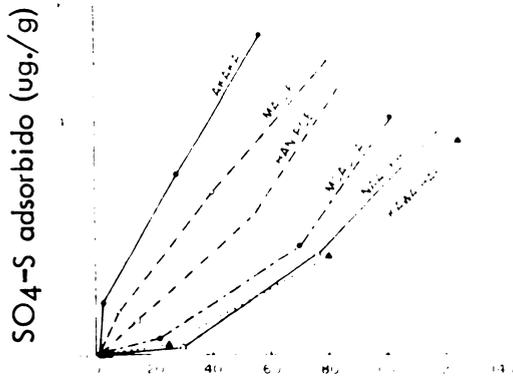
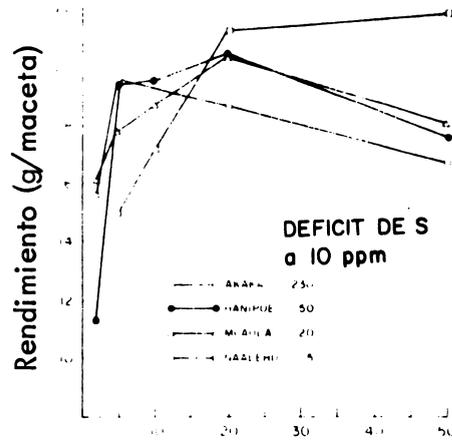


Fig. 11 Influencia de la escoria de silicato de calcio aplicada en la superficie 5 años antes sobre la adsorción de fostatos en un subsuelo Akaka.



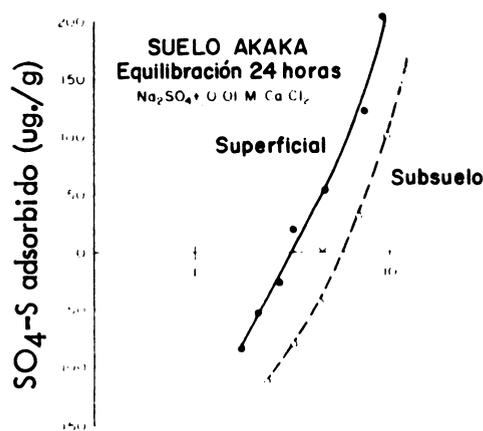
SO₄-S en la solución supernatante (ppm)

Fig. 12 Adsorción de sulfato por suelos de cenizas volcánicas. El orden de adsorción de sulfato concuerda con el orden de meteorización para estos suelos.



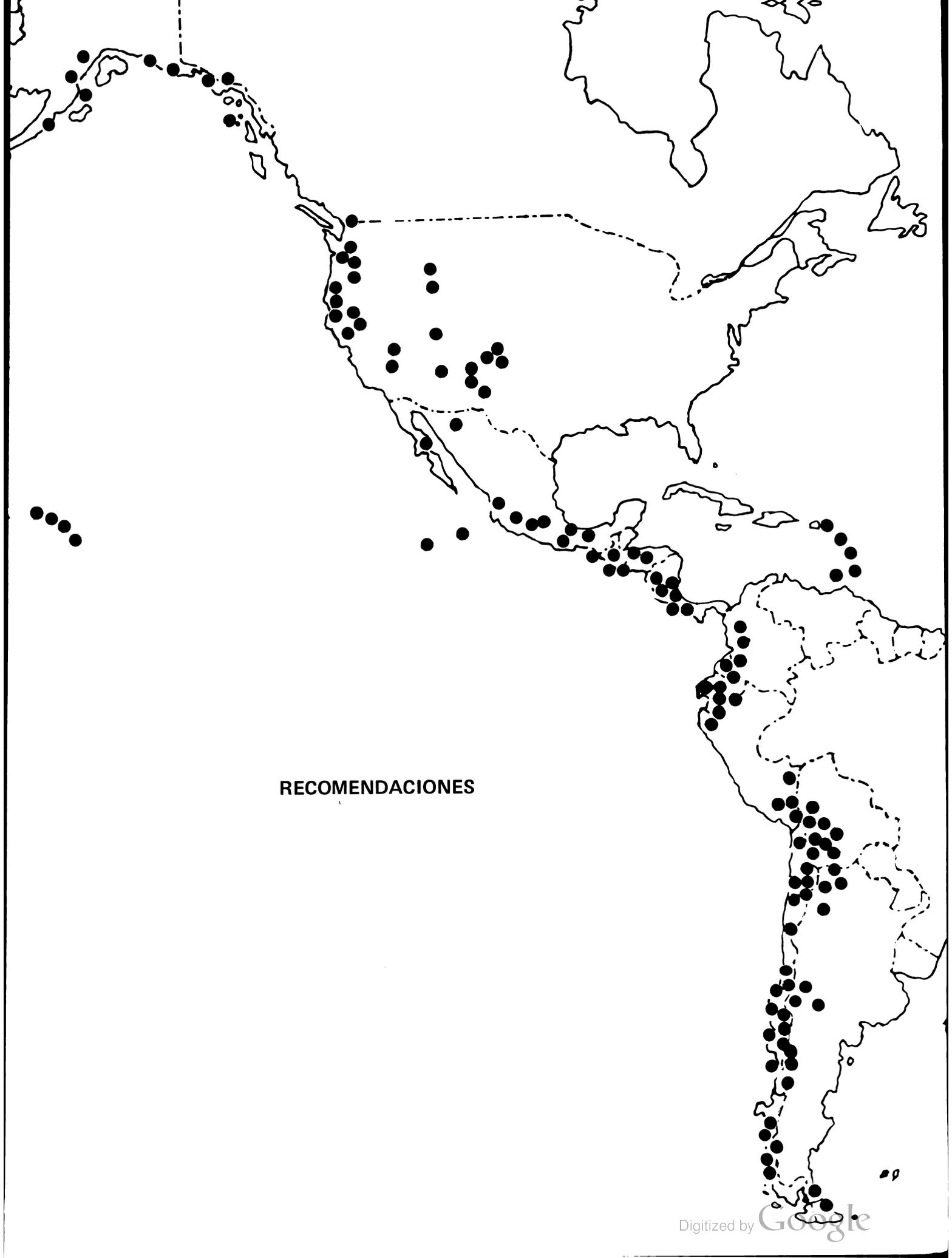
SO₄-S en la solución del suelo (ppm)

Fig. 13 Rendimiento del Kikuyu en relación con cantidades fijadas de sulfato en las soluciones del suelo. Las isothermas de adsorción se presentan en la Fig. 12.



SO₄-S en solución supernatante (ppm)

Fig. 14 Influencia del agotamiento de sulfato sobre la concentración de sulfatos en soluciones equilibradas con suelo Akaka.



RECOMENDACIONES

Los especialistas participantes en el Panel sobre Suelos Derivados de Cenizas Volcánicas de América Latina, tienen la opinión unánime de que los organizadores del mismo han hecho magnífica contribución al progreso en el estudio, uso y manejo de estos suelos al reunir especialistas de diversos campos de las ciencias del suelo para informar acerca de su trabajo.

Los especialistas participantes en el Panel agradecen sinceramente al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, al Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, y a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, quienes han organizado y realizado el Panel.

Agradecen también a las representaciones de países que han hecho ofrecimientos de cooperación. (Ver Anexos: Chile, Perú, Universidad de Oregón—USA).

El Panel, considerando:

- La amplia distribución, la gran importancia agrícola y los numerosos problemas peculiares de los suelos derivados de cenizas volcánicas a lo largo del sistema orogénico del Océano Pacífico, en América Latina, los Estados Unidos de América, y otros países.
- La necesidad e importancia de clasificar y correlacionar los suelos con especial referencia a su uso y manejo,
- La necesidad de la clasificación a nivel internacional para suplementar, pero no reemplazar, los sistemas nacionales de clasificación,
- La importancia de estandarizar métodos para el análisis de las propiedades físicas, químicas y biológicas usando muestras estandarizadas de suelos,
- Lo inadecuado del equipo con que cuentan algunos laboratorios para una caracterización completa de suelos,
- Las peculiaridades de suelos que contienen materiales amorfos o alofanos y las relaciones de éstos con la materia orgánica,
- Las interacciones entre la reacción del suelo con diferentes elementos nutritivos y el aluminio,
- Los problemas de alta lixiviación de cationes en suelos altamente meteorizados,
- El franco afán de cooperación denotado por todos los participantes al Panel,

Recomienda:

Crear un grupo interamericano de trabajo para suelos derivados de cenizas volcánicas y afines, que se encargue de orientar y coordinar los estudios y las investigaciones en estos suelos.

El grupo de trabajo quedó constituido como sigue:

Presidente	<i>H. W. Fassbender</i> (FAO/IICA—CEI)
Zona Norte	<i>N. Aguilera</i> (México) (Canadá, Estados Unidos, México)
Zona Central	<i>R. Molina</i> (El Salvador) (América Central, Panamá, Antillas)

Zona Sur *A. Valdés* (Chile)
(Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Argentina)

El grupo de trabajo debe buscar el apoyo de instituciones internacionales para su financiación integral.

Encomendar a este grupo que promueva trabajo cooperativo en el futuro sobre suelos derivados de cenizas volcánicas y afines de las Américas en ciertas áreas prioritarias tales como:

- clasificación y correlación de suelos
- minerales arcillosos de naturaleza amorfa y/o alofánica y sus relaciones con otros componentes del suelo, especialmente la materia orgánica
- ciclos de la materia orgánica
- relaciones de la materia orgánica, nitrificación, hierro y aluminio
- dinámica de la absorción, movilización y mineralización del nitrógeno del suelo
- disponibilidad y fijación de fosfatos
- definición a nivel de campo, de la fijación de fósforo
- aplicación de encalado e implicaciones en la productividad de los suelos
- estandarización de métodos de análisis físicos y químicos
- curvas y superficies de respuesta a diferentes prácticas de manejo y fertilización

Encomendar al grupo de trabajo, con el apoyo del Centro de Enseñanza e Investigación del IICA, la tarea de recolectar, editar y distribuir información sobre suelos derivados de cenizas volcánicas y afines, en forma rápida e informal, a través de un boletín.

Crear un centro de correlación de suelos para las áreas que no lo tienen y reforzar las organizaciones actuales activas en este campo.

Traducir al español el texto final del U. S. Comprehensive System of Soil Classification (7a. aproximación).

También recomienda:

Usar en la clasificación de suelos derivados de cenizas volcánicas, el U. S. Comprehensive System of Soil Classification (7th Approximation), en su última edición, para clasificación internacional.

Al grupo de trabajo creado, organizar un sistema de intercambio de muestras patrones escogidas de perfiles típicos y métodos estandarizados de análisis de las mismas.

Reforzar la cooperación internacional, para crear y aprovechar las facilidades especiales de laboratorios bien equipados y analizar muestras de suelos procedentes de países donde no se cuenta con esas facilidades.

Fomentar la estandarización de métodos de invernadero y de campo para evaluar el estado de la fertilidad y la necesidad de elementos nutritivos de los suelos.

Establecer a base de cooperación mancomunada, experimentos de campo en suelos derivados de cenizas volcánicas o grupos relacionados con los mismos, en diferentes áreas. Tales experimentos deben ajustarse a un diseño y manejo uniformes y se debe determinar los factores climáticos y edafológicos más importantes.

Preparar una lista estandarizada de determinaciones de propiedades físicas, químicas y mineralógicas de los suelos usados en los experimentos regionales arriba indicados. Esta lista debe incluir:

- pH
- curvas de titulación (capacidad tampón)
- N y materia orgánica
- Capacidad de intercambio catiónico
- K, Ca, Mg, Fe y Al cambiables
- adsorción de fosfatos
- densidad aparente
- densidad de partículas
- curvas de retención de agua
- mineralogía de arcillas

Muestrear separadamente e incluir también el subsuelo para estudios regionales. Se debe hacer una descripción del perfil del suelo, de acuerdo a las guías publicadas por FAO.

Asegurar que los eventos de carácter internacional relacionados con suelos derivados de cenizas volcánicas y afines, cuenten siempre con representantes oficiales de todos los países que tienen esta clase de suelos.

ANEXO 1

Ofrecimiento del Gobierno de Chile

En representación de su país, la delegación chilena ofrece a los miembros de los distintos países aquí representados las facilidades con que cuenta el Departamento de Suelos del Ministerio de Agricultura para que un discreto número de especialistas realicen trabajos de investigación en suelos de cenizas volcánicas en los siguientes campos:

- a. sistemática y clasificación
- b. microbiología
- c. mineralogía de arcillas
- d. micromorfología
- e. química

El gobierno da facilidades para el uso de: laboratorios (equipo y reactivos), biblioteca, movilización, oficina, etc. Los gastos de viaje al país y estadía quedan por cuenta de los interesados u organismos patrocinantes.

Dirección: *Ing. Alberto Valdés F.*
Sucre 2397
Santiago, Chile

ANEXO 2

Ofrecimiento del Perú

La Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) ofrece toda la colaboración, facilidades y suministro de información a los investigadores de los distintos países americanos en materia de recursos naturales, en especial referente a la clasificación y correlación de suelos.

Dirección: *Ing. C. Zamora*
ONERN
Lima, Perú

La Universidad Agraria, La Molina, ofrece las facilidades materiales existentes en el Departamento de Suelos con fines de correlación de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Dirección: *Ing. A. Zavaleta*
Departamento de Suelos
Universidad Agraria, La Molina
Lima, Perú

ANEXO 3

Cooperación de la Universidad Estatal de Oregón

Nos gustaría cooperar en estudios de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Tenemos equipo especializado de análisis por activación de electrones y gustosos suministraremos información sobre nuestros estudios. Estamos interesados en considerar programas de entrenamiento, estudios universitarios o de análisis de muestras con las personas interesadas en estos tipos de investigación.

FE DE ERRATAS

FE DE ERRATAS

Página	Línea	Dice	Debe decir
A.1. 0		E. Valdés	A. Valdés
A.1. 4	13	microbiologícar	micromorfológicos
A.1.10	19	microdina	microclima
A.1.13	1	mincronutrientes	micronutrientes
A.1.14	11	Frutillar ----- 0,97	Frutillar Llanquihue 0,97
A.1.18	26	Días y Roberts	Díaz y Roberts
A.6. 3	7	observa	observan
A.6. 3	18	inceptisoles	inseptisoles
A.6. 3	28	4 a 5	4 a 6
A.6. 4	10	hydral	hydrol
A.6. 6	9	asimilable	asimilable ppm
A.6. 8	72	ARcillas	Arcillas
A.6. 8	56	arcilla 2 m	arcilla 2
A.6. 8	68	arcilla 2 m	arcilla 2
A.6. 8	70	arcilla 2 m	arcilla 2
A.6. 9	2	Prosopic	Prosopis
A.6. 9	2	Opuntia	Opuntia
A.6. 9	29	C ₂ H	2
A.6.10	15	015	0.15
A.6.11	12	SiO ₂ / Al ₂ O ₃	SiO ₂ / Al ₂ O ₃
A.6.11	12	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / Fe ₂ O ₃
A.6.11	12	SiO ₂ / R ₂ O ₃	SiO ₂ / R ₂ O ₃
A.6.11	22	Cuar F x x	Cuar F x x
B.4. 7	9	fosfatos inorgánicos	fosfatos orgánicos
B.7. 2	1	bolcánicos	volcánicos
B.7. 5	15	welldrained	well drained
B.7. 5	31	5:31	5 – 31
B.7. 5	35	MWJIA	MEJIA
C.2. 9	16	, dungun	, Dúngung
C.2. 9	19	FASSBENDER H. Q.	FASSBENDER, H. W.
C.2. 9	30	Phosphalformen undihre Beziehungon	Phosphatformen und ihre Beziehungen
C.3. 6	4	1,2	12
C.3. 6	5	2	20
C.5. 1	13	desierto surtropical	desierto subtropical
C.5. 3	18	los andosoles vítricos constituyen regiones empinadas	Constituyen los andosoles vítricos em- pinados
C.5. 4	4	500 – 600 mm	500 – 600 y 800 mm
C.5. 5	7	la olla del Titicaca	la hoyá del Titicaca

