

SECRETARIA DE AGRICULTURA
Y
RECURSOS HIDRAULICOS
MEXICO

Centro Interamericano de Documentación
e Información Agrícola
11-042-1037
IICA-CIDIA

INSTITUTO INTERAMERICANO
DE
CIENCIAS AGRICOLAS
OEA

2º SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE RIEGO POR GOTEO

ESTADOS DE COAHUILA - DURANGO Y AGUAS CALIENTES - MEXICO
20 - 26 DE JUNIO DE 1977

INFORME FINAL

x d
SERIE INFORMES DE CONFERENCIAS
CURSOS Y REUNIONES Nº 164

BUENOS AIRES
IICA
1978

Digitized by Google

**II SEMINARIO
LATINOAMERICANO SOBRE
RIEGO POR GOTEO**

TOMO I

**DOCUMENTOS INFORMATIVOS, CONCLUSIONES
Y ANEXOS 1 a 10**

**SERIE INFORMES DE CONFERENCIAS
CURSOS Y REUNIONES N° 164**

00000127

CONTENIDO

e inter...

11

IICA - CIDIA

DOCUMENTOS INFORMATIVOS Y CONCLUSIONES

- 1 Información General
- 2 Lista de Participantes
- 3 Programa del Seminario
- 4 Acuerdos, Conclusiones y Recomendaciones
- 5 Palabras del Dr. José Emilio Araujo, Director General del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - OEA, en la Ceremonia de Inauguración.

TEJOS

- Tejo 1 Predicción de Incrustación en Equipos de Riego por Goteo
- Tejo 2 Investigación de Dosificadores de Soluciones para Equipos de Riego por Goteo
- Tejo 3 Evaluación del Coeficiente de Uniformidad de Goteros en Líneas Regantes
- Tejo 4 La Selección de un Sistema de Riego por Goteo
- Tejo 5 Estudio de Funcionamiento Hidráulico de Goteros
- Tejo 6 Determinación del Factor "K" de la Evaporación para estimar los requerimientos de agua del Cultivo de Maíz bajo Riego por Goteo, en el Valle del Río Yaqui, Sonora
- Tejo 7 Estudio de Líneas Regantes en Riego por Goteo
- Tejo 8 Uso de Computadoras en el Diseño Hidráulico de Sistemas de Riego por Goteo
- Tejo 9 Operación y Manejo de los Equipos de Riego por Goteo
- Tejo 10 Formulación de la eficiencia de Lavado y Desalinización de suelos con Riego por Goteo
- Tejo 11 Absorción Radical Extraedáfica: Un nuevo enfoque de la fertilización y su aplicabilidad al Riego por Goteo
- Tejo 12 Ensayo Comparativo de Métodos de Riego en Vid, Variedad Cereza
- Tejo 13 Determinación del Factor "K" de la Evaporación para estimar los requerimientos de agua del cultivo de jitomate bajo riego por goteo, en el Valle del Río Yaqui, Sonora
- Tejo 14 El Cultivo de la Vid irrigado por Goteo en la Comarca Lagunera

- Anexo 15 Manejo de un Sistema de Riego por Goteo en Vid, en la Comarca Lagunera
- Anexo 16 Evolución de la Investigación en Lechuga (*Lactuca Satiya* L.) utilizando el Método de Riego por Goteo en la Región Lagunera
- Anexo 17 Resultado de Pruebas de Riego, Poda, Conducción y Variedades en Cultivo de Tomate bajo Riego por Goteo en la Región Lagunera, Coahuila y Durango, México
- Anexo 18 Estudio de Poblaciones, Frecuencias y Láminas de Riego en el Cultivo de Melón, utilizando Riego por Goteo
- Anexo 19 Desarrollo del Riego por Goteo en el Estado de Aguascalientes
- Anexo 20 Proyecto, Instalación, Operación y Resultados del Sistema del Riego por Goteo, del Ejido Colectivo de Calvillo, Aguascalientes
- Anexo 21 La Aplicación del Riego por Goteo, como una Solución Política y Económica en los Países Subdesarrollados
- Anexo 22 Comparação dos Metodos de Irrigação por Sulco e Gotejo na Cultura do Melão do Vale do São Francisco

ACTO OFICIAL DE INAUGURACION DEL II SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE RIEGO POR GOTEO



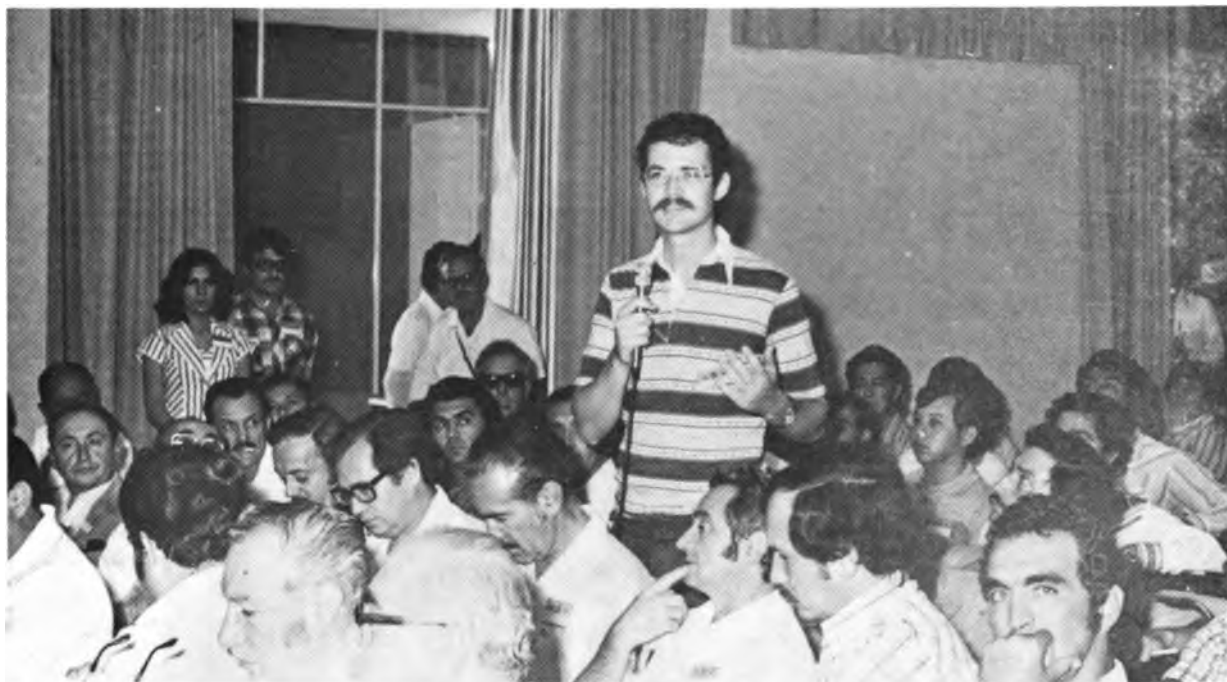
El Ing. Benjamín Ortega Cantero, Subsecretario de Agricultura y Operación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México (SARH), declarando inaugurado el Seminario en representación del Sr. Licenciado José López Portillo, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos.



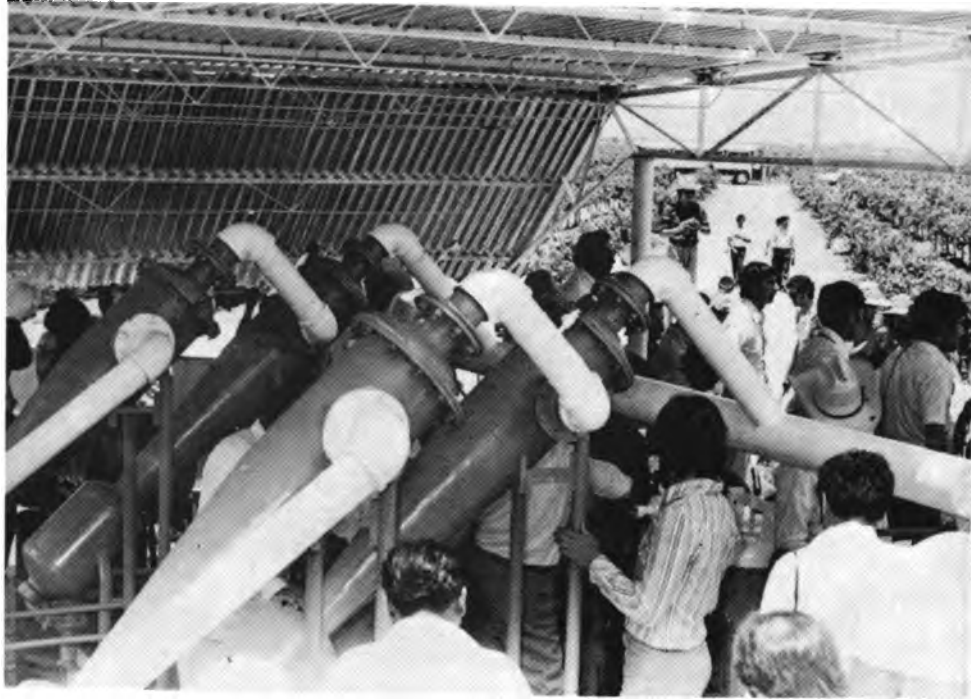
Director General del IICA, Dr. José Emilio G. Araujo, haciendo uso de la palabra en el Acto Oficial de Inauguración del Seminario. Lo acompañan, entre otros, Dr. Héctor Mayagoitia Dominguez, Gobernador del Estado de Durango; el Ing. Benjamín Ortega Cantero, Subsecretario de Agricultura y Operación de la SARH; el Sr. Luis A. León Estrada, Director General de Distritos de Riego de la SARH; el Sr. Abelardo Amaya Brondo, Presidente del Colegio de Ingenieros Agrónomos de México; el Dr. Eduardo Alvarez Luna, Director de Investigaciones Agrícolas de México y el Dr. Humberto Rosado, Director de la Oficina del IICA en México.



El Ing. José C. Salas Fonseca, Subdirector de la Comisión de Riego del Valle del Tempisque, Costa Rica, presidiendo una de las sesiones de trabajo. Lo acompañan los Secretarios del Seminario, Ings. Agustín Merea Canelo y Tomás Valenzuela Ruiz, Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas del IICA y Jefe del Departamento de Ingeniería de Riego y Drenaje de la SARH, México, respectivamente.



El Ing. Fedro Zazueta Ranahan, Jefe del Laboratorio de Térmica Integral y Prof. Investigador del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, haciendo uso de la palabra en una de las sesiones de trabajo del Seminario.



Filtros para sedimentos incorporados a las instalaciones de captación de aguas subterráneas para riego por goteo en el predio de la Cía. Vinícola El Vergel.



El Ing. Alonso Pasos Ramirez, Representante de la Secretaría de Estado de Agricultura y Recursos Hidráulicos en la Región Lagunera (Estados de Coahuila y Durango), clausurando el Seminario.



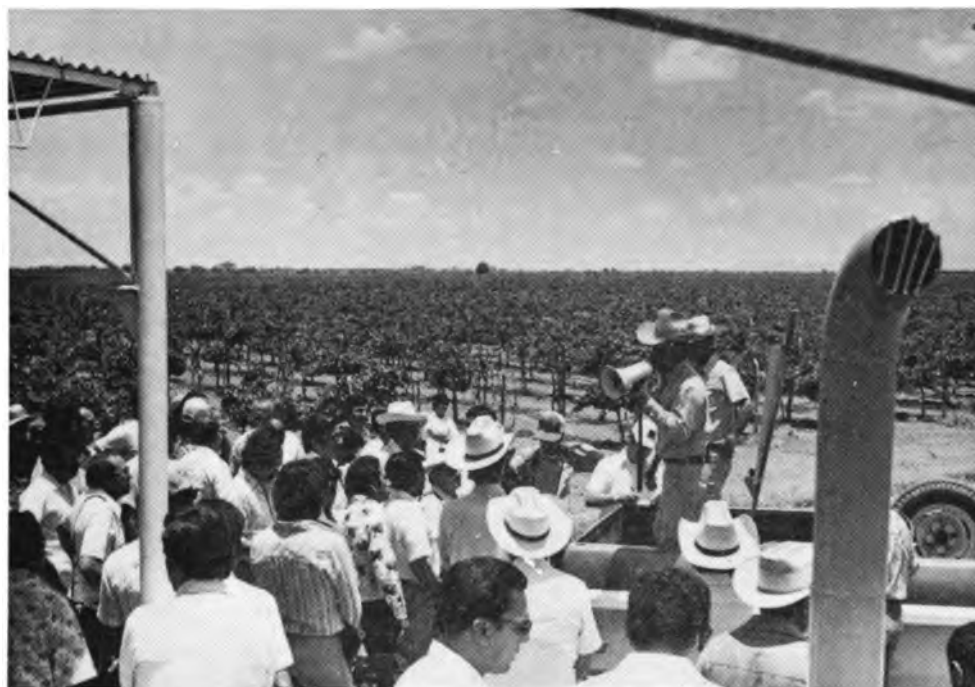
Participantes en el Seminario reunidos frente a la Sala de Actuaciones del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México, CENAMAR, que sirviera de sede a las reuniones de trabajo.



El Dr. Jaime Leal Díaz, Catedrático-Investigador de Uso y Conservación del Agua y Director de la Carrera de Ingenieros Agrónomos en Producción Agropecuaria del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México, exponiendo su trabajo sobre "Operación y Manejo de los Equipos de Riego por Goteo".



Participantes en el Seminario observando uno de los experimentos sobre riego por goteo que se desarrollan en el Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México (CENAMAR)



Participantes en el Seminario recibiendo explicaciones de la aplicación de riego por goteo en un campo de vid.

A. DOCUMENTOS INFORMATIVOS Y CONCLUSIONES

INFORMACION GENERAL

El II Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo, organizado por el Programa de Conservación y Manejo de Tierras y Aguas (Programa V.2) del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas-OEA (IICA), se celebró en México (Estados de Coahuila, Durango y Aguas Calientes), del 20 al 26 de junio de 1977, con el auspicio oficial y colaboración del Gobierno Mexicano a través de su Secretaría de Estado de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH).

Objetivos

Los objetivos de la reunión fueron los siguientes:

1. Reforzar el conocimiento y análisis, con apoyo en la experiencia de México y otros países latinoamericanos, de las ventajas y limitaciones del método de riego por goteo como alternativa para impulsar el desarrollo agrícola bajo riego en zonas con limitaciones de agua y suelo en cantidad y calidad.
2. Mejorar los niveles de conocimiento en diseño, cálculo, instalación, operación y mantenimiento de equipos de riego por goteo.
3. Favorecer el mutuo conocimiento e intercambio de experiencias entre los técnicos latinoamericanos responsables del desarrollo del riego en sus países.
4. Identificar las barreras de diverso orden, que habría que remover para facilitar un vigoroso inicio de la experimentación y consecuente difusión del método de riego por goteo.

Participantes

Invitados por intermedio de las Oficinas Nacionales del IICA y conjuntamente por la SARH y el IICA en el caso del país sede, participaron en el Seminario técnicos de alto nivel al servicio de instituciones públicas y privadas con responsabilidades en el desarrollo del riego en la Argentina, Bolivia, Brasil, Costa Rica, Guatemala, Honduras, Jamaica, México y Panamá. Participaron también, en representación del IICA, especialistas de su Programa de Conservación y Manejo de Tierras y Aguas con sedes en la Argentina, Brasil, Chile, Honduras y Panamá.

Documento A-1

Pag. 2

Tal como se hace constar oportunamente, el Seminario vio realizada sus sesiones de inauguración y clausura con la participación de altas autoridades del Gobierno de la República de México y del IICA.

Programa

Tal como puede apreciarse en el Documento A-3 de este Informe Final, el Programa del Seminario comprendió las siguientes tres instancias:

1. Sesiones formales de trabajo que, comprendiendo las ceremonias de inauguración y clausura, se desarrollaron entre los días 20, 21 y 24 de junio. En las mismas, se expusieron un total de trabajos, con apoyo en cuya consideración y debate se emitieron los acuerdos, conclusiones y recomendaciones del Seminario que pueden apreciarse en el Documento A-4 de este Informe.
2. Recorridos de campo, en los días 22 y 23 de junio, para la apreciación y análisis de aplicaciones de riego por goteo en predios públicos y privados ubicados en los Estados de Coahuila y Durango.
3. Recorridos de campo optativos que, contando con la participación del total de técnicos extranjeros y un selecto grupo de técnicos mexicanos, se realizaron entre los días 25 y 26 de junio visitando instalaciones de riego por goteo en diferentes predios del Estado de Aguas Calientes, estado este que registra la mayor superficie bajo riego por goteo de México.

Los detalles del programa reseñado fueron oportunamente coordinados entre la SARH y el IICA, incluyendo los trabajos que fueron expuestos por técnicos de la Argentina, Brasil y México, países que registran promisorias experiencias a nivel experimental y comercial sobre riego por goteo. Oportunamente también, en ocasión de las invitaciones que se cursaran para participar en el Seminario, se hizo conocer un detalle preliminar del programa que nos ocupa.

Sesión Inaugural

La sesión de inauguración se llevó a cabo en el Auditorio del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México (CENAMAR), ubicado en el Municipio de Gomez Palacio, Estado de Durango.

Presidió el acto el Ing. Benjamín Ortega Cantero, Subsecretario de Agricultura y Operación de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos,

en representación del Licenciado José Lopez Portillo, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Estuvo acompañado por el Gobernador del Estado de Durango, Dr. Héctor Mayagoitia Dominguez; el Director General del IICA, Dr. José Emilio G. Araujo; el Director de la Oficina del IICA en México, Dr. Humberto Rosado; el Presidente del Colegio de Ingenieros Agrónomos de México, Ing. Abelardo Amaya Brondo; el Director de Investigaciones Agrícolas de México, Dr. Eduardo Alvarez Luna; los Presidentes Municipales de las ciudades de Torreón, Gomez Palacio y Lerdo, señores Francisco J. Madero, Carlos Herrera y Basilio Ramirez, respectivamente; el Director General de Distritos de Riego de la SARH, Ing. Luis A. León Estrada; el Representante Regional de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Ing. Alonso Pasos Ramirez y otros más.

El Dr. José Emilio G. Araujo inició el acto haciendo una amplia exposición sobre la situación agrícola en América Latina, señalando, entre otros aspectos, que su área actualmente cultivada es de aproximadamente 160 millones de hectáreas, de las que poco más de 11 millones se cultivan bajo riego, lo que representa sólo el 7% del total cultivado, correspondiendo a México 5 millones de hectáreas del área total bajo riego puntualizada.

Continuó diciendo el Dr. Araujo que las áreas bajo riego tienen mayores rendimientos y sus resultados son altamente positivos, mientras que las áreas de temporal o secano están por lo general expuestas a los problemas que se derivan de exceso de lluvias o sequías. Enseguida, hizo hincapié en las perspectivas del riego por goteo, como una nueva tecnología que marca y abre promisorios caminos para aumentar la producción y la productividad agrícola con sensible economía en el uso de un recurso escaso como el agua, lo que puede favorecer, fundamentalmente, la satisfacción de la cada vez mayor demanda de alimentos que registra la creciente población latinoamericana. Terminó, agradeciendo en nombre del IICA la muy valiosa colaboración recibida del Gobierno de la República de México para la organización y desarrollo del Seminario, expresando finalmente su seguridad, teniendo en cuenta la capacidad técnica y experiencia de los profesionales del país sede y demás países representados, que se alcanzarían plenamente los objetivos fijados al mismo.

A continuación del Dr. Araujo, hizo uso de la palabra el Dr. Héctor Mayagoitia Dominguez, Gobernador del Estado de Durango, quién felicitó al IICA por el acierto tenido en la organización del Seminario, deseando a los participantes, extranjeros y nacionales, una grata estadía en el Estado de Durango y un cumplido éxito en el logro de los objetivos perseguidos.

En último término, hizo uso de la palabra el Ing. Benjamín Ortega Cantero, Subsecretario de Agricultura y Operación de la SARH, Después de señalar la satisfacción del Gobierno de México por servir de sede a tan importante Reunión,

Documento A-1

Pag. 4

expresar sus saludos y mejores deseos por una grata permanencia en el país a los distinguidos participantes extranjeros y representantes del IICA, destacó, entre otras consideraciones, la singular relevancia que el Gobierno Mexicano concede al problema del uso y aplicación del agua en la agricultura y al hecho de que el urgente aumento de la producción no debe descansar únicamente en el incremento del área agrícola sino también en el uso de nuevas y mejores técnicas, entre las que identificó la de riego por goteo, expresando la seguridad de que muchos de los problemas que afectan el mejor desarrollo de la producción agrícola mexicana son comunes a la mayor parte de los restantes países latinoamericanos, por lo que, abrigaba la esperanza de que el conocimiento de las realizaciones mexicanas en la materia del Seminario pudieran ser útiles a los países hermanos representados en el mismo.

El Ing. Ortega Cantero, terminó su exposición haciendo votos por el cumplido logro de los objetivos perseguidos por el Seminario y declarando inaugurado oficialmente el mismo, con la salvedad de que dicha declaración la hacía por expresa delegación recibida del señor Licenciado José Lopez Portillo, Presidente Constitucional de los Estados Unidos Mexicanos.

Sesiones de Trabajo

Con sede también en el Auditorio de CENAMAR y muy ligeras variantes en el orden de presentación de los trabajos previstos, las sesiones de trabajo se realizaron en un todo de acuerdo al Programa Oficial del Seminario que puede apreciarse en el Documento A-3 de este Informe.

Las sesiones de trabajo fueron presididas alternativamente por técnicos de cada uno de los 9 países representados, actuando como secretarios permanentes los Ingenieros Tomás Valenzuela Ruiz y Agustín Merea Canelo, Jefe del Departamento de Irrigación y Drenaje (IDRYD) de la SARH de México y Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas del IICA, respectivamente.

De acuerdo al Programa del Seminario, los Ingenieros Merea Canelo y Valenzuela Ruiz dieron inicio a las sesiones de trabajo exponiendo los informes de secretaría previstos, absolviendo las consultas que les fueran formuladas, en especial en lo referente a las condiciones generales en que se desarrollaría el Seminario.

Terminadas las exposiciones de secretaría reseñadas, se procedió a la exposición de los trabajos oficialmente programados. Los expositores, en la generalidad de los casos, complementaron sus presentaciones con ayudas visuales y la distribución de resúmenes escritos de los trabajos, absolviendo, en la instancia pertinente, las consultas y solicitudes de aclaración que les fueran formuladas. Sin excepción, los trabajos expuestos se incluyen como Anexos del presente Informe.

Los consensos obtenidos en los intercambios de criterios tenidos en el transcurso de las sesiones de trabajo sirvieron de base para que los secretarios y coordinadores de la Reunión, Ings. Valenzuela Ruiz y Merea Canelo, formularan en proyecto de Acuerdos, Conclusiones y Recomendaciones del Seminario, el cual, con muy ligeras variantes, fue aprobado por los participantes en la instancia pertinente de la última sesión de trabajo programada. Dichos acuerdos, Conclusiones y Recomendaciones, pueden apreciarse en el Documento A-4.

Sesión de Clausura

El Seminario se clausuró a las 19 horas del 24 de junio. En el acto pertinente, hicieron uso de la palabra el Ing. Agustín Merea Canelo, por el IICA y el Ing. Alonso H. Pasos Ramirez, Representante General de la SARH en la Comarca Lagunera de Coahuila-Durango, en representación del Superior Gobierno de México.

En representación de los participantes extranjeros, agradeciendo, tanto a las autoridades y funcionarios mexicanos por las gentiles atenciones recibidas, como al IICA por la cumplida organización y desarrollo del Seminario, habló el Profesor Ing. León Nijensohn, Director del Instituto de Suelos y Riego y Profesor Titular en la Cátedra de Edafología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, República Argentina.

Jornadas de Campo

Como se adelantara, de conformidad con el Programa Oficial del Seminario, se realizaron dos series de visitas de campo.

En la primera, de carácter formal, realizada entre los días 22 y 23 de junio, se visitaron diferentes propiedades agrícolas, ubicadas en la Comarca Lagunera de los Estados de Coahuila y Durango, donde los participantes pudieron apreciar en detalle aplicaciones del riego por goteo a nivel experimental y comercial para cultivos tales como nogal, vid, palma datilera, melón, sandía y tomate. Entre las diferentes visitas, merecen destacarse, por una parte, la efectuada al área agrícola de CENAMAR, donde pudo apreciarse el avance logrado por los técnicos mexicanos en la experimentación de la aplicación del riego por goteo a una serie de cultivos de gran respuesta económica y, por otra, a los campos de propiedad de la Compañía Vinícola El Vergel, donde actualmente se encuentran implantadas más de 250 hectáreas de vid exclusivamente regadas por riego por goteo.

Documento A-1

Pag. 6

La segunda serie de visitas, de carácter optativo, se realizó entre los días 25 y 26 de junio a diferentes predios ubicados en el Estado de Aguas Calientes, jurisdicción política donde se registra la mayor área cultivada bajo riego por goteo en México. Los cultivos observados fueron durazno, vid, higuera, almendro, nogal, guayaba, aguacate y toronja, destacándose la solución dada en el Ejido Calvillo al riego por goteo de más de 300 hectáreas de guayaba en tierras de un relieve accidentado y somero perfil útil.

Sin lugar a dudas, las visitas reseñadas fueron un muy eficaz complemento a la exposición y difusión del Seminario. En todas ellas, los participantes recibieron detalladas explicaciones de los técnicos responsables del manejo de los respectivos predios, complementados con resúmenes escritos de los criterios seguidos en el diseño, instalación, operación y mantenimiento de los equipos de riego por goteo pertinentes.

En relación con las visitas efectuadas en el Estado de Aguas Calientes, cabe destacar que los participantes fueron recibidos por el Sr. Gobernador del Estado, Profesor J. Refugio Esparza Reyes, quien brindó una amplia exposición sobre la problemática agrícola de la importante jurisdicción a su cargo.

Exposición de Equipos de Riego por Goteo

Con la gentil colaboración de las firmas industriales Plásticos Rex S.A., Goterros ISPSA; Riegos Modernos S.A. y Sistemas y Servicios Agrícolas S.R.L. (ETERNOMATIC), de la República de México, se instaló en CENAMAR, sede de las sesiones de trabajo del Seminario, una muy completa muestra-exposición de los equipos y accesorios de riego por goteo fabricados por dichas importantes firmas. Al visitarla, los participantes recibieron una muy completa información oral y escrita sobre los fundamentos, características y costos de dichos equipos.

Agasajos

En diferentes instancias del Seminario, los participantes en el mismo fueron agasajados con cocktails y cenas ofrecidas tanto por la Secretaría de Estado de Agricultura y Recursos Hidráulicos de México como por las autoridades gubernamentales.

También, en las jornadas de campo realizadas, los participantes fueron agasajados con almuerzos típicos ofrecidos por los propietarios de las fincas visitadas.

LISTA DE PARTICIPANTES

I. Argentina

1. Prof. Ing. Agr. León Nijensohn S.
Director del Instituto de Suelos y Riegos de la Facultad de Agronomía
de la Universidad Nacional de Cuyo
Huarpes 2162
Mendoza, Argentina
2. Ing. Agr. Mario J.C. Oriolani
Investigador en Hidrología Agrícola Estación Experimental Agropecuaria
Regional Mendoza - INTA
Casilla de Correo N° 3, Luján de Cuyo
Mendoza, Argentina
3. Ing. Agr. Juan J. de Lillo C.
Técnico encargado Estación Experimental Agropecuaria Trelew-INTA
Bolivia 93, Trelew
Chubut, Argentina

II. Bolivia

4. Ing. Agr. Francisco Gomez Guarayo
Jefe de Manejo de Aguas del Sistema de Riego N° 1,
Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios.
Esteban Arce 1361 SUD-22030
Cochabamba, Bolivia

III. Brasil

5. Ing. Agr. Delmar Marchetti B.
Jefe del Departamento Técnico Científico - EMBRAPA
Edificio Benencio 2000 9°Andar, Sala 903
Brasilia, Brasil
6. Dr. Fernando A. Olitta L.
Profesor Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz
Caixa Postal 9 Z.P. 13400 Piracicaba
San Pablo, Brasil
7. Ing. Agr. Avelino Costalonga
Asistente do Director da Area Técnica - CODEVASF
Edificio Central Brasilia 2° Andar SBN
Brasilia, Brasil

Documento A-2

Pag. 2

IV. Costa Rica

8. Ing. Agr. Carlos A. Chavez F.
Director del Proyecto de Riego del Río Itiquis, Ministerio de
Agricultura y Ganadería
1^o Avenida Central y Tercera
San José, Costa Rica
9. Ing. José C. Salas Fonseca
Subdirector de la Comisión de Riego del Valle de Tempisque-CODEINTE
Apartado Postal 936
San José, Costa Rica

V. Guatemala

10. Ing. Agr. Oslec Rojas Pineda
Director de Recursos Naturales Renovables del Ministerio de Agricultura
7^o Avenida 12-90 Zona 13
Guatemala, Guatemala
11. Ing. Agr. Bladimiro Villeda S.
Jefe Región Agrícola N^o 7, Zacapa, Ministerio de Agricultura
Zacapa, Guatemala

VI. Honduras

12. Ing. Agr. Hugo E. Elvir Castillo
Director de la Unidad de Recursos Hídricos del Ministerio de Recursos
Naturales
Blvd. Centro América
Tegucigalpa, Distrito Central, Honduras
13. Ing. Agr. Melvin Lopez Rivero
Jefe Dpto. de Riego del Ministerio de Recursos Naturales
Blvd. Miraflores, Tegucigalpa, D.C.
Francisco Morza, Honduras
14. Ing. Agr. Iván Madrid Orellana
Subdirector Operaciones Agrícolas Ministerio de Recursos Naturales
Blvd. Miraflores, Tegucigalpa, D.C.
Francisco Morzan, Honduras

VII. Jamaica

15. Ing. Jonathan E. Pusey
Head of Engineering Branch, Ministry of Agriculture
Hope Gardens, Kingston
Kingston, Jamaica

VIII. Panamá

16. Ing. Agr. Efraín Alvarez Velarde
Director Nacional de Ingeniería Rural, Ministerio de Desarrollo
Agropecuario
Apartado 4668
Panamá 5, Panamá
17. Ing. Agr. Valentín Caicedo C.
Jefe Distritos de Riego, Ministerio de Desarrollo Agropecuario
MIDA-Santiago de Veraguas, República de Panamá

IX. México

18. Ing. Benjamín Ortega Cantero
Subsecretario de Agricultura y Operación
Reforma N° 69
México D.F., México
19. Dr. Héctor Mayagoitia Dominguez
Gobernador Constitucional del Estado de Durango
Palacio Municipal, Domicilio Conocido
Torreón, Coahuila
20. Ing. Abelardo Amaya Brondo
Presidente del Colegio de Ingenieros Agrónomos de México
Reforma N° 69-14 piso
México D.F.
21. Sr. Francisco José Madero Gonzalez
Presidente Municipal de Torreón,
Palacio Municipal, Domicilio Conocido
Torreón, Coahuila
22. Sr. Carlos Herrera Araluce
Presidente Municipal de Gómez Palacio
Independencia 3 nte.
Gómez Palacio, Durango

Documento A-2

Pag. 4

23. Dr. Basilio Ramirez Flores
Presidente Municipal de Comodoro Lerdo
Fco. Sarabia N° 3 pte.
Ciudad Lerdo, Durango
24. Sr. Felipe Reynoso Jimenez
Presidente Municipal de Aguascalientes,
Palacio Municipal, domicilio conocido
Aguas calientes, Ags.
25. Sr. Raúl Martinez
Presidente Municipal de Calvillo
Palacio Municipal, domicilio conocido
Aguas calientes, Ags
26. Ing. Luis Antonio León Estrada
Director General de Distritos de Riego, SARH
Reforma N° 69, 2° piso
México D.F.
27. Ing. Anatolio Lobato Romano
Subdirector General de Distritos de Riego, SARH
Reforma N° 69, 2° piso
México D.F.
28. Dr. Eduardo Alvarez Luna
Director del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, SAG
Arcos de Belem N° 79, 9° piso
México 1, D.F.
29. Ing. Américo Villarreal G.
Director General de Obras Hidráulicas para el Desarrollo Rural, SARH
Reforma N° 69, 7° piso
México D.F.
30. Ing. Antulio Piña Dávalos
Director de Estudios Específicos, Dirección Gral. de Obras Hidráulicas
para el Desarrollo Rural, SARH
Plaza de la República, N° 31, 1er. piso
México D.F.
31. Dr. Jesús Moncada
Director del Centro de Investigaciones Agrícolas del Noreste (CIANE)
Apdo Postal 247,
Torreón, Coahuila

Documento A-2

Pag. 6

42. Ing. José Rosete Ponce
Jefe del Distrito de Riego N° 17, SARH
Madero Nte. 385
Ciudad Lerdo, Durango
43. Ing. Francisco Caceres Kantun
Jefe del Distrito de Riego N° 48 , SARH
Km 19 carr Muna-Ticul
Apdo. Postal N° 6
Ticul, Yucatán
44. Ing. Francisco Maldonado Pulido
Jefe del Distrito de Riego N° 01, SARH
Plutarco Elías Calles N° 32 Pabellón
Aguascalientes
45. Ing. Antonio Velasco Ramirez
Jefe del Distrito de Riego N° 11, SARH
Ave Irrigación, sin número
46. Ing. Francisco Javier Parra Acosta
Jefe del Distrito de Riego N° 85, SARH
Ave. Irrigación, Sin Celaya, Gto.
47. Ing. Adalberto Terrazas Payan
Jefe del Distrito de Riego N° 05, SARH
Ave. Central y del Parque,
Delicias, Chih.
48. Ing. Teodoro Puga Jacobo
Jefe del Distrito de Riego N° 23, SARH
Hidalgo 36, San Juan del Río Queretaro
49. Ing. Primitivo A. Macias Marquez
Jefe del Distrito de Riego N° 81, SARH
MonteCristo N° 1
Campeche, Camp.
50. Ing. Sergio Sandoval Salazar
Jefe del Distrito de Riego N° 34, SARH
Ave. Torreón N° 505, CD Zacatecas,
51. Ing. Francisco Rascon Reyes
Jefe del Distrito de Riego N° 52, SARH
5 de febrero ote. N° 218
Durango, Dgo.

32. Ing. José Alberto Cenicerros
Director de la Escuela Superior de Agricultura y Zootecnia "Venecia"
Venecia, Municipio de Gómez Palacio, Durango
33. Ing. Alonso Pasos Ramirez
Representante de la SARH en la Región Lagunera
Maderonte 385,
Ciudad Lerdo, Durango
34. Ing. Eliasib Gonzalez Luna
Representante de la SARH en el Estado de Durango
5 de febrero 218
Durango
35. Ing. Carlos Tapia Fonseca
Representante de la SARH en el Estado de Coahuila
Constitución 2045
Saltillo, Coahuila
36. Ing. Salvador Felix Espinosa
Representante de la SARH en el Estado de Aguascalientes
Circunvalación 2202
Aguascalientes, Ags.
37. Ing. Enrique Fernandez Barragan
Gerente General del Banco de Crédito Rural
Morelos N° 947
Torreón, Coahuila
38. Ing. Porfirio Isasi de la Garza
Representante Adjunto de la SARH en el Estado de Chihuahua
Tercera y Ojinaga,
Chihuahua
39. Ing. Javier Perez Ayuso
Representante Adjunto de la SARH en el Estado de Yucatán
59 N° 442
Mérida, Yucatán
40. Ing. Salvador Perches Estrada
Representante Adjunto de la SARH en la Región Lagunera
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
41. Ing. Luis Zierold Mendez
Subdirector General de URDERAL, SARH
Reforma N° 69,
México D.F.

52. Ing. Roberto Cazares Aguilar
Jefe de la Oficina de IDRYD
Distrito de Riego N° 17
Madero Nte. 385
Ciudad Lerdo, Durango
53. Ing. José Luis Frías Mercado
Investigador en el Laboratorio de Hidráulica del CENAMAR, SARH
Madero Nte. 385
Ciudad Lerdo, Durango
54. Ing. Fedro Zazueta Ranahan
Jefe de Laboratorio Integral de Térmica Instituto Tecnológico y de
Estudios Superiores de Monterrey
Domicilio Conocido
Monterrey N.L.
55. Dr. Javier Mario Santillan Medrano
Jefe del Depto. de Riego y Drenaje
Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"
Col Buenavista, Saltillo, Coahuila
56. Ing. Jesús Sepúlveda Mejía
Investigador en el Depto. de Riego y Drenaje
Universidad Autónoma Agrar "Antonio Narro"
Col. Buenavista, Saltillo, Coahuila
57. Ing. Manuel A. Escobar A.
Jefe del Laboratorio de Hidráulica del CENAMAR, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
58. Ing. Apolinar Obregon Villanueva
Investigador de la Sección de Sistemas de Riego a Presión CENAMAR, SARH
Madero Nte N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
59. Ing. y M.C. Efren Peña Peña
Director del CENAMAR, SARH
Madero Nte. 385
Ciudad Lerdo, Durango
60. Dr. Jaime Leal Diaz
Director de la Carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción Agropecuaria
del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey
Av. Eugenio Garza Sada
Monterrey, N.L.

Documento A-2

Pag. 8

61. Ing. Jorge Vizcaino Valenzuela
Auxiliar, de la Oficina de Ingeniería de Riego y Drenaje, SARH
Distrito de Riego N° 41, Río Yaquf, Son
Hidalgo y Sinaloa
Cd. Obregón, Son.
62. Ing. Saúl de los Santos Valadez
Encargado del Programa de Asistencia Técnica en Riego por Goteo, para
Plantaciones Comerciales en la Región Lagunera, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
63. Ing. Javier Robles Puga
Técnico en Viticultura de la Cía Vinícola del Vergel, S.A.
El Vergel, Durango
64. Ing. Leopoldo Moreno Díaz
Jefe de la Sección de Métodos de Riego a Presión CENAMAR, SARH
Chihuahua 14 Ote.
Ciudad Lerdo, Durango
65. Ing. Raúl Barraza Cazares
Sección de Asistencia Técnica en Riego por Goteo, SARH
Distrito de Riego N° 17, Región Lagunera
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
66. Ing. y M.C. Felipe Vazquez Mancinas
Jefe de la Sección Métodos Especiales de Cultivo CENAMAR, SARH
Madero N° 385 Nte
Ciudad Lerdo, Durango
67. Ing. Carol Rojas Valdez
Jefe de Campo del CENAMAR, SARH
Madero Nte N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
68. Ing. Efrén Peña Aguirre
Técnico de la Sección de las Obras de Infraestructura de la Subge-
rencia de Desarrollo del Banco de Crédito Rural de Occidente, S.A.
Pedro Moreno N° 1490
Guadalajara, Jal.
69. Sr. Howard F. Klein
Presidente de la Compañía RID, S.A. (Investigación Internacional para
el Desarrollo, S.A.)
Amberes N° 4,
México 6, D.F.

70. Ing. Porfirio Solano Parra
Jefe de la Oficina de IDRYD, SARH
Distrito de Riego N° 51
Costa de Hermosillo, Son.
Blvd. Transilvania y Reyes
Hermosillo, Sonora
71. Ing. Abel Romo Dominguez
Jefe de la Oficina de IDRYD, SARH
Distrito de Riego N° 37, Caborca, Son.
Ave. 6 de abril N° 75
Caborca, Sonora
72. Ing. Lazaro Duarte Espinosa
Jefe de la Oficina de IDRYD, SARH
Distrito de Riego N° 38, Río Mayo, Son.
Jimenez y Pesqueira
Ciudad Obregón, Sonora
73. Ing. Francisco Javier Perez Valadez
Jefe de la Oficina de IDRYD, SARH
Distrito de Riego N° 50, Acuña Falcón
Díaz Miron 1948
Nuevo Laredo, Tamps.
74. Ing. Francisco Silva Rodriguez
Jefe de URDERAL en el Edo. de Aguascalientes
(Unidades de Riego para el Desarrollo Rural), SARH
Circunvalación N° 2202 Ags.
Aguascalientes
75. Ing. Francisco Javier Hernandez Dueñas
Auxiliar en Riego por Goteo de URDERAL en el Estado de Aguascalientes
SARH
Circunvalación N° 2202 Ags.
Aguascalientes
76. Ing. Alvaro Gomez Reynoso
Residente de Organización de URDERAL, SARH
Baja California Norte
Miramar 57 entre Costera y Blvd. Costero.
Ensenada, Baja California Norte
77. Ing. Luis Alfredo Gomez
Jefe de URDERAL en el Estado de Baja California Sur, SARH
Revolución 497
La Paz, Baja California Sur

Documento A-2

Pag. 10

78. Ing. Antonio Mercado Guerrero
Residente de Organización de URDERAL en el Estado de Coahuila, SARH
Constitución 2145
Saltillo, Coahuila
79. Ing. Miguel Guerrero Barajas
Residente de Organización de URDERAL en el Estado de Querétaro, SARH
Panamerican 29-3
Querétaro
80. Ing. Carlos Salceda Amezcua
Jefe de URDERAL Región Lagunera, Coahuila, SARH
Juarez y Chihuahua
Ciudad Lerdo, Durango
81. Ing. Julio César López Uriza
Jefe de URDERAL en el Estado de Sonora, SARH
Jalisco N° 7 Ote.
Hermosillo, Sonora
82. Ing. Luis Oscar Ramirez
Jefe de URDERAL en el Estado de Zacatecas, SARH
González Ortega N° 349
Zacatecas
83. Ing. Geudiel Valencia Medina
Jefe de Recep. y Conservación de Sistemas de URDERAL, SARH
Abraham Gonzalez N° 3
México D.F.
84. Lic. Beatriz Villarreal
Jefe de la División de Divulgación CENAMAR, SARH
Madero N° 385 Nte.
Ciudad Lerdo, Durango
85. Ing. Carlos Rodriguez Zavaleta
Jefe de la División de Investigación CENAMAR, SARH
Madero N° 385 Nte.
Ciudad Lerdo, Durango
86. Ing. Edmundo Moran García
Director del Centro de Capacitación en Irrigación y Drenaje "Benito Juárez", SARH
Apdo. Postal 1260
Los Mochis, Sin

87. Ing. Javier Vazquez González
Director de Información, Relaciones Públicas y Prensa, SARH
Insurgentes Sur N° 476-5° piso
México D.F.
88. Ing. Oscar Flores Alvarado
Residente de la Sucursal Guadalajara del Fideicomiso para el Crédito
en Areas de Riego FICAR-BANRURAL
Av. Chapultepec Sur 29-7
Guadalajara, Jal.
89. Ing. Enrique Narvaez Venegas
Jefe del Departamento Técnico, Subgerencia de Crédito del FICA-BANRURAL
Flores 57,
México D.F.
90. Ing. Sebastián Chanes García
Jefe del Campo de Adiestramiento y demostración de Métodos Avanzados de
Riego, FIRA - Banco de México
Domicilio conocido
Tezoyuca, Morelos
91. Ing. Carlos Arcaute Enriquez
Residente Auxiliar del FIRA en Baja California Sur
Domicilio conocido, FIRA-Banco de México
92. Ing. René Martínez Elizondo
Jefe del Departamento de Irrigación, Escuela Nacional de Agricultura de
Chapingo
Chapingo, México
93. Ing. Jorge Rodríguez Cruz
Gerente de Ventas y Distribuir, Riego Sistemas y Equipos
Ave. Uruguay N° 14
México 1, D.F.
94. Ing. Enrique Moctezuma Rodríguez
Gerente General de Ventas, Plásticos Rex, S.A.
Ferrocarril de Cuernavaca N° 434, México D.F.
95. Arq. Carlos Díaz Álvarez
Director del Departamento Técnico, Plásticos Rex, S.A.
Ferrocarril de Cuernavaca N° 434,
México D.F.
96. Ing. Humberto Reyes Montiel
Presidente de la Sociedad de Ingenieros Químicos de México, A.C.
Masarik N° 61
Col. Polanco
México 5, D.F.

Documento A-2

Pag. 12

97. Ing. Alonso de Alba
Encargado del Programa de Divulgación de la SARH en la Región Lagunera
Acuña Sur N° 76
Torreón Coahuila
98. Sr. Ramón F. Avila
Vicepresidente de la Cía Vinícola del Vergel, S.A.
El Vergel
Gómez Palacio, Durango
99. Ing. Tomás Valenzuela Rufz
Jefe del Departamento de IDRYD
SARH
Reforma N° 51, 6° piso
México D.F.
100. Sr. Jesús Avila
Jefe del Departamento de Viticultura
Cía Vinícola del Vergel, S.A.
El Vergel, Durango
101. Ing. Sergio Berlanga Valdez
Rancho "San Agustín"
Ave. Gomez Farias Ote. 997
Torreón, Coahuila
102. Sr. Jorge Antonio Handal Davalou
Dueño Rancho "San Agustín"
Juarez 135 Ote.
San Pedro, Coahuila
103. Sr. Pedro Cisneros
Comisariado Ejidal del Ejido "Fresno del Norte"
Domicilio conocido Ejido Fresno del Nte.
104. Prof. Epitasio Olague Carrillo
Director de la Escuela Técnica Agropecuaria N° 11
Ej. La Concha
105. Sr. Pedro Vega Kegel
Huerta Durazuva, S.R.L., Presidente Consejo de Administración
Cía Frutícola de Aguascalientes
Aguascalientes
106. Ing. Carlos Macias Arellano
Cía Frutícola de Aguascalientes
Domicilio conocido Aguas Calientes

107. Ing. Moises Mondlak Maya
Director General de Plásticos Rex, S.A.
FF.CC. de Cuernavaca 434. Col. Olivar de
los Padres. Apdo. Postal 20
México D.F.
108. Ing. Rafael Quintero Rodriguez
Gerente General de Riegos Modernos, S.A.
Blvd. Toluca 33
México D.F.
109. Sr. Javier Rangel González
Gerente General de Sistemas y Servicios Agrícolas, SRL
Hidalgo N° 1601 Pte.
Monterrey, N.L.
110. Sr. Jesús Valencia
Goteris ISPSA
Morelos 315
San Pedro, Coahuila
111. Ing. César Arita Armendariz
Jefe de la Sección de Salinidad Drenaje y Suelos, SARH
Reforma N° 51, 6° piso
México D.F.
112. Ing. Omar Elmer Arana Muñoz
Director del Patronato, Escuela Nacional de Agricultura
Chapingo, México
113. Ing. Ignacio Arroyo García
Supervisor Foraneo, Banco Nacional de Crédito Rural
Morelos Pte. 947
Torreón, Coahuila
114. Sr. Manuel Anduaga Flores,
Jefe de Servicios Administrativos, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo.
115. Ing. Graciela Díaz de Astorga
Investigadora Sección Métodos Especiales de Cultivo, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo
116. Ing. Angel Gabriel Bravo Lozano
Investigador, Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas
Campo Agr. Experimental Decalera, Zac

Documento A-2

Pag. 14

117. Sr. Antonio Barajas Carrasco
Delegado Regional del Consejo Técnico, Liga de Comunidades Agrarias
del Gobierno del Estado de Coahuila
Galeana Sur N° 370
Torreón, Coahuila
118. Ing. Humberto Badilla Verdugo
Investigador Sección Riego por Gravedad, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
119. Sr. Salvador Carrillo Mendez
Ejidatario, Ejido La Rosita, Mpio de Viesca, Coahuila
Cal. Colón N° 74 Nte.
Torreón
120. Ing. Ricardo Casar Gomez
Delegado Forestal y de La Fauna, SARH
Juarez Pte. 626
Torreón, Coahuila
121. Ing. Baltazar Cuevas Alemán
Jefe de Programa Nacional de Floricultura, Comisión Nac. de Fruticultura
Km 14.5 Carretera México-Toluca
122. Ing. Luis Guillermo Cruz García
Encargado de Programas de Asesoramiento, SARH
Blvd. Agustín Olachea e Hidalgo
Constitución B.C.S.
123. Ing. Andrés Cárdenas Ortiz
Jefe Sección de Evaluación y Asistencia Técnica, Oficina Matriz
Banco de Crédito Rural del Centro Norte, S.A.
Morelos N° 947,
Torreón, Coahuila
124. Ing. Salvador Camarena González
Jefe del Depto. de IDRYD, SARH
Presa Derivadora Col. Culiacan
Culiacan, Sin.
125. Ing. Galo Carretero López
Gerente de Investigación y Desarrollo, Promociones Industriales S.A.
Paseo de Las Plamas N° 755, 7° piso
México D.F.

126. Ing. Teófilo Cruz García
Residente de URDERAL, SARH
Constitución N° 2145
Saltillo, Coahuila
127. Sr. Remigio del Hoyo Aguirre
Ejidatario, Ejido La Rosita, Mpio. de Viesca
Calz. Colón Nte. N° 74
Coahuila
128. Ing. Jaime Dessens Contreras
Técnico, Dupont
Reforma N° 76
México D.F.
129. Ing. Ulises de La Garza Rodriguez
Supervisor Unidades de Riego Región N.O., SARH
M. Otero 600 "A"
San Luis Potosí, SLP
130. Sr. H. Ernest Deutsch W.
Director, Riegos Modernos
Blvd. Toluca N° 40, Naucalpan
Edo. de México
131. Sra. Josefina Díaz García
Jefe de Compras, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
132. Ing. Luis Fernando Flores Lui
Coordinador Uso Y Manejo del Agua, INIA
Km. 17 Carretera Torreón - Matamoros
133. Sr. Walter Swttmann Volkart
Presidente del Consejo de Admon, Riegos Modernos S.A.
Blvd. Toluca N° 33
Naucalpan, Edo. de México
134. Ing. Eduardo García García
Asesor Técnico, Fideicomiso del limón
Domicilio conocido,
Oaxaca, Oax.
135. Sr. Luis Gonazález Coss Matute
Gerente Zona Norte, Plásticos Rex, S.A.
Escobedo N° 430 Ote.
Torreón, Coahuila

Documento A-2

Pag. 16

136. Ing. José Luis Guzmán Flores
Técnico Fertilidad de Suelos, CIAS
Apdo. Postal 356
Culiacan, Sin.
137. Dr. Rodolfo Garza Gutierrez
Jefe Departamento Biología Vegetal,
Centro de Investigación en Química Aplicada
Aldama 371
Saltillo, Coahuila
138. Ing. Homero García Flores
Técnico en Viticultura
Cía Vinícola El Vergel, S.A.
El Vergel, Durango
139. Sr. Aurelio Guerrero Varela
Enc. Huerta Mogalera, Ejido La Rosita, Mpio Viesca
Colón 74 Nte.
Torreón, Coahuila
140. Ing. Alfredo Guerrero Monreal
Jefe de Operación y Desarrollo, SARH Depto. De Riego 23
Hidalgo 36
San Juan del Río, Queretaro
141. Ing. David García Arellano
Investigador Secc. Riego por gravedad, SARH
Km. 6 + 500 canal SACRAMENTO
142. Sr. Porfirio Hernández
Particular
Pedro Camino 437 Co. Ampl.
Los Angeles, Torreón Coahuila
143. Ing. César Javier Ibarraosuna
Jefe de la Oficina de IDRYD, SARH
Hidalgo y Olochea,
Ciudad Constitución, B.C.S.
144. Ing. Isidro López Aguilar
Jefe Evaluador y Asistencia Técnica, Banco de Crédito Rural del
Centro Norte, S.A.
Morelos 947
Torreón, Coahuila

145. Ing. Juan Francisco Luján P.
Jefe de Obras Hidráulicas, SARH
Constitución 2145
Saltillo, Coahuila
146. Ing. Víctor Luque Ochoa
Asesor Técnico de la Subsecretaría NCPE
Secretaría de La Reforma Agraria
Bolivar N° 145, 10° piso
México D.F.
147. Ing. Benjamín Lavin Garza
Técnico Vitícola, Compañía Vinícola El Vergel
El Vergel, Durango
148. Ing. Santiago Lavin Trillo
Titular Depto. de Asesoría Técnica, SARH
Madero 385 Nte.
Ciudad Lerdo, Durango
149. Ing. Félix Alberto Llerena
Encargado del Programa de Salinidad, SARH
Hidalgo y Sinaloa,
Ciudad Obregón, Son.
150. Dr. Luis Maeda Villalobos
Miembro Consultante y socio
Sanatorio Españos y Clínica del Diagnóstico
Ave. Allende 700 Ote.
Torreón, Coahuila
151. Sr. Rogelio Martínez Escamilla
Técnico Evaluador, Sección Evaluación Agrícolas Frutícolas
Morelos 947,
Torreón, Coahuila
152. Ing. Francisco Antonio Mora Jasso
Supervisor de PLAMPEPA, SARH
Reforma N° 51, 6° piso
México D.F.
153. Ing. Rafael Martínez Vera
Técnico Evaluador
Banco de Crédito Rural de Occidente
Héroe de Nacozari N° 601
Aguascalientes, Ags.

Documento A-2

Pag. 18

154. Ing. Enrique Maisterrena Viesca
Administrador de La Agr. San Lorenzo, Casa Madero
Hacienda San Lorenzo,
Parras, Coahuila
155. Dr. Raúl Mancilla y Diaz Infante
Jefe del Depto. de Fruticultura-Codu ifolia
Instituto Nacional de Investigación Agrícola
Apdo. Postal 247
Torreón, Coahuila
156. Ing. José Mayagoitia Saldaña
Res. Coordinadora de Investigación y Aplicación, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
157. Ing. Sebastián Nava Sánchez
Jefe Depto. de Programas Técnicos
Centro Nacional de Capacitación para empleados de la Banca Oficial
Agropecuaria.
Nuevo León 270, 301
México D.F.
158. Ing. J. Silvestre Perez González
Gerente Noroeste, Plásticos REX S.A.
Matamoros y Nayarit
Hermosillo, Son.
159. Ing. Jesús Porras Saracho
Jefe de Unidad, SARH
Blvd. Madero 350 Fco. I Madero
Coahuila
160. Ing. Guillermo Rico Rodriguez
Técnico de Viticultura, Cía Vinícola el Vergel, SA
El Vergel, Durango
161. Ing. José Luis Reyes Carrillo
Técnico de Viticultura, Cía Vinícola el Vergel, S.A.
El Vergel, Durango
162. Sr. Cesáreo Robles Salas
Ejidatario, Ejido La Rosita
Mpio. de Viesca, Coahuila

163. Ing. Abel Romo Dominguez
Encargado de IDRYD, SARH
Ave. 6 de abril N° 75
Caborca, SON.
166. Dr. David Reyes Manzanares
Jefe Secc. de Uso y Manejo del Agua
Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA)
Arcos de Belem N° 79 Esq. Balderas
México D.F.
167. Ing. Ramón Rosales Duro
Director Distrito de Riego Comisión del Río Balsas, SARH
Churubusco 650
México D.F.
168. Ing. Ernesto Romero Fierro
Investigador, SARH
Madero Nte. N° 385
Ciudad Lerdo, Durango
169. Sr. Alberto Salmán Mendez
Particular
Hidalgo Ote. 501
Torreón, Coahuila
170. Ing. Hermán Toledo López
Proyectista, Riegos Modernos S.A.
Blvd. Toluca N° 33
Naucalpan, Edo de México
171. Ing. Oscar Torres Goytorena
Jefe de Planeación y Control Depto. Agro-Químico
Dupont, S.A. de C.V.
Reforma 76-150
México D.F.
172. Ing. Jorge Nicolás Torres Chávez
Escuela Superior de Agricultura y Zootecnia
Ejido Venecia, Mpcio de Gómez Palacio,
Durango
173. Sr. Felipe Villa Loza
Ejidatario, Ejido La Rosita
Ejido La Rosita, Mpcio de Viesca, Coahuila

Documento A-2
Pag. 20

174. Ing. Bladimiro Villeda Sagastume
Director de Recursos Nat. Renovables.
Jefe Región Agrícola VII Zacapa, Guatemala
Dirección Gral. de Servs. Agrícolas
Zacapa Guatemala
175. Sr. Felipe Zubiria Puente
Administrador
Frutícola de Aguascalientes S.R.L.
Km. 9 (Carr. Calvillo La Labor)
Calvillo, Ags.
176. Ing. Salvador Zamudio Armendariz
Evaluador Técnico
Banco de Crédito Rural Centro Norte
Morelos Pte. 947
Torreón, Coahuila

X. IICA

177. Dr. José Emilio G. Araujo
Director General del IICA
Apdo. Postal 10281
San José-Costa Rica
178. Dr. Humberto Rosado E.
Director de la Oficina del IICA en México
Apdo. Postal 61-148
México 6, D.F.
179. Ing. Agustín Merea Canelo
Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas
Moreno 1257, 3º piso
Buenos Aires, Argentina
180. Ing. Agr. José Barrios A.
Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas
Caixa Postal 16.074 ZC-01
20000 Río de Janeiro, R.J. Brasil
181. Ing. Agr. Raúl Vallés E.
Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas
Casilla 3631
Santiago, Chile

182. Dr. Iván Mojica
Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas
Apartado Postal 10731
Panamá 4, Panamá
183. Ing. Agr. Oswaldo Chávez
Especialista en Conservación y Manejo de Tierras y Aguas
Apartado 1410
Tegucigalpa, Honduras

PROGRAMA DEL SEMINARIO

20 de junio:

- 8:00 - Inscripción y registro de participantes
- 10:00 - Sesión Inaugural y Presentación del Presidium
Palabras del Dr. José Emilio G. Araujo, Director General del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA, (IICA)
- 10:30 - Palabras de bienvenida e inauguración oficial por el señor Francisco Merino Rábago, Secretario de Estado de Agricultura y Recursos Hidráulicos de la República Mexicana
- 11:00 - Receso
- 11:15 - Informe de Secretaría a cargo del Ing. Agustín Merea Canelo, Coordinador del Programa de Conservación y Manejo de Tierras y Aguas del IICA
- 11:30 - Exposición de condiciones generales en que se desarrollará el Seminario por el Ing. Tomás Valenzuela Ruiz, Coordinador de Organización en el Seminario
- 12:00 - Exposición del trabajo "*Predicción de Incrustaciones en Equipos de Riego por Goteo*", por el Dr. Javier Mario Santillán Medrano, Jefe del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- 13:00 - Exposición del trabajo sobre "*Investigación de Dosificadores de Soluciones para Equipos de Riego por Goteo*" por el Ing. Manuel A. Escobar Avila, Jefe del Laboratorio de Hidráulica del CENAMAR (Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México)
- 14:00 - Receso
- 16:00 - "*Evolución del Coeficiente de Uniformidad de Goteros en Líneas Regantes*", por el Ing. Apolinar Obregón V., Investigador de la Sección de Sistemas de Riego a Presión del CENAMAR.

Documento A-3

Pág. 2

20 de junio (cont.)

- 17:00 - *"La Selección de un Sistema de Riego por Goteo"*, por el Ing. Rafael Francisco Quintero, Gerente General de Riegos Modernos.
- 18:15 - *"Estudio del Funcionamiento Hidráulico de Goteros"*, por el Ing. M.C. Efrén Peña Peña, Ing. Leopoldo Moreno Díaz, Ing. Manuel A. Escobar Avila, Director, Jefe de la Sección Métodos de Riego por Aspersión y Jefe del Laboratorio Hidráulico, de CENAMAR, respectivamente
- 19:15 - *"Determinación del Factor K de la Evaporación para Estimar las Requerimientos de Agua de Cultivo de Maíz bajo Riego por Goteo, en el Valle del Río Yaqui, Saura"*, por el Ing. Ildefonso de la Peña de la Fore, Jefe de la Oficina de Ingeniería de Riego y Drenaje, Distrito N° 41, Río Yaqui, Saura.

21 de junio:

- 8:30 - *"Estudio de Líneas Regantes en Riego por Goteo"*, por el Ing. José Luis Frías Mercado, Investigador en el Laboratorio de Hidráulica de CENAMAR
- 9:30 - *"Uso de Computadoras en el Diseño Hidráulico de Sistemas de Riego por Goteo"*, por el Ing. Pedro Zazueta Ranahan, Jefe del Laboratorio Integral de Térmica, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- 10:30 - Receso
- 10:45 - *"Operación y Manejo de los Equipos de Riego por Goteo"*, por el Dr. Jaime Leal Díaz, Director de la Carrera de Ingeniero Agrónomo en Producción Agropecuaria del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- 11:45 - *Formulación de la Eficiencia de Lavado y Desalinización de Suelos con Riego por Goteo"*, por el Ing. León Nijenshon, Director del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza), Argentina.
- 12:30 - Receso

21 de junio (cont.)

- 12:40 - "*Absorción Radical Extraedáfica - Un Nuevo Enfoque de la Fertilización y su Aplicabilidad al Riego por Goteo*", Por el Ing. León Nijenshon, Director del Instituto de Suelos y Riego de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cuyo (Mendoza), Argentina.
- 13:25 - "*Ensayo Comparativo de Métodos de Riego en Vid (Var. Cereza) - (Comunicación)*", por el Ing. N.J.C. Oriolani, Investigador de la EERA-Mendoza del INTA, Argentina
- 14:10 - Receso
- 16:00 - "*Determinación del Factor K de la Evaporación para Estimar los Requerimientos de Agua del Cultivo de Jitomate bajo Riego por Goteo en el Valle del Río Yaqui, Sanora*", por el Ing. Vizcaíno Valenzuela, Técnico Auxiliar de la Oficina de Ingeniería de Riego y Drenaje, d.r. N° 41 - Río Yaqui, Sanora.
- 17:00 - "*El Cultivo de Vid Irrigado por Goteo en la Comarca Lagunera*", por el Ing. Saúl de los Santos Valadez, Encargado del Programa de Asistencia Técnica de Riego por Goteo para Plantaciones Comerciales en la Región Lagunera d.r. N° 17.
- 18:00 - Receso
- 18:15 - "*Manejo de un Sistema de Riego por Goteo en Vid, en la Comarca Lagunera*", por el Ing. Javier Robles Puga, Técnico en Viticultura de la Compañía Vitivinícola "El Vergel, S.A.", El Vergel, Durango.
- 19:15 - "*Evolución de la Investigación en Lechuga (Lactuca Sativa), Utilizando el Método de Riego por Goteo en la Región Lagunera*" por el Ing. Carlos Rodríguez Zavaleta, Jefe de la División de Investigación del CENAMAR.
- 20:15 - Receso

22 de junio:

- 9:30 - Recorrido de Campo a Fresno del Norte, Exposición del Ing. Raúl Barraza C. sobre el "*Cultivo de Nogal y Jitomate*"
- 11:30 - Visita a la Pequeña Propiedad Buenavista, Exposición del Ing. Saúl de los Santos sobre el "*Cultivo de la Vid*"

Documento A-3

Pág. 4

22 de junio (cont.)

- 13:30 - Visita a la Pequeña Propiedad San Agustín, Exposición del Ing. Raúl Barraza C., sobre el "Cultivo de Vid (Emparrado)".
- 14:45 - Comida en Campo (Huerta Nuevo Texas), Escuela Agropecuaria La Concha.
- 17:30 - Exposición del Ing. Raúl Barraza C. sobre el "Cultivo de Nogal".
- 19:30 - Regreso al Hotel Paraíso del Desierto

23 de junio:

- 9:30 - Visita a la Estación Calabazas (SARM), Exposición del Ing. Ing. Saúl de los Santos sobre el "Cultivo de Palma Datilera, Nogal, Vid, Higuera"
- 11:00 - Visita a CENAMAR (SARH), Exposición del Ing. Apolinar Obregón V. sobre el "Cultivo de Jitomate, Melón, Sandía", "Cultivo del Nogal" por el Ing. Carol Rojas, Exposición sobre "Torre de Estudios Hidráulicos", por el Ing. Antonio Escobar y Exposición del Ing. José Luis Frías Mercado sobre "Mostrador de Goteros".
- 13:30 - Visita a la Cía. Vinícola del Vergel. Exposición del Ing. Ing. Javier Robles Puga sobre el "Cultivo de Vid (Emparrado y Normal)".
- 14:30 - Comida en la Compañía Vinícola del Vergel
- 17:00 - Visita a la Pequeña Propiedad El Chimal. Exposición del Ing. Robles Puga sobre el "Cultivo de Vid en Suelos Ensalitrados"
- 19:00 - Regreso al Hotel Paraíso del Desierto.

24 de junio:

- 8:30 - "Resultado de Pruebas de Riego, Poda, Conducción y Variedades en Cultivo de Tomate bajo Riego por Goteo, en la Región Lagunera, Coahuila y Durango, México", por el Ing. Raúl Barraza Cazares, Técnico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Encargado del Programa de Riego por Goteo - d.r. N° 17, Región Lagunera, Coahuila y Durango, México.

24 de junio (cont.)

- 9:30 - *"Estudio de Poblaciones, Frecuencias y Láminas de Riego en el Cultivo de Melón, Utilizando Riego por Goteo"*, por el Ing. Leopoldo Moreno Díaz, Jefe de la Sección de Métodos de Riego por Aspersión de CENAMAR.
- 10:30 - Receso
- 10:45 - *"Desarrollo del Riego por Goteo en el Estado de Aguascalientes"*, por el Ing. Carol Rojas Valdez, Jefe de Campo de CENAMAR
- 11:45 - *"Proyecto, Instalación, Operación y Resultados del Sistema de Riego por Goteo del Ejido Colectivo de Calvillo, Aguascalientes"*, por el Ing. Efrén Peña Aguirre, Técnico de la Sección de Obras de Infraestructura de la Subgerencia de Desarrollo del Banco de Crédito Rural de Occidente, S.A.
- 12:45 - Receso
- 13:00 - *"La Aplicación del Riego por Goteo, como una Solución Política y Económica en los Países Subdesarrollados"*, por el Sr. Howard Klein, Presidente de la Cía RID, S.A. (Investigación para el Desarrollo S.A., Development International Researching).
- 13:45 - *"Comparação dos Métodos de Irrigação por Sulco e por Gotejo na Cultura do Melão do Vale do São Francisco"*, Dr. Antonio Fernando Olitta, Profesor Asistente de la Escuela Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Brasil.
- 14:30 - Receso
- 16:00 - Propositiones y acuerdos sobre las conclusiones y recomendaciones del Seminario.
- 18:30 - Receso
- 19:00 - Clausura del Seminario
- 20:00 - Cocktail de despedida.

PROGRAMA OPTATIVO AGUASCALIENTES

25 de junio:

- 14:00 - Comida en el Restaurante Caballo Loco de Aguascalientes
- 15:45 - Registro y descanso en el Hotel Francia
- 17:30 - Visita a la Pequeña Propiedad Durazava. Exposición del Sr. Octavio Alba Romo sobre el *"Cultivo del Durazno, Vid, Higuera, Almendro y Nogal"*
- 20:00 - Entrevista con el señor Gobernador de Aguascalientes, Salón Rojo del Hotel Francia.
- 20:45 - Cena en el Salón Rojo del Hotel Francia

26 de junio:

- 8:00 - Visita a la Pequeña Propiedad Cía Frutícola de Aguascalientes. Charla del señor Felipe Subirría sobre el *"Cultivo de la Guayaba, Aguacate y Toronja"*.
- 10:00 - Visita a Ejido Calvillo Aguascalientes. Exposición del Ing. Vicente Castro sobre el *"Cultivo de la Guayaba y del Durazno"*
- 13:30 - Comida en el Restaurant Codorniz Vagabunda
- 16:30 - Ejido Francisco Sarabia,
- 17:30 - Regreso a la Ciudad de Torreón, Coahuila.

ACUERDOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

I. ACUERDOS

Los participantes en el II° Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo acuerdan:

1. Dejar constancia que el Seminario ha logrado plenamente los objetivos que le fueron señalados.
2. Testimoniar su reconocimiento al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA (IICA), por el cabal cumplimiento de la recomendación que se le formulara en el I° Seminario en lo relacionado con la organización y realización del II° Seminario.
3. Extender su reconocimiento al gobierno de la República de México por el decidido apoyo y amplia colaboración brindados a la organización y desarrollo del certamen, con especial mención de los señores Licenciado José López Portillo Pacheco, Francisco Merino Rábago e Ing. Benjamín Ortega Cantero, Presidente Constitucional, Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos y Subsecretario de Agricultura y Operación, respectivamente.
4. Hacer extensivo también dicho reconocimiento a los Directivos y funcionarios del IICA y la SARH que han tenido bajo su directa responsabilidad la organización y desarrollo del Seminario.
5. Felicitar al gobierno de la República de México, por la creación y puesta en funcionamiento del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR), a cuya acción puede atribuirse fundamentalmente el promisorio desarrollo del Riego por Goteo en el país.
6. Felicitar y agradecer a los destacados técnicos mexicanos y de otras nacionalidades que con sus exposiciones y ponencias han contribuido al buen éxito del Seminario.

II. CONCLUSIONES

Los participantes en el Seminario, con apoyo en las exposiciones, debates y apreciaciones de campo, concluyen:

1. Que pueden ratificarse las conclusiones obtenidas en el I° Seminario, o sea:
 - Que el método de riego por goteo debe considerarse, además de una innovación en la aplicación del agua de riego, como un nuevo sistema de agricultura.

- Que el método de riego por goteo puede ser aplicado de una manera general en cualquier medio agrícola donde sea necesaria la suplementación de agua para la agricultura.
 - Que como nuevo método de riego y cultivo, el riego por goteo integra un conjunto de prácticas agrícolas, especialmente en lo relacionado con calendario de riegos, fertilización y lavado de suelos.
 - Que en el método de riego por goteo, racionalmente manejados, puede obtenerse una mayor eficiencia en el uso del agua e importantes íncrimentos en la productividad.
2. Que en consecuencia con lo anterior, puede afirmarse que el método de riego por goteo se presenta como una de las alternativas más promisorias para permitir la incorporación de importantes áreas latinoamericanas a la producción agrícola y contribuir así a la solución de uno de los problemas más acuciantes que confronta la región.

III. RECOMENDACIONES

Teniendo en cuenta las conclusiones anteriormente expuestas y, particularmente, las promisorias perspectivas señaladas, los participantes en el Seminario recomiendan:

- A. Al Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas - OEA, (IICA):
1. Que promueva y organice, en colaboración con las instituciones pertinentes del país sede, que se estime conveniente, un III° Seminario Latinoamericano sobre Riego por Goteo.
 2. Que proceda a la publicación de la Memoria de este II° Seminario para su distribución, tanto entre los participantes, como entre las instituciones y técnicos latinoamericanos interesados en la materia.
 3. Que en sus programas de cooperación técnica recíproca, dé preferentemente atención a la capacitación y adiestramiento en materia de riego por goteo.
 4. Que incremente al máximo posible la recopilación y difusión entre los países latinoamericanos de la información que en relación con el riego por goteo se genere en los mismos.
 5. Que contemple la posibilidad de promover y apoyar la creación de una Comisión Latinoamericana de Riego por Goteo que pudiera favorecer la participación de técnicos latinoamericanos en eventos tanto en el ámbito de la región como fuera de ella.

- B. A las instituciones vinculadas con el desarrollo de la agricultura bajo riego en los países latinoamericanos:
1. Que se reitera la necesidad de iniciar o intensificar las investigaciones tendientes a perfeccionar las técnicas de aplicación del método de riego por goteo en un todo de acuerdo a las condiciones específicas de las diferentes áreas bajo riego existentes o aptas para serlo, en especial sobre los aspectos relacionados con el calendario de riegos, fertilización, espaciamento entre goteros, densidad de plantas, operación y conservación de equipos.
 2. Que las investigaciones recomendadas anteriormente, se complementen con las que permitan determinar fehacientemente las ventajas que el método de riego por goteo ofrece, entre otras, en lo relacionado con la eficiencia de la producción por unidad de volumen de agua aplicada y unidad de superficie, adelanto de cosechas y mejoramiento de su calidad.
 3. Que asimismo se inicie e intensifique la investigación de la posibilidad que ofrece el método de riego por goteo para resolver problemas específicos tales como el lavado de suelos y el control de heladas.
 4. Que con apoyo en los resultados de las investigaciones se ponga a disposición y alcance de los organismos de extensión agrícola y asistencia técnica y agricultores en general un conjunto de normas de las diferentes prácticas que como un todo confirman el método de riego por goteo, de manera de favorecer su más rápida comprensión y adecuada aplicación.
 5. Que en los planes de estudios de las instituciones que imparten instrucción de nivel medio y superior en Ciencias Agropecuarias se incluyan aspectos relacionados con los principios, diseños, operación y mantenimiento de los sistemas de riego por goteo.
 6. Que para actualizar los conocimientos de los profesionales y técnicos que prestan servicios en las instituciones responsables del desarrollo de la agricultura bajo riego, se les brinde cursos cortos y ciclos de capacitación y adiestramiento sobre el método de riego por goteo; incluyendo a los agricultores.
 7. Que en los programas de crédito agrícola que se establezcan para favorecer la aplicación del riego por goteo, se contemplen también los recursos necesarios para financiar una asistencia técnica adecuada.

PALABRAS DEL DR. JOSE EMILIO ARAUJO, DIRECTOR GENERAL DEL
INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS - OEA, EN
LA CEREMONIA DE INAUGURACION

Me siento muy complacido y honrado de participar en esta importante ceremonia, cuya trascendencia y significación se magnifica con la presencia en ella del Señor Subsecretario de Agricultura y Operaciones del SARH, Ing. Benjamín Ortega Cantero, Representante del Señor Presidente de la República, como de los participantes de la Mesa Directiva. Es igualmente grato advertir la participación de tan distinguidos conferencistas y expositores, las altas calificaciones técnicas y científicas de quienes concurren a este seminario, que permitirá analizar en sus aspectos técnicos, económicos y sociales la nueva tecnología que se denomina de riego por goteo.

Con la venia de tan distinguido auditorio, quisiera aprovechar la ocasión para hacer algunas apreciaciones y comentarios sobre la significación de la agricultura de riego en América Latina, sobre el costo de las obras y proyectos de regadío, sobre la necesidad de un óptimo aprovechamiento y conservación de las tierras bajo riego y sobre algunas de las implicaciones favorables que podrían derivarse de la nueva tecnología que es materia de este seminario.

El área total dedicada a la agricultura en América Latina, incluyendo en este concepto los cultivos anuales y permanentes y las praderas cultivadas, lo mismo que los barbechos, es de ciento sesenta millones de hectáreas. Dentro de ese total, el área bajo riego ocupa una extensión de aproximadamente 11 millones de hectáreas, lo que significa un siete por ciento del total en números redondos. A México con 5 millones de hectáreas bajo riego le corresponde el 45% del área latinoamericana bajo riego. Sin embargo, las índices de producción, los niveles tecnológicos y los índices de ocupación laboral de las tierras bajo riego, tienen una importancia y significación mucho mayor. En Argentina, por ejemplo, sólo el cuatro por ciento del área total dedicada a la agricultura, está provista de riego; pero esa limitada extensión produce el treinta y cinco por ciento del valor total generado por el sector. Esto indica que las áreas con riego tienen niveles de producción económica trece veces mayores que las áreas de temporal o de secano. Los índices son similares en México, en el Perú y en Chile.

Además, la agricultura bajo riego, está liberada de los tremendos riesgos que padece la agricultura de temporal, frente a las circunstancias fortuitas de la lluvia que puede ser nociva por sus excesos o por sus deficiencias. De esta manera, la agricultura bajo riego se aproxima un poco en su organización y perspectivas a las actividades industriales, haciéndose menos aleatorias su planificación, su financiamiento y sus resultados.

Documento A-5

Pag. 2

Aparte del gran significado económico que tienen las tierras bajo riego, debido a su alto rendimiento y rentabilidad, estas tierras tienen también una alta significación social, porque aún comprometiendo los proyectos correspondientes grandes inversiones públicas - inversiones de toda la sociedad- por la vía de la asignación de parcelas o por medio de la constitución de empresas asociativas de producción, tales inversiones se distribuyen equitativamente entre grandes grupos humanos, creándose así ocupación productiva en el medio rural, llevándose perspectivas de bienestar a grandes conglomerados humanos y ampliándose la base participativa de la sociedad.

Las aguas de más fácil captación para fines de riego, ya fueron aprovechadas en América Latina. Los nuevos proyectos que están en ejecución o en estudio, son más complejos desde el punto de vista tecnológico, y mucho más costosos. Hoy resulta difícil completar una obra de riego de alguna envergadura, con menos del equivalente de tres mil dólares por hectárea.

El gran significado económico y social de las tierras bajo riego y el alto costo de las obras necesarias para la captación, conducción y distribución de las aguas, nos imponen la necesidad de aprovechar al máximo esa preciosa y productiva combinación de tierras fértiles con agua regulada.

Es en estos sistemas agrícolas donde aparece con toda claridad la necesidad de una acción coordinada, conjunta y complementaria de todo el aparato institucional del Estado para la producción agrícola y el desarrollo rural: el marco legislativo necesario para regular el aprovechamiento, la utilización racional y eficiente, la distribución y la preservación de los recursos de tierra y agua; los mecanismos de planificación regional, articulados con la planificación sectorial con proyección nacional y con los planes globales de desarrollo; los servicios complementarios de crédito, asistencia técnica, procesamiento primario, abastecimiento de insumos y comercialización de la producción agrícola; las facilidades y servicios complementarios de carácter social, como aquellos referentes a la salud, la educación, la cultura y la recreación; la organización de los usuarios y su continua capacitación para la producción eficiente, la acción solidaria, la participación cívica y el continuo mejoramiento de ellos mismos y de sus semejantes.

En las obras de riego, el agua constituye casi siempre el factor que limita la expansión de los proyectos. Además, el uso excesivo del agua frecuentemente genera problemas de drenaje y salinización que conspiran contra la extensión o la permanencia de los sistemas. Por ello, el adecuado manejo de los sistemas y la eficiencia en el uso del agua, constituyen factores fundamentales en la agricultura bajo riego.

Dentro de este marco de referencia, es aquí, en donde apreciamos con mayor interés las consecuencias más significativas que podrían derivarse de esta nueva tecnología ya disponible comercialmente, que permite la dosificación del agua por medio del riego por goteo. Esta técnica permite reducir considerablemente las pérdidas por evaporación e infiltración profunda, elevando considerablemente la eficiencia en el aprovechamiento del agua, reduciendo los peligros de drenaje y de salinización y abriendo perspectivas para ampliar las áreas beneficiadas.

Además, podemos advertir que esa nueva tecnología nos señala campos nuevos para la producción industrial en torno al desarrollo de la agricultura, abriéndose posibilidades nuevas para la creación de empleos y ocupaciones productivas con la manufactura, distribución y mantenimiento de los equipos necesarios para su aplicación.

Me siento complacido de auspiciar este seminario y de participar en esta solemne ceremonia inaugural. Hago votos porque las exposiciones, las deliberaciones y el intercambio de ideas que en este evento van a reproducirse, contribuyan a mejorar y difundir nuevos conocimientos sobre la agricultura, bajo riego, con la nueva tecnología que ocupará la atención de ustedes durante los próximos días. También que las visitas que se hagan al campo mexicano sirvan para constatar este magnífico esfuerzo que ha hecho el gobierno, los técnicos y los productores agrícolas mexicanos, en desarrollo del sistema de riego en este país que es sin duda alguna el más importante dentro de nuestra América del lado de acá del Río Grande. La propia instalación de este Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego (CENAMAR) en donde nos reunimos ahora, representa uno de esos marcos de decisión del gobierno y de los técnicos mexicanos que debemos aplaudir por ser uno de esos elementos fundamentales para esos dos soportes del desarrollo agrícola que son la investigación y la capacitación.

Deseo, por otro lado, que este evento sirva para estrechar lazos de amistad y crear vinculaciones técnicas perdurables entre los distinguidos funcionarios de los países hermanos, que aquí se congregan en torno a este certamen. Y deseo finalmente, que todo este caudal de conocimientos y de relaciones fructíferas, repercutan en beneficio del desarrollo de la agricultura en el continente para el mejoramiento de los niveles de vida de la población rural americana.

Muchas Gracias.

B. ANEXOS

ANEXO N° 1

PREDICCIÓN DE INCRUSTACION EN EQUIPOS DE
RIEGO POR GOTEO

Por: Dr. Javier Santillán Medrano (*)

Ing. J. Jesús Sepúlveda M. (**)

(*) Jefe del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

(**) Investigador del Departamento de Riego y Drenaje de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"

PREDICCIÓN DE INCRUSTACIONES EN EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO.

El principal problema en las zonas áridas es la escasez de agua, por lo tanto es necesaria su optimización usando métodos de riego altamente eficientes como son aspersión y/o goteo.

Sin embargo, generalmente las aguas del subsuelo tienen un alto contenido de sales lo que hace que su uso sea condicionado en aspersión.

Una de las ventajas del goteo es que permite el uso de agua con altos contenidos de sales solubles sin causar graves daños a las plantas.

A pesar de esto el uso de agua con altos contenidos de sales solubles puede ocasionar ciertos problemas a la operación y la conservación del sistema de riego como son las incrustaciones causadas principalmente por carbonatos, fosfatos y silicatos que reducen la vida útil del sistema y bajan la eficiencia de éste.

La eliminación o disminución de éstos problemas con las técnicas actuales puede ser costoso y/o ineficientes en algunos casos.

MATERIALES Y METODOS

Se trabajó con agua saturada de carbonatos llevándose control de C.E. pH y temperatura que son las variables que posiblemente afecten más a la velocidad de incrustación de los carbonatos.

Se muestreó a la entrada y la salida de la tubería que se encontraba en un medio con temperatura constante midiendo C.E. pH y concentración de Ca^{++}

La forma como se controló la C.E. fué usando un dosificador de CaSO_4 para su

turar una fracción de agua e incrustar la C.E. a valores deseados.

Para el control de pH se usó un dosificador con NaOH y Na_2CO_3 .

Finalmente la temperatura se mantuvo constante usando un calentador automático y un medio (agua) para simular las condiciones técnicas deseadas.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para encontrar la concentración de CaSO_4 que se salía de nuestro tanque de - nuestro tanque de saturación se usó la ecuación de Griffin y Jourinak:

$$I = 0.127(\text{C.E.}) \quad \text{mM/Lt.}$$

Nos indica que la concentración de yeso en el agua es de 27.94 Meq/lit.

En el caso 2 la concentración de CO_3 a pH 9.5 es de 0.00199 M/lto.

Considerando el equilibrio de los carbonatos:

$$\begin{aligned} K_{sp} &= \text{Ca} \quad \text{CO}_3 = 4.7 \times 10^{-9} \\ \text{Ca} &= \frac{4.7 \times 10^{-9}}{1.99 \times 10^{-2}} \\ \text{Ca} &= 2.36 \times 10^{-6} \quad \text{M/lto.} \end{aligned}$$

o sea que de 1.397×10^{-2} M/l de Ca la concentración debe reducirse a - 2.36×10^{-6} M/l para estar en equilibrio o sea que de 1.397×10^{-2} de Ca la concentración debe reducirse a 2.36×10^{-6} M/l para estar en equilibrio.

En el caso 1.- La concentración original de CaSO_4 es la misma pero el CO_3 a pH 7.5 es de:

$$\text{Ca} = \frac{4.7 \times 10^{-9}}{2 \times 10^{-7}} = 2.35 \times 10^{-2}$$

$$= 0.00235 \text{ M/L}$$

La precipitación de CaCO_3 en éste caso es más limitado ahora si además se considera la concentración de iones complejos que hay que son de:

$$\text{Ca} = \text{Ca} + \text{CaSO}_4 + \text{CaCO}_3 \quad \text{Balance de Masa.}$$

$$\text{fix} = \frac{0.01097}{5.25 \times 10^{-3}} + \frac{2 \times 10^{-6}}{2 \times 10^{-3}}$$

$$\text{fix} = 72\%$$

Por lo tanto la concentración de ion en solución es de $(\text{Ca}) = 0.01015 \text{ M/L}$.

Para la actividad del ion Ca^{++} de ésta solución de acuerdo a la ecuación de Debye Huckle:

$$-\log = \frac{0.51(Z^2)}{1 + 8a I} I = 0.618$$

$$\text{es de Ca} = 7.5 \times 10^{-3} \text{ M/l}$$

Esto nos indica que en los casos 1 y 2 la sobresaturación de sistemas es de sólo 2 y 3.5 veces y los análisis nos indican que en un lapso corto de tiempo no hay diferencia medible por los electrodos entre el punto de entrada y salida del agua en la tubería.

CONCLUSIONES

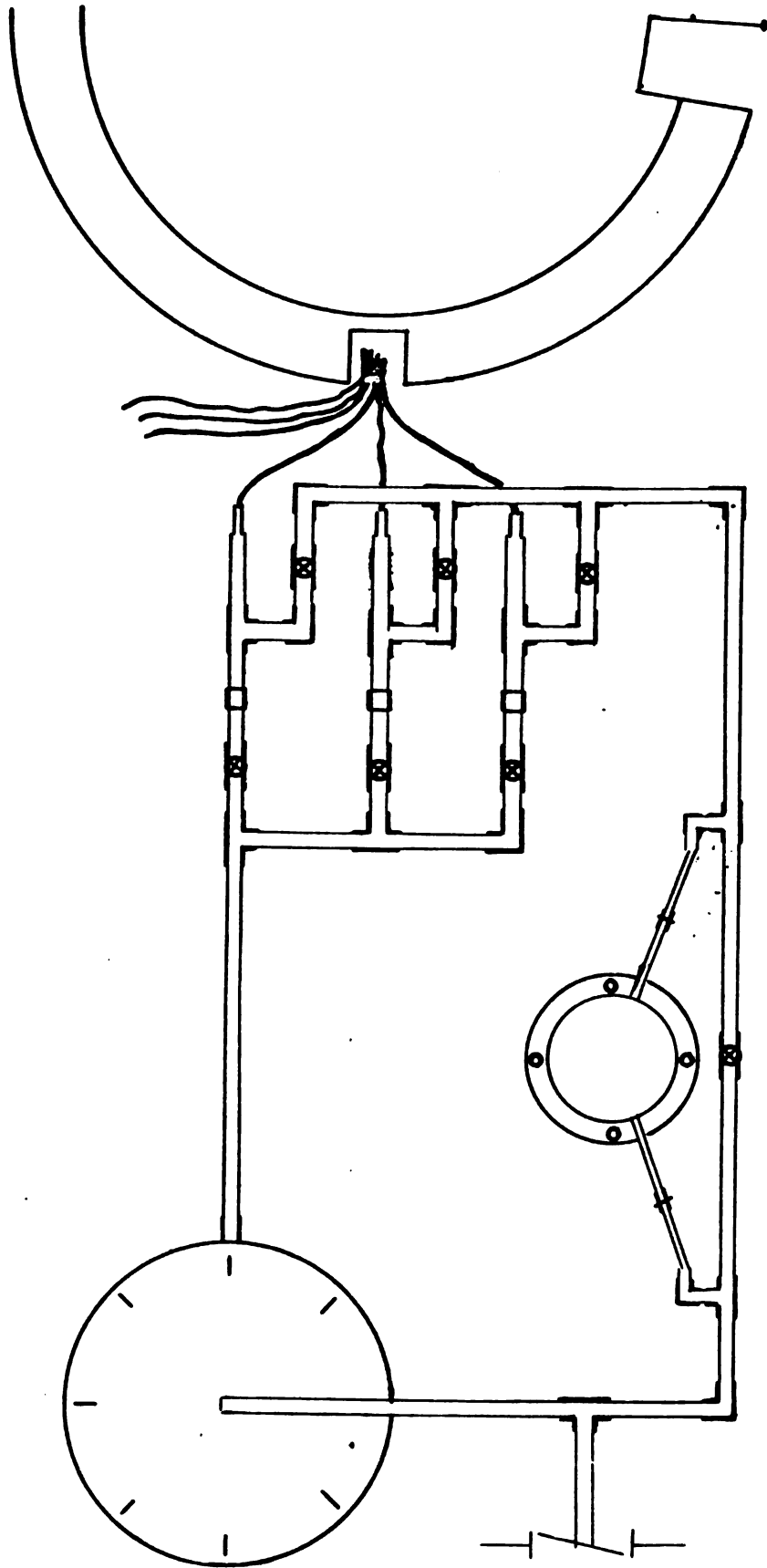
La velocidad de precipitación en las tuberías de poliducto depende del gradiente que exista entre la concentración inicial de carbonatos en el agua y aquella que se encuentra en equilibrio con un sistema de carbonatos.

La sobresaturación del carbonatos en el agua puede deberse a 3 causas principales: pH elevado, alto contenido de CO_3^{--} y/o HCO_3^- y el proceder de un régimen de alta presión parcial de CO_2 .

40 3000
2 CYCLES X BA DIVISIONS
MADE IN U. S. A.
KEUFFEL & ESSER CO.

DIFERENCIAL DE CONCENTRACION DE Ca.

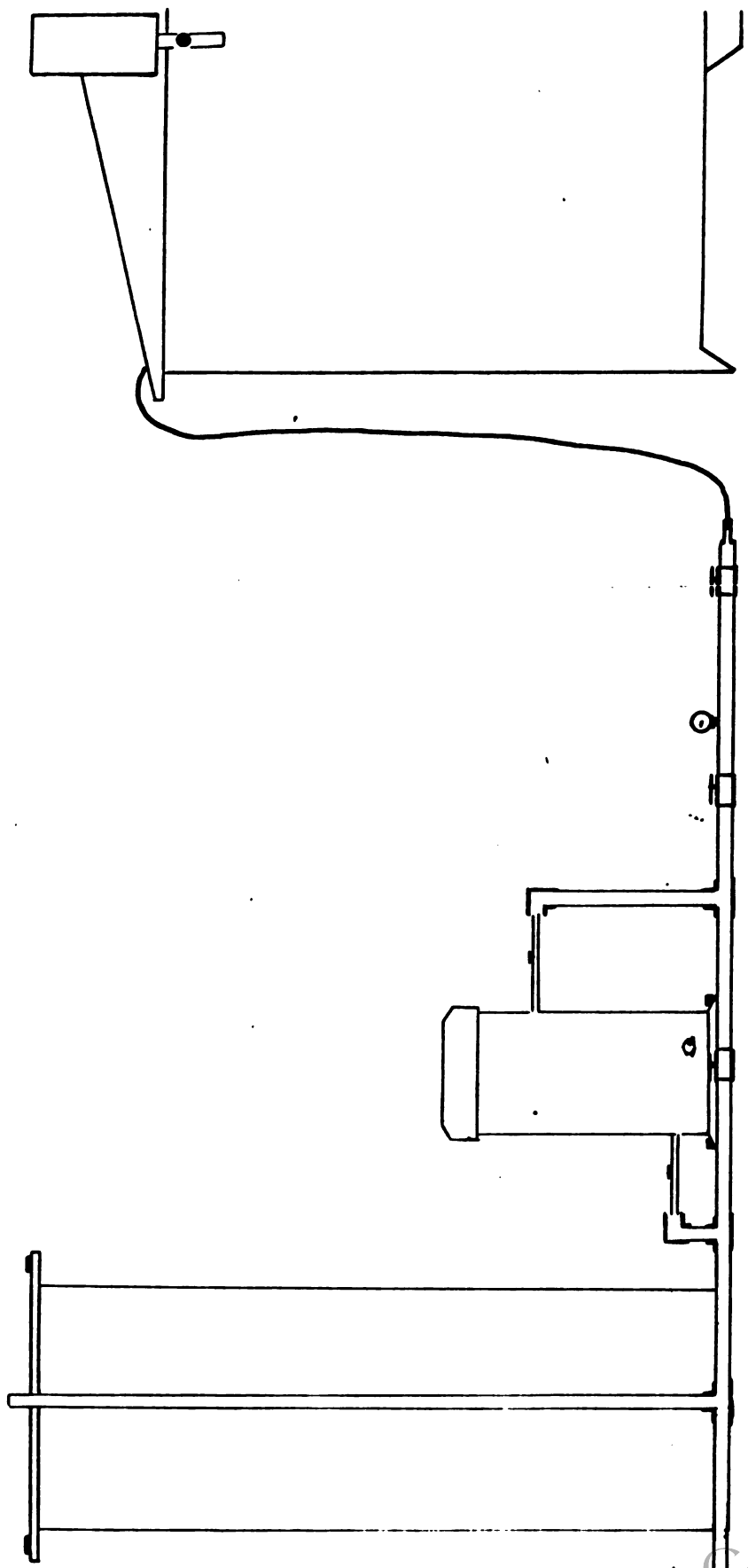


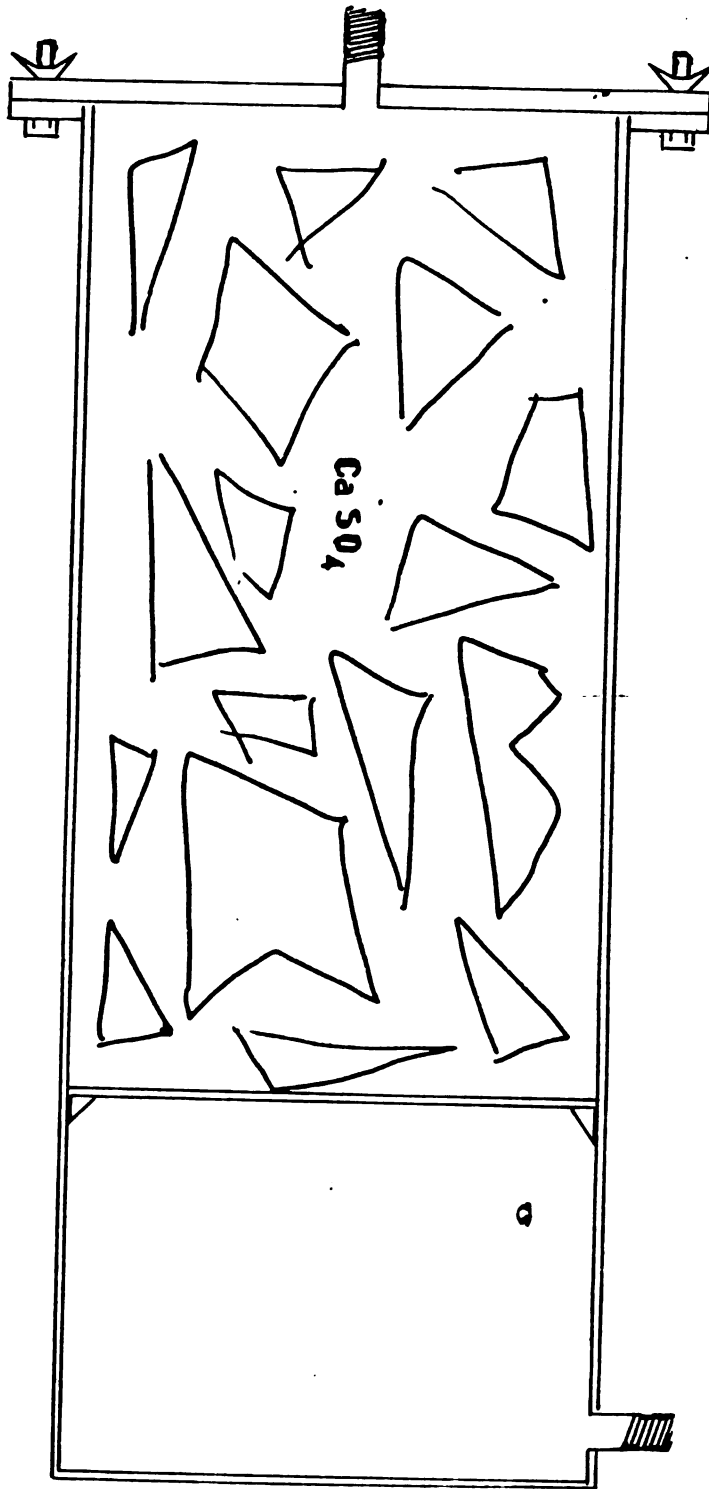


D

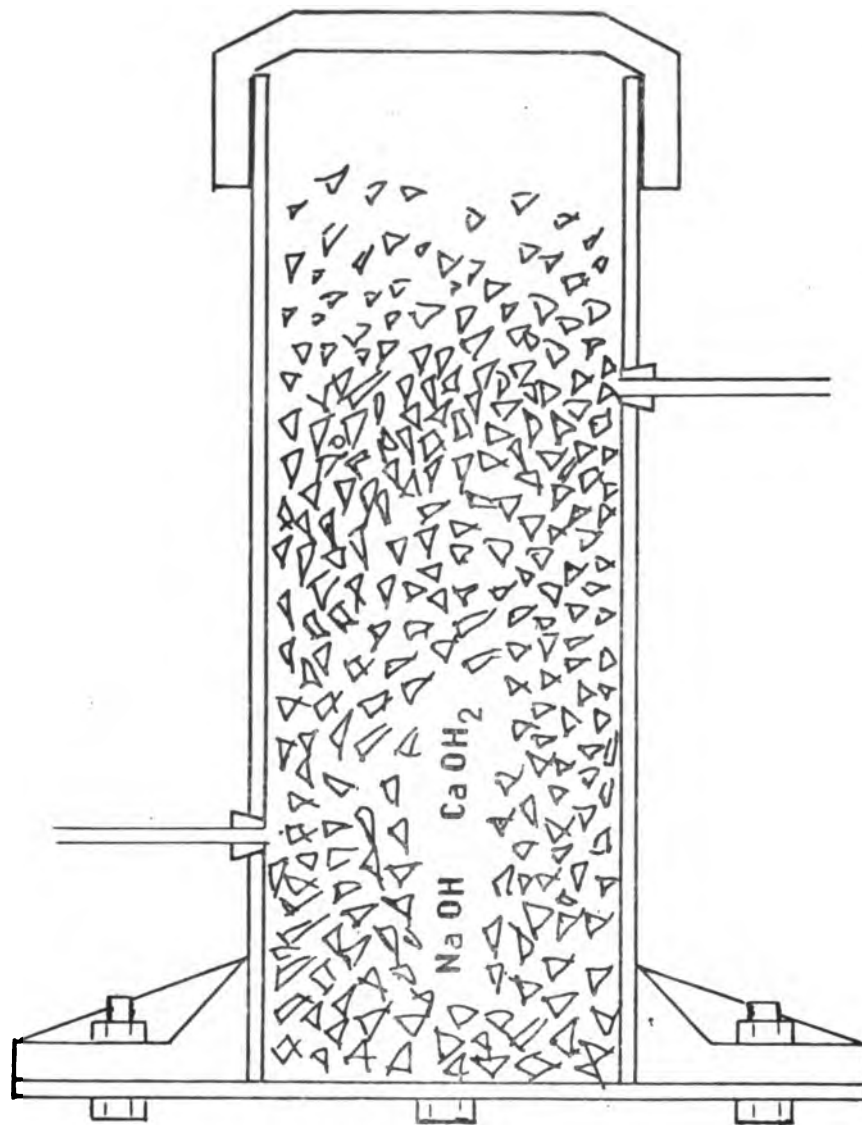
PLANTA

PERFIL





CORTE TANQUE DOSIFICADOR PARA CONTROL DE C.E.



CORTE TANQUE DOSIFICADOR PARA CONTROL DE pH.

ANEXO N° 2

**INVESTIGACION DE DOSIFICADORES DE SOLUCIONES
PARA EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO**

Por: Ing. Manuel A. Escobar A. (*)

(*) Jefe del Laboratorio de Hidráulica del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México (CENAMAR), SARH

INVESTIGACION EN DOSIFICADORES DE SOLUCIONES PARA EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO

Autor: Ing. Manuel A. Escobar A. *

INTRODUCCION

Riego por Goteo es un método que permite hacer extensivos de manera ilimitada los cuidados intensivos que se le pueden proporcionar a una planta en una maceta; la aplicación de fertilizantes es uno de estos cuidados, el dosificador de soluciones deberá asegurar cantidades iguales de fertilizante, desincrustante, etc. en todos y cada uno de los goteros del sistema, de esta manera todas las plantas reciben nutrientes, todo el campo mejorador y todos los goteros tratamiento preventivo contra incrustaciones. La característica básica de todo dosificador es: Para cualquier cantidad aplicar el tiempo de fertilización es ligeramente inferior al tiempo de riego; ésto se consigue "goteando" la solución dentro del flujo principal controlando el gasto de inyección del dosificador.

REVISION DE LITERATURA

En el II Seminario Nacional sobre Riego por Goteo desarrollado en Hermosillo, Sonora en Octubre de 1975 el Dr. Jaime Leal Díaz con su trabajo: Fertilización de cultivos a través de Sistemas de Riego por Goteo, muestra un amplio horizonte del tema.

La fertilización ordinaria que se practica en la agricultura aparentemente no es efectiva cuando el cultivo se riega por goteo, por lo que al decidir utilizar estos sistemas, casi se obliga a realizar la fertilización a través del agua. Por ahora se requieren nuevas técnicas de fertilización al suelo, formulaciones, fertilizantes especiales y

* Jefe del Laboratorio de Hidráulica del CENAMAR.

abrir más posibilidades de la suplementación foliar. Los compuestos químicos simples o complejos que tienen posibilidades como fertilizantes, considerando dentro de éstos, aquéllos que aportan en forma directa - - algún nutriente mineral a la planta y los que mejoran las condiciones del terreno, deben llenar las características siguientes:

- a) Alta solubilidad en agua
- b) No formar sustancias de baja solubilidad que precipiten o se -- depongan dentro de los sistemas.
- c) No contener sustancias insolubles que no se puedan filtrar o -- separar con facilidad.
- d) No contener elementos secundarios o toxicantes que tiendan a - contaminar los suelos, las aguas de drenaje y en general el me-- dio ambiente.
- e) Ser económicos.
- f) Poder manejarse con facilidad sin riesgos considerables.
- g) No dañar los diferentes componentes de los sistemas de riego.
- h) Ser móviles en los suelos.

Equipo de Inyección.- Los aspectos primordiales que deben atenderse a decidir el equipo de inyección o utilizar son:

- a) Capacidad
- b) Construcción
- c) Control
- d) Operación

La capacidad queda determinada por la solubilidad y cantidad de fertilizante que se desea aplicar en las épocas de máxima demanda, la cons-- trucción por las sustancias que se van a inyectar, pero los recipientes-- a presión siempre deben ser de material rígido. El control puede ser -

manual o automático. Los más populares son de control manual.

La operación puede implicar bombas de inyección que se alimentan de tanques de almacenamiento de soluciones, o bien equipos con tanques presurizados o neumáticos, en donde se disuelve o diluye el fertilizante -- por un torrente de agua que se genera aprovechando un gradiente hidráulico en el sistema de conducción en ambos casos después de llegar el fertilizante al interior de las tuberías, se mezcla por la turbulencia y a una corta distancia se tiene una solución o suspensión homogénea.

En la operación pueden contemplarse fertilizadores móviles o estacionarios, en los primeros se prefieren los de tanque neumático ya que pueden transportarse fácilmente y adaptarse a las unidades de control de cada sector del sistema, la velocidad de inyección depende de la concentración del fertilizante y la cantidad de nutrientes que se desea aplicar, la cual está determinada por el área regada en el periodo de la fertilización y su demanda unitaria, además del tiempo de riego.

Se prefiere utilizar riegos con duración de más de cuatro horas, no iniciar las fertilizaciones antes de la primera media hora y concluir las media hora antes de concluir el riego para lavar el sistema. La concentración de los fertilizantes en los tanques en general es la máxima posible pero debe considerarse si se trata de una fertilización múltiple programada en forma discontinua o bien de un programa de nutrición permanente. Obsérvese que bajo estos planteamientos el riego por goteo tiene muchas posibilidades de favorecer la nutrición vegetal. Por último se debe reconocer que el hecho de aprovechar un menor volumen de suelo, -- irrigado por goteo, motiva que las necesidades de la fertilización sean más imperiosas.

Pelleg, Goldberg y Lahav en el II Congreso Internacional sobre Riego por Goteo desarrollado en San Diego California, U.S.A. en Julio de --

1974, en su trabajo Taponamiento, Formación de Obstrucciones en los Sistemas de Riego por Goteo, prevención y eliminación, reportan que el taponamiento por sales es uno de los problemas de Obstrucciones más frecuentes y se presenta en aguas ligeramente alcalinas con altos contenidos de carbonatos y compuestos de calcio y magnesio y que la precipitación del carbonato se evitaba haciendo aplicaciones periódicas de ácido-Rex-Metafim en Junio de 1975 recomienda aplicaciones periódicas con ácidos con un doble fin; mantener el equipo sin problemas de obstrucciones por sales y como mejorador del suelo.

En la aplicación de soluciones hay tres beneficios prácticos que es necesario incorporar a la operación de un sistema de riego por goteo; la DOSIFICACION de fertilizantes, mejoradores y desincrustantes mediante el control del flujo de alimentación de las soluciones.

Los dosificadores de soluciones se clasifican en dos grupos; los de funcionamiento dependiente é independiente de la energía del sistema. -- los dosificadores de funcionamiento independiente de la energía del sistema, son:

1. Tanque que descarga la solución por medio de un tubo de diámetro pequeño en la toma de agua de la bomba.
2. El grupo DYNAMAX de California, U.S.A., ofrece una bomba de diafragma de desplazamiento positivo que toma la solución de un tanque y la inyecta contra la presión del sistema.

Los dosificadores de funcionamiento dependiente de la energía del sistema son:

1. Rex-Netafim de Israel y H.P.A. de San Diego California, ofrecen una bomba inyectora de fertilizante operada por agua, contiene dos diafragmas conectados por medio de un vástago, dichos diafragmas son movi-

dos reciprocamente por la presión de agua. De esta manera la bomba es operada por medio del agua que se encuentra en la tubería normal de irrigación.

NETAFIN, CAMERON IRRIGATION COMPANY, SISTEMAS Y SERVICIOS AGRICOLAS DE MONTERREY E INDUSTRIAL SAN PEDRO DE LA LAGUNA, ofrecen aplicadores de soluciones, un tanque con tapa hermética que se conecta en el cuerpo de un "By pass" inyectan cantidades pre-determinadas en flujo de tapón.

Los nombres de las compañías se incluyen para beneficio del lector pero eso no implica ninguna preferencia por sus productos.

MATERIALES Y METODOS

El dosificador de tanques es uno o dos tanques con tapa hermética, conectados en serie con un medidor de flujo y colocados en el cuerpo de un "by pass" aguas arriba del filtro. Es un método de dosificación de soluciones económico, funcional y de fácil operación.

Un "by-pass" es un juego de válvulas que provocan un gradiente hidráulico en una bifurcación de una tubería la cual vuelve a ser conectada a la tubería.

Un dosímetro es un medidor de flujo de una lectura del tipo de los rotámetros que se usan en la industria, lo forman un tubo de vidrio de pared gruesa de 20-30 cm. de longitud, diámetro interior constante y en cuyo interior se mueve libremente un balón de diámetro X colocado en un armazón de salidas menores de X , para asegurar que el balón quede atrapado en el tubo. El principio de operación, si el gasto es pequeño el trabajo necesario para mover el balón es mucho mayor que el trabajo necesario para mantenerlo "flotando" entre 5-25 cm. en un tubo de diámetro constante. Así, cuando el balón "flota" el tubo está pasando un gasto definido y constante. Antes de operar cualquier dosímetro es necesario calibrarlo: Para un tubo de $9/20$ con un balón de $3/8$ el gasto del dosí-

metro está en el rango 0.1 - 0.5 l.p.m. Para calibrar el dosímetro, se operan con bajas presiones y descarga libre varias veces, se toma el gasto medio como gasto de operación.

Se conectó un dosificador de dos tanques (un tanque) a una fuente de carga hidrostática y se dosificó cloruro de sodio (sal de cocina) se muestreó con descarga libre a intervalos de cinco minutos, el tiempo de muestreo fué de 30 segundos. Durante el desarrollo de la prueba se mantuvo "flotando" el balón en la parte media del tubo. Los resultados de la prueba, el funcionamiento predicho por los modelos matemáticos de la prueba y una prueba de campo para la dosificación de ácido se muestran en las gráficas 3, 4 y 5.

Instructivo de Operación. Se destapa (n) el (los) tanque(s), se carga la solución a dosificar, se completa(n) el (los) volumen(es) util(es) y se encierra(n). Se provoca una diferencial de carga hidráulica con el "by-pass" y se controla al dosímetro durante el tiempo de dosificación. Los parámetros cantidades y velocidades de aplicación son determinados por las necesidades de la parcela y la solubilidad del fertilizante:

EJEMPLO I

Con un dosificador de un tanque hacer 5 aplicaciones de urea de 1 kg. cada aplicación.

Datos:

$$G = 0.5 \text{ l.p.m.}$$

$$V = 48 \text{ lt}$$

$$QO = 5 \text{ kg.}$$

La primera aplicación se calcula de la siguiente manera:

$$t = \frac{V}{G} \int n \frac{Q}{QO}$$

t = tiempo de cada aplicación (min)

v = volumen del tanque (lt)

G = Gasto del dosímetro (l.p.m.)

Q0 = Cantidad inicialmente depositada (kg)

Q = Cantidad residual después de cada aplicación (kg)

$$t = - \frac{48}{.5} \ln \frac{4}{5}$$

$$t = 21.42$$

Aplicación	Cantidad agregada	Tiempo de Dosificación
1	1 Kg.	21.42
2	1 Kg.	27.62
3	1 Kg.	38.92
4	1 Kg.	66.5
5	1 Kg.	*

DISCUSION

El dosificador de tanque mantiene más tiempo la solución en el sistema teniendo menor variación de la concentración alimentada al usar dos - - tanques, el volumen del dosificador es dependiente del campo bajo riego y del programa de fertilización, pero para que sea práctico debe caer en el rango de 40-150 lt. y los gastos derivados por él en el rango de 0.1 a 0.5 l.p.m. Es condición esencial de la dosificación en riego por goteo controlar el gasto de alimentación de soluciones para aprovechar las bondades del sistema; Hablan Keller y Karmeli un sistema de riego por goteo está -- funcionando bien sí y solo si, se tiene una buena uniformidad en la emisión a través de los goteros y si se alimenta fertilización completa a través - del sistema. Es posible mantener las condiciones de fertilización óptimas de la hidroponía.

El dosificador de soluciones nos pone en las manos; el tiempo de aplicación de soluciones, el control de la concentración de fertilizantes y pH del agua en el sistema y una herramienta valiosa para el manejo de suelos y cultivos.

* El dosificador se deja operando el tiempo inmediato anterior y luego se usa como aplicador.

EJEMPLO 2

Hacer aplicaciones de urea en 5 unidades del riego con un dosificador de dos tanques.

Datos:

$$G = 0.5 \text{ l.p.m.}$$

$$VA = VB = 48 \text{ lt}$$

$$QAO = 2 \text{ QBO}$$

Los resultados experimentales (ver gráfica 2) nos dicen que cuando se agote el 75% del tanque de aguas arriba hay que reponer QAO y que QBO tiene el mismo valor.

$$.75 = \frac{QA}{QAO}$$

$$QAO = \frac{5}{.75}$$

$$QAO = 6.67 \text{ kg}$$

$$QBO = 3.33 \text{ kg}$$

La solubilidad de la urea lo permite.

El tiempo de dosificación para una unidad de riego se calcula:

$$t = \frac{VA}{G} \ln \frac{QAO - QA}{QAO}$$

Donde:

QA = Cantidad a dosificador

QAO = Cantidad inicialmente depositada en el tanque de agua arriba.

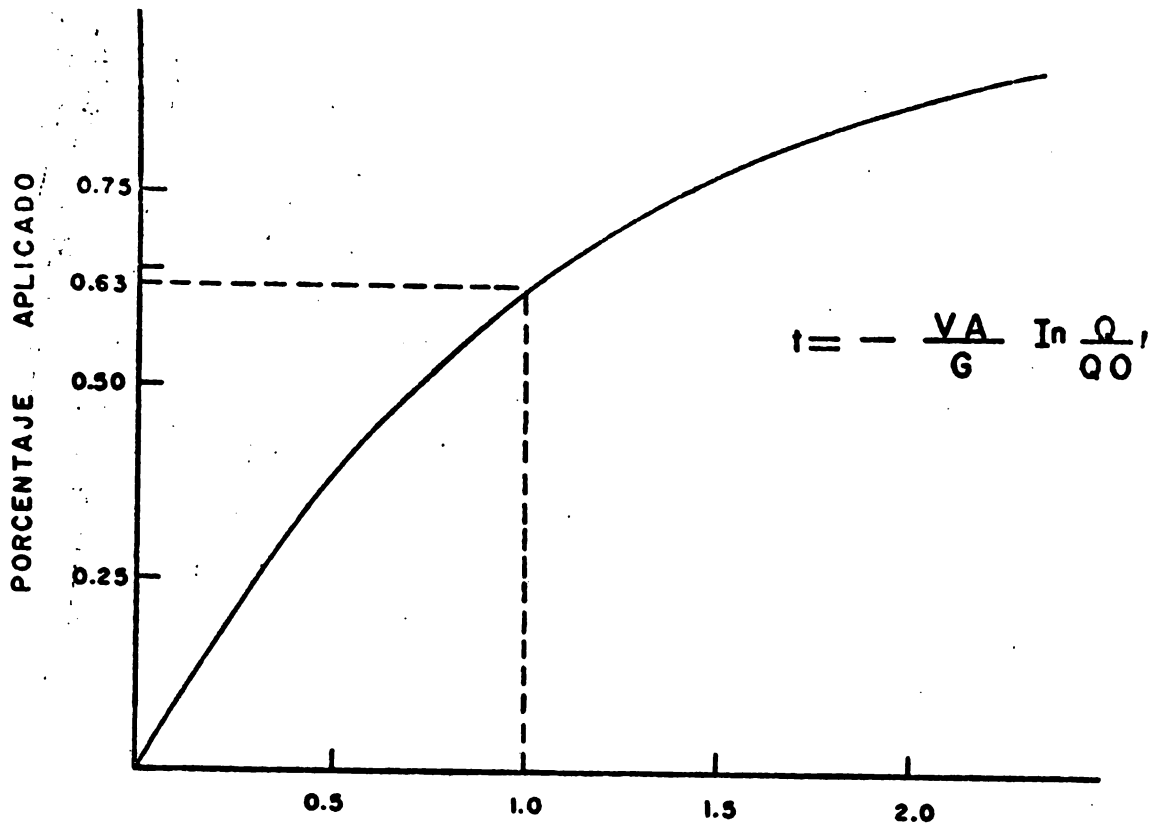
$$t = -\frac{48}{0.5} \ln \frac{6.67 - 5}{6.67}$$

$$t = 133$$

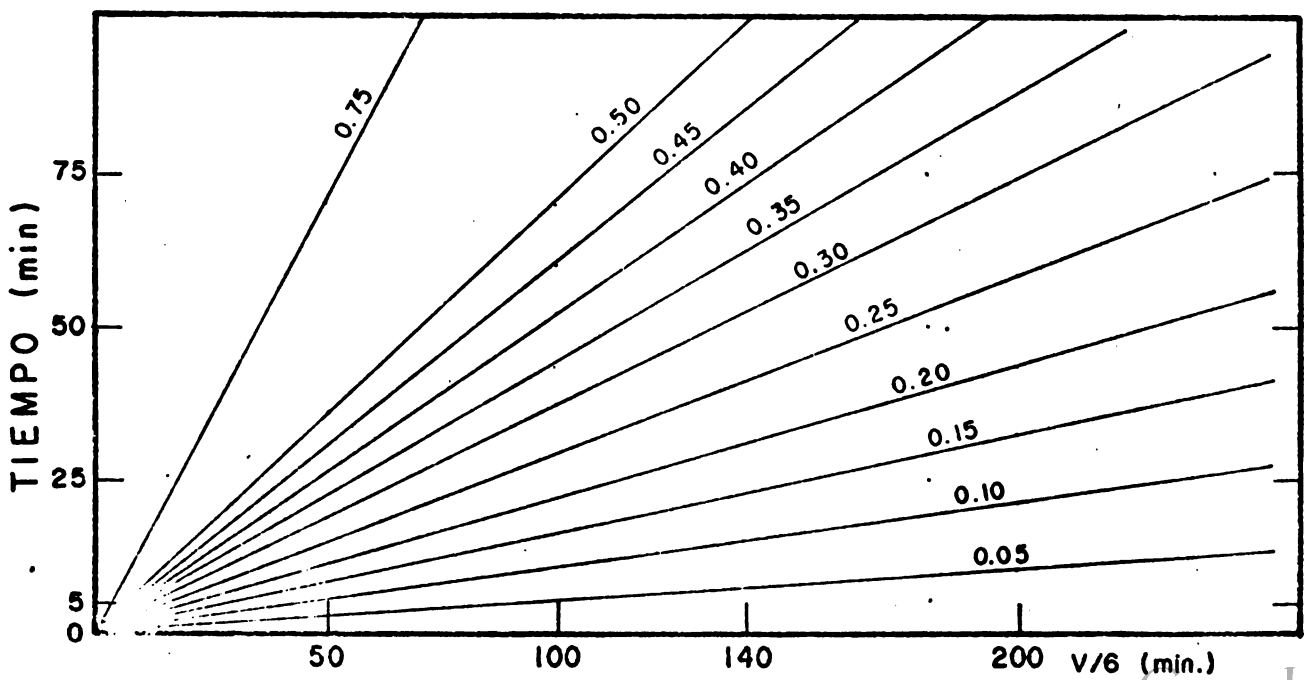
Que es el tiempo de dosificación para una unidad de riego.

A los 133 minutos de operación se abre el tanque de aguas arriba, se depositan 5 kg. de urea y se cierra y se repite el procedimiento cuatro veces.

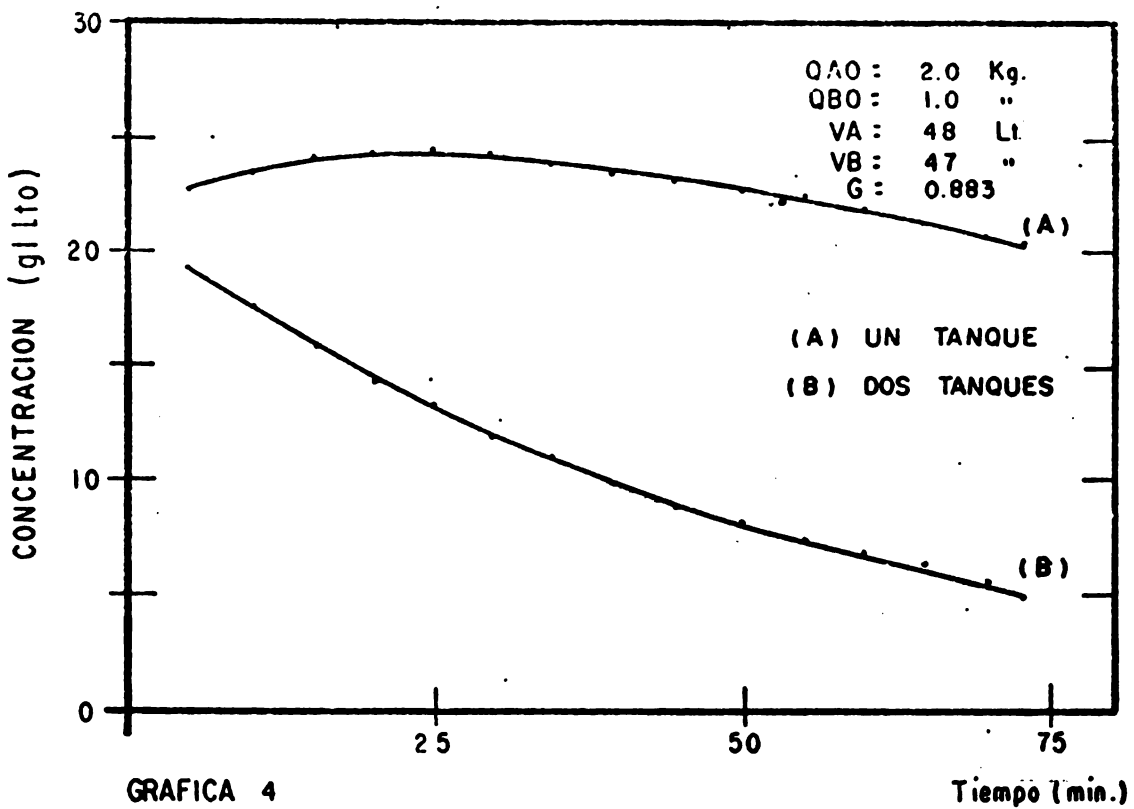
La operación del dosificador de tanques es función de la razón volumen/gasto; es decir, si aumentamos el (los) volumen(es) de el (los) tanque(s) o si disminuimos el gasto de alimentación de la solución, aumentamos la capacidad del dosificador. La única limitante es la solubilidad de la solución. ver gráficas 1 y 2 y fig. 6.



GRAFICA 1 LA OPERACION DEL DOSIFICADOR DE UN TANQUE ES PRACTICA HASTA QUE SE APLICA EL 63 % DE LA CANTIDAD INICIALMENTE CARGADA.

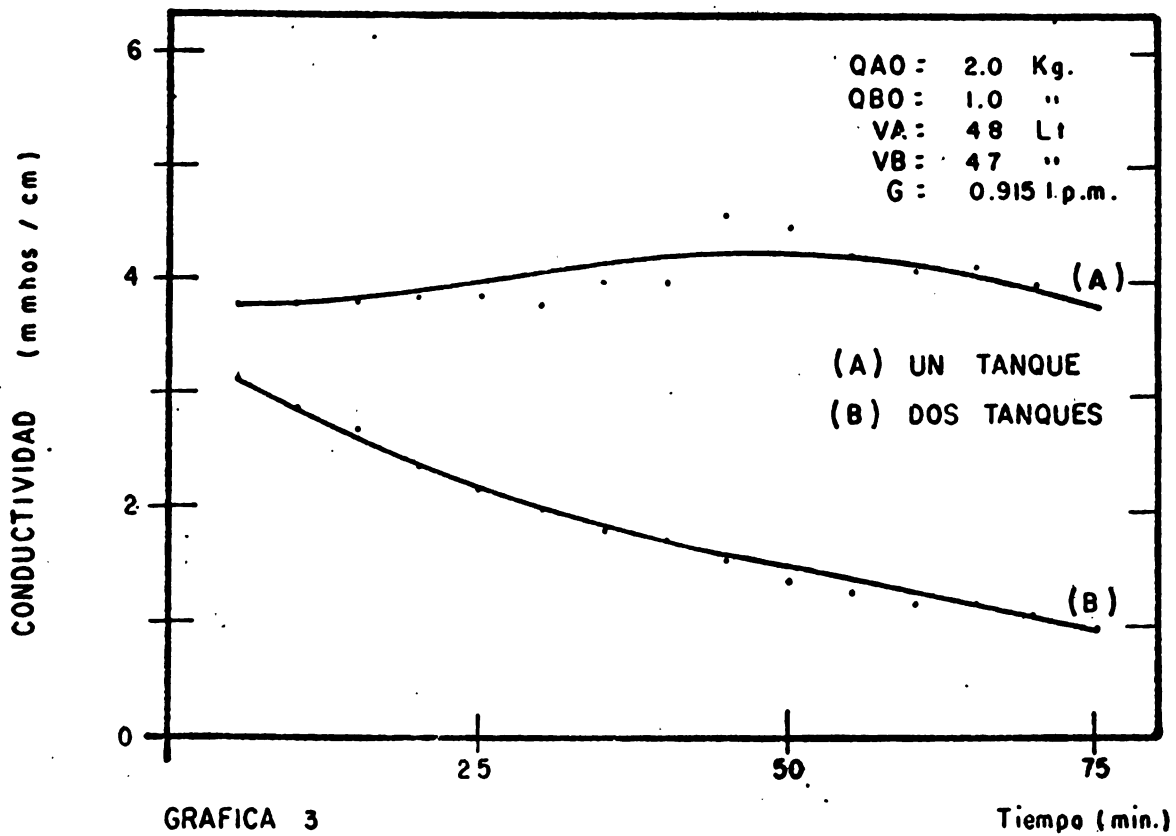


GRAFICA 2 LA OPERACION DEL DOSIFICADOR DE DOS TANQUES QUEDA DEFINIDA POR LA FIJACION DE LA RELACION ENTRE LOS



GRAFICA 4

FUNCIONAMIENTO DEL DOSIFICADOR DE
 TANQUES; MODELO MATEMATICO



GRAFICA 3

FUNCIONAMIENTO DEL DOSIFICADOR DE
 TANQUES: PRUEBA DE LABORATORIO

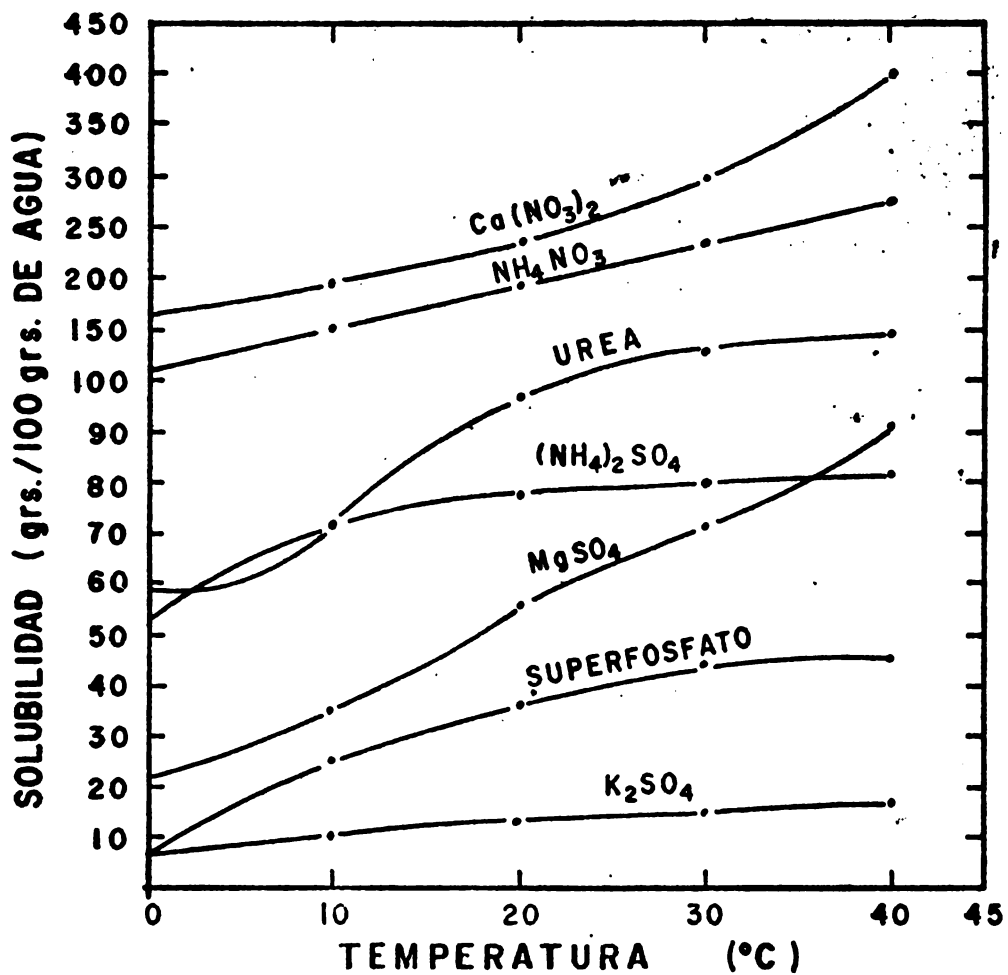
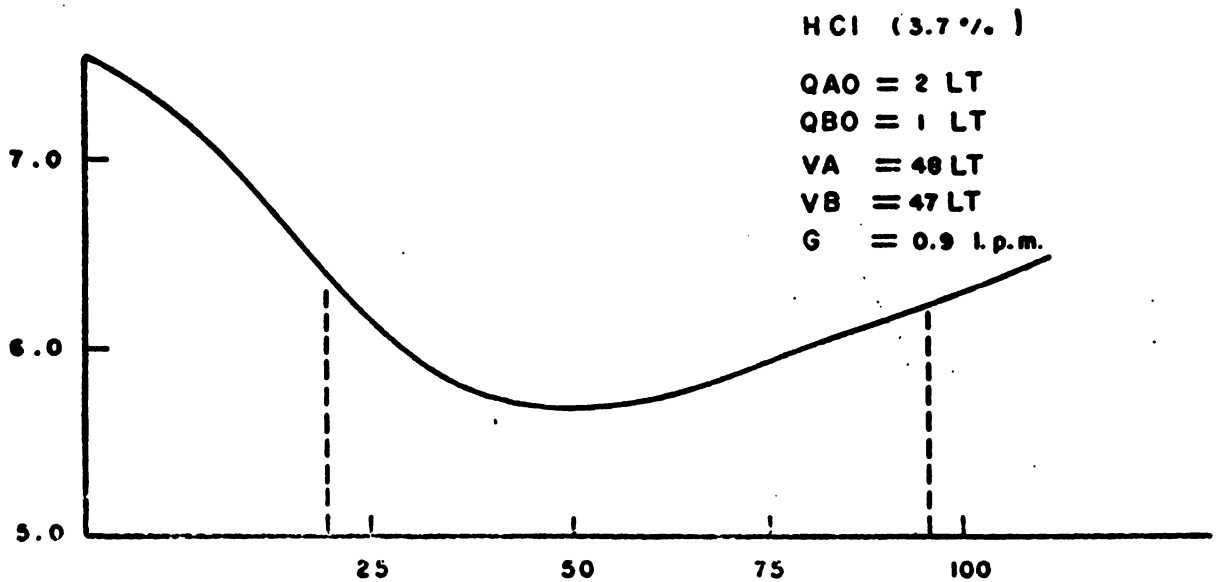


FIG. 6 CURVAS DE SOLUBILIDAD DE FERTILIZANTES AGRICOLAS



GRAFICA 5 FUNCIONAMIENTO DEL DOSIFICADOR DE DOS TANQUES PENEDA DE CAMPO

ANEXO N° 3

EVALUACION DEL COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD
DE GOTEROS EN LINEAS REGANTES

Por: Ing. Apolinar Obregón Villanueva (*)

(*) Investigador de la Sección de Sistemas de Riego a Presión del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México (CENAMAR), SARH

**EVALUACION DEL COEFICIENTE DE
UNIFORMIDAD DE GOTEROS EN LINEAS REGANTES.**

• Ing. Apolinar Obregon Villanueva.

INTRODUCCION.

Dentro de los metodos avanzados de riego uno de los mas recientes es el de riego por goteo y su aplicacion se esta difundiendo ampliamente a nivel mundial sobre todo en regiones donde existe escasez del recurso agua ó épocas críticas de precipitación durante los ciclos agrícolas.

En sistemas de riego a presión, un parámetro que indica el adecuado funcionamiento, es el coeficiente de uniformidad, el cual puede tener dos aplicaciones principales:

1. Prueba del sistema en el campo.
2. Para diseñar líneas regantes.

En el primer caso se utiliza cuando el equipo se ha instalado y conocer si el sistema esta trabajando eficientemente ó dentro de los límites que se fijaron y si será necesario mejorar la eficiencia de operación y manejo.

En el segundo punto el coeficiente de uniformidad es -- una condición de diseño la cual va a establecer la mejor alternativa para garantizar que el sistema estará funcionando correctamente.

Recientemente se ha propuesto que a partir del diseño original, se establezcan los valores del coeficiente de uniformidad deseados dentro de los cuales funcionará el sistema.

• Investigador de Sistema de Riego a Presión.

Los objetivos de este trabajo son:

1. Observar la influencia de la separación entre goteros y la longitud de la línea regante sobre el coeficiente de uniformidad.
2. Evaluar mediante la obtención del coeficiente de uniformidad una línea regante de riego por goteo.
3. Desarrollar un programa de computadora para diseñar líneas regantes en base a un coeficiente de uniformidad seleccionado.

REVISION BIBLIOGRAFICA.

Christiansen (1942) desarrolló un coeficiente de uniformidad para evaluar la eficiencia de la distribución de la lluvia en el riego por aspersión y se basa en la desviación de las observaciones, se representa por la siguiente ecuación:

$$Cu = \left(1 - \frac{\sum (Xi - \bar{X})}{n} \right) 100$$

Cu = Coeficiente de uniformidad.

$\sum (Xi - \bar{X})$ = Suma de los valores absolutos de las desviaciones de las observaciones individuales (Xi), de la media de las observaciones (\bar{X}).

n = Número de observaciones.

Entre los trabajos relacionados con la uniformidad en riego por goteo y que utilizan el coeficiente de Christiansen, se encuentra el de Wu y Gitlin (1973) y desarrollaron un método gráfico para determinar la uniformidad en función de la longitud de la línea regante, presión de entrada, flujo y pendiente.

También mencionan que el concepto de uniformidad usado será ser considerado diferente al que se usa para riego por aspersión. Un Cu de 90 a 80% que generalmente es aceptado para aspersión no puede ser aceptado para el diseño de un sistema de riego por goteo. Esto se debe a que el riego por aspersión riega una área en

conjunto, en la cual el agua se puede redistribuir después del riego, mientras que en riego por goteo la aplicación se efectúa en áreas directas.

Considerando las variaciones en el gasto, se sugiere un Cu de 98 %, el cual dará variaciones entre q. máx. y q. mín. alrededor del 10 %, sin embargo, un Cu de 95 a 98 % será aceptable debido a que las variaciones entre q. máx y q. mín. serán menores -- del 20%. No recomiendan un Cu menor del 90 %.

Keller y Karmeli (1973) presentan datos y ecuaciones de diseño para determinar el intervalo de riego, espaciamiento de goteros y gastos y características hidráulicas del sistema.

Mencionan que la relación entre el gasto mínimo y el gasto máximo es un factor importante de la uniformidad de aplicación y han llamado a esta relación Uniformidad de Emisión (E. U.).

También desarrollaron un parámetro de uniformidad de aplicación el cual incluye las tasas de gastos máximos y mínimos y se ha denominado Uniformidad de Emisión Absoluta (E.U.a.).

La E.U. y la E.U.a pueden ser calculadas por un sistema existente con datos de campo o pueden ser estimadas en el diseño. Las evaluaciones de campo son utilizadas para mejorar el manejo y operación de los sistemas existentes. La uniformidad estimada de datos de diseño, es una parte necesaria para calcular la profundidad de riego, intervalo de riego y la capacidad del sistema.

Para la evaluación con datos de campo puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$EU^o = 100 \frac{qn^o}{qa^o}$$

EU^o = Prueba de campo de la uniformidad de emisión.

qn^o = Es el promedio de la cuarta parte de los gastos más bajos en l.p.h.

ga' = Es el promedio de todos los datos de gastos en l.p.h.

Howell y Hiler (1972) y Zetzche y Newman (1968) sugirieron un método por computadora para determinar las longitudes de líneas regantes para uniformidades seleccionadas sujetas al espaciamiento entre goteros y presión final. Howell y Hiler (1974) modificaron su trabajo para poder hacer los cálculos del diseño sin el uso de la computadora.

MATERIALES Y METODOS.

MATERIALES

El trabajo fué realizado en un terreno de la Universidad Autónoma Agraria " Antonio Narro ", la fuente de abastecimiento fué un pozo profundo y el agua extraída por una bomba vertical con motor eléctrico.

Línea principal de tubería de polietileno de 40 y 32 mm de diámetro.

Línea regante de polietileno de 10 mm. de diámetro.

Goteros o emisores tipo orificio de inserción sobre la línea.

Medidor volumétrico " Delaunet "

Manómetros de 4 Kg./cm².

Termómetros de mercurio de - 10°C a 110°C.

Probetas de 100 cc. vasos de precipitación de 100 a 200 cc.

Cronómetro.

Herramientas y accesorios para la instalación del material.

METODOS

Instalación. La instalación se efectuó de la siguiente manera:

La longitud de la línea principal fué de 50 Mts., 20

tros, con un diámetro de 40 mm. y 30 Mts. con 32 mm. de diámetro. A los 35 Mts. se instaló una llave de paso de 32 mm. con la cual se estuvo controlando la presión, a los 39 Mts. se colocó el medidor volumétrico para registrar el volúmen utilizado en cada prueba, dos Mts. mas adelante estaba el manómetro para poner la presión de trabajo, a los 3 Mts. más se instaló la línea regante dejándose 6 Mts. de extremo y en la salida de un niple de fierro galvanizado para colocar un tapón hembra de fierro galvanizado.

La línea regante se tendió a la mitad de una melga sin pendiente de 210 Mts. de largo y 5 Mts. de ancho.

Los termómetros se instalaron sobre la línea regante y a un lado para medir la temperatura del agua y del ambiente respectivamente, el primer termómetro quedó a 0.375 Mts. de la línea principal y el último a 10 Mts. antes del final de la línea regante que se estuviera trabajando.

Variables en el estudio. Las variables a estudiar con sus niveles fueron:

	50 Metros
Longitud de la línea regante	100 "
	200 "
Espaciamiento entre goteros	0.75 Metros
	1.50 "
	3.00 "
	6.00 "
Presión de operación	0.5 Kg./Cm ² .
	1.0 "
	1.5 "
	2.0 "

Toma de datos. Los datos tomados correspondieron a los gastos emitidos por los goteros. El agua se captó en un vaso de precipitado y aforado en una probeta graduada. Se muestreo el primer gotero y a partir de éste, cada tercer gotero.

Los tiempos de aforo fueron de 60 segundos para la presión de 0.5 Kg./Cm². y de 36 segundos para las presiones de 1.0 1.5 y 2.0 Kg/Cm².

tratamiento, tomándose el mayor número posible para un tamaño de muestra representativo que no fuera menor del 20% de la cantidad total y quedó de la forma siguiente.

LONG. DEL LATERAL (Metros)	ESP. + GOTEROS (Metros)	No. TOTAL	GOTEROS MUESTRA
50	0.75	66	22
	1.50	33	16
	3.00	16	16
	6.00	8	8
100	0.75	133	44
	1.50	66	22
	3.00	33	16
	6.00	16	16
200	0.75	266	89
	1.50	133	44
	3.00	66	22
	6.00	33	17

También se registraron los datos siguientes:

Volúmen inicial y volúmen final.

Temperatura del agua y temperatura exterior.

Presión de trabajo y presión final.

Procesamiento y análisis. Los datos fueron procesados en la computadora y se analizaron previamente en un diseño experimental completamente al azar con arreglo de tratamientos en parcelas sub-divididas con tres repeticiones, se obtuvieron los coeficientes de uniformidad para cada arreglo y después se compararon los resultados obtenidos en el campo con datos obtenidos de un programa para el diseño de líneas regantes.

RESULTADOS Y DISCUSION.

Con el valor medio de los coeficientes de uniformidad obtenidos se procedió al análisis estadístico teniéndose el siguiente --

análisis de varianza.

ANALISIS DE VARIANZA

F. V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	.05	.01
A	2	1041.91	520.95	5635.27 **	5.14	10.92
Error A	6	.55	.09			
B	3	352.01	117.33	1896.22 **	3.16	5.09
AB	6	1153.71	192.28	2992.71 **	2.66	4.01
Error B	18	1.15	.06			
C	3	1.78	.59	3.07 *	2.74	4.08
AC	6	11.01	1.83	9.49 **	2.33	3.07
BC	9	17.57	1.95	10.09 **	2.01	2.67
ABC	18	36.05	2.00	10.35 **	1.75	2.24
Error C	72	13.92	.19			
TOTAL	142	2629.70	18.38			

Se observa que los factores A y B correspondientes a la longitud de la línea regante y el espaciamento entre goteros, presentan alta significancia así como también la interacción de ambos.

El factor C o sea la presión, presentó solamente significancia.

Las interacciones AC, BC y ABC que corresponden a la longitud y presión, espaciamento y presión y longitud, espaciamento y presión presentaron alta significancia.

A continuación se presentan los datos obtenidos con una longitud -- de la línea regante de 50 m.

DATOS OBTENIDOS DEL GOTERO SYSAG.

Longitud Metros	Espaciamiento Metros	Presión Kg./cm ²	Gasto l.p.h.	C.U. %
		0.5	2.39	96
	0.75	1.0	3.71	95
		1.5	4.66	96
		2.0	5.48	95
		0.5	2.35	92
50	1.50	1.0	3.74	92
		1.5	4.71	92
		2.0	5.65	91
		0.5	2.35	94
	3.00	1.0	3.87	92
		1.5	4.96	93
		2.0	5.69	94
		0.5	2.33	96
	6.00	1.0	3.79	95
		1.5	4.85	95
		2.0	5.83	94

Con estos datos se puede decir que el cambio de presión no afectó considerablemente los resultados, ya que en el primer grupo de datos que corresponden a un experimento entre goteros de 0.75 m. de diferencia entre el mínimo y máximo coeficiente de uniformidad obtenido es del 1% y lo mismo sucede en los valores para el espaciamiento de 1.50 m.

Cambiando a los espaciamientos entre goteros de 3.00 m y 6.00 m. se observa que la diferencia entre el máximo valor del CU y el mínimo es -- del 2%.

Analizando el espaciamiento entre goteros se nota una tendencia de que a medida de que aumenta el espaciamiento entre goteros de 0.75 m. se alejan de esa tendencia pues aquí se presentó un Cu de 95 - 96% el cual es igual al grupo de datos con espaciamiento entre goteros de 6 m.

Enseguida se presentan los datos correspondientes a la longitud de la línea regante de 100 m.

DATOS OBTENIDOS DEL GOTERO SYSAG.

Longitud	Espaciamiento	Présión Kg./Cm2.	Costo l.p.h.	C.U. %
		0.5	1.82	91
	0.75	1.0	2.85	92
		1.5	3.65	92
		2.0	4.38	94
		0.5	2.16	94
100	1.50	1.0	3.45	94
		1.5	4.37	93
		2.0	5.07	92
		0.5	2.23	93
	3.00	1.0	3.73	93
		1.5	4.74	93
		2.0	5.63	93
		0.5	2.38	93
	6.00	1.0	2.86	93
		1.5	4.73	92
		2.0	5.67	93

Aquí el comportamiento presentado por los Cu en relación con la presión para un mismo espaciamiento parece ser el mismo que en el caso anterior, la diferencia alcanzada entre el Cu máximo y el Cu mínimo es el 3% para el espaciamiento entre goteros de 0.75 M. , para 1.50 M. la diferencia es el 2%, para 3 M. no hay diferencia y para 6 M. la diferencia es 1%.

La tendencia del Cu a aumentar cuando el espaciamiento entre goteros aumenta se detiene en el espaciamiento a 3 M. y se mantiene igual para 6 M.

Para ampliar mas este análisis, los datos obtenidos con la línea regante de 200 de longitud se presentan a continuación.

Longitud Metros	Espaciamiento Metros	Presión Kg./Cm2.	Gasto l.p.h.	C.U. %
	0.75	0.5	1.14	77
		1.0	1.76	76
		1.5	2.21	76
		2.0	2.59	76
200		0.5	1.66	91
		1.0	2.66	91
		1.5	3.32	91
		2.0	3.93	90
		0.5	2.13	91
		1.0	3.47	91
		1.5	4.23	92
		2.0	5.01	91
		0.5	2.19	89
		1.0	3.60	91
		1.5	4.70	91
		2.0	5.49	92

La tendencia que se ha estado observando se presenta aquí muy marcada en los datos del espaciamiento entre goteros de 0.75 y los demás espaciamientos ya que en el primero se tienen Cu de 76 y 77 % y sube en los demás hasta el 92 %.

Ahora en relación a la influencia de la longitud de la línea regante sobre el Cu se presentan los datos obtenidos con las 3 longitudes y los 4 espaciamientos entre goteros comprendidos en el estudio.

Espaciamiento Metros	L = 50	L = 100	L = 200
0.75	96	91	77
	95	92	76
	96	92	76
	95	94	76
1.50	92	94	91
	92	94	91
	92	93	91
	91	92	90
3.00	94	93	91
	92	93	91
	93	93	92
	94	93	91
6.00	96	93	89
	95	93	91
	95	92	91
	94	93	92

Se observa que cuando la longitud se aumenta los valores del Cu disminuyen, notándose una excepción en el caso de la longitud de 50 m. y en la de 100 m. donde ocurre lo contrario y el valor de Cu aumenta del 92 al 94 %.

También se observa un cambio drástico entre los valores correspondientes a las longitudes de 50 y 100 m. en comparación -- con la de 200 m. pues en aquella se tienen Cu de 96 y 92 % y en la de 200 m. aparecen Cu de 76 y 77 %.

Parece ser que estas variaciones entre las tendencias observadas se deben ya sea a la influencia de la temperatura y/o a la calidad de fabricación de los goteros.

El siguiente paso en este trabajo fue probar un programa de computadora para el diseño de líneas regantes propuesto por Howell y Hiller -- (1974).

Este programa tiene como datos de entrada el diámetro de la línea-regante, presión inicial, espaciamento entre plantas, goteros por planta espaciamento entre goteros, coeficiente de rugosidad y función del flujo del gotero.

Con éstos calcula la longitud de la línea regante, la relación entre el q . mín. y q . máx., el coeficiente de uniformidad de Christiansen, las pérdidas por carga y por cambios de pendiente, el gasto del gotero y el gasto total de la línea.

El programa fue modificado en la lógica y la forma de presentación de resultados.

Originalmente el programa terminaba cuando los cálculos llegaban a la pérdida por presión máxima permisible. Se introdujo el coeficiente de uniformidad como medida de restricción en el diseño y también se observó la relación que existe con la proporción q .mín./ q .máx.

Se compararon datos de campo con los obtenidos mediante el programa

Los datos de campo para longitud de 50 m. y espaciamento entre goteros de 0.75 m. reportaron C_u de 95 y 96%, la pérdida de carga fue de -- 2.50 m. a una presión de 20 m.

Con el programa se encontró que al seleccionarse como límite de -- pérdida el 20% de la presión inicial el C_u llegó a 96%, q .mín./ q .máx. fue igual al 85% y la longitud de la línea regante fue aproximadamente de -- 58 m.

Aproximadamente a los 50 m. obtuvo un C_u de 97.5%, q .mín./ q .máx. -- de 90% y la pérdida de carga de 2.60 m.

Cuando se seleccionó como límite q .mín./ q .máx. de 82% el programa -- calculó hasta una longitud de 62 m., C_u de 95.4% y la pérdida de carga de 4.82 m.

Después se cambió la alternativa al C_u con un valor límite de 95% -- y entonces la longitud de la línea regante fue de 63 m., la relación -- q .mín./ q .máx. de 80.9% y la pérdida por carga de 5.14 m.

Por lo tanto puede decirse que un C_u de 96% indicará que la línea

regante estará funcionando dentro de las reglas de un buen diseño hidráulico y de acuerdo a los objetivos del método de riego por goteo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

1. El análisis estadístico reporta alta significancia para las variables longitud de la línea regante y espaciamiento entre goteros, así como también para sus interacciones. La variable presión fue solamente significativa.

2. La presión no fue un factor determinante sobre el coeficiente de uniformidad.

3. El espaciamiento entre goteros influye en el coeficiente de uniformidad, aumentándose el espaciamiento aumenta el valor del coeficiente de uniformidad.

4. Al aumentar la longitud de la línea regante el coeficiente de uniformidad disminuye.

5. Un coeficiente de uniformidad con valor del 96% garantiza el funcionamiento adecuado del sistema.

6. La validez del programa de computadora para el diseño de líneas regantes es satisfactoria.

RECOMENDACIONES.

1. El diseño de un sistema de riego por goteo deberá tomar en cuenta un coeficiente de uniformidad deseado el cual debe ser igual o mayor -- que el 95%.

2. Al finalizar la instalación de un sistema de riego por goteo, se recomienda efectuar su evaluación y hacerlo periódicamente.

3. Comparar los resultados obtenidos en este trabajo con la metodología empleada por Keller y Karmeli.

4. En el empleo del programa para computadora los datos básicos para el diseño deben ser confiables.

BIBLIOGRAFIA.

- CHRISTIANSEN, J.E. 1942. Irrigation by sprinkling. University of California.
Agricultural Exp. Sta. Bull. 670
- HANSON, G.R. 1973. Hydraulics of trickle irrigation emitter lines.
M.S. Thesis, Utha State University, Logan.
- HOWELL, T.A; E.A. HILER, 1972. Trickle irrigation system design. Asae - -
Paper No 72-221, ASAE, St. Joseph, Mich. 49085.
- HOWELL, T.A; E.A. HILER. 1974. Designing Trickle irrigation laterals for-
uniformity. American Society of Civil Eng. Journal
of the Irrigation and Drainage Division. Vol. 100,
No IR 4.
- KELLER, J:D. KARMEI, 1973. Trickle irrigation design parameters. ASAE Pa
per No 72-234, ASAE, St. Joseph, Mich. 49085.
- WU, I.P; H.M. GITLIN, 1974. Drip irrigation design based on uniformity --
Transactions of the ASAE 17.

ANEXO N° 4

LA SELECCION DE UN SISTEMA DE
RIEGO POR GOTEO

Por: Ing. Rafael Francisco Quintero (*)

(*) Gerente General de Riegos Modernos, S.A., México

R I E G O P O R G O T E O

1. INTRODUCCION

Al seleccionar el sistema de riego más adecuado entre las numerosas posibilidades que se nos ofrecen, es preciso considerar también el riego por goteo, la última variante entre los sistemas modernos de irrigación que ha tenido un éxito creciente en los años recientes gracias a sus ventajas decisivas en ciertas condiciones.

Como cualquier otro sistema de irrigación artificial, el riego por goteo busca, a través de un uso racional del agua, la optimización de la cosecha, en cantidad y calidad.

En principio, por su costo inicial relativamente elevado conviene particularmente para cultivos de alto rendimiento económico, en situaciones donde el agua o la topografía, así como la textura del terreno son factores limitantes; sin embargo, también existen aplicaciones más económicas.

Los primeros sistemas comerciales de riego por goteo se instalaron hace aproximadamente 20 años en Israel, Australia y en los Estados Unidos. Desde esta época, en un constante proceso de investigación a nivel mundial, aquellas modestas aplicaciones se han transformado en una tecnología adelantada y compleja, ya bastante madura que -bien entendida y bien aplicada- logra múltiples beneficios para la humanidad.

Es precisamente el objeto de este trabajo, resumir los conocimientos acumulados a la fecha en materia de riego por goteo, para permitir al usuario la selección del equipo indicado, según los numerosos factores por considerar.

En la actualidad existen en el mundo más de 100,000 hectáreas de cultivo regadas con el sistema de riego por goteo, con resultados altamente satisfactorios en todas partes.

2. DEFINICION, PRINCIPIO Y APLICACIONES **PRINCIPALES**

El riego por goteo se define como LA APLICACION LENTA PERO FRECUENTE Y EN PEQUEÑAS CANTIDADES DE AGUA DIRECTAMENTE A LA ZONA DE LAS RAICES DE LAS PLANTAS O ARBOLES, motivo por el cual son evitadas definitivamente hasta en un 80% las pérdidas por evaporación superficial, escorrentía y percolación, que invariablemente ocurren con los métodos tradicionales de riego.

El riego por goteo mantienen una gran sección de la zona de raíces de una planta, entre la saturación y la capacidad de campo durante la temporada de cultivo o de desarrollo, por lo que al no verse limitados por períodos extremos de humedecimiento y secado del suelo, como tradicionalmente ocurre con otros métodos de riego, se obtienen mejores sembradíos que a la postre ofrecen cosechas superiores.

La explosión demográfica en el mundo, ha hecho necesaria la utilización de terrenos de topografía accidentada, que se encontraban al margen de la irrigación por el alto costo de conducción, distribución y almacenamiento del agua, así como de las obras de conservación indispensables, para evitar la erosión de estos suelos. El riego por goteo ha hecho posible la obtención de cultivos y producción de alimentos en tales terrenos, aún en laderas de fuerte pendiente.

Además, ha permitido el cultivo agrícola en zonas áridas o semi áridas, antes no utilizadas por la falta de un sistema de alta eficiencia en el consumo de agua, recurso escasísimo en estas zonas.

Aparte de estos casos extremos -terrenos accidentados y zonas áridas- el riego por goteo se recomienda especialmente en cultivos de alto rendimiento económico, tales como legumbres, fresas, melones, vid y árboles frutales.

3. FACTORES DETERMINANTES

Al considerar un sistema de riego por goteo es indispensable examinar en primer lugar los 4 factores básicos siguientes que son determinantes para el correcto diseño y selección de los componentes del sistema

- Tipo de cultivo
- Cantidad y calidad del agua
- Tipo y composición del suelo
- Topografía del terreno

3.1 Tipo de cultivo

El tipo de cultivo y su forma de sembrado influyen mucho en la selección del tipo de gotero.

Para cultivos en hilera, tales como fresa, tomate, flores, caña de azúcar, etc., conviene las cintas e tubos perforados respectivamente exudantes, mientras que los cultivos espaciados tales como árboles, requieren emisores individuales, de una o más salidas, según el caso.

El tipo de raíces de cada cultivo también es un factor importante por tomar en consideración al seleccionar el gotero.

3.2 Cantidad y calidad de agua

Es, por mucho, uno de los factores más importantes.

La cantidad de agua disponible determina de manera directa la superficie cultivable. En caso de que el agua sea escasa, el riego por goteo tiene enormes ventajas en comparación con cualquier otro sistema por su alto grado de eficiencia. No son raros los casos en los cuales se puede aumentar al doble la superficie cultivable en comparación con otros métodos.

En cuanto a la calidad del agua, o sea, su grado de pureza en lo que se refiere a partículas ajenas, así como su composición biológica y química, es indispensable proceder a su análisis completo antes de poder diseñar el sistema y seleccionar sus componen-

tes, ya que del resultado de este análisis dependen totalmente sus características y su futura manera de operación.

3.3 Tipo y composición de suelo

Distinguimos básicamente entre tres tipos de suelos en cuanto a su textura, a saber:

- ligero (arenoso)
- mediano
- pesado (compacto)

y cada uno se distingue del otro de manera considerable en lo que se refiere a escurrimiento respectivamente poder de retención del agua, lo que lógicamente influye en forma directa sobre las características del sistema de riego y de su operación.

Es en suelos arenosos y ligeros donde el riego por goteo tiene una de sus ventajas sobresalientes, por la aplicación lenta pero frecuente del agua, lo que evita en gran medida su pérdida por percolación.

Obviamente, es preciso también conocer la composición química de la tierra, por un lado para decidir la adecuada fertilización y por otro para poder tomar las precauciones necesarias en cuanto a lixiviación de suelo, en caso de presentarse concentración de sales (ver capítulo 7.4 Salinidad, lixiviación).

3.4 Topografía

Sí bien el riego por goteo se puede aplicar virtualmente en cualquier terreno, desde los que son perfectamente planos hasta cerros de fuertes pendientes (una de sus grandes ventajas), es necesario tomar en cuenta la topografía en primerísimo lugar al diseñar el sistema, ya que de ella depende directamente la correcta selección de los materiales y componentes, sobre todo la tubería, reguladores de presión respectivamente de flujo, tipo de gotero, etc. para garantizar un resultado óptimo.

Existen goteros compensadores de presión o de flujo que convienen especialmente para terrenos accidentados que exigen de la necesidad de tener que regular demasiado exactamente la presión en cada punto del predio.

4. ELEMENTOS, COMPONENTES, MATERIALES

Un sistema de riego por goteo consiste básicamente en los siguientes elementos respectivamente componentes:

- 4.1 Una fuente de abastecimiento de agua
- 4.2 Un equipo de bombeo
- 4.3 Un cabezal de descarga, incluyendo filtros
- 4.4 Un aplicador de fertilizantes
- 4.5 Tuberías de conducción y distribución
- 4.6 Tuberías para las líneas regantes
- 4.7 Goteros o emisores
- 4.8 Accesorios

4.1 Fuente de abastecimiento de agua

La fuente de abastecimiento puede ser cualquiera de las siguientes:

- Río
- Acequia
- Canal
- Estanque
- Noria
- Pozo profundo

Cualquiera de estas fuentes es utilizable, pero el agua más recomendable para el riego por goteo por su baja concentración de bacterias y sólidos en suspensión, es la de pozos profundos. Sin embargo, esto no significa que no se puedan usar con este fin las aguas superficiales (ríos, arroyos, estanques, etc.), sino que su utilización implica un perfecto filtrado, generalmente en varias etapas antes de poder usarlas, ya que, como se sabe, estas aguas a menudo están muy contaminadas con

bacterias y hongos, además, según la época del año, tendrán diversas concentraciones de sólidos en suspensión, lo cual podría ocasionar obstrucciones muy serias en los emisores.

4.2 Equipo de bombeo

La energía necesaria para poner en circulación el agua dentro de las tuberías y hacerla llegar a todos los puntos del terreno, así como la presión de trabajo del gotero o emisor, es proporcionada por un equipo de bombeo, el cual puede estar movido por motores de gasolina, diesel o electricidad, sólo que en este último caso deberá protegerse contra fallas hidroeléctricas y mecánicas por medio de interruptores de seguridad, así como arrancadores termomagnéticos. La selección de cualquiera de las fuentes de energía antes citadas se hará de acuerdo con las condiciones particulares de cada sistema.

4.3 Cabezal de descarga, filtros

Se ha dado por llamar cabezal a la sección de control y filtrado del sistema, el cual generalmente consiste en lo siguiente:

- Filtro desarenador
- Filtros de malla, arena o ambos
- Válvulas de control
- Medidor volumétrico
- Indicadores de presión
- Reguladores de presión
- Equipo para clorinar el agua
- Válvulas de alivio

Algunas de estas partes pueden eventualmente ser eliminadas del sistema, en aras de la economía, pero se debe ser estricto en lo que respecta al filtrado. De hecho el filtrado es una de las partes más importantes de cualquier sistema de riego por goteo y el no respetar este principio invariablemente acarreará serias dificultades, ya que los emisores tienen orificios pequeños para poder proporcionar los bajos volúmenes (4 a 10 l/h.) requeridos en el riego por goteo, por lo que el filtro debe remover todas las partículas que pudieran obstruir los emisores.

Las obstrucciones en los sistemas son ocasionadas por dos clases diferentes de contaminantes: orgánicos e inorgánicos. Entre los primeros encontramos algas, bacterias, plantas acuáticas, peces y otros organismos vivos o muertos y en segundo grupo tenemos arcilla, arena y minerales. Al planear un sistema de riego por goteo, el primer paso es analizar el agua para determinar los siguientes factores:

- Sólidos en suspensión (tamaño y cantidad)
- Acidez
- Algas
- Viscosidades bacterianas
- Hierro
- Azufre

Con estos datos ya es posible determinar correctamente el sistema de filtrado y el tratamiento de agua adecuado.

Los filtros generalmente utilizados en los riegos por goteo son de los siguientes tipos:

- Desarenador
- Malla de acero inoxidable
- Arena sílica

Filtro desarenador. - En los casos en que haya una gran cantidad de arena en el agua, es conveniente colocar un desarenador antes del filtro de malla. Estos desarenadores funcionan por el sistema de vórtice, por el cual, al girar el agua, debido a la fuerza centrífuga, lanzan los sólidos hacia las paredes, desde donde resbalan al fondo del filtro. Los separadores de arena pueden eliminar sólidos hasta de 74 micrones (200 mallas) siempre y cuando sean más pesados que el agua, por lo tanto, los separadores no pueden eliminar las algas, cieno, arcilla y bacterias.

Filtro de malla. - El filtro de malla es el más sencillo y más comunmente usado en los sistemas de riego por goteo. Existen en el mercado filtros de malla con y sin retrolavado, sin embargo, deberán preferirse los primeros, ya que los elementos filtrantes se pueden limpiar fácil y rápidamente sin sacarlos de los cuerpos y sin interrumpir las operaciones de riego.

Filtro de Arena

Cuando el agua contenga cantidades considerables de algas y el tratamiento químico no es recomendable, por ningún motivo deberá usarse filtros de mallas, pues las mallas se taparán rápidamente, haciendo necesario lavados frecuentes. En estas condiciones el filtro recomendado debe ser uno de arena, ya que éstos no se tapan con algas y filtrará una cantidad considerable de contaminante antes de taparse. Los filtros de arena deberán tener retrolavado para hacer sencillo el proceso de limpieza.

En definitiva, la correcta selección del tipo de filtrado se hará de acuerdo con la clase de sólidos en suspensión. En la mayoría de los casos será necesario utilizar cuando menos uno de ellos, en otros casos una combinación de dos o tres de los tipos mencionados y ocasionalmente se deberá recurrir adicionalmente a tratamientos químicos del agua. Como guía puramente indicativa se inserta la tabla I, que deberá usarse para la selección del tipo de filtrado:

T A B L A I

Selección de tipo de filtro

Sólidos en Suspensión	Tamaño de las Partículas	Malla recomendada	Filtro de desarenador	Filtro de Malla	Filtro de Arena	Tratamiento
Arena	0.002-0.080	10-270	X	X	X	
Cieno	0.00008-0.002	> 270		X	X	Sedimentación
Orgánico (algas, etc.)	—			X	X	Químico
Minerales	—			X		Químico

Para hacer una correcta selección de las mallas que deberá tener su filtro, utilice la tabla II

T A B L A II

Mallas	mm	Mircrones $\frac{1}{1000}$ mm	Mil $\frac{1}{1000}$ Pulgada
4	3.5	3,500	150
6	2.5	2,500	100
10	1.5	1,500	60
20	0.8	800	30
30	0.5	500	20
50	0.3	300	12
75	0.2	200	8
120	0.13	130	5
155	0.1	100	4

4.4 Aplicador de fertilizante

Los métodos más usados para introducir al sistema de riego el fertilizante, insecticidas, nematicidas, mejoradores, etc., son los siguientes:

- Tanques fertilizadores
- Bombas inyectoras operadas
 - con energía exterior
 - con energía del agua
- Medidores tipo venturi succionando de
 - depósito abierto
 - depósito cerrado

La buena operación de la unidad aplicadora de fertilizante, tomando en cuenta la superficie, el cultivo en que se utilizará y el costo de adquisición, normarán el criterio para la selección y adquisición de cualquiera de estos métodos.

4.5 Tuberías de conducción y distribución

Actualmente las tuberías más usadas para la conducción y distribución del agua en los sistemas de riego por goteo, son las de cloruro de polivinilo (PVC) y de polietileno. De hecho su facilidad de instalación, su bajo costo de adquisición -debidamente protegidas contra los rayos del sol- y su duración prácticamen-

ilimitada, las han hecho las preferidas por los agricultores.

4.6 Tuberías para las líneas regantes

Según sea el material usado, las líneas regantes se podrán colocar superficialmente o deberán ser enterradas. Estas líneas tienen la función de distribuir el agua a los árboles por medio de los emisores.

Las tuberías que se utilizan para este fin, se fabrican con polietileno pigmentado con negro de humo (2-3%) y pueden ser de los dos tipos conocidos, a saber de baja o alta densidad.

Las que se producen con polietileno de baja densidad, aunque estén pigmentadas con negro de humo, deberán utilizarse SOLAMENTE enterradas, ya que su resistencia al intemperismo es insuficiente. De hecho, debido a los efectos de los rayos ultravioletas de sol, se degradan rápidamente.

En cuanto a los tubos de polietileno de alta densidad, son más resistentes al intemperismo. Se pueden instalar superficialmente sin mayores riesgos, siempre y cuando estén fabricados con material adecuado, o sea, polietileno de primera, correctamente pigmentado con el porcentaje indicado de negro de humo y con una perfecta dispersión.

4.7 Goteros o emisores

Los goteros o emisores son los encargados de distribuir el agua en forma de gotas a las plantas. Estos goteros generalmente emiten un gasto que varía entre 2 y 10 litros por hora.

Existen actualmente en el mercado internacional un gran número de tipos de emisores, por ello, es menester hacer un análisis de las ventajas y limitaciones de cada uno, para poder hacer una selección adecuada, ya que hasta la fecha NO existe un emisor universal que reúna todas las condiciones necesarias para adaptarse a cualquier tipo de suelo, topografía, cultivo y clase de agua.

En primer término debemos distinguir entre cintas o tubos goteros y emisores individuales. Por cintas y tubos goteros entendemos ductos perforados en una forma u otra que no requieren goteros individuales, ya que la distribución del agua se hace desde el ducto mismo. Se conocen varios tipos, de una o dos paredes con orificios minúsculos, así como las mangueras porosas (cintas exudantes). También existen tubos con túneles y laberinto

tos de varios tipos, pero todos obedeciendo al mismo principio de reducción de presión por largo camino.

Los goteros individuales, por la forma en que se colocan en el tubo, pueden ser del tipo "on line" (sobre el tubo, en forma protuberante) o del tipo "in line" (en línea, formando parte integral del tubo).

Entre los goteros mismos nuevamente existe una gran variedad que, en grandes rasgos, se pueden clasificar como sigue:

<u>Orificio de Entrada</u>	<u>Compensación de presión</u>	<u>Partes móviles</u>
Pequeño < 0.5 mm	con	con
	sin	sin
Grande > 1.0 mm	con	con
	sin	sin
Regulable manualmente	con	con

La compensación de presión, con la cual se regula el gasto del gotero, se obtiene por muchos medios, entre los cuales se pueden mencionar los más usuales: camino largo, cámara de turbulencia, pequeños orificios escalonados, membranas, válvulas de bolas, roscas, etc.

Por lógica, cada uno de estos goteros tiene sus ventajas y desventajas tanto funcionales como económicos y sólo considerando todos los numerosos factores que intervienen en un sistema de riego, se puede seleccionar el más indicado. Así, un determinado gotero podrá dar magníficos resultados en un caso y ser la causa de amargas decepciones en otro, lo cual significa que debe existir para el usuario la posibilidad de escoger entre múltiples variantes, para llegar a obtener el gotero adecuado a las condiciones particulares de su caso.

Como regla general, se puede decir que las cintas o tubos goteros convienen específicamente para cultivos en hileras y en superficies planas, mientras que los goteros individuales son más indicados para cultivos espaciados y los que tienen compensación de presión (o sea, que dan un gasto más o menos constante dentro de cierto rango de presión) son adecuado para terrenos accidentados o con pendientes.

En caso de árboles frutales, a medida que crecen requieren más agua, distribuída en un radio mayor, por lo que convienen más los goteros con dos o más salidas o los goteros muy económicos que se pueden agregar a la línea, según sean las necesidades.

4.8 Accesorios

Simplemente quisiéramos mencionar los principales accesorios que forman parte de un completo sistema de riego por goteo y que son indispensables en muchos casos.

- Manómetros para medir la presión en diferentes puntos estratégicos
- Reductores de presión y/o de flujo en caso de diferencias de nivel que no pueden ser vencidas por variaciones en el diámetro de los tubos y/o por los goteros compensadores
- Válvulas de lavado al final de las líneas regantes, permitiendo la limpieza periódica del sistema entero (flushing), procedimiento importantísimo y necesario para evitar la obstrucción de los goteros y de la tubería en general
- Válvulas relevadoras de aire de doble acción para regular el contenido de aire en las tuberías
- Válvulas de alivio de presión para contrarrestar las elevaciones bruscas de presión

5. DISEÑO DEL SISTEMA Y SELECCION DE LOS COMPONENTES

La conclusión lógica de los capítulos anteriores, es que se requiere un conocimiento profundo de todos los parámetros que intervienen en un sistema de riego, así como de todas las posibilidades de solución existentes; en fin, se necesita ser verdaderamente un experto en esta nueva tecnología para calcular y diseñar un sistema funcional, seleccionar los componentes adecuados y poder así garantizar su operación en condiciones satisfactorias.

6. INSTALACION

Al igual que el diseño del sistema, su instalación requiere conocimientos, experiencia y cuidado.

Se debe confiar únicamente a personal suficientemente capacitado y bajo la supervisión de un ingeniero experto en la materia.

Aparte de la instalación correcta de la tubería, asegurando uniones herméticas y sin fugas, la adecuada inserción y ubicación de los goteros es importante.

También se necesita la realización limpia del trabajo para evitar que tierra u otras partículas tales como rebabas o aserrines de plástico originadas al hacer un corte, se queden en el interior de los tubos, ocasionando posteriormente obstrucciones en los goteros.

De todos modos, es indispensable efectuar un lavado cuidadoso de toda la tubería antes de colocar los goteros.

7. OPERACION

Al igual que el diseño experto y la correcta instalación, la parte operativa de un sistema de riego por goteo es de importancia capital. De hecho los resultados dependen en forma directa de su buen manejo.

7.1 Frecuencia de riego

La cantidad óptima de agua y su distribución en el tiempo, así como en la tierra, es función de uso consuntivo y la determinará el agricultor o el experto agrónomo.

Como regla general, en riego por goteo se tiende a distribuir el agua en cantidades pequeñas durante tiempos prolongados, asegurándose una buena aereación.

Se recomienda no confiarse en el "ojo de buen cubero", sino utilizar tinas clase A y tensiómetros para dosificar correctamente el agua.

7.2 Tapado de los emisores

Probablemente el capítulo más doloroso en el largo camino de desarrollo del riego por goteo ha sido el tapado de los emisores que, durante mucho tiempo, fué el obstáculo más serio a su aceptación. Durante los últimos años, en todas partes del mundo se han hecho muchas investigaciones y experimentos, hasta que hoy podemos, afortunadamente, afirmar que el problema ha sido resuelto, pues en instalaciones comerciales se podido disminuir el tapado de emisores a porcentajes absolutamente aceptables ($< 5\%$), sin tener que recurrir a medios incosteables.

Las causas de la obstrucción de los goteros son conocidas. Consisten en partículas físicas y/o sustancias biológicas o químicas que, en ciertas condiciones, se desarrollan y multiplican, se precipitan o se aglutinan, formando taponamientos que obstruyen poco a poco los orificios de salida.

Si bien las partículas físicas pueden retenerse con un buen filtrado, las aglomeraciones de origen biológico o químico se forman posteriormente en la tubería, sobre todo, como consecuencia de elevación de temperatura o estancamiento prolongado del agua.

Para combatir los efectos nocivos de estas reacciones, se utilizan, con muy buenos resultados, dos medios eficaces:

- La cloruración del agua u otro tratamiento químico (en caso de cloruración la dosificación debe ser tal que quede 1 ppm de cloro libre en el agua)
- El lavado periódico de los ductos, abriendo las terminales de las líneas regantes durante el tiempo requerido, si es posible aumentando la presión del agua en la tubería hasta el límite permitido.

También se usan con el mismo fin, válvulas de lavado automáticas (flushing valves).

En ciertos casos extremos es necesario combinar los dos métodos, por supuesto, además de un filtrado eficiente.

7.3 Fertilización

Con base en diversos trabajos realizados en Israel y otros países, se sabe que el riego por goteo disminuye el área de humedecimiento y por tal razón se restringe el volumen de suelo en que las raíces se desarrollan, creando la necesidad de complementar el riego, con un vigoroso programa de fertilización que permita obtener los resultados esperados del riego por goteo.

En términos generales, se utilizan dos tipos de diferentes programas:

- Nutrición continua
- Nutrición discontinua

Se entiende por nutrición continua, la aplicación de sustancias minerales necesarias para la alimentación de las plantas, a través del agua de riego, equivalente a una solución nutritiva usada en cultivos hidropónicos abiertos. El segundo tipo de nutrición se lleva a cabo mediante concentraciones más o menos elevadas de nutrientes, a través del agua de riego, aplicadas en los períodos de mayor demanda del cultivo, tales como: floración, frutificación, etc. Muy a menudo, para resolver los problemas de inmovilidad, precipitación, inhibiciones, etc., especialmente con los elementos fósforo, potasio y fierro, se ha venido utilizando en forma más continua la fertilización foliar, registrándose resultados espectaculares, por lo que esta técnica

ha abierto posibilidades insospechadas para resolver o simplificar los problemas que hasta la fecha han significado los programas de fertilización, utilizados en el riego por goteo (insolubilizaciones).

De hecho, es requisito indispensable que los fertilizantes utilizados sean completamente solubles en el agua de riego.

Las soluciones de fertilizantes siempre tienen que agregarse antes del sistema de filtrado, para que éste elimine cualquier sólido no disuelto que pudiera formarse debido a variaciones inesperadas en la temperatura o en el PH del agua o del fertilizante.

7.4 Salinidad, Lixiviación

A menudo se ha dicho que el sistema de riego por goteo es potencialmente peligroso, por la acumulación de las sales contenidas en el agua de riego en la superficie del suelo y en las orillas del área humedecida. Aún cuando los iones más comunes del agua de riego son: magnesio, sodio, boro, calcio y sulfatos, los cuales en pequeñas cantidades son necesarios para la nutrición de los vegetales, en cantidad mayor que la necesaria, estas sales solubles sobrantes se convierten en salinidad potencial.

Ahora bien, el exceso de sales en el suelo afecta a los vegetales en dos formas perfectamente conocidas, una de ellas es cuando la planta absorbe iones tóxicos que pueden ocasionar quemaduras en las hojas de tallo leñoso, como en el caso de la absorción de cloro por el aguacate. El otro efecto es el de interferir la absorción normal del agua y minerales, originando un crecimiento reducido y una baja producción.

Sin embargo, las experiencias obtenidas en Israel y otros países, nos indican que incluso se pueden utilizar aguas con un alto contenido en sales, sin que se observen daños a las plantas o se disminuyan sus rendimientos. Las concentraciones de sales usadas en Israel, fluctúan de 500 p p m en sales totales hasta un total de 3000 p p m. El contenido de cloro varía entre 150 a 800 p p m y sin embargo, se obtuvieron rendimientos sobresalientes. El Dr. Dan Golberg, jefe del Departamento de Irrigación de la Facultad de Agricultura de la Universidad Hebrea de Jerusalén, explica que el riego casi continuo, da como resultado una baja tensión de la humedad del suelo, ya que los niveles de humedad se mantienen entre capacidad de campo y saturación, permitiendo a las plantas resistir la mayor tensión osmótica que es inherente a los suelos de alta salinidad.

No obstante, es conveniente tomar en cuenta que el exceso de sales solubles se acumulará en las capas superficiales del suelo, en las orillas del área humedecida y en el fondo del bulbo humedecido, por lo que ésto puede representar un grave peligro en áreas donde ocurren lluvias ligeras, ya que éstas podrían mover las sales superficiales hacia abajo, exactamente a la zona de raíces, causando serios daños a las plantas de raíces superficiales. Es por ello que antes de la temporada de lluvias, se deberá lavar la zona de raíces, con un sistema portátil de riego y en esta forma arrastrar fuera de la zona de raíces, el exceso de sales que se ha ido acumulando durante la temporada de riego. En las áreas donde las lluvias son abundantes, este riesgo no existe, ya que las sales son perfectamente lavadas durante el período de fuertes precipitaciones.

7.5 Personal de operación, Capacitación

Se ha visto que el buen manejo de un sistema de riego por goteo es tan importante como todo el resto, o sea, diseño, material e instalación. De hecho, un sistema es como una máquina o una instalación complicada en una fábrica, cuya operación no se puede confiar a cualquier persona y menos todavía sin ofrecerle el entrenamiento y los conocimientos necesarios. Desgraciadamente, en este sentido se han cometido muchos errores que han causado fallas lamentables en sistemas bien calculados e instalados.

Lo que se requiere, es un operador-irrigador perfectamente instruido por la empresa vendedora del sistema, responsable para una cierta cantidad de hectáreas, en caso de sistemas muy grandes.

7.6 Manual de operación

Para asegurar la buena marcha del sistema es indispensable obtener del fabricante vendedor de sistemas, un manual de operación, en el cual todas las fases, desde la succión del agua hasta los lavados de la tubería, están detalladamente descritas y justificadas.

8. DURABILIDAD

La durabilidad, o sea, el número de años durante los cuales un sistema se puede utilizar, es un factor de costo determinante.

Existen en el mercado dos tipos de sistemas, en cuanto a su durabilidad:

- Los desechables

y

- Los duraderos.

En los desechables se elimina la tubería regante una vez terminada la o las cosechas, junto con el cultivo. Este es el caso en caña de azúcar, tomate o en fresas (p. ej. después de dos años), cuando se utilizan cintas goteras.

Sin embargo, en los demás casos, sobre todo donde se utiliza tubería más cara y goteros individuales, se busca obtener una durabilidad prolongada que será no menos de 5 años, dependiendo ésta, en primer lugar, de la calidad de la tubería (ver capítulo 4.6) y del cuidado en la operación. El enterrar las tuberías regantes prolonga, desde luego, considerablemente su vida. En lo que se refiere a los goteros, es importante evitar que se pisen, sobre todo a los que se colocaron sobre los tubos, formando una protuberancia.

9. COSTO

Por todo lo descrito en los capítulos anteriores, es obvio que no se puede señalar un costo standard para sistemas de riego por goteo, ya que cada uno, según las circunstancias, será diferente del otro, algo así como un traje cortado a la medida.

También influyen en el costo promedio por hectárea el tamaño del terreno por regar y la localización de la fuente de agua, por el impacto que tienen en la ponderación las líneas de conducción, así como el sistema de bombeo y de filtrado.

De tal manera que varía extremadamente el costo de los sistemas entre \$ 8,000.00 y \$ 60,000.00 M. N. por hectárea, en la actualidad, según la densidad de población del cultivo, así como según el costo de las instalaciones de conducción y preparación de agua.

10. RESULTADOS

10.1 Ahorro de agua

Se ha hablado mucho del ahorro de agua que permite el riego por goteo y se han mencionado cifras impresionantes de 40 a 80%. Si bien es cierto que se puede ahorrar agua en cantidades considerables, el enfoque no es el correcto, ya que en realidad no se trata de ahorrar (= no consumir) sino de obtener un rendimiento mejor del agua disponible. En este sentido si se han obtenido resultados espectaculares, aumentándose la eficiencia del agua de 35-50% con riegos por gravedad (el resto se pierde) a 80-95% con riego por goteo.

10.2 Ahorro en fertilizante

Uno de los ahorros más apreciables que permite el riego por goteo es la reducción de la cantidad de fertilizante por el uso racional del agua, al cual se agregan los fertilizantes solubles. El ahorro corresponde al %aje de aumento de eficiencia del agua obtenido y puede ser hasta el 40% en comparación con otros métodos.

10.3 Distribución y experiencia en México

La distribución de los sistemas de riego por goteo es en la actualidad bastante amplia, ya que se pueden localizar instalaciones en los estados de Guerrero, Veracruz, México, Tamaulipas, Yucatán, Sonora, Aguascalientes, Jalisco, Morelos, Durango, Coahuila, entre otros, habiéndose obtenido generalmente resultados muy satisfactorios.

En algunos casos se han registrado fracasos, pero, es conveniente hacer notar, que han sido provocados por personas o empresas que han vendido sistemas de riego por goteo, sin contar con los conocimientos técnicos adecuados, tanto en el diseño y cálculo, como en la fabricación de los materiales que los componen. También se han cometido errores en la operación de los sistemas, ya sea por falta de capacitación del personal operador, o por falta de cuidado en general.

En números redondos, se puede decir que existen en México alrededor de 4,500 hectáreas dedicadas a la producción frutícola o al cultivo agrícola temprano, en las regiones de temporal que son regadas exitosamente mediante el sistema de goteo.

10.4 Resultados agrícolas (cosechas)

A título de ejemplo, transcribimos algunas publicaciones relacionadas con cosechas obtenidas con riego por goteo en México, Israel y Australia.

Resultados agrícolas en México

El Ingeniero Agrónomo Francisco Torres Noyola, realizó el cultivo de sandía en el Centro de Investigación del Noreste, ubicado en el Valle del Yaqui, Son., aplicando y comparando los tipos de riego por GOTEO y por GRAVEDAD, obteniendo los resultados que se indican en seguida, entre los que destaca el hecho insólito de que el plantío regado por goteo tuvo una segunda fructificación:

<u>CICLO VEGETATIVO</u>	<u>RIEGO POR GOTEO</u>	<u>RIEGO POR GRAVEDAD</u>
1a. Etapa	149 días	163 días
2a. Etapa	182 días	- o -
Lapso "Siembra Floración"		
1a. Etapa	90 días	96 días
Duración de la Fructificación		
1a. Etapa	45 días	53 días
2a. Etapa	40 días	- o -
Rendimiento:		
1a. Etapa	33.8 toneladas	23.9 toneladas
2a. Etapa	<u>16.0 toneladas</u>	<u>- o -</u>
Totales	49.8 toneladas	23.9 toneladas
Promedio del Fruto		
1a. Etapa	6.57 Kgs	5.43 Kgs
2a. Etapa	<u>5.34 Kgs</u>	<u>- o -</u>
Totales	6.11 Kgs	5.43 Kgs

Proporción de exportación

1a. Etapa	77%	42%
2a. Etapa	<u>55%</u>	<u>-0-</u>
Totales	70%	42%

Resultados obtenidos en Riego por Goteo

S R H Cenamar Ciudad Lerdo, Dgo.

1974 - 1975

	Tipo Riego	Producción to/ha	Rendimiento Comparativo	Lámina Aplicada cm	P/O Agua Consumida
Lechuga	Goteo	89.36	2.55	53.3	45 %
	Surco	35.00	1.00	119.0	100 %
Melón	Goteo	128.00	3.65	87.7	88 %
	Surco	35.00	1.00	100.0	100 %
Repollo	Goteo	38.65	2.58	52.14	45 %
	Surco	15.00	1.00	119.0	100 %
Sandía	Goteo	78.90	3.99	87.7	88 %
	Surco	20.00	1.00	100.0	100 %
Maíz	Goteo	9.76	2.79	45.4	80 %
	Surco	3.50	1.00	56.5	100 %

Banco de México Valle del Yaqui, Son. 1974

Sandía	Goteo	49.80	2.08	42.0	58 %
	Surco	23.90	1.00	72.0	100 %
Jitomate	Goteo	22.55	1.30	45.9	67 %
	Surco	17.47	1.00	68.0	100 %

S R H Río Yaqui, Son. 1974

Chile Caribe	Goteo	26.20	1.87	85.0	89 %
	Surco	14.00	1.00	95.0	100 %

TOMATE ISRAEL	Sistema de riego utilizado		
	Gravedad	Aspersión	Goteo
Lámina en cm	96.5	93.7	43.2
Nitrógeno aplicado kg/ha	201	179	112
Rendimiento kg/ha	47 376	51 072	120 960
Horas/hombre/ha	44.4	11.1	3.8

Resultados agrícolas en Australia

VID AUSTRALIA	Sistema de riego utilizado		
	Gravedad	Aspersión	Goteo
Lámina en cm	96.6	76.0	40.0
Nitrógeno aplicado kg/ha	112	224	78
Rendimiento kg/ha	16 576	17 024	29 436
Horas/hombre/ha	29.64	7.41	2.47

Resultados agrícolas en Israel

En Israel se han reportado resultados espectaculares en varios cultivos como maíz, hortalizas, (jitomate, pepino, pimiento morrón) y frutales, tales como vid, melón, aguacate, obteniéndose mediante el riego por goteo rendimientos elevados por hectárea, tales como 180 to de jitomate, 55 to de uva, 44 to de fresa.

(Experimentos comparativos desarrollados bajo condiciones idénticas)

1. Resultados de pruebas de campo con tomate (Arava Central) regado con aguas salinas (Conductividad Eléctrica C.E. = 3 milimhos/cm; alrededor de 900 Mg/litro de cloruro)

Media de 12 parcelas experimentales

Riego por aspersión 15.72 to/Acre

Riego por goteo 25.96 to/Acre

2. Resultados de pruebas de campo con tomate (Arava del Norte)

Riego con agua salina (C.E. = 0.4 milimhos/cm alrededor de 60 Mg/litro de cloruro)

Media de 9 parcelas experimentales

Riego por aspersión 20.80 to/Acre

Riego por goteo 26.68 to/Acre

3. Resultados de pruebas de campo con melón (Arava del Sur).

Riego con agua salina sulfurosa (C.E. = 3 milimhos/cm, alrededor de 600 Mg/litro de cloruro y 700 Mg/litro de sulfatos)

Rendimiento to/Acre

<u>Método de riego</u>	<u>Total</u>	<u>De Exportación</u>
Aspersión	9.52	5.18
Surcos	9.68	6.68
Goteo	17.20	13.96

10.5 Economía, rentabilidad

El aspecto económico, o sea, el de la rentabilidad de un sistema de riego, si bien no en todos los casos, por lo menos en la mayoría de ellos, es el factor decisivo.

Invirtiendo de \$ 8,000.00 a \$ 60,000.00 por hectárea, según el caso, el agricultor, justificadamente, espera un aumento de su ingreso neto en una proporción atractiva de esta inversión, para recuperarla en un tiempo razonable y posteriormente tener los beneficios íntegros que el sistema produce.

Es precisamente una de las ventajas básicas del riego por goteo el que esta rentabilidad se da, en la mayoría de los casos, a muy corto plazo, principalmente por el aumento cuantitativo y cualitativo de las cosechas, o por el aumento de las superficies cultivables.

11. RESUMEN DE LAS PRINCIPALES VENTAJAS Y LIMITACIONES

11.1 Principales ventajas

De las diferentes investigaciones y experimentos realizados en los últimos años, tanto en Israel como en otros países, se concluye que las ventajas principales del riego por goteo son:

- El ahorro en el consumo de agua por la mejora espectacular de la eficiencia en su utilización, es de una importancia capital, especialmente en las zonas desérticas, ya que ésta puede aumentar en un 40 a 80% contra los sistemas tradicionales.
- Se aumentan considerablemente los rendimientos agrícolas no sólo en cantidad sino también en calidad.
- La planta no está sujeta a cambios violentos en la humedad disponible del suelo
- Permite la utilización ventajosa de suelos arenosos e infértiles
- No es necesario efectuar ningún trabajo de nivelación, ya que este método no presenta pérdidas por escurrimiento y, por consiguiente, no hay problemas de erosión.
- Los nutrientes en solución se pueden introducir a la red de riego correctamente dosificados y en función de las necesidades del cultivo en explotación
- Se eliminan completamente los canales y acequias de distribución usadas en riego por gravedad y se aumenta la superficie útil
- Permite la obtención de cosechas tempranas como consecuencia del control de humedad
- El volumen de agua aplicada puede ser controlada en función de la textura del suelo y de la especie vegetal bajo cultivo
- Evita la lixiviación de los nutrimentos del suelo y el control sanitario se reduce notablemente
- El exceso de sales en los suelos se puede controlar por me-

dio de una lixiviación normal, producida por el mismo sistema o por otro medio

- El sistema de riego por goteo no es afectado por corrientes de aire (vientos) y sólo en muy pequeña proporción, por la evaporación del suelo.

11.2 Limitaciones

- Por su alto costo inicial, en principio sólo es recomendable en cultivos de alta densidad económica
- Requiere de mano de obra especializada
- Requiere de un mantenimiento adecuado y constante

Además, conviene señalar que, a pesar de los progresos considerables realizados en la investigación del riego por goteo, todavía existen muchas interrogantes, sobre todo en cuanto a sus resultados y efectos secundarios a largo plazo, en relación con aspectos agronómicos.

12. CONCLUSIONES

Correctamente seleccionado, diseñado, instalado, operado y cuidado, el riego por goteo, tal como se domina hoy, es un excelente método de irrigación de alto grado técnico, que da resultados sobresalientes y permite contribuir eficazmente en la solución de problemas de producción alimenticia, por sus ventajas principales: alta eficiencia en la utilización del agua, aumento de las cosechas en cantidad y calidad, así como aumento de las superficies cultivables.

México, Junio 1977

ANEXO N° 5

ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO

HIDRAULICO DE GOTEROS

.. Por: Ing. y M.C. Efrén Peña Peña (*)
Ing. Leopoldo Moreno Díaz (**)
Ing. Manuel A. Escobar Avila (***)

(*) Director del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México,
CENAMAR, SARH

(**) Jefe de Sección de Métodos de Riego a Presión, SARH

(***) Jefe de Laboratorio de Hidráulica, SARH

ESTUDIO DE FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO DE GOTEROS

Ing. y M.C. Efrén Peña Peña *
Ing. Leopoldo Moreno Díaz
Ing. Manuel A. Escobar Aviña

INTRODUCCION

En los últimos diez años el incremento de áreas bajo riego por goteo en el mundo ha sido tan rápido que la fabricación de equipos de riego por goteo y su operación han sobrepasado al desarrollo de las investigaciones necesarias para el adecuado funcionamiento de los sistemas de riego por goteo. Debido a ésto, es necesario jerarquizar las necesidades de investigación para lograr la solución de los problemas que se presentan al diseñar, instalar, operar y conservar los sistemas de riego por goteo.

Las investigaciones sobre el método de riego por goteo pueden dividirse en dos áreas fundamentales de investigación.

- a. Sobre las relaciones entre agua-suelo-planta-clima en el método de riego por goteo.
- b. Sobre las características de funcionamiento hidráulico de los componentes de los equipos de riego por goteo.

Las relaciones agua-suelo-planta-clima deben estudiarse para conocer las cantidades de agua que deben aplicarse, cada cuándo debe regarse, las poblaciones de plantas adecuadas al método, cuánto y cuándo fertilizar y sus relaciones con el clima.

Las características de funcionamiento hidráulico de los componentes de los equipos de riego por goteo deben estudiarse para conocer cómo diseñar los sistemas de riego por goteo para que garanticen la entrega uniforme y en cantidades necesarias de agua para satisfacer los requerimientos de riego de los cultivos, de tal manera de que los costos de los equipos, así como su operación sean económicos.

Como los goteros o emisores son la parte fundamental de los equipos de riego por goteo, se ha considerado de gran importancia investi-

* Director del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego.

gar sobre el funcionamiento hidráulico de los goteros y para el presente-trabajo se fijaron los siguientes objetivos:

1. Determinar las fuentes de variación del gasto en los goteros.
2. Hallar ecuaciones que permitan predecir el gasto del gotero en función de los factores de variación.
3. Establecer criterios para seleccionar tipos de emisores que garanticen el funcionamiento correcto de los equipos de riego por goteo.

REVISION BIBLIOGRAFICA

En la actualidad a nivel mundial existe una gran variedad de tipos de goteros, los cuales han evolucionado para mejorar la uniformidad y lograr alta eficiencia de aplicación del agua a los cultivos.

Las variantes entre goteros puede ser por las siguientes causas: Materiales de construcción, tipo de inserción en la línea regante, por el número de salidas, lavables o no, sellados o desarmables, etc.

Por otra parte se tiene que, de acuerdo al funcionamiento hidráulico de los emisores o goteros se han reportado los siguientes datos:

Sobre goteros de gasto regulable o de regulación Manuel Peña (1970) y Valenzuela (1971, 1975) mencionan el uso de goteros con mecanismo de regulación de gasto, basados en apertura o cierre del área de paso del flujo de agua a través de gotero, sin embargo señalan que en el campo ha sido prácticamente imposible obtener el gasto requerido en forma constante, ésto ha sido corroborado al desecharse en forma general este tipo de goteros.

Gilaad, Krystal y Zanker (1974) al clasificar los goteros o emisores indican que los goteros de orificio, se caracterizan porque al pasar el agua a través del gotero, la energía hidráulica se convierte en energía cinética. El agua sale en forma de chorro, el cual es eliminado por una ampliación de la sección de flujo que conduce a la acción de goteo. El gasto depende de la forma y diámetro de los orificios además de la presión. Los tamaños de los orificios son usualmente de 0.5 - 1.0 mm de diámetro y corresponden a gastos de 6-12 litros por hora. Las tuberías perforadas se clasifican en este tipo de goteros. Luz (1976) reporta los orificios fabricados sobre tubería regante con rayos laser, los cua

les se utilizan para obtener alta uniformidad de perforaciones, lo cuales muy difícil de lograr con otros métodos de fabricación.

Con la finalidad de obtener gasto uniforme en líneas regantes Black (1970) y Rosales (1972) trabajaron con microtubos de longitud variable - de acuerdo a el número de orden o distancia al distribuidor, para compensar las pérdidas de carga por el flujo de agua en la línea regante. Sin embargo, no consideraron calidad industrial del microtubo y efectos de temperatura del agua para obtener la uniformidad de gasto.

Sobre el uso de microtubos Kenworthy y Kesner (1974) indican que en Michigan, U.S.A. se utilizan microtubos de: 0.025 (.635); 0.035 (.889)- y 0.45 (1.143) pulgadas de diámetro interior (milímetros) y con estudios de laboratorio y técnicas de regresión mostraron que el logaritmo de la longitud del microtubo es una función logarítmica de la presión, diámetro y gasto del microtubo.

Reportaron que en laboratorio obtuvieron 5% de variación en goteo y 10% con los agricultores. Señalaron que el problema principal es el taponamiento de microtubos debido a: Agua mal filtrada; precipitación de sales de calcio y fierro (se puede prevenir usando solución de metafosfato de sodio) y lodo que penetre al microtubo al presentarse succión cuando dejan de operar los equipos de bombeo. (Se puede prevenir poniendo -- una pieza de 1/2" de diámetro al final del microtubo). Usaron una pieza de inserción a la línea regante para uniformar la inserción.

En relación a goteros autolavables Robert (1973) estudió el funcionamiento hidráulico de goteros de balín y pistón para determinar la ley que rige su funcionamiento, este tipo de goteros basa su operación en -- que tienen una cámara donde se encuentra colocado el pistón o el balín -- que presentan resistencia al flujo de agua. Cuando se inicia la operación del equipo la posición del balín o el pistón permiten la salida de pequeñas basuras o elementos que se encuentran en el cuerpo del gotero, -- luego al aumentar la presión el balín o el pistón cierran el orificio mayor dando lugar a un funcionamiento de gotero de orificio. Concluyó que la ecuación de predicción del gasto se obtiene para flujo establecido -- después que el balín o el pistón han obturado el orificio o terminado su función de lavado del gotero.

Los emisores de trayectoria larga de fabricación compacta (los mi--

crotubos largos también entran en este tipo de goteros) se mencionan en los trabajos de Gilaad y otros (1974) Keller y Karmeli (1975) y Peña -- (1975). En estos goteros la energía se disipa por la fricción del agua -- con las paredes del conducto dentro del gotero. El gasto depende del -- área de la sección transversal y de la longitud del recorrido del agua -- en el emisor. Diámetros de 0.5 a 2 mm y longitudes de 50 a 200 cm. de -- trayectoria, se utilizan en estos goteros y operan con gasto de 1-12 li -- tros por hora.

Entre los tipos de goteros cabe mencionar los emisores de salidas -- múltiples, los cuales fueron descritos por Gilaad y otros (1974) y Ke -- ller y Karmeli (1975). Los goteros de salidad múltiples generalmente -- tienen las siguientes partes: 1o.- Un gotero o cuerpo principal conec -- tado a la línea regante que entrega el agua a; 2o.- Una cámara común y 3o.- Varios microtubos conectados a la cámara y pueden considerarse co -- mo goteros secundarios. Estos goteros se han diseñado específicamente -- para plantaciones de frutales y el gasto total varía de 10 a 100 litros -- por hora. La doble pared perforada puede considerarse un caso de goter -- os de multi-salidas.

Las mangueras porosas son consideradas como un tipo de goteros y -- la disipación de energía se obtiene al pasar el agua por un sistema de -- tubos capilares. El agua sale a todo lo largo de la tubería porosa; -- tienen la gran desventaja de que requieren de una filtración del agua -- muy fina, porque las paredes porosas de la tubería se tapan fácilmente.

Keller y Karmeli (1975) describen el gotero tipo vortex, que es -- una variante del de orificio, y se caracteriza porque tiene una cámara -- circular que causa el flujo en vórtice o remolino. El movimiento en -- vórtice se logra por la entrada del agua tangencial a la pared interna -- de la cámara circular. Resulta un movimiento rotacional rápido sobre -- el eje del vórtice en el centro de la cámara. Como efecto de la resis -- tencia al flujo y la pérdida de carga en el vórtice, son más grandes -- los diámetros que para un gotero de orificio del mismo tamaño. La re -- ducción de gasto es aproximadamente un tercio del gasto de un orificio -- simple cuando la relación entre los diámetros de entrada y de la cámara -- circular varía entre 1:4 y 1:17, ésto significa que el gotero de vor -- tex puede ser 1.7 veces más grande que un emisor de orificio simple.

También Keller y Karmeli (1975) describen los goteros compensados de presión, los cuales se construyen para que el gasto casi no varíe con los cambios del área de paso del agua al aumentar o disminuir la presión.

Respecto a las propiedades hidráulicas de los goteros Gilaad (1974) indicó que la presión hidráulica, la resistencia al flujo de agua por la inserción del gotero y la forma y tamaño del área de paso del agua en el cuerpo del gotero son las fuentes de variación del gasto. También indicó que están influenciados por el material de construcción, estructura, proceso de fabricación y armado de los goteros. La evaluación de estas propiedades no puede calcularse teóricamente y se requieren estudios de laboratorio. Entre 1 y 2 atmósferas de presión la relación entre gasto y carga puede darse por la fórmula:

$$Q = KH^x \text{ donde}$$

Q = Gasto del gotero

K = Coeficiente que depende del gotero

H = Presión de Operación del gotero

x = Exponente que depende del tipo de régimen

Cuadro No. 1. Los valores de x encontrados fueron:

x	Tipo de gotero
0.38 - 0.56	Orificios
0.56 - 0.81	Trayectoria larga

La inserción del gotero puede disminuir 10% la longitud de la línea regante si el coeficiente de pérdida localizada varía de 0.05 a 0.5.

Keller y Karmeli (1975) sobre la relación gasto-presión indican que en goteros de flujo laminar la relación es lineal o sea al duplicar la presión de operación se duplica el gasto, entonces las variaciones de presión en el sistema, no deben ser mayores de $\pm 5\%$ de la presión promedio deseada. sobre los goteros de flujo turbulento, el cambio en gasto varía con la raíz cuadrada de la carga hidráulica, es, la presión debe incrementarse cuatro veces para duplicar el gasto,

entonces se pueden aceptar cambios de presión de $\pm 10\%$ del promedio deseado.

Keller y Karmeli (1975) además indican que existe otra relación -- temperatura-gasto y reportan que la temperatura del agua y la viscosidad tienen un pequeño efecto sobre el gasto en goteros de flujo con régimen turbulento, sin embargo en laminar e inestable, el gasto varía -- directamente con la viscosidad del agua y si varía la temperatura del agua de 10°C a 40°C el gasto se duplica operando a la misma presión. -- Proponen una tabla de coeficientes para corregir el gasto en función de la temperatura, a continuación se presenta un resumen de la tabla de -- coeficientes:

Cuadro No. 2. Factores de corrección de gasto por efecto de temperatura.

TEMPERATURA $^{\circ}\text{C}$	FACTOR DE CORRECCION		
	X = 1.0	X = 0.8	X = 0.6
10	0.75	0.92	0.95
20	1.00	1.00	1.00
30	1.28	1.10	1.04
40	1.56	1.19	1.08
50	1.85	1.29	1.12

Peña (1975) encontró ecuaciones de gasto para goteros de trayectoria larga y microtubos cuyos exponentes (flujo parcialmente turbulento a turbulento) variaron de 0.54 hasta 0.69 y sus coeficientes correspondieron a las características de los goteros. Esto concuerda con goteros de trayectoria larga, sin embargo las variaciones se debieron a la calidad industrial de fabricación de los goteros, a la forma geométrica del área de paso y a las condiciones del estudio (sin control de temperatura). Se presentaron coeficientes de variación de gastos desde 2.7% a 19.1%. Al trabajar en condiciones de campo con temperaturas de agua de 12°C el gasto fué menor que el de diseño a 20°C y el coeficiente de corrección de gasto propuesto por Keller y Karmeli (1975) no fué adecuado para los goteros en estudio, porque el gasto se redujo de 9-14% del

promedio deseado en lugar de 5%.

MATERIALES Y METODOS

1. MATERIALES

Con la finalidad de estudiar los factores que influyen en el gasto entregado por los goteros se usó el equipo y los materiales siguientes:

Torre de calibración. Consiste en una torre metálica de 16 metros de altura sobre el piso del terreno natural, la cual tiene un sistema de poleas y malacate para mover verticalmente un tanque metálico de 400 litros de capacidad de 1.0 X 1.0 X 0.4 metros, conectado a una tubería de 5.08 centímetros de diámetro de polietileno de alta densidad negra, ésta a su vez tiene dos válvulas, una de control y otra para purga. La torre de calibración tiene como finalidad generar cargas hidrostáticas prácticamente (presiones constantes) para obtener mayor precisión que con manómetros de aguja. La torre tiene una escala vertical donde se obtienen las lecturas de presión de acuerdo a un piezómetro colocado en el tanque móvil vertical.

Probetas y Cronómetros. Este equipo se utilizó para aforar los gastos en diferentes intervalos de tiempo, con diferentes cargas hidráulicas y para diferentes temperaturas de agua.

Hielo y Diesel. Se utilizó el hielo para enfriar y/o mantener las temperaturas deseadas en el agua del tanque móvil de la torre. El diesel se usó para calentar y/o mantener el agua a temperaturas altas requeridas para el estudio.

Termómetros. Se utilizaron termómetros con rango de lecturas de -10°C a 150°C , para determinar la temperatura del agua en las probetas, en la tubería y en el tanque móvil de la torre de calibración.

Mesa de Trabajo. Se usó una mesa diseñada para el trabajo de aforos de goteros, que tiene soportes para colocar tramos cortos de tuberías donde se insertaron los goteros que se estudiaron.

Agua filtrada. Se usó agua del pozo profundo del Campo Experimental del CENAMAR (Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego) filtra

da con equipo de filtración de doble malla # 200. El análisis del agua indicó:

Conductividad Eléctrica: 800 micromhos/cm a 25°C

p H :	7.3
Calcio :	4.6 me/l
Magnesio :	3.2 me/l
Potasio :	0.0 me/l
Sodio :	0.9 me/l
Bicarbonatos :	1.6 me/l
Carbonatos :	0.0 me/l
Sulfatos :	6.4 me/l
Cloruros :	0.7 me/l

Personal necesario. Para efectuar las operaciones de calibración, de acuerdo al número de aforos, etc., se utilizó el necesario. Generalmente la brigada de trabajo fué un Investigador, dos Técnicos Agropecuarios y cuatro Peones.

Se estudiaron los goteros siguientes:

Microtubos, Rex 122 de flujo laminar, Rex 124 flujo laminar, -- Rex 124 flujo turbulento, SYSAG (Eternomatic), ISPSA y RSYE-20

Los goteros estudiados en general son considerados de trayectoria larga, excepto el RSYE-20 que es de autolavado y funcional con un balón para cambiar las áreas de paso al iniciar su operación.

2. METODOS

La metodología empleada consistió de los siguientes pasos:

Determinación del tiempo de aforos. Se aforaron 15 goteros Rex 124 de flujo laminar con tiempos de 36, 72, 108, 174, 210 y 450 segundos y se obtuvieron los coeficientes de variación en gasto de 1.3, 0.9, 1.1, 1.2, 1.0, 1.0 respectivamente y a 10 metros de carga y con agua a 26°C.

Por lo tanto se consideró que 36 segundos es un tiempo de aforos confia-

ble y práctico.

Cálculo del número de goteros por muestra. Aplicando la fórmula para los datos del aforo anterior se obtuvo:

$$n = 15 \quad t_{0.05} = 2.13 \quad S = 0.049 \text{ l.p.h} \quad d = 0.01 \text{ l.p.h}$$

$$N = \frac{s^2}{d^2} \cdot t^2 = 1.08$$

Luego entonces, se consideró adecuado 15, como tamaño de muestra para los fines de estudio.

Selección de cargas de operación. Para cubrir todo el rango con un mínimo de puntos, se seleccionaron las cargas de 13, 10 y 7 metros para temperatura mínima, 12, 9 y 6 metros para temperatura media y 11, 8 y 5 metros para temperatura máxima. Así se cubrió el rango general de operación de goteros. (7.15 metros de carga hidráulica).

Selección de temperatura. En condiciones de campo el rango de variación de temperatura del agua puede considerarse de 5°C hasta 50°C en condiciones de operación. Cinco °C durante la operación de equipos en invierno y 50°C en época de máximas temperaturas en los tramos de líneas regantes donde el agua lleva velocidad muy lenta.

Aforos. Como se indicó anteriormente se aforaron los goteros (15) en nueve cargas hidráulicas, incluyendo tres temperaturas del agua. Para cada aforo se preparó el agua a la temperatura necesaria, se generó la presión requerida y se eliminó el agua de la manguera antes de iniciar cada aforo.

Procesamiento y análisis. Se utilizó la computadora para procesar los datos y probar los modelos, luego se utilizaron los coeficientes de variación para comparar uniformidad de gasto entre goteros.

Modelos probados:

$$Q = K H^x$$

$$Q = (K + K_2 T) H^{(x + x_2 \cdot t)}$$

$$Q = (K + K_2 T) L_n L. H^x$$

Q = Gasto del gotero (l.p.h.)

K = Constante que depende del gotero.

x = Exponente que depende del tipo de régimen de flujo que se presenta dentro del gotero.

H = Presión de trabajo (m)

L = Longitud de trayectoria (cm).

RESULTADOS Y DISCUSION

Cuando los goteros operan a presión y temperaturas constantes la variación en el gasto debida a los aforos se debe a las diferencias geométricas que origina la producción industrial entre goteros y también el error de muestreo. La producción de goteros genera lotes que deben estudiarse para garantizar la uniformidad de gasto a nivel comercial, esta característica puede quedar definida con el coeficiente de variación del gasto de los goteros que operen a las cargas hidráulicas de diseño y temperatura constante. En el cuadro número 3 se presentan los resultados de los aforos de diferentes goteros de acuerdo a las presiones y temperaturas en que se desarrollarán las pruebas.

Cuadro No. 3.- Coeficientes de variación de gasto en goteros en condiciones de operación de presión y temperatura constante.

GOTERO	CARGA HIDRAULICA (m)	TEMPERATURA °C	GASTO MEDIO l.p.h.	COEFICIENTE DE VARIACION %
Microtubo 150	6	37	4.5	2.8
Microtubo 84	6	37	3.0	3.3
Rex 122 L	10	21	2.1	2.1
Rex 124 L	10	22	3.7	1.2
Rex 124 T	10	17	3.8	1.4
Sisag	10	27	3.8	8.0
Ipsa	10	19	3.6	8.4
RSYE-20	10	22	6.6	17.1

Las fuentes de variación del gasto en los goteros son la presión de operación, la temperatura del agua y de los materiales del gotero, y la calidad industrial de la producción de los emisores para establecer el efecto aislado de calidad industrial se presentaron los datos en el cuadro anterior y para estudiar las fuentes de variación del gasto en los goteros se probó el modelo $Q = (K_1 + K_2T) H (X_1 + X_2T)^{\text{EXPOONENTE}}$

Donde Q = gasto del gotero dado en litros por hora.

$(K_1 + K_2T)$ coeficiente de gasto del gotero que es caracterizado por el tipo de gotero con un término donde se detecta la influencia de la temperatura en la variación del coeficiente.

H = presión de operación del emisor dado en metros de carga hidráulica $(X_1 + X_2T)$ = exponente que caracteriza el tipo de régimen de flujo del agua en el cuerpo del gotero.

Este modelo considera el efecto de dilatación o contracción del área de paso del agua en el cuerpo del gotero y/o cambios geométricos en el gotero por efecto de calor.

El exponente de la ecuación considera los efectos de cambios de viscosidad cinemática del agua que fluye en el cuerpo del gotero a la temperatura del agua durante la operación del emisor.

Los resultados obtenidos en las pruebas de campo se procesaron en la terminal de la computadora con la que cuenta la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Representación en la Región Lagunera, en la cual se ajustaron los datos de campo al modelo propuesto, con los resultados expresados en el siguiente cuadro:

Cuadro No. 4.- Ecuaciones de gasto de los goteros en función de la presión y la temperatura de operación.

GOTERO	E C U A C I O N	COEFICIENTE DE VARIACION %
RSYE-20	$Q = (0.09 + 0.05T) H (1.04 - 0.013T)$	16.5
REX - 122 L	$Q = (0.3 + 0.004T) H (0.73 + 0.001T)$	3.0
REX - 124 L	$Q = (0.76 + 0.0035T) H (0.62 + 0.001T)$	1.3
SYSAG	$Q = (0.76 + 0.006T) H (0.63 - 0.001T)$	5.8
REX - 124 T	$Q = (1.23 + 0.0008T) H (0.495 - 0.002 T)$	1.7

+ Q en litros por hora

T en grados centígrados

H en metros de carga hidráulica

El gotero RSYE-20 presentó la ecuación para las condiciones de flujo establecida en el gotero, es decir cuando el balín del cuerpo del gotero obstruyó el área de paso grande y dejó un orificio pequeño. Este tipo de gotero se ve afectado grandemente por la temperatura en el coeficiente de gasto del gotero y entre las temperaturas de operación de 10°C y 50°C varió el coeficiente de 0.59 a 2.59 y el exponente para las mismas temperaturas varió de 0.91 hasta 0.39 para 50°C .

El coeficiente de variación del gasto obtenido fué de 16.5, esto implica variabilidad de gasto entre goteros y tanto el exponente como el coeficiente de la ecuación indican que el gotero es sensible a los cambios de temperatura del agua y del material del gotero.

El gotero REX - 122 de flujo laminar presentó la ecuación coeficiente de gasto de 0.34 a 0.5 para variaciones de 10°C a 50°C respectivamente en que el exponente varió de 0.74 a 0.78.

El gotero REX - 124 de flujo laminar y el emisor SYSAG presentaron ecuaciones semejantes en relación a coeficientes de gasto y exponentes. Sin embargo, el efecto de temperatura sobre el coeficiente de gasto del gotero es el doble en el emisor SYSAG en relación al REX 124 L y entre mayor es la temperatura de operación el incremento en gastos prácticamente el doble. En cambio para temperaturas de 50°C el exponente correspondiente al REX - 124 L fué de 0.67, en cambio el SYSAG fué 0.58.

El gotero REX - 124 de flujo turbulento presentó efectos aditivos por concepto de temperatura en el coeficiente del gasto del gotero y afecta de reducción de valor del exponente en relación a la temperatura, sin embargo, la variación del coeficiente de gasto y del exponente en la ecuación considerando los rangos de temperaturas de operación de los goteros prácticamente fué nula. Esto se observa en el efecto aditivo para 10°C en el coeficiente del gotero es de ocho milésimos y en el caso de 50°C el incremento en el coeficiente es de cuatro centésimos y en el caso del exponente es de una milésima a una centésima.

CONCLUSIONES.

El tipo de goteros, la forma geométrica y los materiales de que están contruidos así como la calidad de producción influyen en el gasto de los goteros cuando operan a presión y temperaturas fijas.

En general el primer factor de variación en los goteros estudiados -- fué la presión de operación, en segundo lugar la temperatura del agua en el cuerpo del gotero y en tercer lugar el efecto de la temperatura del -- agua en la viscosidad cinemática del agua en el flujo del gotero. La tendencia general de los goteros fué de obtener incrementos de gasto en relación a incrementos de presión de operación sin llegar a ser los reportados por la teoría de flujo de los goteros (Laminar $X = 1.0$ Turbulento - $X = 0.5$).

El modelo probado para predecir el gasto de los goteros en función -- de la variación de presión y temperaturas representó en forma aceptable -- el fenómeno estudiado. El coeficiente compuesto de gasto del gotero quedó caracterizado de acuerdo a las temperaturas de operación del gotero.-- El exponente de la ecuación quedó influenciado por las temperaturas de -- operación de los goteros, excepto el caso del gotero con régimen de flujo turbulento.

Los goteros que tienden a presentar flujo turbulento son afectados -- en menor grado por la temperatura de operación que los de trayectoria --- larga, sin embargo, el coeficiente de gasto de los goteros también deberá ser mínimo para que al reunir estas dos características pueda llenar los requerimientos de operación de un buen gotero.

RECOMENDACIONES.

1. Debe establecerse que los goteros tengan variaciones de gasto -- menores a un 5% del gasto en diseño en condiciones de operación establecidas por el fabricante para que puedan introducirse al mercado.

2. Se propone que se opere el modelo de predicción del gasto en -- función de la presión y temperaturas de operación para representar las --

ecuaciones de gasto de los goteros.

3. Respecto al funcionamiento hidráulico de los goteros se recomienda utilizar goteros de flujo turbulente con coeficientes de gasto que se afecten en grado mínimo por la temperatura de operación y a la vez tengan valores pequeños de coeficiente de gasto.

BIBLIOGRAFIA.

1. Black F. J. D (1970) Riego de Flujo Diario. Traducción por Ing.- Juan Francisco Pedrueza.- Secretaría de Recursos Hidráulicos. México 1970. No Publicada.
2. Gilaad Y. Krystal L. and Zanker K (1974). Hydraulic and Mechanical Properties Of Drippers. Proceedings Second International Drip Irrigation Congress. San Diego California U. S.- A.
3. Keller J. and Karmeli D. (1974). Trickle Irrigation Design. - - Edited and Published By Rain Bird Sprinkler Corporation, - Glendora California 91740. U. S. A.
4. Kenworthy A.L. and Kesner Ch. (1974). Trickle Irrigation In Michigan Orchards: Controlling Rate Of Flow Regulating - - - Valves and Microtubes Proceedings Second International - - Drip Irrigation Congress San Diego California. U. S. A.
5. Luz E. (1976). Pláticas sobre Generalidades de Riego por Goteo.- Inéditas. Tel Aviv, Israel.
6. Peña P.E. (1971). Diseño Hidráulico del Proyecto de Riego por - Goteo Yahualica Memorandum Técnico No. 293. Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F. México.
7. Peña. P.E. (1975). Comportamiento de Diferentes Goteros con Car

gas Hidráulicas Distintas. Memorias del 1er. Seminario Nacional Sobre Riego por Goteo. Hermosillo, Sonora. México.

8. Roberts H.G. (1973) Hydraulics of Trickle Irrigation Emitterlines. Thesis of degree Master of Science, Utah State - - - University Logan, Utah, U. S. A. (I-17).
9. Rosales J.J.R. (1972), El Riego por Goteo del Maíz en el Delta -- del Río Yaqui, Sonora. Memorándum Técnico No. 308, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F. México (35 - 36).
10. Valenzuela R.T. (1971). Principios Básicos del Riego por Goteo.- Memorándum Técnico No. 296, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, D. F. México.

ANEXO N° 6

DETERMINACION DEL FACTOR "K" DE LA EVAPORACION PARA ESTIMAR
LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO DE MAIZ BAJO RIEGO
POR GOTEO, EN EL VALLE DEL RIO YAQUI, SONORA

Por: T.A. Jorge Vizcaíno Valenzuela (*)
Ing. Ildefonso de la Peña (**)
Ing. y MC. F. Alberto Llerena (***)

(*) Técnico de OIDRYD, Enc. del Programa de Riego por Goteo, del Distrito de Riego 41, Río Yaqui, Sonora (SARH)

(**) Jefe de OIDRYD, Distrito de Riego 41, Río Yaqui, Sonora (SARH)

(***) Técnico de OIDRYD, Distrito de Riego 41, Río Yaqui, Sonora (SARH)

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRAULICOS
REPRESENTACION EN EL ESTADO DE SONORA SUR
DISTRITO DE RIEGO No. 41, RIO YAQUI

DETERMINACION DEL FACTOR "K" DE LA EVAPORACION PARA ESTIMAR
LOS REQUERIMIENTOS DE AGUA DEL CULTIVO DE MAIZ BAJO RIEGO -
POR GOTEO, EN EL VALLE DEL RIO YAQUI, SONORA

- * T.A. Jorge Vizcaino Valenzuela
- ** Ing. Ildefonso de la Peña
- *** Ing. y M.C. Alberto Llerena V.

1. INTRODUCCION

Este trabajo es parte de un programa que la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos está llevando a cabo en el -- Distrito de Riego No. 41, del Río Yaqui, Sonora, cuya finalidad es estudiar la dosis de nitrógeno y cantidad de agua que se debe aplicar mediante riego por goteo a algunos cultivos, para utilizar los resultados en zonas aledañas al Distrito de Riego que -- tienen problemas de disponibilidad de agua.

En este caso se estudió el cultivo Maíz (Variedad H-507) - y se plantearon los siguientes objetivos:

1. Definir el factor de evaporación que se deberá utilizar para reponer al suelo mediante el riego por goteo, las láminas parciales evapotranspiradas diariamente a través del ciclo vegetativo del cultivo.
2. Determinar la respuesta del cultivo a la aplicación de dos dosis de nitrógeno.

11. MATERIALES Y METODOS

Localización del Experimento. Este trabajo se efectuó en una parcela del Ejido "Quechhueca" localizado en el lote 40 de-

- * Técnico de OIDRYD, Enc. del Programa de Riego por Goteo
- ** Jefe de OIDRYD, Dto. de Riego 41
- *** Técnico de OIDRYD, Dto. de Riego 41

la manzana 1308 de la cuadrícula del Valle del Yaqui, y que está ubicada a 24 km al sur de Cd. Obregón, Son. En esta granja la SARH tiene un equipo completo de riego por goteo.

Suelo. Las características físicas y químicas de estos -- suelos definidas en varias muestras obtenidas de las profundidades 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm y 90-120 cm, son:

- a. Propiedades físicas: Textura, arcilla; Da de 1.18 a 1.3 gr/cm³; capacidad de campo de 30.02 a 33.02%; pmp de 15.98 a 16.93%.
- b. Propiedades químicas: pH de 8.0 a 8.2; C.E. menor a 1.0 mmhos/cm; RAS de 1.09 a 2.00.

Agua de Riego. El agua aplicada se derivó de un pozo agrícola, que se utiliza también para los servicios de una granja -- porcícola. Las características químicas que tiene son: pH de 8.3, C.E. de 330 micromhos/cm y un R.A.S. de 4.73.

Tratamientos. Se combinaron tres factores de la evaporación total diaria equivalentes al 40, 70 y 100% de ésta y dos niveles de nitrógeno correspondientes a 120 y 180 kg/ha. resultando un total de 6 tratamientos los cuales fueron:

No.	Evaporación (%)	Nitrógeno Kg/ha
1	100	180
2	70	180
3	40	180
4	100	120
5	70	120
6	40	120

Diseño Experimental. Se utilizó un factorial 3 x 2 en -- bloques al azar con cuatro repeticiones. La distribución de los tratamientos se puede observar en la figura No. 1.

Establecimiento del experimento. Se efectuó en una parcela de 40 x 23 m preparada inicialmente con barbecho y rastreo -- cruzado.

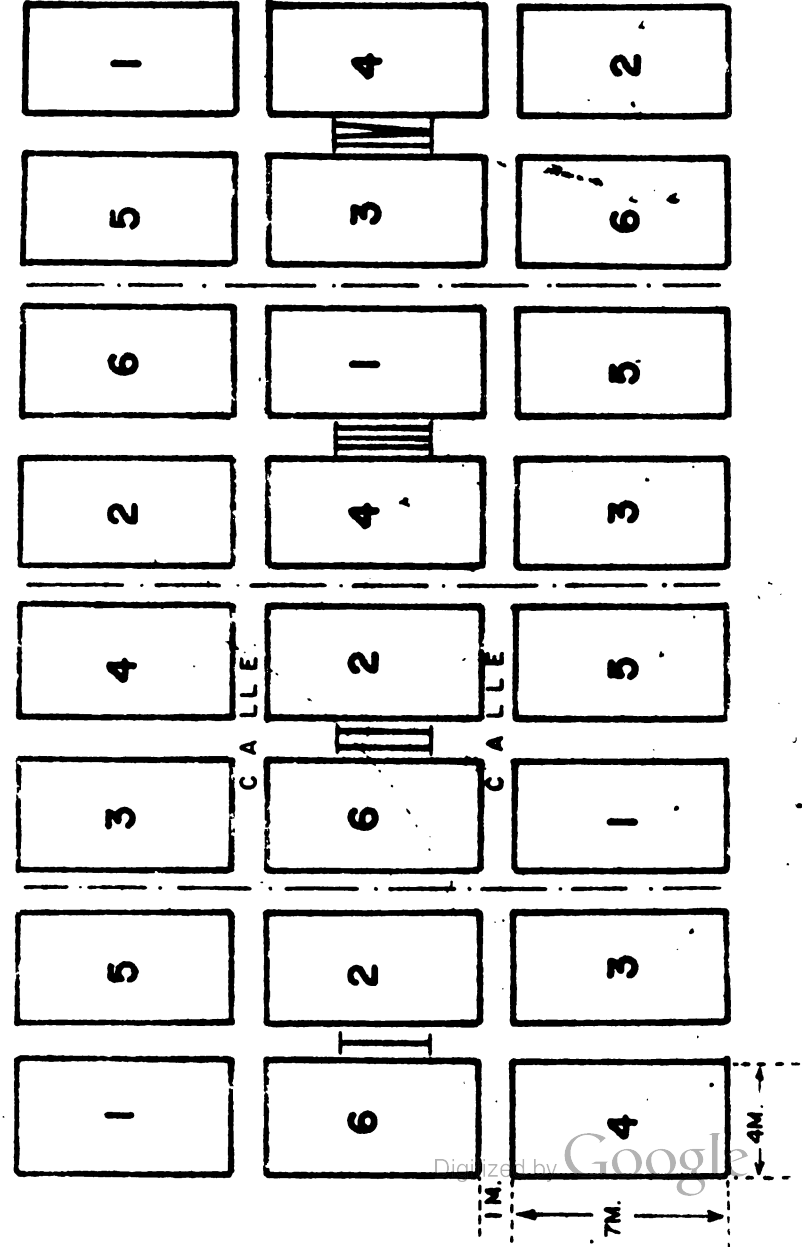
PROGRAMA DE RIEGO POR GOTEO

DETERMINACION DEL FACTOR DE EVAPORACION EN UN TANQUE TIPO "A"
 PARA LA APLICACION DE RIEGO POR GOTEO EN EL CULTIVO DE MAIZ
 (VAR. H-507) EN EL VALLE DEL YAQUI



DISEÑO EXPERIMENTAL FACTORIAL 3X2 EN BLOQUES AL AZAR CON 4 REPETICIONES

EXPERIMENTO 4I-RG-2-76



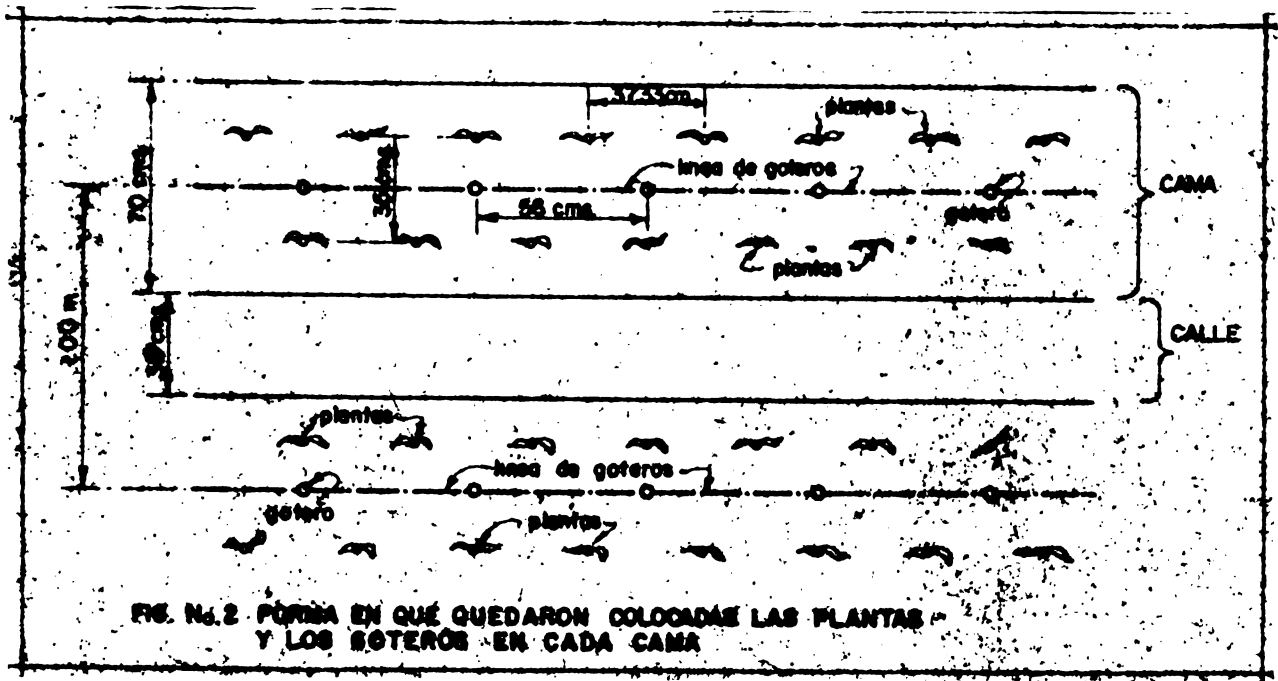
TRATAMIENTOS

Nº	FACTOR 1 COEF. DE EVAPORACION	FACTOR 2 DOSIS DE N.
1	100 %	180 Kg/HA
2	70 %	180 Kg/HA
3	40 %	180 Kg/HA
4	100 %	120 Kg/HA.
5	70 %	120 Kg/HA.
6	40 %	120 Kg/HA.

TIPO DE GOTERO : NETA FIM

En ella se trazaron las unidades experimentales que consistieron en 4 hileras de surcos de 7 metros de longitud y con una separación de un metro (Fig. No. 1).

Siembra. Se efectuó el 20 de agosto de 1976 en seco, con una población equivalente a 53,571 plantas/ha colocadas en ancho separadas a 30 cm entre ellas. Entre cada hilera existía una separación de 35 cm y entre plantas de 37.33 cm.



Sistema hidráulico. En cada unidad experimental se colocaron cuatro líneas de goteros separadas un metro entre sí. La manguera utilizada fue de 12 mm de diámetro, en la cual se colocó un gotero cada 56 cm que regaría tres plantas. El tipo de go

tero utilizado fue NATAFIM modelo 122 que proporcionan un gasto de 2 l/h. Cada gotero tenía un área de influencia de 0.56 m^2 .

El equipo del sistema de abastecimiento del riego por goteo con que cuenta esta granja es el siguiente: Cárcamo desarenador pila almacenadora, de la cual una bomba centrífuga de 3-7 H.P. - toma el agua pasándola por un cabezal, que a su vez contiene una válvula de auxilio, un manómetro, un fertilizador y una válvula principal; después el agua es conducida a la parcela experimental por tubería de 75 mm. Este sistema tiene una válvula reguladora Dole que controla automáticamente la carga hidráulica de -- trabajo y que fe de $1 \frac{1}{2} \text{ kg/cm}^2$ checada con el manómetro.

Riegos. Se aplicó un riego de siembra de 6 cm, que se inició el 21 de agosto y se terminó el 24.

Los riegos posteriores se aplicaron diariamente de acuerdo al factor de evapotranspiración correspondiente.

Fertilización. La dosis de N programadas se aplicaron en 4 etapas; la primera aplicación fue en la germinación y las 3 siguientes cada 25 días. Así mismo, se aplicó fósforo en todas -- las parcelas con una dosis de 40 kg/ha al inicio de la germina--ción.

Control de Plagas. Se efectuaron cuatro aplicaciones de - SEVIN granulado al 5% para prevenir el ataque de gusano cogolle-ro (Spodoptera Fruqiperda) y dos aplicaciones de FOLIMAT para el control del pulgón del follaje (Schizaphis Tokoptera Graminum).

VARIABLES DE RESPUESTA. Se midió el rendimiento de grano por hectárea, y se tomaron en cuenta los tamaños de mazorca y su formación de grano para clasificar la calidad de elotes. Así -- mismo, se hicieron observaciones sobre la altura de la planta.

La cosecha se realizó durante el mes de enero de 1977.

III. RESULTADOS Y DISCUSION

Láminas de Riego Aplicadas. La evaporación durante el cultivo fue de 36.70, por lo que las láminas de riego aplicadas fueron:

100%	6 cm riego inicial	+	36.7 cm	=	42.7 cm
70%	6 cm riego inicial	+	25.69 cm	=	25.69 cm
40%	6 cm riego inicial	+	14.68 cm	=	20.68 cm

Es conveniente señalar que durante el desarrollo del cultivo se presentó una serie de lluvias que totalizaron 7.1 cm que disminuyó la lámina de riego.

Rendimiento de Grano. Los valores obtenidos en cada unidad experimental expresados en toneladas por hectáreas se pueden observar en el cuadro No. 1.

Cuadro No. 1. Resultados de Rendimiento de Maíz en Grano para Cada Repetición y Cada Tratamiento, Expresados en Ton/ha.

No.	TRATAMIENTOS		BLOQUES				SUMA	MEDIA
	Evap.	N	I	II	III	IV		
1	100%	180 kg/ha	8.500	8.450	7.900	7.850	32.700	8.175
2	70%	180 Kg/ha	7.560	7.920	7.300	6.780	29.560	7.340
3	40%	180 Kg/ha	6.130	5.340	6.110	5.860	23.440	5.860
4	100%	120 Kg/ha	8.010	7.860	7.790	8.220	31.880	7.970
5	70%	120 kg/ha	7.260	7.960	7.910	7.050	30.080	7.520
6	40%	120 kg/ha	5.310	6.020	5.810	6.120	23.260	5.815
Sumas:			42.770	43.250	42.820	41.880	170.720	7.113

Para efectuar el análisis estadístico de los datos, se realizó primeramente una prueba de heterogeneidad de varianzas en los grupos de tratamientos, resultando homogéneas. Posteriormente se realizó el Análisis de Varianza, encontrándose diferencias altamente significativas únicamente para el factor evaporación. En base a ésto, se efectuó la prueba de comparación de medias de

tratamientos utilizando la Diferencia Mínima Honesta de Tukey, -
obteniendo lo siguiente:

No. Trat.	1	4	5	2	3	6
Fact. Evap.	100%	100%	70%	70%	40%	40%
Media	8.175	7.970	7.520	7.340	5.860	5.815

Diferencias
(según nomenclatura de Duncan)

Como las diferencias encontradas no son bastantes claras, -
se efectuaron comparaciones de grupos de medias utilizando con--
trastes ortogonales, encontrándose unicamente diferencias alta--
mente significativas en los siguientes contrastes:

100 Vs 70% y 40% **
100 Vs 70% **
70 Vs 40% **

Por lo tanto, se concluye que estadísticamente el trata---
miento de 100% del coeficiente de evaporación es mejor que el --
70%, y éste a su vez es mejor que el de 40%. Sin embargo la di-
ferencia entre el de 100% y 70% es mucho menor que entre el de -
70% y 40%, por lo que la recomendación se dirigirá hacia utilizar
el de 100% ó 70%.

Con respecto a la dosis de nitrógeno que se recomendaría -
sería la de 120 kg/ha dado que presenta el mismo efecto que la -
de 180.

Número de Elotes de Primera Calidad (comercial). Este da-
to se tomó considerando que en una forma de explotación del Maíz
más productiva. Para evaluar este aspecto se contó el número de
elotes que cumplían las normas comerciales (un mínimo de 20 cm -
de largo) para cada parcela, con los cuales se llevó a cabo un -
análisis estadístico en la misma forma que los anteriores.

Los resultados que se obtuvieron fueron iguales a los encontrados cuando se evaluó el rendimiento, esto es, con el tratamiento de 100% se obtiene mayor número de elotes que con el de 70%, y a su vez con el de 70% se obtienen más que con el de 40%.

Relación entre el Rendimiento y la Lámina de Riego Aplicada. Las medias para los grupos de tratamiento del factor de evaporación fueron las siguientes:

Fact. Evap.	100%	70%	40%
Media	0.7562	0.9410	1.1292

Se puede observar que en este caso, el mejor tratamiento fue el de 40%. Sin embargo, dado que el maíz no es cultivo de alta reutilidad, es de esperarse que económicamente sea más conveniente el factor 70% ó el 100%, puesto que generalmente el costo del agua es mucho menor que el de las otras integrantes que intervienen.

Por lo tanto, la recomendación que se adopte dependerá de la disponibilidad de agua y/o costo de la misma, y relacionar esta componente con la costeabilidad del cultivo y la amortización del sistema. En el presente estudio se harán en base a los rendimientos obtenidos, esto es, utilizar un factor de evaporación que fluctúe entre el 70 y 100%.

IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones: Al analizar la variable rendimiento de maíz en grano, no se detectaron diferencias estadísticas entre las dosis de nitrógeno probadas.

No se encontraron diferencias estadísticas en la interacción nitrógeno - Fact. Evap., por lo que influyen independientemente en el rendimiento.

Se detectaron diferencias altamente significativas entre los niveles del factor evaporación en su influencia en el rendimiento y estadísticamente el factor de 100% es mejor que el de

70% y el de 40%, y a su vez el de 70 es mejor que el de 40. Sin embargo, la diferencia entre el de 100 y 70 es mucho menor que la existente entre el de 70 y 40.

Estadísticamente con el factor de evaporación de 100% se obtienen mayor número de elotes de calidad comercial, que cuando se utiliza el de 70 y 40, y cuando se utiliza el de 70 se obtienen más que con el de 40.

Analizando la relación rendimiento-lámina de agua, se detectó que estadísticamente es más conveniente el factor de evaporación de 40, después el de 70 y por último el de 100%.

RECOMENDACIONES

Se recomienda una dosis de nitrógeno equivalente a 120 kg/ha.

Se recomienda utilizar un factor de evaporación que varíe entre 70 y 100%, dependiendo de las limitaciones de agua y/o costo de ella, y de la amortización del sistema.

Es conveniente repetir el experimento explorando más a fondo el rango del factor de evaporación que está entre 70 y 100%.

ANEXO N° 7

ESTUDIO DE LINEAS REGANTES EN RIEGO POR GOTEO

Por: Ing. José Luis Frías Mercado (*)

(*) Investigador en el Laboratorio de Hidráulica del Centro Nacional de Métodos Avanzados de Riego de México (CENAMAR), SARH

ESTUDIO DE LINEAS REGANTES EN RIEGO POR GOTEO

• Ing. José Luis Frias M.,

INTRODUCCION.

Debido al incremento de superficie regada con el Método de Riego por Goteo en los últimos años y a la falta de asesoría técnica a los usuarios, algunos sistemas ya instalados no cumplen con los principios de este método de riego, porque utilizan longitudes y diámetros inadecuados en las líneas regantes.

Este trabajo está encaminado a encontrar las longitudes óptimas desde el punto de vista hidráulico que deben tener las líneas regantes, para tener una buena uniformidad en la emisión de los goteros y lograr una mejor distribución del agua en la superficie regada.

OBJETIVOS.

1. Determinar una tecnología para diseños óptimos hidráulicos en líneas regantes.
2. Determinar una tecnología para evaluación de líneas regantes, desde el punto de vista hidráulico.

REVISION DE LITERATURA.

I. Howell T. (2). En su escrito del programa del diseño de un lateral en riego por goteo, cita: Dos medidas de uniformidad de flujo son incorporadas al programa. La proporción del flujo del emisor (min. máx.) - de Zetzsche y Newman (1968) y el coeficiente de uniformidad de Christian sen(1942). Para una operación eficiente del lateral y un coeficiente de uniformidad mayor que 95% o una proporción de flujo del emisor mayor del 82% es recomendable.

II. Gilaad et al (1). Encontraron que la forma de unión de los emisores con la línea regante tiene influencia directa en el número de emisores que soporta la línea regante.

III. Howell T. y Hiller E. (3). Enuncian que la función del diseño es determinar el tamaño óptimo de tubería y el número de emisores requeridos por planta para satisfacer los requerimientos de uso consuntivo de un cultivo dentro de ciertas restricciones hidráulicas de uniformidad. Uniformidad que depende del número de emisores en la línea, su longitud y consecuentemente de las pérdidas por fricción.

IV. Keller y Karmelli (4). Han determinado que el gasto en la línea es una función de la descarga del emisor y el número de emisores en la línea regante, y que la longitud de la línea regante depende del número de emisores a lo largo de la línea y la distancia entre ellos.

MATERIALES Y METODOS,

Para efectuar el presente trabajo se utilizó una torre de 16 mts. - con tanque elevadizo para dar la carga y tener un gasto constante en la línea regante, para la verificación de las cargas que se utilizaron, un piezómetro conectado al tanque elevadizo y un manómetro de aguja de 2 Kg./cm^2 . calibrado con el piezómetro, conectado al tanque, se tiene una manguera de $1 \frac{1}{2}'' \text{ } \varnothing$ de polietileno con válvulas compuerta, insertada a la manguera está una silleta de plástico de $38 \times 16 \text{ mm.}$, para checar el tiempo de aforo se utilizó un cronómetro con décimas de segundo para una mayor exactitud, para realizar los aforos se utilizaron probetas de 100 ml. con graduación de 1 ml. para la medición de la temperatura se usó un termómetro con escala de $- 10^{\circ}\text{C}$ a $+ 110^{\circ}\text{C}$ y graduación de 1°C .

Se utilizó una cerca con postes de concreto espaciados a 4 mts. -

entre sí, sobre esta cerca se tendió un alambre calibre 12, este alambre se tensó y se corrieron niveles en cada poste para tener una línea horizontal evitando así diferencias de carga por posición. Una vez instalada la línea -- con los emisores se checaba la carga de entrada con el piezómetro, dejando -- previamente a este paso abierta la parte final de la tubería para purgar de -- aire a la misma, una vez purgada se procedió a checar la carga. Para determinar la separación entre los puntos de aforo y tratar de tener el mayor número de datos se hizo de la siguiente manera:

Al inicio de la línea
 el 1º y 2º goteros.
 el 5º y 6º goteros
 el 10º y el 11º goteros
 al final de la línea
 el 1º y 2º goteros
 el 4º y 5º goteros
 el 9º y 10º goteros.

Para los puntos intermedios influyó la longitud de la línea regante -- siendo los espaciamentos los siguientes:

Para líneas de 30 a 100 mts., la separación fue de 10 metros, espaciamentos de goteros de 0.50 a 1.00 mts. entre los puntos de aforo.

Para líneas de 90 a 150 mts. con espaciamento entre goteros de 1.50 y 2.00 metros, la separación entre los puntos de aforo fue de cada 20 mts.

Los tiempos de aforo se tomaron de 72 segundos para lograr una aproximación mayor con las lecturas que se tuvieron en las probetas.

El trabajo de campo se efectuó en horas que la temperatura ambiente no fuera muy variable. Para este trabajo se necesitó: Un investigador, un técnico agropecuario y cuatro peones.

TRABAJO DE GABINETE.

Con los datos obtenidos en el campo se graficó la tendencia del flujo en las líneas por medio de interpolación.

Se obtuvieron también las diferencias de carga entre el inicio y el final de las líneas y las diferentes temperaturas entre los mismos puntos.

Para determinar el coeficiente de uniformidad se utilizó la ecuación de Zetzche y Newman (1968).

$$CU = q \text{ min}/q \text{ máx.}$$

donde:

$q \text{ min.}$ = Gasto mínimo que se tuvo en los goteros

$q \text{ Máx}$ = Gasto máximo que se tuvo en los goteros

CU = Coeficiente de Uniformidad.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos proporcionan un índice de lo que sucede en la realidad en las líneas regantes.

Estos resultados se pueden apreciar en los cuadros 1-3 y en las figuras 1-11 del anexo.

Al comprobarse estos resultados con diferentes fórmulas para encontrar la pérdida por fricción que más se aproxima a lo que sucede en la realidad es la de Darcy-Weisbach.

Se encontró una pequeña diferencia entre estas dos pérdidas (la real y la de Darcy Wisbach) debido al tipo de inserción del gotero por lo que se debe de tener muy en cuenta en el momento de efectuar los diseños hidráulicos.

CONCLUSIONES.

1. La longitud de la línea regante influye en la uniformidad de la

la emisión del agua.

2. Es determinante también el factor temperatura, influye para los diseños.

RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda que los fabricantes de tubería en sus especificaciones indiquen cuál es la rugosidad de la misma.

2. Es importante de acuerdo a las condiciones específicas de la fuente de abastecimiento tener muy en cuenta las pérdidas por fricción.

3. Si no contamos con el factor de rugosidad ó si la pérdida de fricción es adversa se recomienda utilizar las pendientes positivas del terreno para el diseño, es decir aprovechar la pendiente natural para lograr uniformidad en la emisión del agua, evitando la caída de presión al final de la línea regante.

Si aún en tales condiciones persistiese los aumentos de pérdidas de fricción la recomendación definitiva será acortar la longitud de las líneas regantes, ya que un incremento en el diámetro de la misma repercute directamente en los costos del sistema.

BIBLIOGRAFIA.

- GILAAD J. Krystal L. y Zanker K. Proceedings San Diego. Hydraulics (1974).**
- HOWELL T. Trickle irrigation System design American Society of Agricultural Engineers (1972).**
- HOWELL T. y HILLER E. Trickle Irrigation Design American Society of -- Agricultural Engineers (1974)**
- KELLER J. y KARMELLI. Trickle Irrigation Design. Rain Bird Sprinkle -- Manufacturing Co. y apuntes tomados en clase (1975).**

Cuadro 1.

DATOS OBTENIDOS EN LINEAS REGANTES.

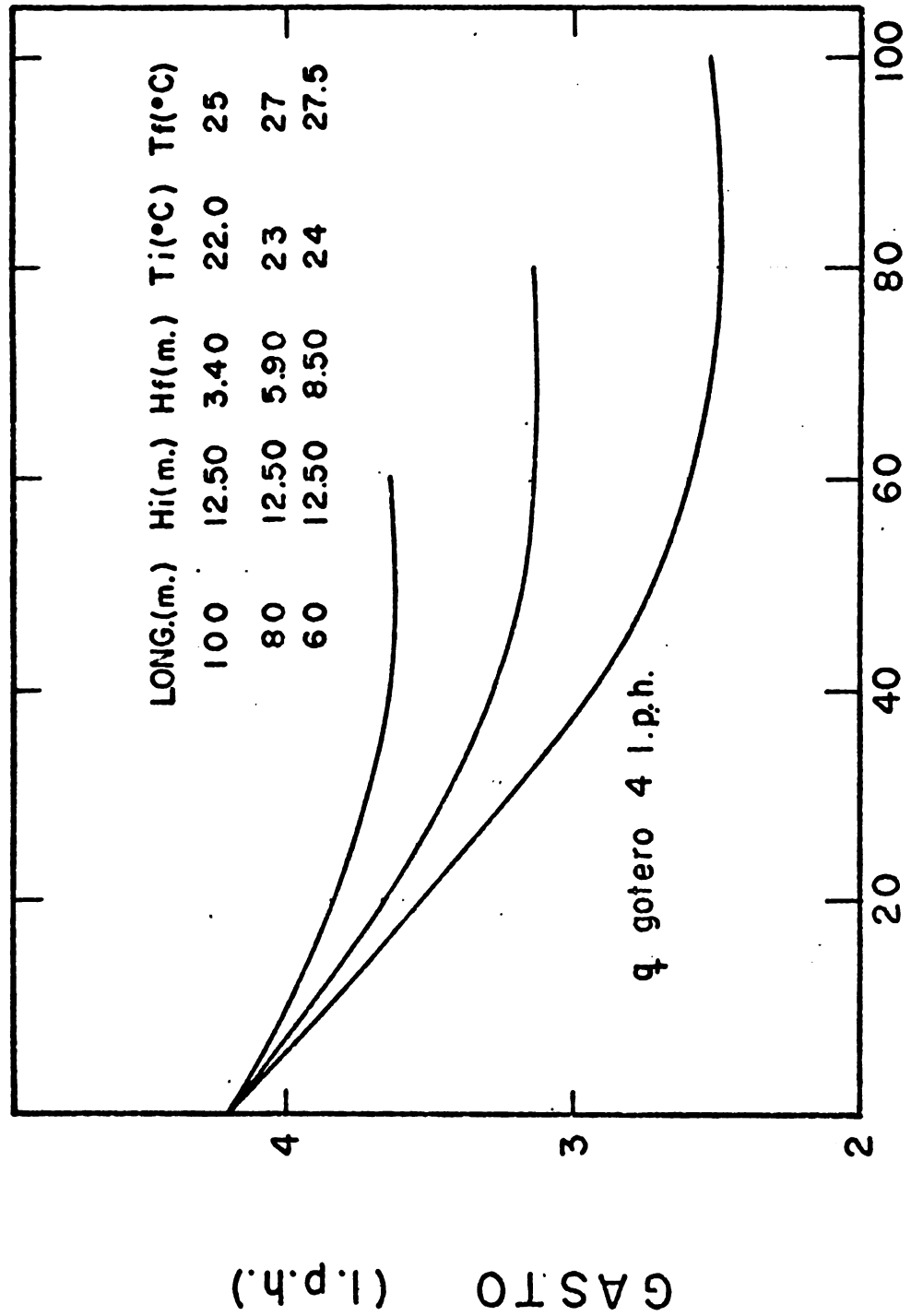
LONGITUD (m.)	TIPO DE GÓTERO	ESPACIAMIENTO ENTRE GÓTEROS (m.)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD %	H_f (m.)
100	REX 124		56	9.10
80	FLUJO	1.00	72	6.60
60	TURB.		83	4.00
100	REX 124		55	8.10
80	FLUJO	1.00	69	6.50
60	LAMINAR		88	3.30
100	REX 164		77	3.75
80	FLUJO	1.00	89	2.75
60	LAMINAR		92	0.95

DATOS OBTENIDOS EN LINEAS REGANTES

LONGITUD (m.)	TIPO DE GOTERO	ESPACIAMIENTO ENTRE GOTEROS (m.)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD %	H _f (m.)
150	REX 124		50	9.50
120	FLUJO	1.50	66	7.70
90	TURB.		82	4.90
150	REX 124		50	8.50
120	FLUJO	1.50	61	6.30
90	LAMINAR		76	4.10
150	REX 164		77	4.10
120	FLUJO	1.50	86	2.70
90	LAMINAR		93	1.90
150	SYSAG		80	3.20
120	FLUJO	1.50	92	2.00
90	DE TRANSICION		94	1.00

DATOS OBTENIDOS EN LINEAS REGANTES.

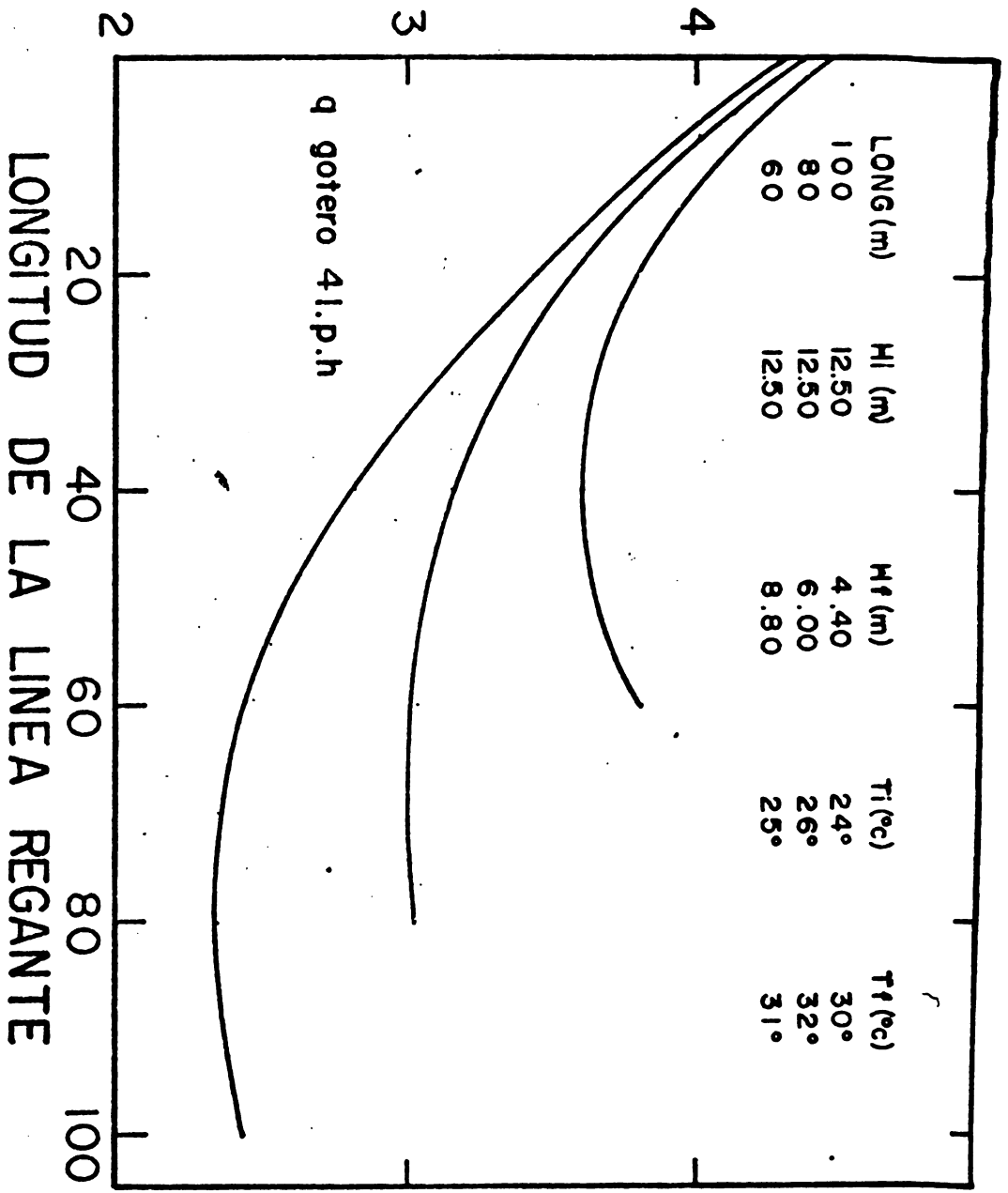
LONGITUD (m.)	TIPO DE GOTERO	ESPACIAMIENTO ENTRE GOTEROS (m.)	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD %	H _f (m.)
150	REX 124		67	7.70
120	FLUJO	2.00	79	5.30
90	TURB.		88	3.10
150	REX 124		62	6.90
120	FLUJO	2.00	74	4.90
90	LAMINAR		85	3.10



POSICION DEL GOTERO EN LA LINEA

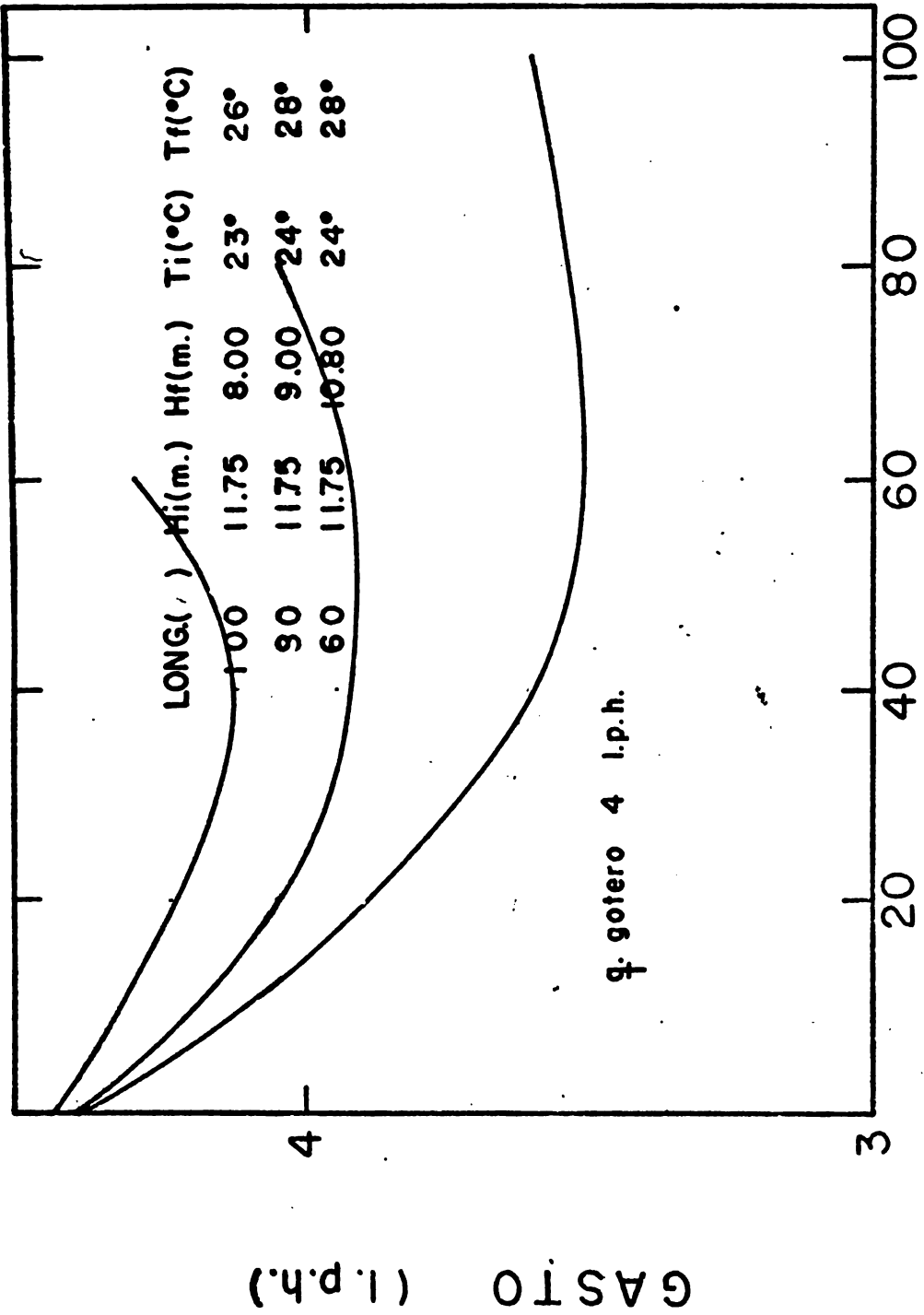
LÍNEA REGANTE CON GOTEROS REX Mod. 124 DE FLUJO
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.00 m.

GASTO (l.p.h.)



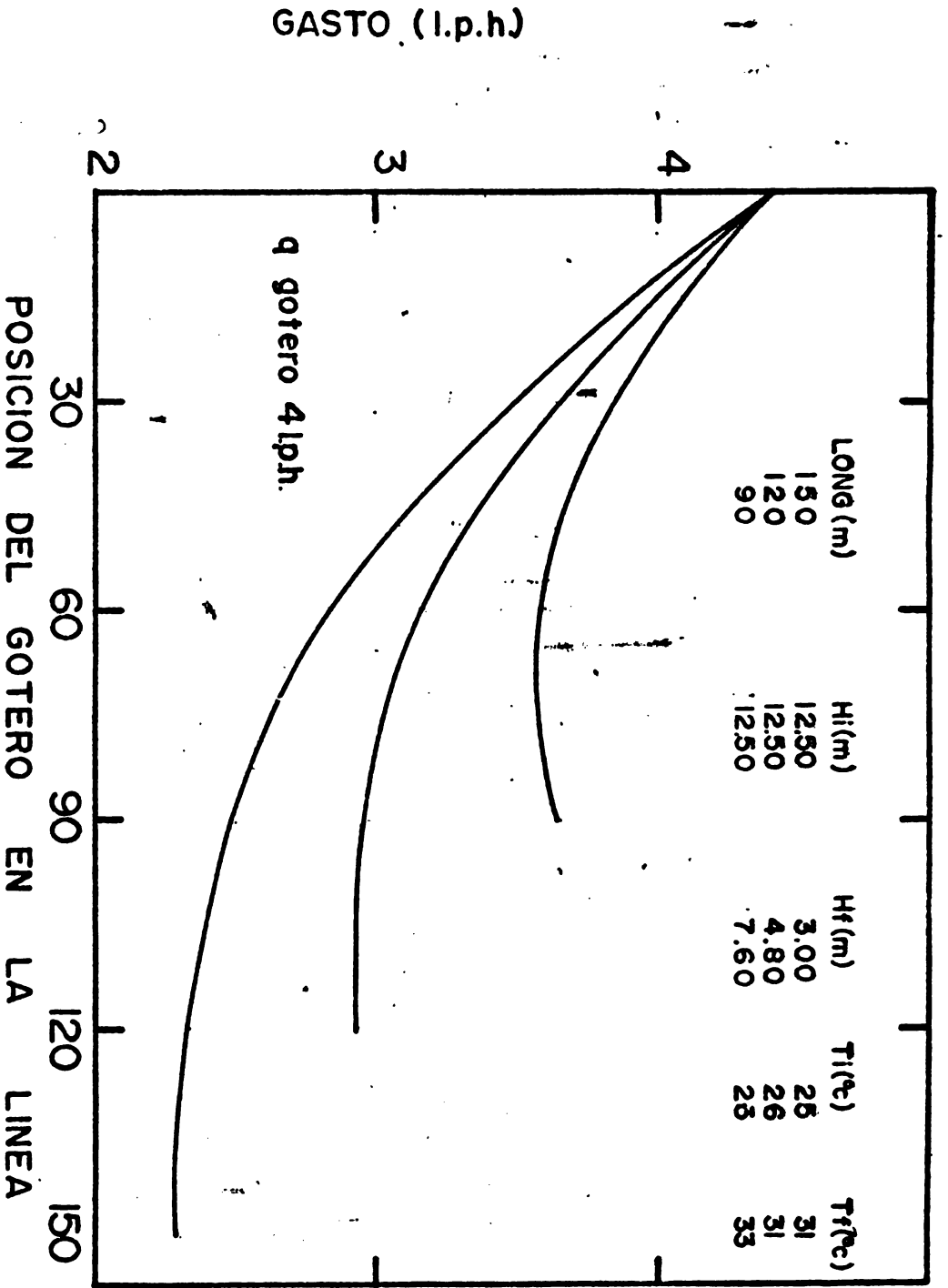
LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 124 FLUJO LAMINAR
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.00 m.

9



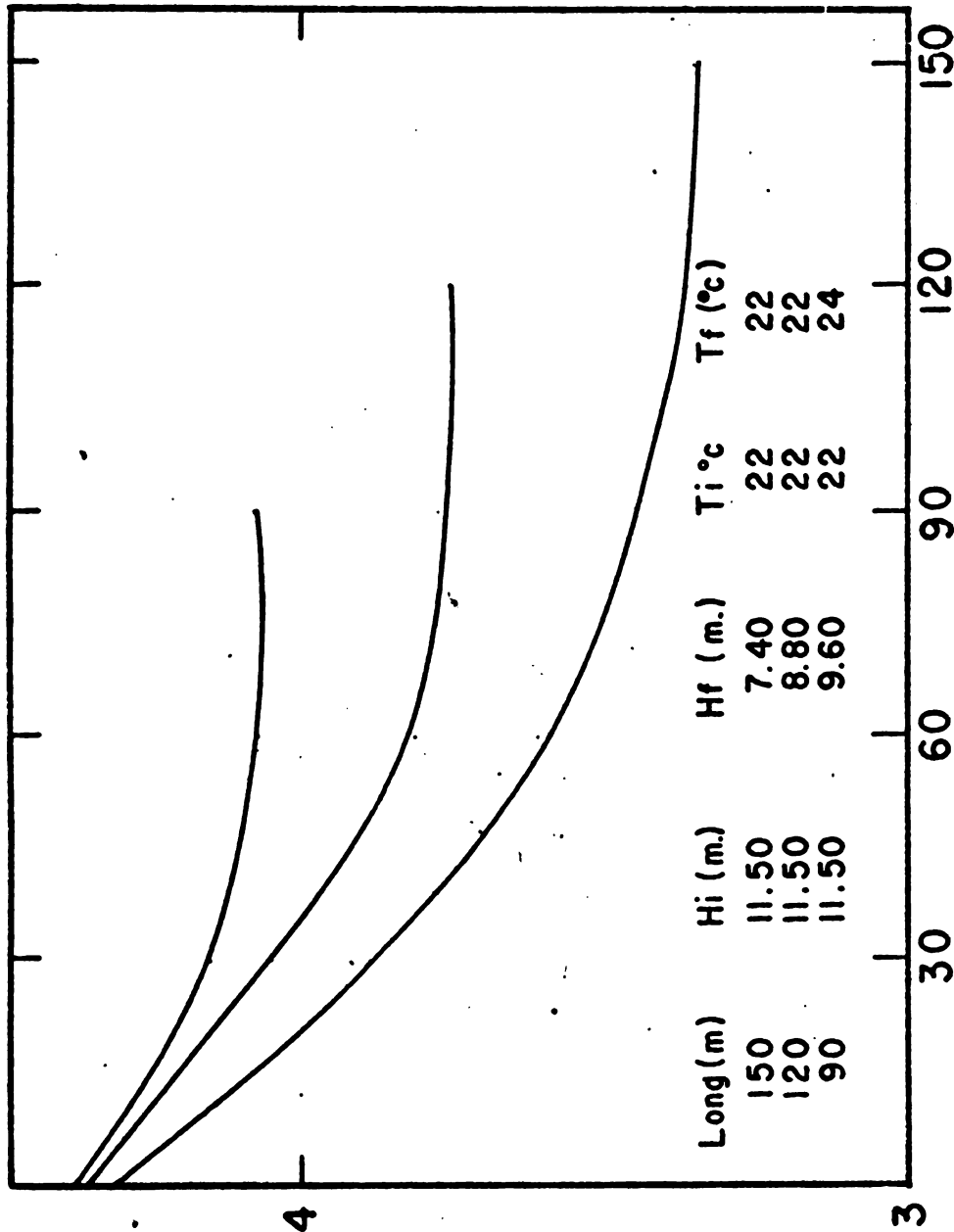
LONGITUD DE LA LINEA REGANTE

LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 164 FLUJO LAMINAR
ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.00 m.



LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod.124 FLUJO TURBULENTO
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.50 m.

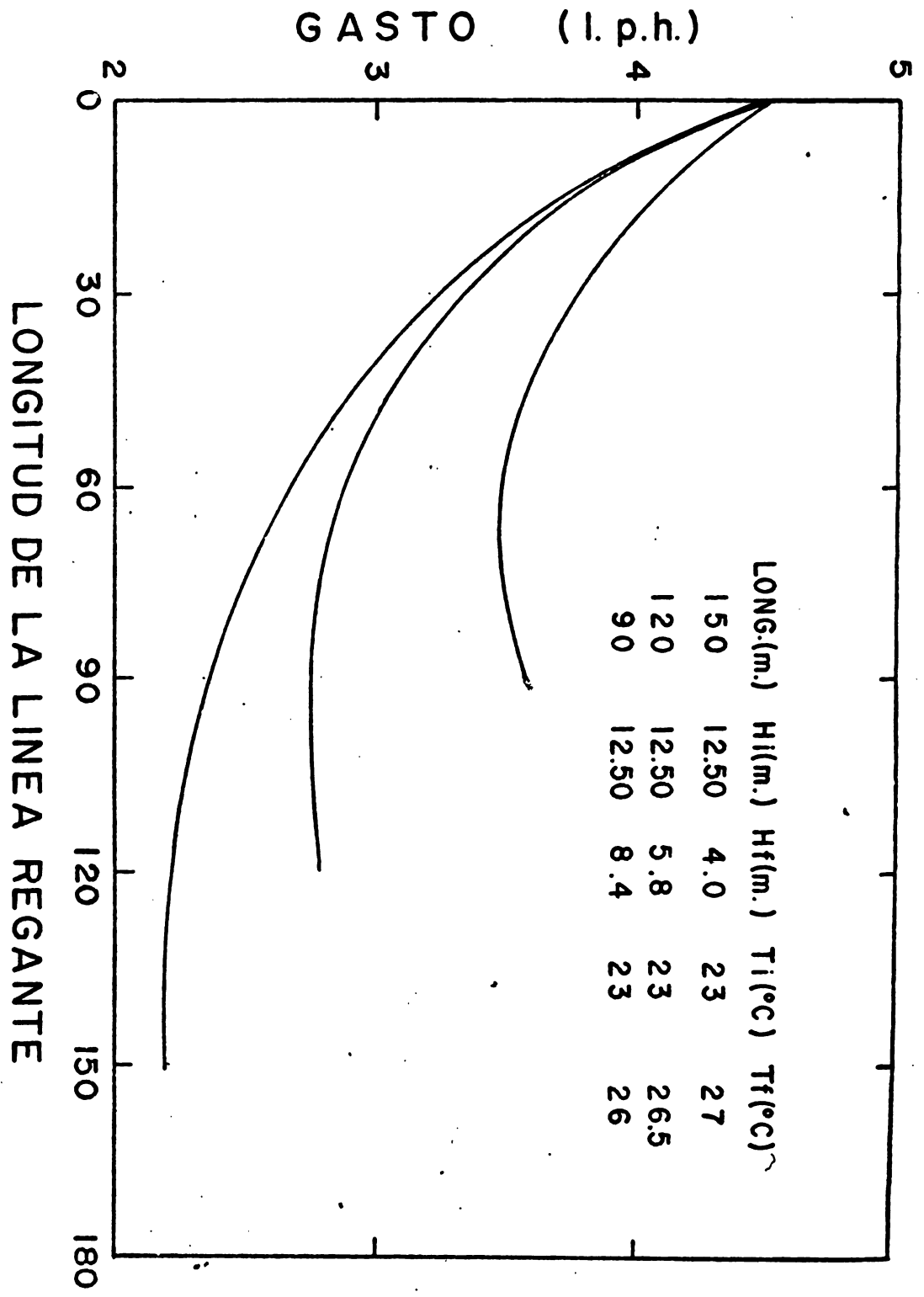
GASTO (l.p.h.)

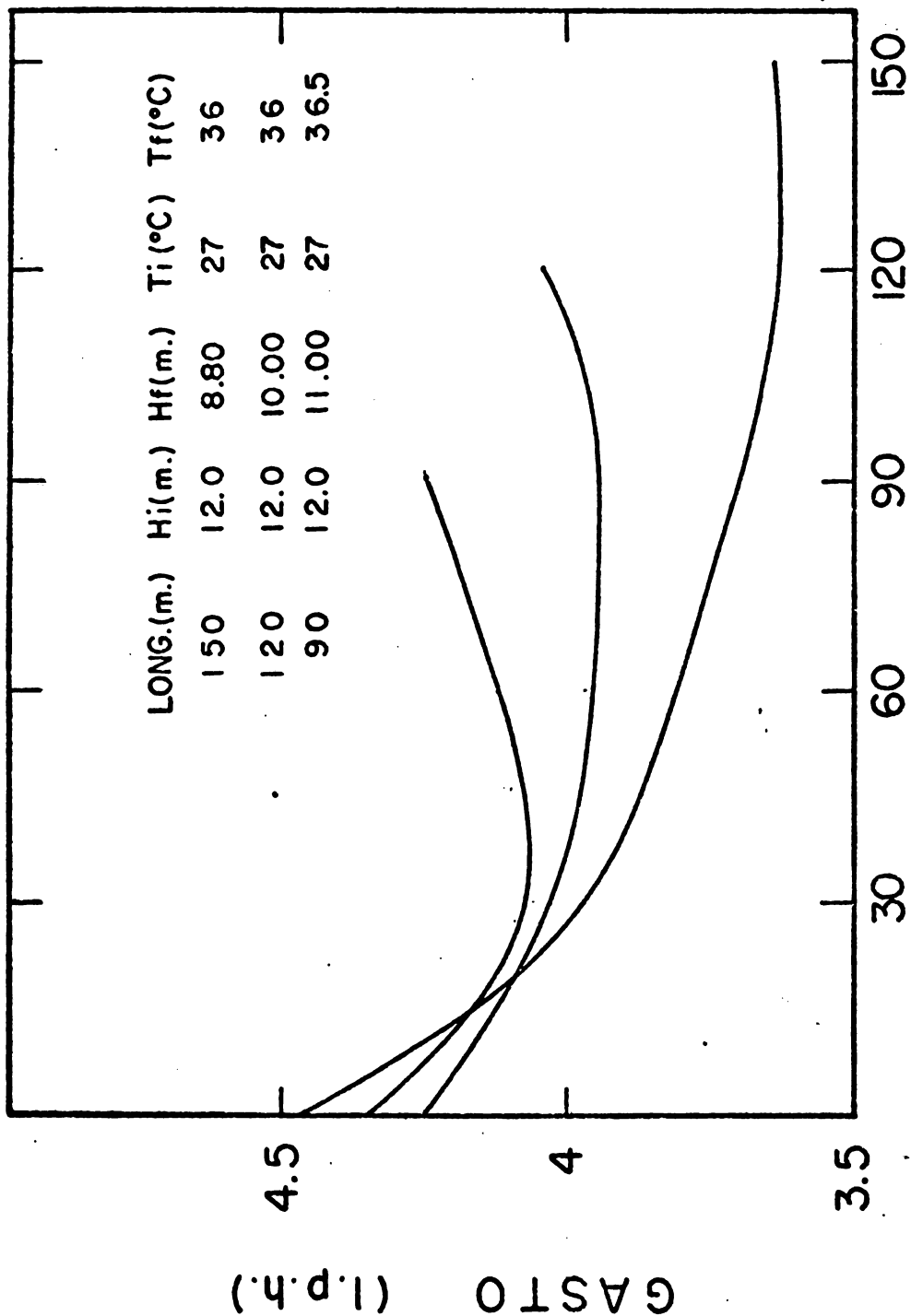


LONGITUD DE LA LINEA REGANTE

LINEA REGANTE CON GOTEROS
 REX mod. 164 FLUJO LAMINAR
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.50 m.

LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 124 FLUJO LAMINAR
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.5 m.

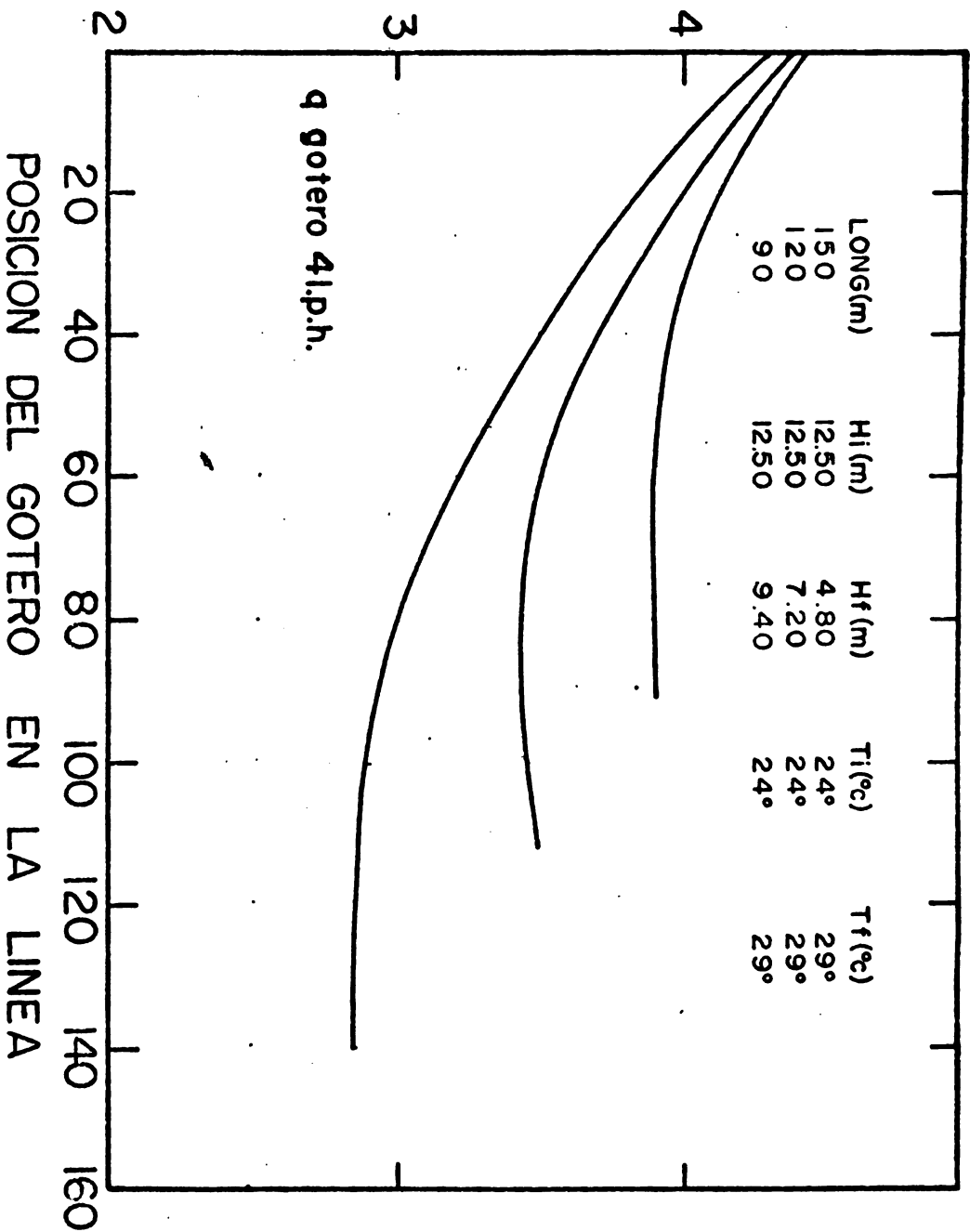




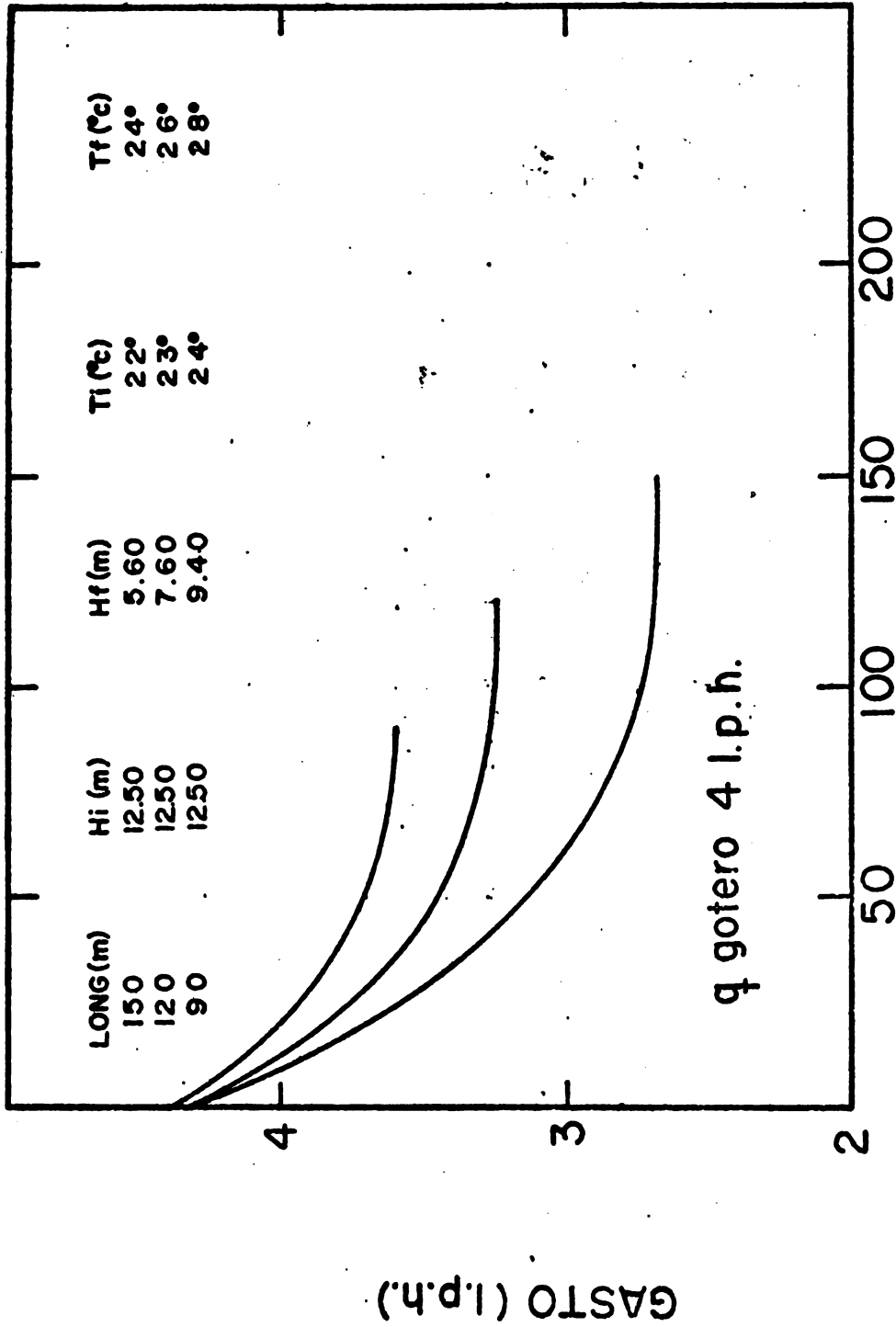
POSICION DEL GOTERO EN LA LINEA

**LINEA REGANTE CON GOTEROS SYSAG 4 l.p.h.
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 1.50 m.**

GASTO (l.p.h.)



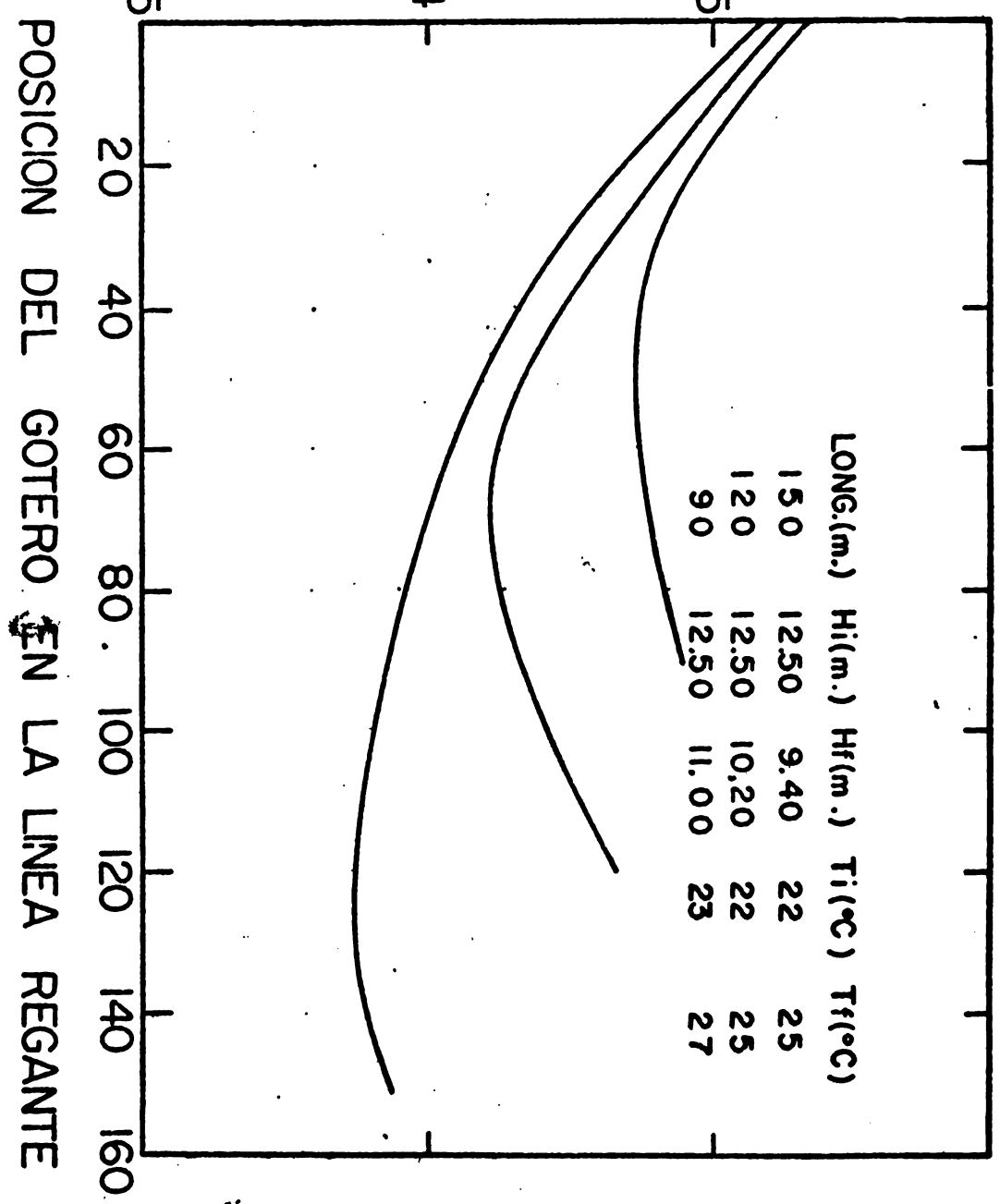
LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod.124 FLUJO TURBULENTO
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 2.00 m.



LONGITUD DE LA LINEA REGANTE

LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod.124 FLUJO LAMINAR
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 2.00 m.

**LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 164 FLUJO LAMINAR
ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 2.00 m.**



GASTO (l.p.h.)

LONG.(m.) Hi(m.) Hf(m.) Ti(°C) Tf(°C)

50	10.00	6.60	26	28
40	10.00	7.70	27	31
30	10.00	9.28	27	32

GASTO (l.p.h.)

2

1.5

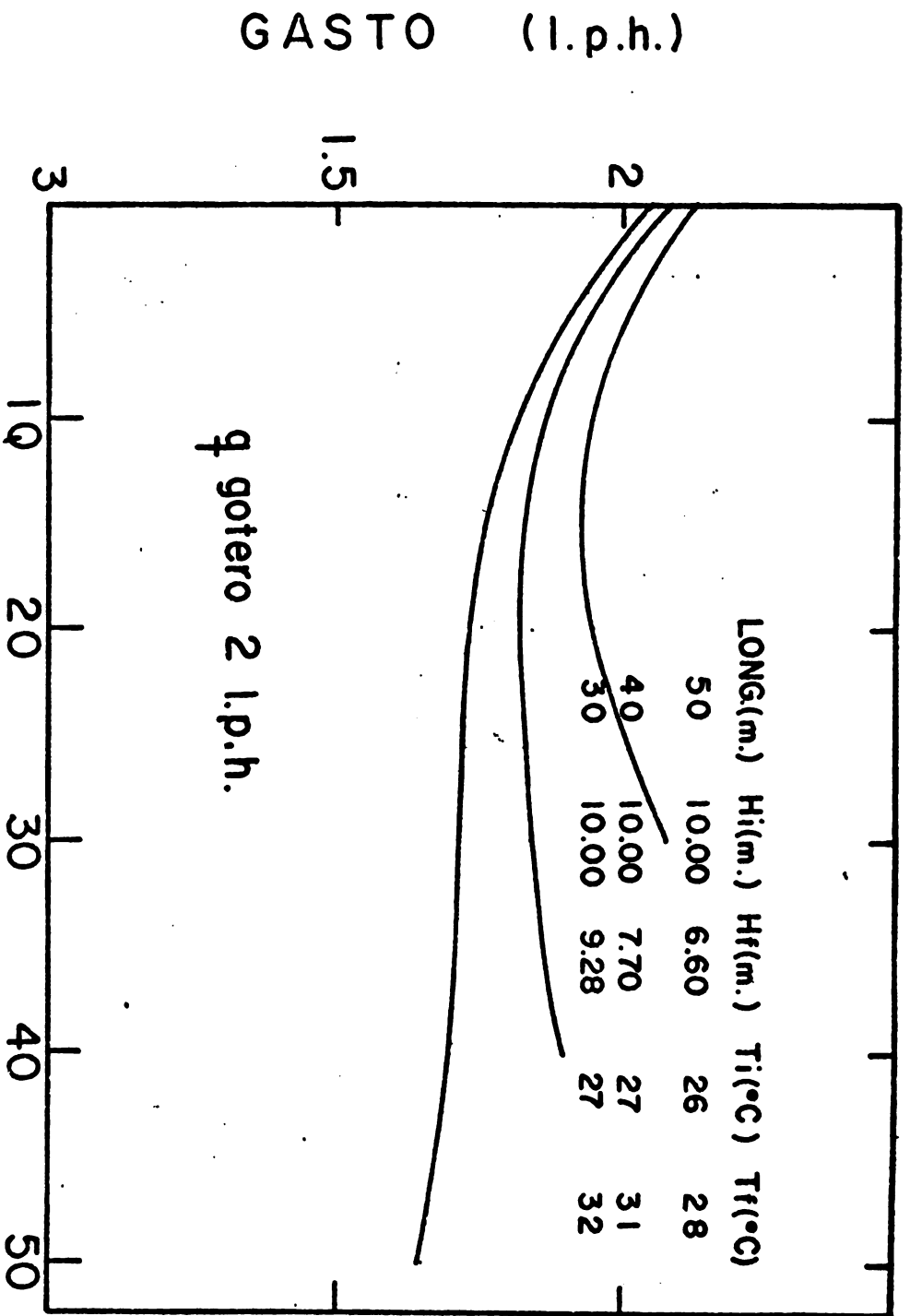
3

q gotero 2 l.p.h.

10 20 30 40 50

POSICION DEL GOTERO EN LA LINEA

LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 122 FLUJO LAMINAR
 ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 50 cms.



q gotero 2 l.p.h.

POSICION DEL GOTERO EN LA LINEA

LINEA REGANTE CON GOTEROS REX mod. 122 FLUJO LAMINAR

ESPACIAMIENTO ENTRE EMISORES 50 cms.

ANEXO N° 8

**USO DE COMPUTADORAS EN EL DISEÑO HIDRAULICO
DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO**

Por: Fedro Sigmundo Zazueta Ranahan (*)

**(*) Jefe del Laboratorio Integral de Térmica y Profesor Investigador del
Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México.**

II SEMINARIO LATINOAMERICANO SOBRE
RIEGO POR GOTEO

USO DE COMPUTADORAS EN EL DISEÑO HIDRAULICO
DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO*

POR

FEDRO SIGMUNDO ZAZUETA RANAHAH
PROFESOR INVESTIGADOR, INSTITUTO TECNOLOGICO
Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY.

RESUMEN

En este trabajo se presenta un método para el cálculo hidráulico de sistemas de riego por goteo, en el cual no se sacrifica precisión en búsqueda de simplicidad. Además, este es lo suficiente fácil de manejar por requerir conocimientos mínimos en hidráulica y con una baja probabilidad de cometer errores.

Habiendo determinado la razón de agua que debe recibir un cultivo, el problema de diseño se convierte en uno de cálculo hidráulico. Este es un problema complejo, y para el diseño de este tipo de sistemas se han desarrollado una serie de métodos que hacen simplificaciones del prototipo, para llegar a una expresión matemática que sea manejable. El hecho de hacer simplificaciones aleja el comportamiento real del sistema de lo que predice el modelo matemático, afectando en forma directa las eficiencias y uniformidad del riego.

Desde un punto de vista hidráulico, el sistema de riego por goteo es una red de tubería abierta con salidas múltiples. Recurriendo a los

* Es posible obtener copias de los programas escribiendo directamente al autor.

El Riego por Goteo (RXG) es un sistema de riego por medio del cual se aplica agua filtrada y algunos productos químicos a suelo a través de una red de tubos y otros dispositivos especializados llamados emisoros. El agua es llevada de la fuente a cada planta del cultivo eliminando totalmente pérdidas por conducción y minimizando las pérdidas por evaporación y percolación profunda, sin someter la planta a condiciones extremas. Se pretende con este sistema controlar cuando menos en forma parcial, el patrón con que el agua se distribuye en el suelo, tanto desde un punto de vista geométrico como del de distribución de humedad. El objetivo del sistema es el de mantener la zona radicular de la planta como una sección de dimensiones adecuadas entre el nivel de saturación del suelo y una fracción de éste que sea poco menor a la capacidad decampo. La distribución y el nivel de humedad deben adecuarse en forma tal, que la relación entre los factores agua-suelo-planta-clima sea de una naturaleza que optimice el desarrollo y el rendimiento de la planta, todo esto con miras a aumentar los retornos económicos, (4), (5) y (6).

Habiendo determinado la razón de agua que debe recibir el cultivo, para lo cual existe una gran diversidad de métodos, el problema se convierte en uno de diseño hidráulico. Este es complejo: para diseñar un SRXG se han desarrollado métodos que hacen simplificaciones del prototipo para llegar a una expresión matemática que sea manejable, (2), (7), (8) y (9). El hecho de hacer simplificaciones para poder hacer el cálculo manejable, aleja el comportamiento real del sistema del comportamiento del modelo matemático. Esto hace que para dar un riego adecuado sea necesario un sacrificio en la eficiencia, con una consiguiente pérdida del bien escaso; el agua. En base a lo anterior se establece el siguiente objetivo.

OBJETIVO

Generar un método para el cálculo hidráulico de SRXG en el cual no se sacrifique precisión en una búsqueda de simplicidad. Además, este debe ser lo suficiente fácil de manejar para que no se requieran conocimientos profundos de hidráulica y haya una baja probabilidad de cometer errores.

Es posible plantear un método general para el cálculo hidráulico de SRXG en el cual no sea necesario el hacer simplificaciones partiendo de principios básicos de termodinámica y mecánica de fluidos y utilizando técnicas de Análisis Dimensional, Métodos Numéricos y Correlación de Datos.

PRINCIPIO DE CONSERVACION DE ENERGIA

En un sistema euleriano el principio de conservación de energía está expresado como (10):

$$\left. \frac{dQ}{dt} - \frac{dW}{dt} \right|_s = \left. \frac{\partial E}{\partial t} \right|_{vc} + \int_{sc} \left(h + \frac{q}{g} z + \frac{V^2}{2g} \right) \rho V \cdot dA \quad (1)$$

En un flujo permanente y cuando el sistema no hace trabajo mecánico la ecuación (1) se reduce a:

$$\frac{dQ}{dt} = \int_{sc} \left(h - \frac{q}{g} z - \frac{V}{2g} \right) \rho V \cdot dA \quad (2)$$

Si el cambio de calor en el sistema es cero y la energía interna del fluido no cambia a lo largo del sistema la ecuación (2) se reduce al principio de Bernoulli modificado:

$$\frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} + z = \frac{P}{\gamma} + \frac{\alpha V^2}{2g} + z + \frac{P}{\gamma_f} + \frac{P}{\gamma_k} \quad (3)$$

El usar la ecuación de Bernoulli modificada en el diseño de un sistema de este tipo es hacer una aproximación del comportamiento del sistema, ya que, debido a los esfuerzos viscosos que se generan, en un sistema de riego por goteo la temperatura del fluido cambia a medida que este viaja por el sistema. Este cambio se refleja en la densidad y en la viscosidad del agua. Recordando que el factor de pérdidas por fricción en tubos se expresa como una función de la geometría del conducto y el número Reynolds, dicho factor se verá afectado por un cambio en la temperatura del fluido, por lo que al no considerar este efecto se proporciona un gasto diferente al calculado. Sin embargo, una estimación de este efecto muestra que es muy pequeño, aún más hay una variación muchísimo mayor debida a los efectos de la radiación solar, este efecto es impredecible debido a que parte de las líneas se encuentran a la sombra, factor que dependerá de el tipo y edad del cultivo, orientación de la cuenca topográfica y orientación del sistema. Para evitar esto y por razones aún de mayor importancia es recomendable enterrar la lateral si las prácticas de cultivo lo permiten.

ECUACION DE DARCY-WEISBACH

Para calcular las pérdidas de carga por fricción en el sistema se utiliza la conocida ecuación de Darcy-Weisbach (11):

$$\frac{P}{\gamma_f} = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (4)$$

En esta ecuación, la pérdida de carga es una función de la longitud, el diámetro de la tubería, la velocidad media, y un factor de fricción. El factor de fricción se expresa como:

$$f = f(R, \epsilon/D) \quad (5)$$

Esta función está determinada por el conocido diagrama de Moody.

Ya que el cálculo de la red se hará utilizando un computador digital, no es conveniente el uso de gráficas para la determinación del coeficiente de fricción debido a la dificultad para almacenarlas en la memoria de la máquina. Sin embargo, esto no representa un problema grave, ya que dadas las características de los materiales usados en las laterales de emisión y en los múltiples del sistema, la rugosidad del material es muy pequeña, pudiéndose considerar el tubo como liso. Si se observa el diagrama de Moody para tubos lisos, el factor de fricción queda definido por la curva inferior en las zonas de flujo. Algunos investigadores han encontrado ecuaciones que describen el coeficiente de fricción cuando el tubo es liso, dichas fórmulas son ajustadas en función de datos tomados en laboratorio y funcionan para ciertos rangos restringidos del número de Reynolds.

Cuando el flujo es laminar se puede utilizar la ecuación de Poiseulle:

$$f = 64 / R \quad (6)$$

Cuando el flujo es turbulento y el número de Reynolds es menor de 10^5 , puede utilizarse la ecuación de Blasius:

$$f = 0.3165 / R^{0.25} \quad (7)$$

En el caso de que el número de Reynolds sea mayor de 10^5 entonces se puede utilizar la primera ecuación de Karmán-Prandtl:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log R\sqrt{f} - 1.8 \quad (8)$$

Esta última necesitará de una rutina especial para resolver el factor de fricción por algún método de aproximaciones sucesivas o interpolación no lineal, ya que el factor de fricción está expresado en una forma implícita.

En el caso de que algunas o alguna de las líneas utilizadas en el sistema sea de características tales que la rugosidad tenga un efecto significativo se puede utilizar la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} - \frac{2.51}{R \sqrt{f}} \right) \quad (9)$$

Se puede observar que las ecuaciones (7) y (8) son análogas cuando la rugosidad es muy pequeña.

Además de las pérdidas por fricción habrá que considerar, en los casos que sea pertinente, las pérdidas de carga debidas a las conexiones de los emisores a la línea lateral de emisión. Esto se puede hacer en base a los criterios siguientes: Utilizando la ecuación de pérdidas localizadas. Utilizando una longitud equivalente de línea, o sea, agregar a la lateral de emisión una longitud de tubo que produzca una pérdida de fricción igual a la pérdida local que produce la conexión del emisor.

Así la pérdida de carga de un emisor a otro estará dada por la ecuación:

$$H_{p/s} = \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{V^2}{2g} \quad (10)$$

$$H_{p/t} = f \frac{L + L_{eq}}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (11)$$

Debido a que si el número de Reynolds es mayor que 10^5 , el factor de fricción no puede calcularse con facilidad conviene calcular las pérdidas por fricción y por forma separadamente y luego sumarlas. La pérdida por forma será simplemente la pérdida de carga obtenida de multiplicar la constante de forma por la carga de velocidad. Las pérdidas de carga por fricción puede calcularse en la forma siguiente:

Si el flujo es laminar, sustituir directamente la ecuación de Poiseuille en la ecuación de Darcy-Weisbach, igualmente, si el flujo es turbulento y el número de Reynolds es menor de 10^5 sustituir la ecuación de Darcy-Weisbach quedando respectivamente para cada caso:

$$H_f = \frac{64}{R} \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (12)$$

$$H_f = \frac{0.3165}{R^{0.25}} \frac{L}{D} \frac{V}{2g} \quad (13)$$

Como ya se había mencionado anteriormente, en el caso en que el número de Reynolds es mayor de 10^5 no es posible despejar el factor de fricción y sustituirlo en la ecuación (5). Más que aplicar un método iterativo a la ecuación (8) para encontrar el factor de fricción, por razones de precisión y rapidez en la convergencia, resulta conveniente encontrar una relación para la pérdida de carga y hacer las interacciones para encontrarla directamente. Esto se puede lograr despejando el factor de fricción de la ecuación (5) y sustituyendo en la ecuación (7):

$$f = H_f \frac{D}{L} \frac{2g}{V^2} \quad (14)$$

$$f = H_f K^2 \quad (15)$$

donde

$$K^2 = \frac{D}{L} \frac{2g}{V^2} \quad (16)$$

Sustituyendo (14) en (6):

$$\frac{1}{K\sqrt{H_f}} = 2 \log RK\sqrt{H_f} - 1.8 \quad (17)$$

Para encontrar la pérdida de carga por fricción puede utilizarse el método de Newton-Raphson, definiendo:

$$\phi(H) = 2 \log RK / H_f - 1/(K/H_f) - 1.8 \quad (18)$$

e iterando con el algoritmo de Newton-Raphson:

$$\frac{\phi(H)}{\phi'(H)} = H_i + H_{i+1} \quad (19)$$

donde (H_i) es la primera derivada de (H) .

Encontrando el valor de la carga que hace a la función (17) igual a cero, se habrá encontrado el valor de la pérdida de carga por fricción, la cual sumada a la pérdida local, dará el valor de la pérdida de carga entre dos emisores.

Las ecuaciones anteriores son algunas de las que pueden ser utilizadas. Existe una gran variedad de este tipo de ecuaciones en la literatura (11).

FUNCION DE DESCARGA DEL EMISOR

El conocimiento preciso de las características de cada una de las componentes de un sistema de riego por goteo es necesario para la predicción del comportamiento hidráulico del sistema. Uno de los elementos determinantes de dicho comportamiento es el emisor. Básicamente el problema que nos interesa es encontrar el caudal descargado por el emisor en función de la presión y otros parámetros adecuados.

En base a los principios básicos de mecánica de fluidos puede establecerse que la velocidad media a través del gotero está dada por:

$$V = f(\Delta P/L, d, D_L, V_L, \rho, \mu, g_c)$$

donde:

- v velocidad media del fluido en el gotero.
- $\Delta P/L$ caída de presión por unidad de longitud a través del gotero.
- D longitud característica del gotero, diámetro.
- D_L longitud característica de la línea lateral de emisión, diámetro.
- V_L velocidad media en la línea lateral de aspersion.
- ρ densidad del fluido.
- μ viscosidad dinámica del fluido.
- g constante de proporcionalidad de la segunda ley de Newton.

Utilizando el método de Análisis Dimensional (12) para encontrar la forma de la función se tiene que la matriz dimensional formada por los distintos parámetros, es para el sistema de unidades F, M, L, T.

	P/L	d	D_L	V_L	ρ	μ	g	v
F	1	0	0	0	0	1	-1	0
M	0	0	0	0	1	0	1	0
L	-3	1	1	1	-3	-2	1	1
T	0	0	0	-1	0	1	-2	-1

Reordenando la matriz y haciendo una partición se tiene que el determinante de $P/L, \rho, d,$ y g_c está dado por:

$$\begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ -3 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & -2 \end{vmatrix} = -2$$

por lo cual la submatriz es no singular siendo las ecuaciones formadas por la matriz dimensional independientes entre sí (13), así por el teorema de Buckingham modificado (14) y aplicando el método de grupos (15) se encuentra que los términos adimensionales que describen la solución física son:

$$\pi_1 = \frac{P D_L 2g_c}{\rho L v^2}$$

$$\pi_2 = D_L / d$$

$$\pi_3 = \rho \frac{v d}{\mu g_c}$$

$$\pi_4 = V_L / v$$

aplicando el teorema de potencia y sustitución se encuentra que

$$\Pi_1 = \frac{\Delta P / \rho}{\frac{L}{D} \frac{V^2}{2g_c}}$$

$$\Pi_2 = D_L / d$$

$$\Pi_3 = \rho \frac{v d}{\mu g_c}$$

$$\Pi_4 = \rho \frac{V_L D_L}{\mu g_c}$$

o sea que la función que describe el fenómeno está dada por:

$$IE = f(IR, IR_L, D_L/d) \quad (21)$$

donde IE es el número de Euler, IR el número de Reynolds en el gotero y IR_L el número de Reynolds en la lateral de emisión. Notese que en el caso de un emisor de orificio en la función (20) se sustituye ΔP por $\Delta P/L$ quedando en la forma convencionalmente conocida (para una interpretación física de los términos adimensionales ver (16)).

Nótese que si se desprecian los efectos de IR_L y D/d se tiene que

$$IE = f(IR) \quad (22)$$

que es idéntica a la ecuación (4), donde $f(IR)$ es el factor de fricción.

De acuerdo a la teoría de ecuaciones físicas completas y homogéneas (14).

$$f(IR) = C IR^x \quad (23)$$

De las ecuaciones anteriores se encuentra que:

$$q = A_v = A \left(\frac{P/L}{\rho/(2dg) C \left(\frac{d\rho}{\mu g} \right)^x} \right)^{1/(2+x)} \quad (24)$$

que se puede expresar como

$$q = C (H/L)^{1/(2+x)} \quad (25)$$

Si L es constante

$$q = C_1 H^{x_1} \quad (26)$$

que es la forma típica en que se han presentado las ecuaciones que describen el comportamiento de goteros (4).

Para evaluar los exponentes se diseñó un banco de pruebas que se describe en forma esquemática en la figura (1) y se muestra en las fotografías 1 y 2.

Mediante las tres válvulas se puede controlar el caudal y la presión en cualquier ramal del sistema.

Además, el banco es útil para determinar las pérdidas localizadas en cualquier tipo de conexión por el método convencional que se muestra en forma esquemática en la figura (2).

FUNCION DE DESCARGA DE LA LINEA LATERAL DE EMISION

Un múltiple al cual están conectadas las líneas laterales de emisión, puede ser tratado como una lateral de emisión al considerar las líneas laterales de emisión como un emisor. Al hacer esta consideración entonces debe de cumplirse una relación del tipo:

$$Q_i = C' H^{x'} \quad (27)$$

En este caso la determinación de la constante y el exponente de la función no resulta tan simple como en el caso anterior, ya que este dependerá de las características de los emisores sobre la lateral de emisión, que bien pueden tener distintas geometrías y características hidráulicas, además dependerá de la pérdida a lo largo de la lateral de emisión, la cual no es lineal. Se puede encontrar una relación entre la carga estática de entrada y el gasto total que sale por la línea lateral de emisión por el método que más adelante se describe para calcular la distribución de presiones y de gastos a lo largo de la lateral, encontrando por medio de éste una serie de pares ordenados con los cuales puede ajustarse una curva.

DISEÑO HIDRAULICO

El problema hidráulico en un sistema de riego por goteo consiste simplemente en la determinación de la distribución de caudales. Para fines de cálculo los sistemas de riego por goteo se pueden clasificar según el tipo de emisor en:

Sistemas con emisores hidráulicamente no controlables.

Sistemas con emisores hidráulicamente controlables.

Un emisor hidráulicamente controlable es aquel tipo de emisor para el cual puede calcularse en el gabinete alguna característica hidráulica que sea manejable a nivel de campo, como lo puede ser longitud de microtubo.

Un emisor hidráulicamente no controlable es típicamente aquel en el que no es posible cambiar la geometría. El cálculo hidráulico para cada uno de este tipo de sistemas es distinto.

EMISORES NO CONTROLABLES

Considerese el caso general de una línea lateral en la cual el comportamiento hidráulico de los emisores es distinto a elevaciones y separaciones que pueden ser diferentes (fig. 3).

Partiendo de n esimo punto de la línea lateral de emisión es posible calcular la distribución de gastos dada una carga arbitraria sobre este punto en la forma siguiente (ver figura 4).

1) Dada la carga H_n en el último emisor, se calcula el gasto q_n que sale a través del emisor por medio de la ecuación (21). 2) El gasto Q_n que pasa a través de la línea lateral de emisión antes del último emisor será igual al gasto q_n , en función de este gasto determinar la velocidad en la línea y en función de ésta calcular la carga en el punto n-1 utilizando las ecuaciones (3) y (11). (Si se considera que no hay cambio de calor en el sistema la ecuación (3) es el principio de Bernoulli). 3) Conocida la carga de presión sobre el emisor n-1 calcular el gasto q_{n-1} en la misma forma que en 1). 4) Calcular la carga sobre el punto n-2 en la misma forma que en 2), tomando en cuenta que Q_{n-1} es la suma de Q_1 y q_2 . 5) Repetir la secuencia hasta llegar al principio de la lateral de emisión.

Los algoritmos que se utilizan en el cálculo pueden expresarse en la forma siguiente:

$$H_{i-1} = H_i + \left(f \frac{L}{D} + K \right) \frac{V_i}{2g} + Z_i - Z_{i-1} \quad (28)$$

donde:

$$V_i = Q_i / A_i \quad (29)$$

y

$$Q_i = q_i + Q_{i+1} \quad (30)$$

Conocida la distribución de gastos y cargas es posible determinar una serie de factores como gasto promedio, diferencia máxima de gastos, coeficientes de uniformidad. Es más, con una serie de cálculos (ver figura 5) para distintos valores de carga pueden encontrarse ya sea por regresión lineal (17) ó por una interpolación (18) funciones que describan el comportamiento de los parámetros antes mencionados en función de la carga a la entrada de la línea lateral de aspersión. Conociendo este comportamiento el cálculo para un múltiple resulta análogo a la línea lateral de riego.

EMISORES CONTROLABLES

Este caso resulta ser más simple que el anterior, ya que la distribución de las velocidades dentro de la red se determinan directamente del gasto que sale por los emisores, el cual se puede fijar con precisión.

Conociendo la distribución de velocidades en la red, pueden calcularse las pérdidas en cualquier punto de la red. Ya que las pérdidas de carga son independientes del valor de la presión absoluta de la red, calculando la red con una carga inicial arbitraria puede localizarse el punto de carga estática mínima. La diferencia de carga estática mínima calculada, con la carga mínima admisible se agrega a las cargas calculadas sobre cada uno de los emisores; conocidas estas, es posible calcular las características hidráulicas de los emisores.

La secuencia que se sigue es la siguiente:

- 1) Dados los gastos en los emisores, determinar las distribuciones de velocidades sobre cada tramo de la red.
- 2) Partiendo con una carga arbitraria sobre la entrada, calcular las cargas sobre los emisores por la ecuación (26).
- 3) Localizar la carga mínima en la red.
- 4) Sumar con su signo algebraico a todas las cargas sobre los emisores de la red, la diferencia entre la carga mínima calculada y la carga mínima admisible.
- 5) Por la ecuación 19, habiéndola determinado en el laboratorio, determine la geometría del emisor.

APLICACION DEL METODO

Las secuelas anteriores han sido programadas en diversos tipos de computador digital. El método se ha implementado para calcular redes comerciales utilizando microtubos como emisor hidráulicamente controlables. Entre estas redes destacan las instaladas en el Rancho Los Angeles en Arteaga, Coahuila, México, y en Granja Avícola Garrison en Saltillo, Coahuila, México.

Ambos proyectos son pequeños 4 y 8 hectáreas respectivamente, sin embargo, destacan los puntos siguientes:

Las redes funcionan por gravedad (ver fotografías 3 y 4) y con poca carga.

La topografía es accidentada (ver fotografía 5).

Todas las líneas laterales son de 3/8 de pulgada de diámetro normal con longitudes hasta de 320 m.

Las cargas sobre el emisor llegan a tener valores hasta de 0.60 m columna de agua.

La desviación promedio del gasto de diseño en estas redes es de 3% con un C.V. de 70% de la desviación."

No se utilizó ningún generador de presión en el sistema y fuera de tubería y goteros solo se colocó un filtro, una válvula y un manómetro.

El sistema se optimizó desde un punto de vista de costo total anual.

COMENTARIOS

Determinando la distribución de cargas con precisión y no en una forma aproximada como sucede en los métodos convencionales, con el método propuesto se tienen las siguientes ventajas: i) Es posible hacer funcionar el sistema de riego a muy bajas presiones (cargas menores a 1 m). ii) La uniformidad de emisión es mayor. iii) El tiempo de diseño es una fracción de tiempo que llevan los métodos convencionales. v) Permite el cálculo preciso de redes de una geometría tal que no es posible calcularlas por los métodos convencionales sin cometer serios errores o elevar las cargas a extremos innecesarios. vi) No se requieren conocimientos de hidráulica a ningún nivel. vii) El método no es idealizado ni aproximado ya que incluyen todos los factores que pueden generar una variación en la carga. Ya que el trabajo es ejecutado totalmente por la máquina, el trabajo del técnico queda reducido a la colección de la información necesaria y la proposición de una geometría, la cual puede manejar como sea conveniente para optimizar el sistema desde un punto de vista de costo total anual.

CONCLUSION

Resulta pues en conclusión que el uso de computadoras electrónicas en el diseño y cálculo hidráulico por el método propuesto tiene muchas ventajas sobre los métodos de cálculo convencionales, por su alto grado de precisión y por predecir el comportamiento real del sistema, (comparaciones de diseño por este método con la red en operación a nivel comercial han dado valores de uniformidad muy elevados, con desviaciones en promedio de 3/100 y CV de la desviación de .7). Por otra parte el no requerir de conocimientos profundos de hidráulica o de computación electrónica lo hace atractivo para su uso por técnicos en el ramo.

REFERENCIAS

- (1) D. H. & D. L. MEADOWS, J. RANDEVS, W. W. BEHKENS III.
Los límites del Crecimiento
 Fondo de Cultura Económica.
 México, 1973

- (2) V. R. POTTER
Bioethics: Bridge to the Future
Prentice Hall
N. Jersey, U.S.A., 1971.
- (3) R. P. AMBROGGI
Underground Reservoirs to Control the Water Cycle.
Scientific American
May 1972 p.p. 23
- (4) J. KELLER- D. KARMELI
Trickle Irrigation Design
Rain-Bird Sprinkler MFG. Col.
Glendora, Cal. U.S.A. 1974
- (5) HAGAN-HAISE-EDMINSTER
Irrigation of Agricultural Lands
American Society of Agronomy
Madison, Wisconsin, U.S.A.
- (6) D. GOLDBERG
Drip Irrigation
Faculty of Agriculture, Hebrew University
Israel
- (7) L. TORRES AGUILERA
Análisis Hidráulico con una Tubería con Salidas Múltiples
Mem. Técnico 311 SRH México, D. F.
- (8) I-PAI WU-HARRIS GITLIN,
Design Charts for Drip Irrigation Systems
2nd. International Drip Irrigation Congress
San Diego, Calif.
- (9) P. GOMEZ POMPA
Riegos a Presión, Aspersión y Goteo
Biblioteca Agrícola Aldos, Barcelona, España.
- (10) J. HABERMAN
Introduction to Fluid Mechanics
Prentice Hall
N. Y., U. S. A. 1971
- (11) G. SOTELO A.
Hidráulica Geminal
LIMUSA
México, D. F., 1974.
- (12) E. DE ST.Q. ISAACSON, M. DE ST. Q. ISAACSON
Dimensional Methods in Engineering Physics
Halsted Piles
N.Y. U.S.A., 1975

- (13) C. R. WYLIE JR.
Advanced Engineering Mathematics 3d. ED.
Mc. Graw Hill - Kogahusha
Tokio 1966
- (14) P. W. Bridgman
Dymensional Analysis
Princeton University Press
U. S. A. 1963
- (15) H. L. LANGHAAK
Dymensional Analysis and Theory of Models
J. Wiley & Sons
N. Y., U.S.A. 1962
- (16) H. ROUSE
Elementary Mechanics of Fluids
Wiley - Toppan
Tokio 1946
- (17) R. H. LEAVER, T. R. THOMAS
Analysis and Presentation of Experimental Results
Halsted Press
New York, 1974
- (18) D. G. MOURSUND & C. S. DURIS
Elementary Theory and Application of Numerical Analysis.
Mc Graw Hill - Kogakusha
Tokio, 1967.

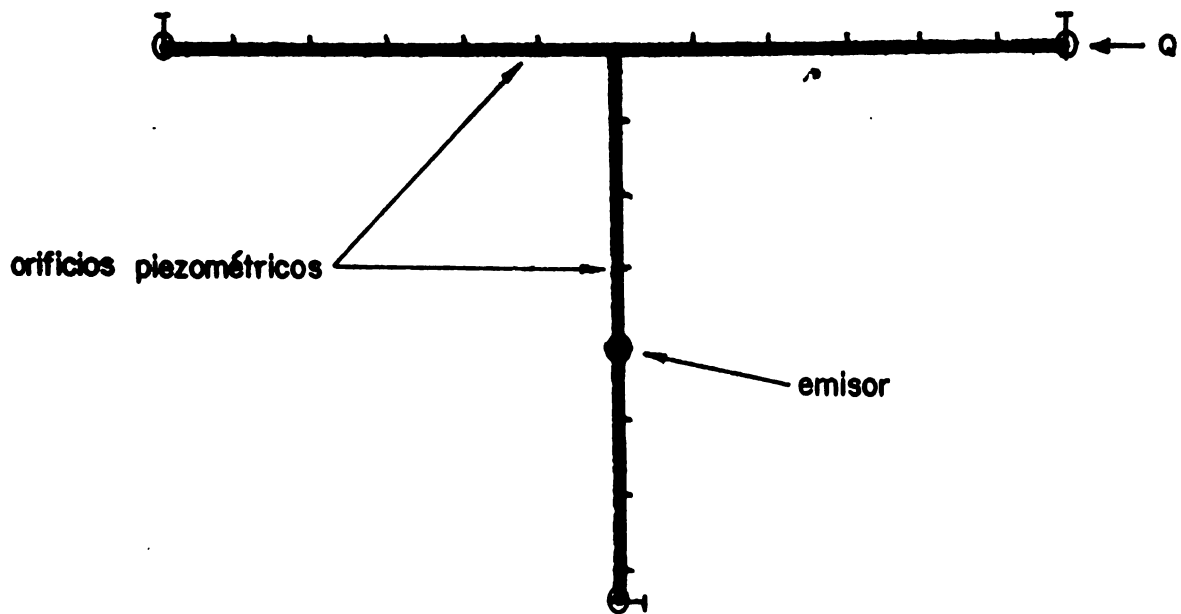


FIG. 1: BANCO DE PRUEBAS. Mediante la distribución mostrada se controla el caudal en cada línea y la carga sobre el sistema.

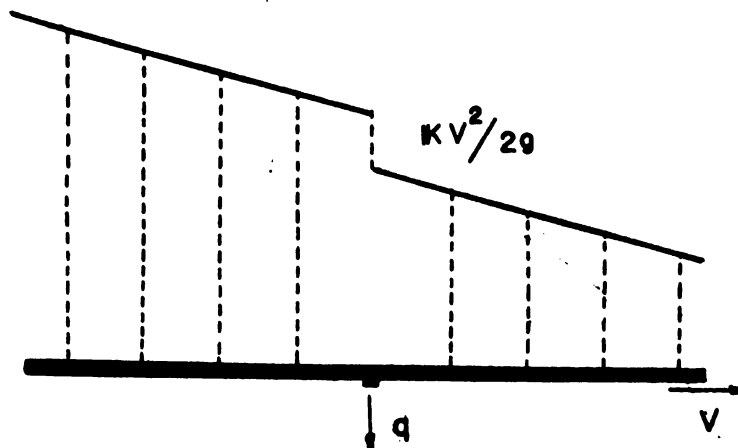


FIG. 2: ESTIMACION DE PERDIDAS LOCALES. La diferencia entre la extrapolación de la línea de carga total antes y después de la pieza es el valor de pérdida de carga producida.

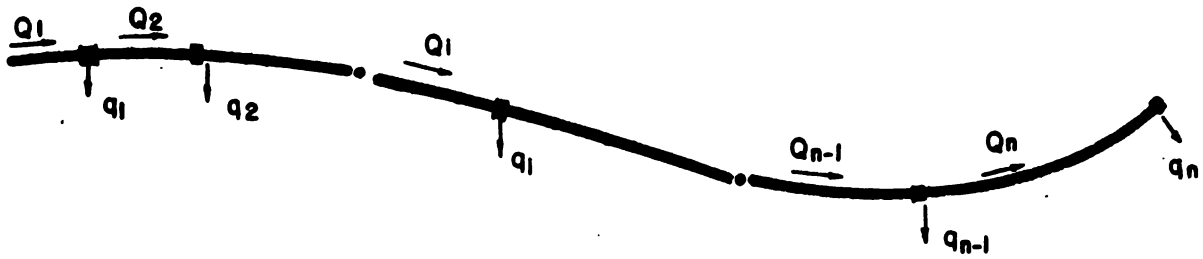


FIG.3: DISTRIBUCION DE GASTOS EN UNA LATERAL O UN MULTIPLE.

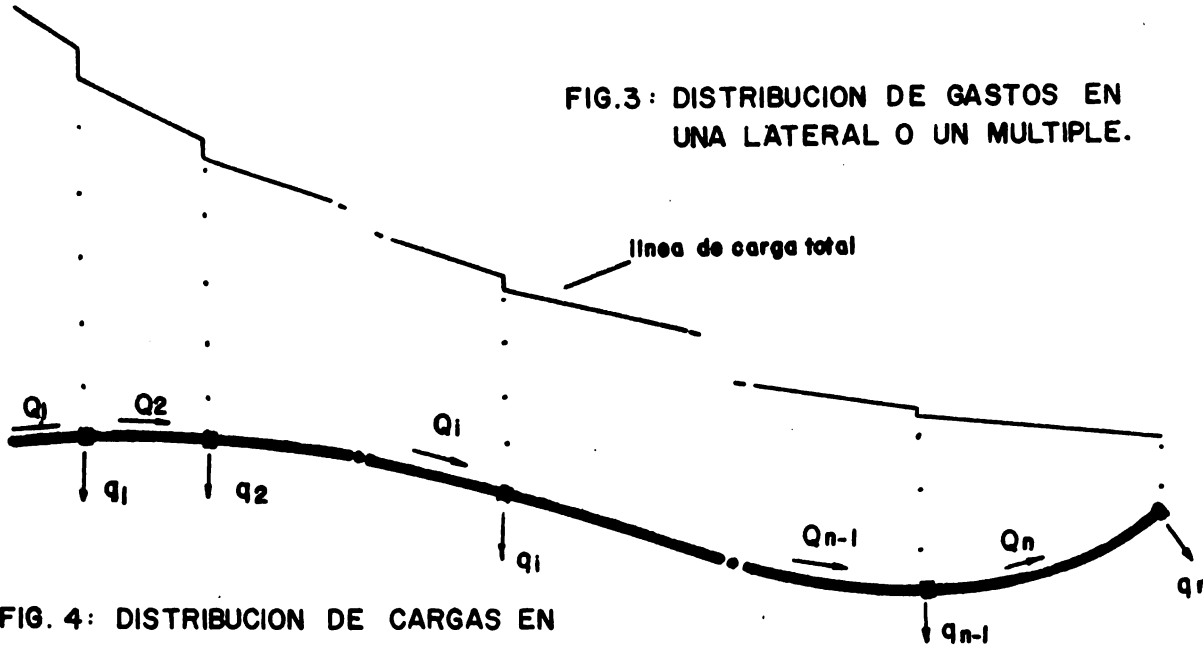


FIG. 4: DISTRIBUCION DE CARGAS EN UNA LATERAL O UN MULTIPLE.

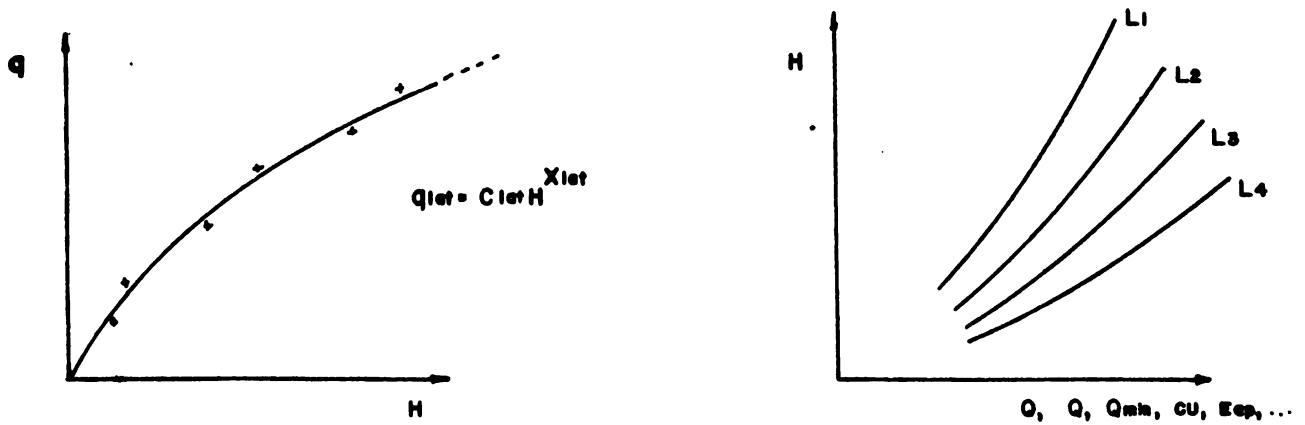
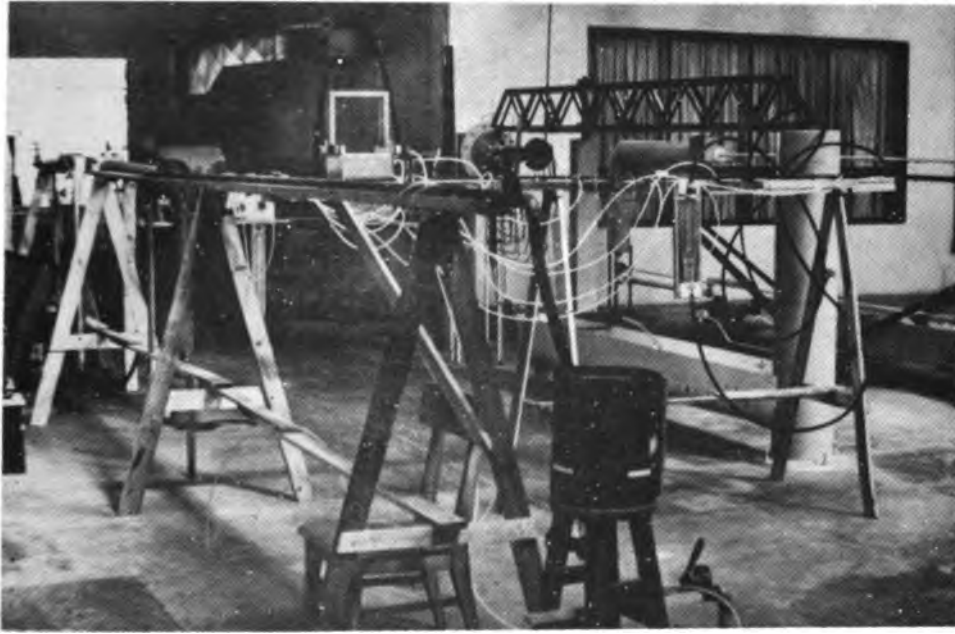


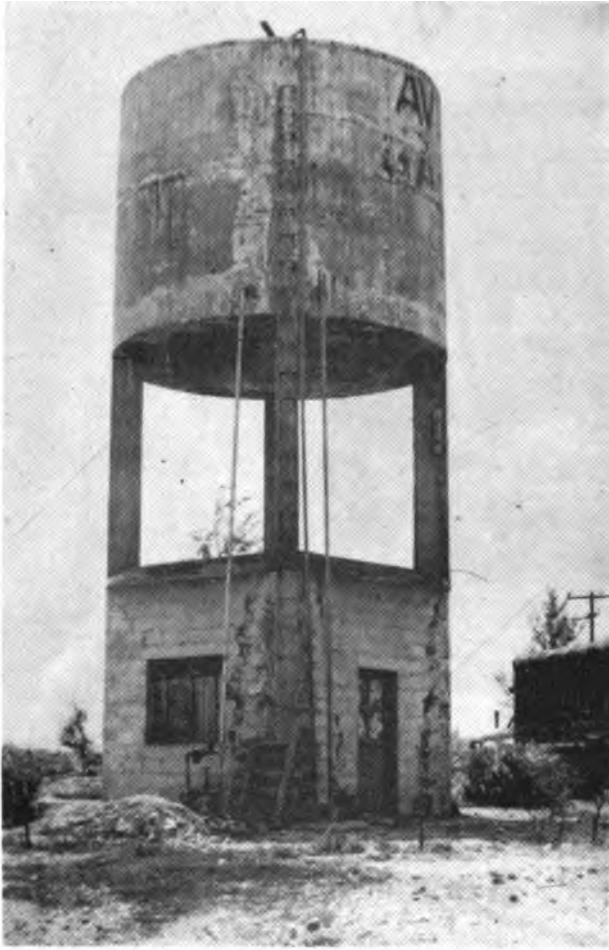
FIG.5: ALGUNAS RELACIONES NUMERICAS QUE SE PUEDEN OBTENER



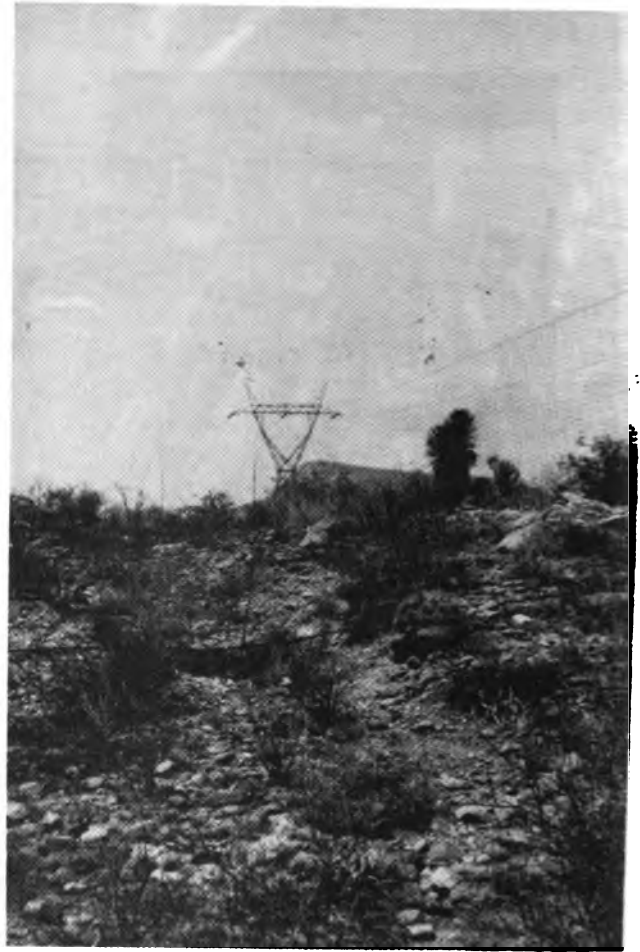
FOTOGRAFIA 1: Banco de pruebas.



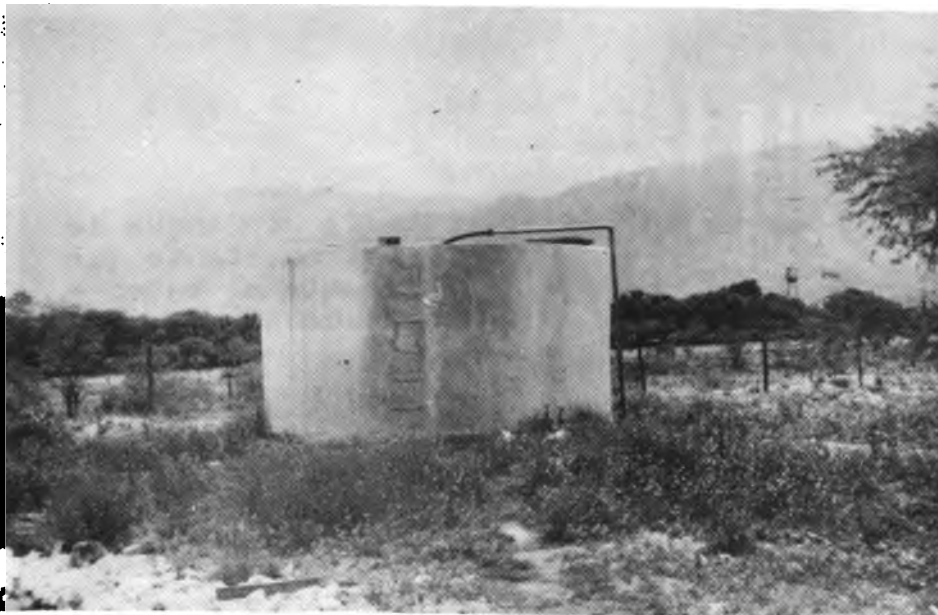
FOTOGRAFIA 2: Tanque de nivel constante que alimenta al banco de pruebas.



FOTOGRAFIA 3: Tanque que alimenta al sistema (8 m. de altura) en Av. Garrison.



FOTOGRAFIA 5: Aspecto del terreno en Av. Garrison.



FOTOGRAFIA 4: Tanque que alimenta al sistema (2 m. de altura) en Los Angeles.

ANEXO N° 9

OPERACION Y MANEJO DE LOS EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO

Por: Dr. Jaime Leal Díaz(*)

(*) Catedrático-Investigador de Uso y Conservación del Agua y Director de la Carrera de Ing. Agrónomo en Producción Agropecuaria del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.

OPERACION Y MANEJO DE LOS EQUIPOS DE RIEGO POR GOTEO

Dr. Jaime Leal Díaz

R E S U M E N

INTRODUCCION:

Definitivamente son la operación y el manejo de los equipos de riego por goteo los factores más decisivos del éxito que se tenga con ellos en la agricultura.

En la operación pueden contemplarse las diversas formas posibles para lograr una correcta hidratación y nutrición del sistema vegetal, así como las aplicables para la conservación y mejoramiento de las propiedades del sustrato.

El manejo implica el mantenimiento de los equipos a fin de lograr su funcionalidad a corto y largo plazo.

El conocimiento de éstos aspectos con anticipación a la instalación de los equipos de riego, define las opciones más recomendables para su construcción y evita tener que resolver conflictos estructurales o de inversión posteriormente.

Los diferentes aspectos que contempla la hidratación de un sistema vegetal dinámicamente deshidratado establecen planteamiento de flujo del agua en los estados de líquido y vapor, tanto en el suelo como en los tejidos del vegetal y en la atmósfera adyacente a las superficies expuestas del sistema. En todos los casos se debe de considerar las velocidades del fluido y el área por donde ocurre el movimiento para definir el volumen o masa del fluido por unidad de tiempo.

Quando se reduce el área por donde el agua debe de absorberse y se conserva el caudal, se implica un aumento proporcional en la velocidad del flujo que resultaría de incrementar así mismo el potencial que motiva el movimiento o bien la permeabilidad del sistema; sin embargo, en general ésta última es de más difícil control que el primero.

En riego por goteo se tiende a limitar las áreas de humedecimiento y por lo tanto las áreas de hidratación de cultivo, lo que obliga a incrementar las potenciales del agua para subsanar las demandas a fin de aumentar la velocidad de absorción. Esta tendencia puede llevar a una insuficiencia de abastecimiento del vegetal de agua.

Considerando el sistema vegetal bajo un proceso cíclico de deshidratación se debe de estimar la velocidad de ella, tanto a través de la superficie del vegetal expuesta como del suelo. Por lo general, se aumenta la primera al promover mayor desarrollo foliar y disminuye la segunda al humedecer solo parte de la superficie o bien no mojarla del todo o bien aislarla del exterior. Es frecuente obtener mayores demandas transpirativas bajo riego por goteo pero menores por evaporación del suelo.

Este posible aumento en la transpiración puede llevar una mejor economía del agua al conseguirse mayor superficie foliar fotosintetizadora y en consecuencia un mejor producto.

Economía no debe entenderse como ahorro pues en forma directa se puede llegar a mayores consumos de agua por planta, por unidad de superficie.

A medida que el suelo deja de ser almacén de agua para la planta para convertirse en un medio de difusión solamente, la velocidad de aplicación de agua debe obedecer de cerca la demanda evapotranspirativa del cultivar. Esto plantea la necesidad de conocer o determinar las demandas directas o indirectas y regular en forma inmediata las aportaciones de agua.

Hasta ahora las operaciones más confiables sencillas se realizan de acuerdo a la tensión de la humedad del suelo en puntos claves de referencia, tratando de mantener una elevada difusibilidad del agua en el suelo que asegure el abastecimiento de agua del cultivo aún en los momentos más críticos de alta demanda y evite los desperdicios en los momentos de baja deshidratación.

La operación de los sistemas de riego por goteo para aportar agua se entienda de bastante mejor que las de aportación de los demás fluidos que intervienen en el proceso y que pueden ser tanto o más determinantes.

El principio de reducir el volumen de suelo mojado al extremo en algunos casos de no considerarlo como recipiente de agua ha promovido la necesidad de suplementar en forma cuidadosa el sustrato con ingredientes químicos nutricionales y acondicionadores del medio, pero desgraciadamente se ignoran demasiado los parámetros que lo rigen y las trayectorias del comportamiento de la fisiología de cada uno de los vegetales explotados bajo un complejo tan grande de sustratos minerales y orgánicos como son los suelos de la corteza terrestre; sin embargo, existe información orientadora aunque limitada para medios hidropónicos y sustratos artificiales que ayudan a plantear la solución de la incógnita.

El riego por goteo lleva a grandes pasos hacia una agricultura que se acerca a cultivos hidropónicos bajo "cielo abierto" pero a diferencia de ellos utiliza en el sustrato matrices química y biológicamente activas. En algunos casos se vive una transición hacia cielo controlado al utilizar coberturas de suelo, túneles y aún cobertizos o invernaderos y a matrices inertes.

Estas tendencias abren numerosas expectativas y el convencimiento de que la nutrición y el proceso vegetal no proceden sólo con agua y que aún cuando el agua de riego conserve en general sus propiedades físicas y químicas intrínsecas, difiere en sus efectos sobre el medio y el vegetal; ya que es en realidad una compleja solución y suspensión de numerosos compuestos y organismos.

El desarrollo del vegetal depende del medio de cultivo y ambiente y el riego por goteo influye en ambos y puede ser un implemento ventajoso para mejorar ambos en relación al cultivar. Debe de pensarse además de la aprobación de agua y la suplementación de nutrientes, en la de activadores o inhibidores de crecimiento, reguladores de funciones fisiológicas y agentes transformadores o acondicionadores del sustrato para obtener un medio más propio para obtener el producto agrícola deseado.

Esto parece muy remoto y complejo, sin embargo, marca una directriz de avance y ayuda a distinguir las verdaderas contribuciones que ya en la actualidad son muy numerosos.

MANEJO:

La conservación y mantenimiento de los equipos de riego por goteo son críticos y deben estudiarse como tales.

La acumulación de sedimentos en las tuberías, conexiones y goteros o cavidades difusoras parece ser el más grave y resulta de las particularidades de cada sistema construido, las características de la fuente de agua, las condiciones existentes y el criterio de operación.

Gran parte de los sedimentos pueden separarse por filtración antes de introducirlos a las tuberías, otros por su tamaño, forma, estado físico y origen químico y biológico pasan o se forman posteriores a ellos, obligando a tratamiento de aguas y lavado de tuberías, difusores y demás elementos que los acumulan.

El tratamiento de las aguas y el lavado son prácticas comunes aún cuando por la diversidad de casos no existe un criterio definido. Se recomienda que los sistemas se conserven con una desviación máxima de 10 % en el caudal sobre lo estimado como ideal y éste criterio puede ser funcional.

Acidos, sales y otros compuestos químicos se están utilizando con magníficos resultados en numerosos casos para lo cual se recomienda un estudio físico y químico de los sedimentos y su comportamiento, así como fisiológico del cultivo y físico y químico del sustrato, para conocer los efectos que pudiesen tener en ellos.

La mayor parte de los componentes de los sistemas de riego por goteo toleran grandes concentraciones de sustancias inorgánicas y bajas de orgánicas, siendo en general los primeros los que tienen más posibilidades en este sentido y sus limitaciones son pequeñas.

Las prácticas de fertilización del cultivar inciden en éste renglón y frecuentes problemas de conservación están ligados a los compuestos que se inyectan a las redes de riego.

Los puntos más críticos son aquellos en donde se presenta menor velocidad del agua y mayores superficies de contacto en relación al caudal conducido y es ahí donde se deben buscar los primeros tropiezos; mayor velocidad y menores superficies de contacto son deseables y deben considerarse como variables al seleccionar equipo o diseñar sistemas bajo cada una de las condiciones de trabajo. Aparatos o elementos sellados se consideran conflictivos, ya que se pueden dañar irreversiblemente en situaciones imprevistas.

Medidores de caudales y manometría pueden ser las dos formas ideales para conocer el comportamiento del sistema y deben incorporarse como parte integral de los equipos.

ANEXO N° 10

**FORMULACION DE LA EFICIENCIA DE LAVADO Y
DESALINIZACION DE SUELOS CON RIEGO POR GOTEO**

Por: Prof. León Nijensohn (*)

(*) Prof. Titular en la Cátedra de Edafología y Director del Instituto de Suelos y Riego. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Chacras de Coria, Mendoza, República Argentina.

CRITERIOS DE EFICIENCIA DE LAVADO Y DESALINIZACION CON RIEGO POR GOTEO. **

LEON NIJENSOHN*

Palabras clave: eficiencia; lavado; riego por goteo; salinidad.

Key words: efficiency; leaching; drip irrigation; salinity.

Summary: LEACHING EFFICIENCY CRITERIA AND DRIP IRRIGATION AS A METHOD FOR SALINE SOIL RECLAMATION.

FIRSTLY, the need for an equation to define the maximal theoretical leaching efficiency is pointed out. A "Leaching Coefficient" - "c" - such as:

$$c = D_s/D_wl \cdot EC_{si}/EC_{sf} \quad (1) \quad \text{or} \quad c = D_s/D_wl \cdot EC_{si}/EC_{sf}-EC_{seq} \quad (2)$$

where D_s , D_{wl} , EC_{si} , EC_{sf} stand respectively for: depth of soil and leaching water and electrical conductivity of the saturation extract at initial, final and equilibrium time, is presented and its applications and conceptual limitations are discussed.

A more rational equation to evaluate the relative intrinsic efficiency - "Lef" - of different leaching methods and techniques is proposed and discussed. It reads as follows:

$$Lef = 100 \left\{ \frac{(2 D_{wc}-D_{wi})}{D_{wl}} - \frac{(EC_{sf}-EC_{seq})}{EC_{si}} \right\} \quad (3)$$

where D_{wc} and D_{wi} stand for depth of water at Field Capacity and at initial moisture of the soil layer considered.

SECONDLY, a field leaching trial is reported demonstrating that drip irrigation may develop into a highly efficient method for reclaiming saline soil. The experiment was accomplished on a gypsiferous silty loam soil which had an average EC_{se} , 25°C = 50,000 micromhos/cm and a saline phreatic water table at 290 cm below surface. The leaching water quality factors were: EC, 25°C, 1,004 micromhos/cm; SAR, 1.5; Cl, 2.25 me/l and B, 0.5 ppm. The emitters were spaced on a 100 x 50 cm layout; they discharged 1.8 liter/hour each and were operated 12 hours per day during a leaching period of 14 days, at the beginning of the autumn. The total leaching water depth was 73.8 cm, including 12.2 cm rainfall (an abnormally high amount for the zone). Soils samples were taken in three opportunities and in four places each time, at intervals of 0 to 40, 40 to 80, 80 to 120 and 120 to 160 cm.

The data obtained after analyzed under the above mentioned criteria showed that through drip irrigation the leaching efficiency may largely overpass the one achievable through flood leaching.

* Profesor Titular en la Cátedra de Edafología y Director del Instituto de Suelos y Riego. Universidad Nacional de Cuyo, Facultad de Ciencias Agrarias. Chacras de Coria, Mendoza, República Argentina.

**Este trabajo es parte del programa subvencionado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Cuyo (CIUNC).

INTRODUCCION

Las ingentes inversiones significadas por el costo de las obras hidráulicas necesarias para la captación, almacenaje, regulación, conducción y entrega del agua de riego, así como los considerables insumos que requiere el sistema para su operación fuera y dentro del predio, hacen que la rentabilidad de la agricultura regadía dependa del logro de elevados y sostenidos índices de rendimiento, referidos ya sea a la unidad de superficie o a la del agua utilizada.

Para alcanzar este objetivo se debe tratar de optimizar todos los factores de producción. Dentro de esta concepción amplia no sólo cabe considerar el suministro de los elementos que pueden estar en deficiencia o por debajo de los niveles óptimos (nutrimentos minerales, agua, etc.), sino también la eliminación o el mantenimiento por debajo de los umbrales de peligrosidad económica de aquellos otros que constituyen causas restrictivas de la productividad.

Como consecuencia de las características climáticas e hidrogeológicas ligadas con los oasis de riego, el exceso de sales solubles es quizás el más frecuente entre esos factores limitativos de la productividad. De ahí que la problemática de la salinidad del suelo constituya uno de los aspectos más importantes entre los relacionados con la implantación y operación exitosa de la agricultura regadía.

Dentro de esta problemática pueden reconocerse dos situaciones básicas: una es la que suscita la existencia actual de altos niveles de sales solubles en el perfil explorable por las raíces, y otra la que plantea ese mismo peligro como un riesgo potencial, al que debe prevenirse mediante normas adecuadas de manejo.

En este trabajo se encararan dos facetas de la primera de esas situaciones, es decir, de la que establece la necesidad de la salinización activa mediante la eliminación por lavado del exceso de sales presentes en el perfil.

Una de esas facetas, de tipo más bien especulativo, corresponde a un intento de enunciar una ecuación que defina las condiciones de máxima eficiencia teórica de lavado, y a la que puedan referirse, en forma relativa, distintas técnicas para llevarlo a

////

cabo haciendo comparables los resultados, obtenidos con cada una de ellas a pesar de las diferentes calidades de las aguas empleadas y características de los suelos ensayados.

La segunda de las mencionadas facetas, ésta ya de tipo experimental, está referida al análisis de un ensayo de desalinización en el que la lámina de lavado fue aplicada mediante riego por goteo y del cual surge esta técnica como altamente promisorio por la favorable eficiencia relativa que revela.

I. CRITERIOS Y FORMULACION DE LA EFICIENCIA DE LAVADO

El objetivo fundamental de las investigaciones sobre lavado de suelos salinos consiste en desarrollar metodologías que logren cada vez mayores eficiencias en el uso del agua empleada para la desalinización.

Una alta eficiencia de lavado no significa únicamente economía de agua, como es obvio, sino que implica también un menor aporte hídrico al subsuelo y, por ende, una disminución del peligro de ascenso freático hasta niveles críticos y una menor exigencia de drenaje artificial.

Una primera aproximación de evaluación de la eficiencia del lavado cumplido de conformidad a un determinado proceso, puede ser precisada de acuerdo al siguiente razonamiento: la eficiencia será tanto mayor cuanto menor sea la lámina de agua (D_{wl}) empleada para el lavado de un cierto espesor de suelo (D_s) y cuanto menor sea la salinidad final, en relación con la salinidad inicial, de esa misma capa de suelo. Si se expresa la salinidad en función de las conductividades eléctricas de los extractos de pasta saturada antes y después del lavado (CE_{si} y CE_{sf} , respectivamente), lo anteriormente enunciado puede ser formulado así:

$$c = \frac{D_s \cdot CE_{si}}{D_{wl} \cdot CE_{sf}} \quad (1)$$

donde a "c" lo denominamos "coeficiente de eficiencia de lavado". Este coeficiente de lavado, que acabamos de definir, figura en todas las ecuaciones que describen las curvas experimentales de desa

////

linización que desde la primera, y más difundida de ellas (*Reeve et al*, 1955), lo consignan como un factor de ajuste empírico sin explicitar su fundamento teórico. Sin embargo, una simple transpo sición de términos en (1) permite llegar a las conocidas expresio nes de ese tipo:

$$\frac{Dw1}{Ds} = \frac{1}{"c" \text{ CEsf/CEsi}} \quad (2)$$

Si bien el "coeficiente de lavado" tiene una aplicación práctica in teresante en cuanto posibilita, introducido bajo la forma de la e cuación (2), la predicción de la lámina de agua necesaria para lo grar un determinado grado de desalinización en condiciones simila res a las de las experiencias donde se lo obtuvo, tiene evidentes limitaciones conceptuales si se lo desea tomar como parámetro de juicio en la comparación de la eficiencia intrínseca de distintas técnicas de lavado. Estas limitaciones son aún más severas en el caso de que, además del valor relativo de las eficiencias entre sí, se deseara calificar un cierto procedimiento de desalinización dentro de un rango que comienza en cero para culminar en una efi ciencia óptima teórica que la ecuación (1) no alcanza a definir.

En efecto, en (1) no se consideran ni la influencia de la sa linidad del agua de lavado empleada, la que puede oscilar dentro de un margen considerable, ni tampoco la de compuestos de limitada so lubilidad cuya presencia puede ser variable, en cantidad y cali dad, según los suelos. Ambos tipos de factores mencionados afectan los valores de la salinidad final y alteran, en consecuencia, el de "c", independientemente de la eficiencia intrínseca real del proceso de lavado ocurrido.

Además, "c" puede presentar en casos extremos valores incon gruentes con el razonamiento lógico. Por ejemplo: si la eficien cia de lavado fuera nula y, por lo tanto, $CEsi/CEsf = 1$, el coefi ciente "c" no valdrá cero, como correspondería, sino que seguirá teniendo valores positivos cuya magnitud dependerá del de la rela ción $Ds/Dw1$.

Parte de las objeciones expuestas pueden ser superadas median te la introducción del concepto de salinidad de equilibrio (CEse),

////

que sería la que alcanza como límite inferior un cierto suelo frente a la particular calidad del agua de riego utilizada. Así, *Boumans et al.*, (1963) establecen curvas de lavado donde una de las ordenadas corresponde a la relación $CE_{sf}-CE_{seq} / CE_{si}-CE_{seq}$. De acuerdo a ello, nuestra ecuación (1) quedaría modificada así:

$$c = \frac{D_s}{D_{w1}} \cdot \frac{CE_{si} - CE_{seq}}{CE_{sf} - CE_{seq}} \quad (3)$$

ó, consideramos que todavía mejor,

$$c = \frac{D_s}{D_{w1}} \cdot \frac{CE_{si}}{CE_{sf} - CE_{seq}} \quad (4)$$

Pero aún estas ecuaciones siguen adoleciendo de la incongruencia de la irrealidad de los valores de "c" en casos de eficiencia nula, así como de su indefinición ante valores de CE_{sf} iguales a las de equilibrio ("c" = infinito, para cualquier valor de D_s/D_{w1}).

Como consecuencia de un replanteo de la fórmula para el cálculo del Requerimiento de Lixiviación de Riverside (*Nijensohn y Olmos*, 1963) y de su comprobación experimental en invernáculo (*Olmos et al.* 1966-67), por una parte, y del análisis de ensayos de desalinización con drenaje artificial (*Boumans et al.* 1963), por otra, se ha propuesto un "factor de eficiencia de lavado" -"f"- que está exento de las objeciones que hemos manifestado para "c".

Admitiendo que el movimiento de la solución del suelo por efectos del desplazamiento con el agua de lavado pueda producirse en capacidad de campo (*Van der Molen*, 1973), puede formularse:

$$f = \frac{CE_{wd} - CE_{w1}}{CE_{wc} - CE_{w1}} \quad (5)$$

donde las concentraciones salinas están expresadas en función de las conductividades eléctricas (CE) y w_d , w_c y w_1 , hacen referencia al agua de drenaje, a la solución del suelo en capacidad de campo y al agua de lavado, respectivamente.

////

////

Sin embargo, también "f" presenta limitaciones para el cumplimiento del objetivo que nos hemos planteado, dado que su empleo está restringido a condiciones experimentales de excepción, donde puedan controlarse en forma continua tanto el caudal como la salinidad del agua de drenaje y, por lo tanto, no es aplicable en los casos desprovistos de avenamiento artificial.

PLANTEO DE UNA NUEVA ECUACION DE EFICIENCIA DE LAVADO.

El concepto cuantitativo de "eficiencia" entraña la relación, dentro del rango del 0 al 100%, entre una realidad práctica mensurable, resultado de un determinado tratamiento, y una óptima buscada, de valor prefijado. Esta última, para el caso que nos ocupa, será la definida por la mínima lámina de agua teóricamente necesaria para alcanzar la máxima desalinización posible en un determinado espesor de suelo.

MINIMA LAMINA DE LAVADO.

Puede aceptarse: i) que el movimiento del agua en el suelo en respuesta al gradiente de potencial gravitatorio comienza a hacerse efectivo con velocidad no despreciable a partir de un contenido hídrico correspondiente a capacidad de campo, y ii) que la máxima eficiencia de desplazamiento de la solución edáfica se opera cuando el agua de lavado la empuja, sin mezclarse, a manera de pistón. Consecuentemente, la mínima lámina de lavado - "Dw_{lm}" - será, para un cierto espesor de suelo, la necesaria para que sumada a la inicialmente existente en dicha capa - "Dw_i" - se alcance la capacidad de campo - "Dw_c" -, más otra lámina equivalente a la de capacidad de campo para reemplazar a la anterior.

Por lo tanto: $Dw_{lm} = (Dw_c - Dw_i) + Dw_c$, ó $Dw_{lm} = 2 Dw_c - Dw_i$ (6)

MAXIMA DESALINIZACION POSIBLE O SALINIDAD FINAL DE EQUILIBRIO.

Las aguas de lavado nunca son químicamente puras y su salinidad suele variar dentro de un rango bastante apreciable. Por otra

////

parte, el suelo puede contener sales de mediana y baja solubilidad (yeso y carbonatos alcalino-térreos), así como minerales más complejos capaces de aportar iones en muy pequeña proporción pero de manera continua. En consecuencia, una vez eliminadas las sales solubles propiamente dichas, la solución edáfica conservará una salinidad cuyo valor dependerá tanto de las características del suelo como de la particular composición del agua de lavado utilizada. Es así que para cada combinación suelo-agua, la desalinización no podrá avanzar más allá de ese valor al que denominamos "salinidad final de equilibrio" y al que conviene expresar a través de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de una muestra de ese suelo a la que se trató por percolación con un exceso del agua de riego a emplear en el lavado a campo: "CEseq".

FORMULACION DE LAS ECUACIONES DE EFICIENCIA.

1°. De acuerdo al concepto de eficiencia de lavado planteado más arriba, y combinando los dos factores que la determinan, (relaciones entre lámina mínima y la real empleada, y entre salinidad mínima posible y real alcanzada) puede formularse:

$$E_l \% = 100 \left\{ \frac{(2D_{wc} - D_{wi})}{D_{wl}} \cdot \frac{CE_{seq}}{CE_{sf}} \right\} \quad (7)$$

donde: E_l = eficiencia de lavado; CE_{sf} = conductividad eléctrica del extracto de saturación al final del tratamiento; los otros símbolos tal como se los definió anteriormente.

2° La ecuación (7) no incluye ningún término que represente a la salinidad inicial, lo que dejaría suponer que la eficiencia alcanzable es independiente del nivel de ella. Este enfoque sería válido únicamente en dos casos:

i) En la comparación de la eficiencia relativa de distintas técnicas de desalinización aplicadas al mismo suelo, donde la salinidad original actuaría como factor común a todas ellas. Pero, evidentemente, las conclusiones obtenidas serían extensibles sólo a situaciones similares, lo que limitaría su aplicabilidad general.

ii) Cuando el movimiento "tipo pistón" se cumpliera sin mediar di-

////

fusión alguna en el plano de contacto entre las soluciones desplazante y edáfica, y cuando el frente de avance incluyera a todos los poros en forma simultánea. Estos extremos implicarían de por sí una eficiencia del 100% y excluirían de hecho a todos los otros casos, que son los reales.

En efecto, y sin tomar en consideración, por las dificultades que involucra su complejidad, los fenómenos de tipo fisicoquímico relacionados con la calidad de las sales y las propiedades coloidales del suelo, la salinidad original influye en los procesos reales de lavado a través de por lo menos dos mecanismos físicos: el de la difusión y el de la dispersión hidrodinámica.

En el fenómeno de difusión la salinidad inicial determina la fuerza impulsora constituida por el gradiente de concentración entre la solución edáfica y el agua de lavado. Esto representa, por una parte, un factor de ineficiencia, en cuanto tiende a oponerse al efecto de desplazamiento vertical tipo pistón y, por otra, coadyuva a la desalinización al contribuir a evacuar las sales encerradas en microporos sorteados por la corriente convectiva principal. Dado que el coeficiente de difusividad en el suelo es una función exponencial positiva de su contenido volumétrico de agua (*Kemper y van Soest*, 1966) y que este último es presumiblemente mayor en la zona del frente de avance, el efecto negativo de la mayor concentración salina inicial es el predominante en la eficiencia de lavado.

La dispersión hidrodinámica o mecánica, que es el resultado de la variación de las velocidades de flujo microscópico, por la existencia de poros de distinto diámetro, con respecto al flujo convectivo promedio (*Bresler*, 1972), es la causante del retraso en el movimiento de parte de las sales con respecto al frente de lavado (*Gardner y Brooks*, 1975). Cuanto mayor sea la salinidad inicial tanto mayor será la concentración salina "residual o sobrepasada" para un mismo tipo de flujo macro-microscópico.

3° Como corolario de las consideraciones precedentes, surge la necesidad de incluir la salinidad inicial en el cálculo de la eficiencia.

Esto puede lograrse a través de la siguiente ecuación, que es la que finalmente proponemos:

////

$$E_i \% = 100 \left\{ \frac{(2 D_{wc} - D_{wi})}{D_{w1}} - \frac{(CE_{sf} - CE_{seq})}{CE_{si}} \right\} \quad (8)$$

donde: CE_{si} = conductividad eléctrica inicial del extracto de saturación.

El figurar la CE_{si} en el denominador de un término deductor de eficiencia permite compensar su influencia sobre ésta y consiente la comparación válida de una misma técnica en distintas condiciones de salinidad inicial.

EN CONCLUSION: consideramos que la ecuación (8) es la que más se acerca al cumplimiento de los objetivos planteados y podrá ser usada hasta que mayores conocimientos sobre el complejo proceso de lavado posibiliten su perfeccionamiento mediante la introducción de otros parámetros.

II. EFICIENCIA DE DESALINIZACION CON RIEGO POR GOTEO

INTRODUCCION.

El desarrollo de la teoría del desplazamiento de líquidos miscibles, en sus aplicaciones al lavado de suelos salinos, y su comprobación experimental en laboratorio y campo (*Biggar y Nielsen, 1962, 1967*), conduce a concluir que "las mayores eficiencias de lavado se consiguen en condiciones tales que favorezcan al desplazamiento tipo pistón de la solución salina de grietas y macroporos, y la difusión de los iones desde los microporos y poros ciegos hacia el frente húmedo en movimiento descendente" (*Olmos, 1970*)

Esas condiciones son las que se han tratado de lograr provocando el movimiento del agua en suelo hídricamente insaturado, y con una velocidad de flujo relativamente baja (*Bresler y Hanks, 1969; Bresler, 1972*), a través de lavados por inundación intermitente (*Robinson y Luthin, 1967; Nijensohn et al., 1970; Olmos et al., 1974*) o por aspersión intermitente y/o de muy baja intensidad (*Nielsen et al., 1965; Keller y Alfaro, 1966*).

A nuestro criterio también el riego por goteo ofrece a priori, por sus características de funcionamiento y por los datos que exis

////

////

yesosas a lo largo de todo el perfil, y que se aprecia químicamente por una concentración límite de esa sal en el extracto de pasta saturada, hace más apropiada su designación como salino-yesoso. En el Cuadro 1 se consignan algunas observaciones y datos analíticos que corroboran lo anteriormente afirmado.

AGUA:

De origen subterráneo, tiene una composición similar a la derivada para riego proveniente del Río Mendoza. Moderadamente salina no ofrece peligro de sodificación, predominando entre las combinaciones hipotéticas de sus iones el sulfato de calcio (Cuadro 2).

Cuadro 2: ANALISIS DEL AGUA EMPLEADA EN EL ENSAYO DE DESALINIZACION POR LAVADO CON RIEGO POR GOTEO

iones	concentración	
	me/litro	mg/litro
CO ₃	----	---
CO ₃ H	3,25	198
Cl	2,45	76
SO ₄	6,02	290
Ca	5,95	119
Mg	1,95	23
Na	2,97	68
Suma de Cationes	10,87	---
Suma de Aniones	11,42	---
Sales Totales	-----	774

Conductividad Eléctrica Actual: 1004 micromhos/cm, 25°C.

Conductividad Eléctrica Potencial (*Nijensohn*) 1375 micromhos/cm, 25°C.

Relación De Absorción de Sodio: (RAS): 1,49

DISEÑO EXPERIMENTAL:

Se instalaron dos líneas paralelas conductoras de agua, separadas entre ellas 1,00m, unidas en un extremo y conectadas indivi

////

Cuadro 1: CARACTERISTICAS INICIALES DEL SUELO 1/

Experiencia de desalinización por lavado con riego por goteo.

Capa de Suelo considerada cm.	Textura organoléptica	Volumen de sedimentación cm ³ /g	Porcentaje de saturación g %	En extracto de pasta saturada				
				CEs.10 ⁶ umhos/cm 25°C	Relación Adsorción Sodio	SO ₄ Ca me/l	pHs	pH _{1:10}
0-40	Franca	96	28,18	51.888	60	45	8,15	8,40
40-80	Franco-limosa	118	35,83	39,698	60	42	8,18	8,45
80-120	Franco-limosa	125	40,43	77.299	60	58	8,20	8,36
120-160	Franco-arci-110-limosa	142	64,50	63.366	60	55	8,19	8,38
0-160 CEs en equilibrio con el agua empleada: 2.800 umhos/cm, 25°C								

1/ Promedio de 4 sondeos; 2/ Combinación hipotética de acuerdo a la composición iónica.

////

ten en la literatura sobre la dinámica edáfica de las sales que a través de él se incorporan al suelo, (Goldberg et al., 1971; Yaron et al., 1973), una interesante posibilidad de lograr - mediante una adecuada densidad de los emisores, convenientes caudales de descarga y, quizás, alternancia en las aplicaciones - altos niveles de eficiencia de lavado. No habiendo, según nuestro conocimiento, antecedentes al respecto, nos hemos propuesto en este trabajo iniciar el estudio del riego por goteo como método específico de desalinización de suelos, a través del desarrollo de un ensayo exploratorio en condiciones edáficas y de calidad de agua típicas de importantes áreas cuyanas.

Los resultados obtenidos, ya adelantados en otra ocasión (Nijensohn, 1975), son reexaminados a la luz del nuevo criterio de eficiencia propuesto.

Ellos confirman ampliamente las expectativas planteadas y alientan la prosecución de experiencias para optimizar los factores de manejo y determinar la rentabilidad del método en condiciones similares a las de este ensayo, así como también verificar su comportamiento frente a otros tipos texturales de suelos e incluso donde sea necesaria la corrección de sodicidad.

MATERIAL Y METODOS

SUELO:

El ensayo se llevó a cabo en suelo virgen, librado a tal efecto de su vegetación espontánea halófila pero con su topografía original. Dicho suelo es de formación aluvio-lacustre, moderadamente calcáreo, y está constituido por sedimentos estratificados de textura franca y francolimosa, en ese orden desde la superficie, apoyados en un subsuelo franco-arcillo-limoso. El nivel freático, de agua salina, se hallaba al iniciarse el ensayo por debajo de los 3 metros y a su finalización ascendió hasta -2,90 metros, lo que coincidió con la fluctuación del nivel zonal.

Por las características cuanti-cualitativas de su salinidad inicial podría calificarse a este suelo de salino-sódico, pero la importante reserva de sulfato de calcio, que se manifiesta macróscópicamente a través de abundantes concreciones y eflorescencias

////

dualmente por el otro al caño distribuidor de la cabeza del cuartel. A intervalos de 1 metro dentro de cada línea se derivaron ramales con dos goteros, uno de cada lado, separados 0,50m entre ellos. De esta suerte, a cada gotero le correspondió una superficie propia de humedecimiento de 0,5 m².

Esa disposición se adoptó sobre la base de observaciones anteriores realizadas acerca de la distribución de humedad y salinidad edáfica en sectores cultivados con vid y regados por goteo en la misma propiedad (*Nijensohn*, 1972).

Se establecieron como puntos de muestreo las intersecciones de las diagonales de los rectángulos determinados por cada cuatro goteros internos, dos por línea.

MARCHA DEL ENSAYO:

Se estableció un régimen de goteo de 12 horas diarias con un módulo de 1,8 litros/gotero/hora, lo que equivalió a una intensidad de aplicación de 0,36 cm/hora y a una lámina de lavado de 4,32 cm/día.

El ensayo se inició a principios de marzo y se hicieron 3 series de aplicaciones. En la primera, que duró 9 días, se aplicaron 38,9 cm, los que sumados a 12,2 cm de lluvia, caídos dentro de ese lapso, significaron una lámina de lavado de 51,1 cm; en la segunda serie se totalizaron en 5 días libres de lluvia 22,7 cm y, en la tercera, que tuvo que interrumpirse por problemas en el funcionamiento del pozo suministrador de agua, sólo se aplicó la lámina de un día: 4,32 cm.

Entre el fin de la primera y el comienzo de la segunda serie de aplicaciones transcurrió un lapso de 11 días y entre la segunda y la tercera de 41 días.

Las muestras de suelo se extrajeron en 4 oportunidades: inmediatamente antes de comenzar el ensayo; 10 días después de termina da la primera serie de aplicaciones; 8 días después de la segunda y 3 días después de la tercera. En cada fecha se practicaron 4 sondeos, uno cada 6 metros, aproximadamente, y se muestrearon por separado las capas 0-40 cm, 40-80 cm, 80-120 cm y 120-160 cm.

////

RESULTADOS:

En el Cuadro 3 se consignan los valores de salinidad de cada capa individual y los ponderados para espesores crecientes de suelo, a partir de la superficie. Estos valores corresponden a los promedios de 4 pozos en cada uno de los muestreos efectuados.

Para todos los otros cálculos y representaciones no se tomó en consideración el cuarto muestreo, por las razones que se discuten más adelante.

En la Fig. 1 se representa la Curva de Lavado resultante de los datos anteriores, tal como es habitual trazarla en la bibliografía, de modo de poder comparar la ecuación respectiva con las encontradas con otros métodos de desalinización para condiciones edáficas similares.

En el Cuadro 4 se detallan los contenidos hídricos determinados en los momentos de muestreo y los valores de las láminas drenadas a través de las distintas capas de suelo. Para ello se dedujo del agua aplicada la lámina necesaria para llevar a cada una de esas capas al mayor nivel hídrico de equilibrio observado.

En el Cuadro 5 se consignan los coeficientes de Eficiencia de Lavado a los que se distinguen como "bruto" (c_b) y "neto" (c_n). El c_b corresponde a la solución de la ecuación (1), propuesta en la primera parte, y el c_n se calculó substituyendo en la mencionada ecuación la lámina de lavado "Dwl" por la lámina de drenaje "Dd". Para el cálculo de Dd se dedujo, también, la lámina considerada como perdida por evapotranspiración en el lapso que media entre la suspensión del goteo y la extracción de las muestras.

En el Cuadro 6 se consignan los valores de "c" calculados mediante la ecuación (4) y, por último, en el Cuadro 7 las Eficiencias de Lavado porcentuales, de acuerdo a la ecuación (8).

DISCUSION:

Del planteo y marcha del ensayo y de los resultados obtenidos surgen las siguientes consideraciones:

i) Dado que los lugares de muestreo corresponden, en cada caso, a los puntos más distantes de los goteros, los valores de salinidad residual hallados pueden considerarse representativos de las

Cuadro 3: EVOLUCION DE LA SALINIDAD EDAFICA
Experiencia de desalinización por lavado con riego por goteo.

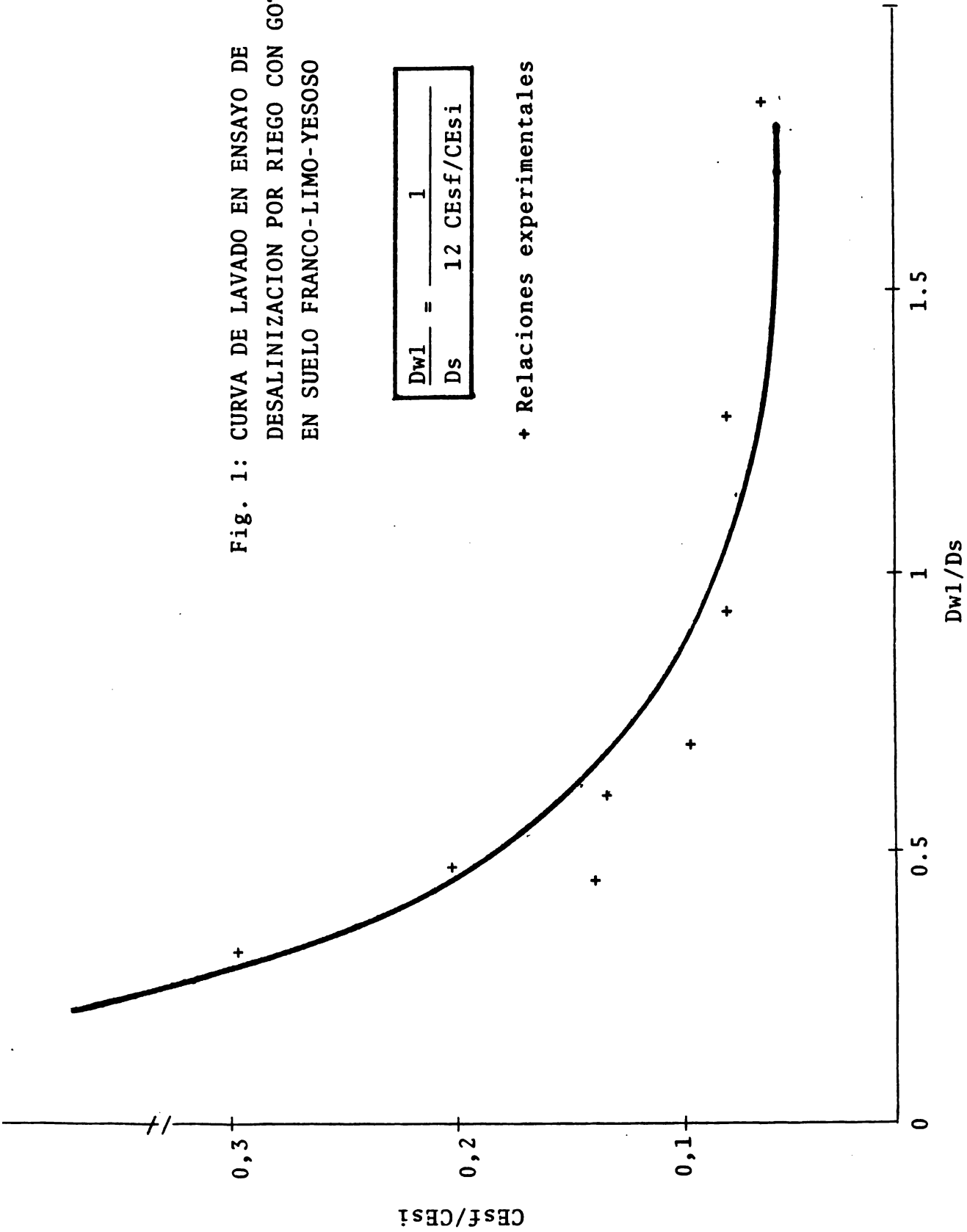
Conductividad eléctrica del extracto de pasta saturada micromhos/cm. 25°C 1/				
Capas de suelo consideradas cm	Estado Inicial	Después de 51,1 cm de lámina de lavado	Después de 73,8 cm de lámina de lavado	Después de 77,8 cm de lámina de lavado
0-40	51.888	4.489	3.782	3.868
40-80	39.698	4.539	3.788	4.219
80-120	77.299	12.150	11.411	10.903
120-160	63.366	44.540	25.416	24.096
0-40	51.888	4.489	3.782	3.868
0-80	45.793	4.514	3.785	4.044
0-120	49.904	7.059	6.327	6.330
0-160	53.269	16.429	11.099	10.771

1/ Promedio de cuatro sondeos por fecha de muestreo.

Fig. 1: CURVA DE LAVADO EN ENSAYO DE
DESALINIZACION POR RIEGO CON GOTEO
EN SUELO FRANCO-LIMO-YESOSO

$$\frac{Dw1}{Ds} = \frac{1}{12 \text{ CESf/CEsi}}$$

+ Relaciones experimentales



Cuadro: 4 CONTENIDOS HIDRICOS EN LOS SUCESIVOS MUESTREOS

Ensayo de desalinización por lavado con riego por goteo.

Capa de suelo considerada cm	w = g %			Diferencia de contenido hídrico, en lámina		Lámina Drenada (y evaporada)		
	Inicial	10 días después del 1er lavado	8 días después del 2do lavado	1er muestreo e inicial cm	2° muestreo y 1er muestreo cm	1er lavado cm	2do lavado cm	Total cm
0-40	5,63	17,20	14,50	6,02	-2,70	45,08	25,40	70,48
40-80	11,19	21,21	19,68	5,21	-1,53	39,87	26,93	66,80
80-120	26,02	30,10	33,22	2,12	3,12	37,75	23,81	61,56
120-160	28,37	31,49	31,40	1,62	-0,09	36,13	23,90	60,03
0-40	5,63	17,20	14,50	6,02	-2,70	45,08	25,40	70,48
0-80	8,41	19,20	17,09	11,23	-4,23	42,47	26,16	68,64
0-120	14,06	22,84	22,47	13,35	-1,11	40,90	25,38	66,28
0-160	17,80	25,00	24,70	14,97	-1,20	39,70	25,01	64,72

1/ Lámina de lavado (o drenada de la capa suprayacente) - Diferencia de contenido hídrico (en lámina) de la capa considerada.

Cuadro 5: COEFICIENTES DE EFICIENCIA DE LAVADO BRUTO (c_b) y NETO (c_n)
Ensayos de desalinización por lavado con riego por goteo.

Capa de Suelo considerada, cm.	$c_b = D_s / D_{wl} \cdot C_{Esi} / C_{Esf}$		$c_n = D_s / D_d^{1/2} \cdot C_{Esi} / C_{Esf}$	
	Después de $D_{wl}=51,1$ cm	Después de $D_{wl}=73,8$ cm	Después de $D_{wl}=51,1$ cm	Después de $D_{wl}=73,8$ cm
0-40	9,05	7,44	11,27	8,85
0-80	15,88	13,11	22,62	16,81
0-120	16,60	12,84	25,40	17,72
0-160	10,32	10,41	16,40	14,70
\bar{c}	12,96	10,95	18,92	14,52
Para ambas láminas, \bar{c}	11,96		16,72	

1/ D_d = Lámina drenada = D_{wl} - (diferencia de contenido hídrico observado + lámina evapotranspirada)

Cuadro 6: COEFICIENTES DE EFICIENCIA DE LAVADO COMPUTANDO LA SALINIDAD FINAL DE EQUILIBRIO.

Ensayo de desalinización con lavado por riego por goteo.

Capa de Suelo considerada, cm.	$c = \frac{D_s}{D_{wl}} \cdot \frac{C_{Esi}}{C_{Esf} - C_{Eseq}}$	
	Después de $D_{wl} = 51,5$ cm	Después de $D_{wl} = 73,8$ cm
0-40	24,05	28,64
0-80	41,83	50,39
0-120	27,53	23,00
0-160	12,23	13,92
\bar{c}	26,41	28,99
Para ambas láminas, \bar{c}	27,7	

Cuadro 7: EFICIENCIAS PORCENTUALES DE LAVADO.

Ensayo de desalinización por lavado con riego por goteo.

Capa de Suelo considerada, cm.	$2D_{wc} - D_{wi}$ cm	$E_l = 100 \left\{ \frac{(2 D_{wc} - D_{wi})}{D_{wl}} - \frac{(C_{Eif} - C_{Eseq})}{C_{Esi}} \right\}$	
		Después de $D_{wl} = 51,1$ cm	Después de $D_{wl} = 73,8$ cm
0-40	16,83	30 %	21 %
0-80	31,19	57 %	59 %
0-120	49,33	87 %	60 %
0-160	66,98	105 % (?)	75 %

////

peores situaciones dentro de la parcela experimental. El considerar, como lo hemos hecho, únicamente a ellos y no a otros, en ubicaciones más favorables, en el establecimiento de la curva de lavado y en el cálculo de los coeficientes y de la Eficiencia de Lavado, hace más severo el criterio con que se juzga el método de desalinización ensayado al compararlo con resultados de la literatura, pero tiene la ventaja de evitar que tras los valores promedio se oculten extremos puntuales sistemáticos que luego pueden traducirse en deficiencias en el desarrollo de los cultivos a implantar después de los tratamientos.

ii) La última aplicación no puede considerarse efectiva, pues la lámina entregada, 4,3 cm, no alcanzó a reponer el déficit de humedad perdida por evaporación en el lapso previo transcurrido. Por ello no se la considera en los cálculos de eficiencia.

iii) La ecuación de ajuste de la Curva de Lavado se compara muy favorablemente respecto a otras encontradas con lavados por inundación, continua ó intermitente, en suelos de características similares. Así, por ejemplo,

- a) En este ensayo: $\frac{Dwl}{Ds} = \frac{1}{12 \text{ CEsf/CEsi}}$
- b) *Reeve et al.* (1955): $\frac{Dwl}{Ds} = \frac{1}{5 \text{ CEsf/CEsi}} + 0,15$
- c) *Vélez et al.* (1970): $\frac{Dwl}{Ds} = \frac{1}{10 \text{ CEsf/CEsi}} + 0,08$
- d) *Nijensohn et al.* (1970): $\frac{Dwl}{Ds} = \frac{1}{8 \text{ CEsf/CEsi}}$
- e) *Olmos et al.* (1974): $\frac{Dwl}{Ds} = \frac{1}{6 \text{ CEsf/CEsi}}$

Es interesante señalar que la ecuación de Vélez et al. que es la que más se aproxima en el coeficiente de eficiencia a la que se encontró en este trabajo, fue deducida en ensayos sobre suelo El Simbolar franco arenoso fino con subsuelo franco limoso, de Santiago del Estero, de alto valor de conductividad capilar y muy seco en profundidad. En estos suelos las dos particularidades señaladas

////

////

hacen que el movimiento insaturado tenga una velocidad de flujo considerable y que el descenso vertical persista durante un lapso prolongado después de suspender la aplicación del agua (Nijensohn, 1970 b).

iv) La formulación de los Coeficientes y de la Eficiencia Porcentual de Lavado a través de las ecuaciones que se proponen, tiene la ventaja de cuantificar dicha eficiencia discriminada para las distintas láminas de aplicación y espesores de suelo considerados, y la de hacer posible la comparación de distintos métodos de desalinización ante similares o distintas condiciones de perfil edáfico, estados iniciales de humedad y calidad de agua.

v) La media general de " c_b " es matemáticamente igual a la constante del denominador de la ecuación de la Curva de Lavado y su obtención directa facilita el cálculo de esta última (Ver Cuadro 5 y Fig.1).

vi) Es probable que menores caudales, pero continuos, hubieran aumentado aún más la eficiencia de desalinización y logrado salinidades de equilibrio más bajas.

vii) A pesar de que el riego por goteo con densidades normales permite la plantación directa sobre suelos salinos (Nijensohn, 1972), no debe olvidarse que en esos casos la desalinización se opera únicamente en un área cercana a la planta, mientras que la salinidad original se mantiene y aún aumenta en los interfilares. Ello implica una amenaza permanente para la plantación y una barrera para la extensión del sistema radical. Por ello es aconsejable una desalinización total del suelo explorable por las raíces. No habiéndose sistematizado el terreno para riego superficial y aprovechando el sistema general de distribución de agua, se presenta, en esos casos, el lavado por goteo como la única alternativa frente al lavado por aspersion, de posible menor eficiencia.

CONCLUSIONES:

De los resultados obtenidos y su discusión surgen las siguientes principales conclusiones:

i) La ecuación que describe la Curva de Lavado obtenida mediante la consideración de la totalidad de los datos parciales es: $Dw1/Ds = 1/12 CEs_f/CEs_i$, donde $Dw1/Ds$ es la relación de lámina de

////

agua a espesor de suelo considerado, y CE_{sf}/CE_{si} es la relación entre las conductividades eléctricas finales e iniciales del extracto de saturación de esa misma capa de suelo. El valor "12", que corresponde al coeficiente de eficiencia de lavado bruto promedio, es superior al de las curvas de lavado que consigna la literatura, obtenidas en suelos similares pero con métodos por inundación continua o intermitente.

ii) La aplicación de la ecuación generalizada de Eficiencia de Lavado propuesta, que tiene en cuenta la salinidad final de equilibrio y las características hídricas del perfil considerado (humedad inicial y Capacidad de Campo), permite una mejor interpretación del comportamiento de una determinada técnica de desalinización en comparación con otras en el mismo o distintos lugares y calidades de agua.

iii) La alta eficiencia de lavado que muestra tener el riego por goteo y su adaptación a condiciones topográficas no adecuadas para la desalinización por inundación hace potencialmente interesante su empleo en donde existan o confluyan una o más de las siguientes condiciones: alto precio del agua de lavado, problema actual o potencial de drenaje y topografía irregular de costosa nivelación.

iv) Son necesarios estudios complementarios relacionados con:

a) Construcción de equipos portátiles adaptados a la desalinización fraccionada de campos vírgenes o cultivados.

b) Optimización del diseño y características operacionales (densidad de emisores, caudales de descarga, alternancia o no de las aplicaciones) en función de distintos tipos morfológicos de perfil, niveles de salinidad y necesidad o no de correcciones de sodicidad.

c) Rentabilidad de estas prácticas.

LITERATURA CITADA

- BIGGAR, J.W. y NIELSEN, D.R. 1962.- Improved leaching practices save water and reduce drainage problems. Calif. Agric. 16 (3):5.
- BIGGAR, J.W. y NIELSEN, D.R. 1967.- Miscible Displacement and Leaching Phenomenon in "Irrigation of agricultural lands", edit. por Hagan et al.: 254-274. Amer. Soc. Agron. Agronomy Series 11, Madison Wisconsin.
- BRESLER, E. 1972.- Control of soil salinity. in: D. Hillel (ed.) Optimizing the soil physical environment to ward greater crop yields. 102-132.- Academic Press Inc., New York . London.
- BRESLER, E. and MANKS, R.L. 1969.- Numerical method for estimating simultaneous flow of water and salt in insaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 827-832.
- GARDNER, W.R. and BROOKS, R.H. 1957.- A descriptive theory of leaching. Soil Sci. 83: 295-304.
- GOLDBERG, S.D.; RINOT, M.; KARU, N. 1971.- Effect of trickle irrigation intervals on distribution and utilization of soil moisture in a vineyard. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35: 127-131.
- KELLER, J. y ALFARO, J. 1966.- Effect of water application rate on leaching. Soil Sci. 102, (2): 107-114.
- KEMPER, W.D. and VAN SCHAİK, J.C. 1963.- Diffusion of salt in clay-water systems. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27: 485-490.
- NIELSEN, D.R., BIGGAR, J.W. y LUTHIN, J.N. 1965.- Desalinization of soil under controlled unsaturated flow conditions. Inter. Commission Irrig. Drainage, 6th. Cong. New Delhi, India, Question 19, 15-24.
- NIJENSOHN, L. y OLMOS, F.S. 1963.- Cálculo del Requerimiento de Lixiviación de Aguas Salinas de Riego. Conferencia Latinoamericana para el Estudio Zonas Aridas, Comunicaciones, Resúmenes y Trabajos: 79-80, Buenos Aires.
- NIJENSOHN, L.; GUILLEN, P.; PIOTTI, A.; SORIA, R.; GUIMARD, F. 1970.- Ensayos de recuperación de suelos salinos y sódicos. En "Clasificación y Estudio de suelos en el área del Proyecto de Río Dulce" por Nijensohn, Capítulo III: 58-126. Edición: Corporación del Río Dulce, Sgo. del Estero
- NIJENSOHN, L. 1970 b.- Estudio de características hídricas de equilibrio. En obra citada ut supra. Capítulo IV: 130-133.
- NIJENSOHN, L. 1972.- Informe sobre algunos aspectos del funcionamiento del riego por goteo, tipo "Cimalco", en la finca "La Agrícola", Fray Luis Beltrán Dpto. de Maipú, Mendoza. Instituto de Suelos y Riego. Facultad de Ciencias Agrarias. (inédito).
- OLMOS, F.S.; HARDING, R.R. y NIJENSOHN, L. 1966-67.- Comprobación de la fórmula del " Requerimiento de Lixiviación" en condiciones de invernáculo. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias XIII (1-2):42-56. Mendoza.

////

- NIJENSOHN, L. 1975.- El riego por goteo como método de lavado de suelos salinos. I Seminario Latinoamericano de Riego por Goteo, OEA-IICA, Mendoza. Publicación suelta: 1-16.
- OLMOS, S.F. 1970.- Bases teóricas y adelantos tecnológicos en el lavado de suelos salinos. Rev. Agronómica del N.O. Argentino, VII (1-2): 429-449. Tucumán.
- OLMOS, F.S.; NIJENSOHN, L; VILLAFUERTE, C. y BUSTOS, A. 1974.- Desalinización de suelos aluvionales yesosos: I. Ensayos de técnicas de lavado por inundación y de reacción a la fertilización. Resúmenes de Trabajos y Comunicaciones, I Jornadas Agronómicas, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza.
- REEVE, R.C.; PILLSBURY, A.F.; WILCOX, L.V. 1965.- Reclamation of a saline and high boron soil in the Coachella Valley of California. Hilgardia 24 (4): 0-91.
- ROBINSON, F.E. y LUTHIN, J.N. 1967.- A comparison of deep and shallow drain tile for reduction of soil salinity in Imperial Valley. Calif.Agr. 21 (2): 2-3.
- VAN der MOLEN, W.H. 1973.- Salt Balance and Leaching Requirement. in: Drainage Principles and Application, II, Chapter 9, International Institute for land Reclamation and Improvement, Publication 16, Wageningen.
- VELEZ, E.R.; MEDINA, M.; SORIA, R.; GUIMARD, F.H. y HERRERA, J.C. 1970.- Ensayos de recuperación de suelos salino-alcalinos en suelos del Proyecto de Río Dulce, Santiago del Estero. Rev. Agronómica del N.O. Argentino, VII (1-2): 499-514, Tucumán.
- YARON, S.D.; SHALHEVET, J.; SHIMSHI, D. 1973.- Patterns of salt distribution under trickle irrigation. In "Physical aspects of Soil water and salt in ecosystems", edit, por A. Hadas et al.: 389-394. Springer Verlag, Ecological Studies 4.
-

DOCUMENTO
MICROFILMADO
Fecha: 24 SET. 1987