

IICA
PM-A1/SC-
98-12

98-12

RECIBIDA EN
26 OCT 1998



DRC/IICA ACT-CR 09/98

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE
COOPERACION PARA LA AGRICULTURA**

AGENCIA DE COOPERACION TECNICA EN COSTA RICA

**El mejoramiento de la agricultura
mediante la biodegradación
controlada de los residuos orgánicos**

Armando López Rubi

**San José, Costa Rica
Mayo, 1998**

¿ Que es la ACT-CR del IICA ?

La Agencia de Cooperación Técnica del IICA en Costa Rica (ACT-CR), inicia su trabajo en 1973, dando apoyo directo al Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), al Instituto de Desarrollo Agrario (IDA), al Consejo Nacional de Producción (CNP) y a otras instituciones nacionales ligadas al sector agroproductivo.

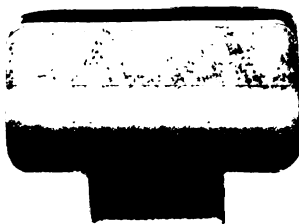
La cooperación se concentró en apoyar la definición, implementación y ajuste de políticas sectoriales: transferencia tecnológica agropecuaria, mejoramiento de la distribución de semillas; investigación; ejecución de proyectos de desarrollo rural con pequeños agricultores y soporte en seminarios reuniones, cursos de capacitación e intercambio de experiencias con otros países.

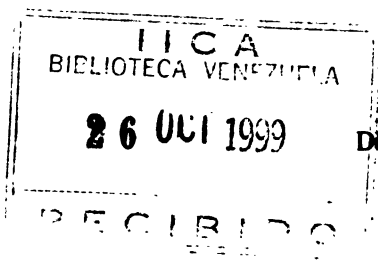
Su labor en la actualidad continúa siendo brindar cooperación a organizaciones e instituciones públicas y privadas que orientan su trabajo al sector agropecuario ampliado. Se estudian nuevos proyectos de acuerdo con los cambios que demanda el sistema agroproductivo costarricense y la dinámica mundial, basándose en el principio de que "se debe pensar globalmente y actuar en lo local".

Visión : Ser una Agencia de Cooperación Técnica, con presencia en todo el país satisfaciendo con alta calidad y oportunidad las necesidades de nuestros clientes, haciendo un uso eficiente de los recursos.

Misión : Brindar cooperación técnica y administrativa a nuestros clientes, en forma oportuna y eficiente.

La ACT-CR como Grupo de Trabajo : La Agencia cuenta con un grupo profesional y técnico dedicado a atender las acciones de cooperación que atiende; así como un importante grupo de apoyo encargado de las finanzas y del soporte administrativo.





DRC/IICA ACT-CR 09/98

**INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION
PARA LA AGRICULTURA**

AGENCIA DE COOPERACION TECNICA EN COSTA RICA

**El mejoramiento de la agricultura
mediante la biodegradación
controlada de los residuos orgánicos**

Armando López Rubio

**San José, Costa Rica
Mayo, 1998**

15 1998

116
SMA A1/SC-
98-12

© Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)
Agencia de Cooperación Técnica en Costa Rica. Marzo, 1998

Derechos reservados. Prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin autorización escrita del IICA.

Las ideas y planteamientos contenidos en los artículos firmados, o en los institucionales con específica mención de autores en la Presentación, son propios de ellos y no representan necesariamente criterio del IICA o la Institución coparticipante.

La Agencia de Cooperación Técnica del IICA en Costa Rica es responsable por la revisión estilística, levantado de texto, montaje y reproducción de esta publicación.

BU 10562

Fotografía de la portada: Finca de agricultura orgánica Jugar del Valle. Distrito Laguna, Cantón de Alfaro Ruiz, Prov. de Alajuela, Costa Rica.

López Rubio, Armando	
El mejoramiento de la agricultura mediante la biodegradación controlada de los residuos orgánicos / Armando López Rubio. -- San José, C. R.: IICA, Agencia de Cooperación Técnica en Costa Rica, 1998.	
45 p.; 23 cm. -- (Serie Publicaciones Misceláneas / IICA, ISSN 0534-5391; no. A1/SC-98-12)	
1. Biodegradación. 2. Residuos de cosechas. I. IICA.	
II. Título. III. Serie.	
AGRIS F04	DEWEY 631.87

SERIE PUBLICACIONES MISCELANEAS
ISSN 0534-5391
A1/SC-98-12

00000851

Mayo, 1998
San José, Costa Rica

CONTENIDO

Presentación	iii
Prólogo	v
Agradecimientos	vii
Del Autor	viii
Introducción	1
Capítulo I. La Situación Agroambiental.....	3
Los residuos agroindustriales y la contaminación del agua.	3
La erosión del suelo, problema capital de la agricultura.....	5
Problemática sobre uso y manejo del suelo.	6
Capítulo II. El suelo y la Materia orgánica.....	9
El suelo, riqueza vital.....	9
El suelo, un organismo viviente.....	10
La respiración del suelo	10
La "piel" del suelo.....	11
El humus y las fuerzas electroconectivas.....	12
El humus y la productividad en el trópico.	13
Las bacterias nitrificantes y liberadoras de los nutrimentos. ...	14
Los hongos, eficaces promotores de los agregados del suelo ..	16
Los hongos y sus "alianzas estratégicas"	18
La estructura del suelo, base de su fertilidad	18
El equilibrio del suelo, es la salud del hombre.....	19
Fertilización convencional versus fertilización biológica.....	20
Nutrición vegetal integrada	23
Consideraciones generales	24

Capítulo III. La bioconversión de los Residuos y su Aprovechamiento.....	25
Los residuos orgánicos, clave para una agricultura sostenible.	25
Producción de hongos comestibles	26
Producción de alimentos para animales	28
Abonos orgánicos, compost y biocompost.....	28
La bioconversión de los residuos orgánicos y las lombrices de tierra	29
El cubrimiento superficial del suelo con compost nutritivo.....	30
La producción de biocompost de alta calidad	31
Lo esencial del proceso de biodegradación controlada.....	33
Resultados de análisis químico de biocompost.....	35
Resultado de análisis microbiológico.....	36
Control de calidad	37
Características del biocompost de alta calidad.....	37
Inconvenientes de utilizar desechos sin previo tratamiento ...	38
Optimización de los costos de producción.....	39
Consideraciones finales.....	40
Referencias Bibliográficas	43
Referencias Periodísticas	45

PRESENTACIÓN

Uno de los retos más importantes para la humanidad estos días, es la protección del ambiente, su conservación, su manejo tanto ambiental como de recursos naturales, para tener una sostenibilidad en la producción de alimentos y abrigo a las inclemencias del clima.

La actual producción agropecuaria ha llegado a límites no antes predecibles, debido a la gran competencia por los mercados, lo cual ha obligado a muchos agricultores a hacer grandes inversiones en sus terrenos para obtener rendimientos máximos, al mismo tiempo usando una serie de agroquímicos y materiales foráneos a la finca que le hace cara la producción y contamina el ambiente, claro que en la mayoría de los casos el mismo agricultor no se da cuenta de la contaminación que ha ocasionado, serán las siguientes generaciones que paguen esa deuda que les estamos dejando actualmente.

La mayoría de los países se han dado cuenta del enorme perjuicio que se esta haciendo al ambiente y han optado por volver a una agricultura menos productiva, mas eficiente y que conserve tanto los recursos naturales como el ambiente que le rodea, de esta forma, no se está explotando sin misericordia a la naturaleza permitiéndole ser sostenible en el tiempo y en el espacio, lo que permitirá al hombre sobrevivir sin mayores dificultades, aún en el mundo sobrepoblado como el que tenemos.

El regresar a una agricultura eficiente pero económica desde el punto de vista de la naturaleza obliga a recircular todos los elementos de una finca en beneficio de la producción, en forma más o menos permanente. Los trabajos de aprovechar no solo los desperdicios de la fincas sino de los conglomerados humanos en las áreas urbanas, puede permitir el mejoramiento de los suelos que fueron sujetos a una

destrucción sin control al ser manejados en otros términos, de esta manera se puede sostener su producción en una forma permanente dando un manejo más adecuado a los recursos.

El presente trabajo contiene las bases para entender la situación ambiental actual, las características del suelo y dentro de éste, la materia orgánica. Explica claramente como se debe manejar los residuos de la finca en forma científica, económica, que sea la clave para una agricultura sostenible, por medio del abono orgánico o bio-compost, el cual mejorará el suelo substancialmente dándole una vida mucho más útil tanto por la conservación y recirculamiento de los nutrimentos, como por la contribución de una mayor biodiversidad de microorganismos, que mejoran substancialmente la estructura del suelo.

En la parte final se dan datos de la alta calidad tanto en la composición química del abono, como en su salubridad y la gran cantidad de microorganismos que se incluye al suelo, los cuales dan mayor vida orgánica, mejorando su condición general.

**Gustavo A. Enríquez
Representante del IICA en Costa Rica**

San José, Mayo de 1998

PROLOGO

Los productores de alimentos se enfrentan con nuevos retos importantes en vista de que las proyecciones demográficas prevén que la población mundial llegue a 8.300 millones en el año 2025 (actualmente 5.300) y que la tierra disponible por habitante para la producción agropecuaria sigue disminuyendo.

Se dispone de capacidad científica y de medios tecnológicos para obtener de la tierra los alimentos necesarios. Sin embargo, políticas restringidas y la distribución y utilización desigual de la riqueza y los recursos han conducido a numerosos casos de impactos ambientales que podrían haberse evitado.

Un aumento de la productividad con salvaguardias ambientales es necesario y posible mediante el uso de combinaciones concertadas, utilizando instrumentos biológicos , sociales, tecnológicos y económicos para la planificación del uso de la tierra, la conservación del suelo y del agua, la gestión de desechos, los sistemas integrados de producción, la vinculación de la investigación, educación, extensión, y la reforma de la tenencia de la tierra.

Los nutrientes de las plantas se encuentran en el suelo, en el estiércol y en los residuos de cultivo que forman parte del ciclo de nutrición. Los nutrientes acumulados en el suelo están al alcance de las plantas, pero aquellos de residuos de cultivos y abonos orgánicos sólo pueden serles útiles cuando los descomponen las bacterias. Los sistemas integrados de nutrición de las plantas tratan de combinar equilibradamente los nutrientes que el agricultor puede obtener de todas las fuentes.

La materia orgánica ayuda a mantener una buena estructura física del suelo y la microfauna necesaria para mantener la humedad, la ventilación y las condiciones de suministro de nutrientes a las plantas.

El Autor del documento apunta justamente en esta dirección, al presentar los resultados de sus valiosas experiencias que muestran la factibilidad de lo planteado: mejoramiento de la agricultura, reducción de desechos contaminantes, beneficio del productor y de la sociedad en general.

Confiamos en que el documento será bien acogido por todos aquellos que puedan beneficiarse de experiencias de reutilización de residuos orgánicos sólidos, que merecen replicarse a mayor escala y cobertura en pro del desarrollo sostenible.

**Constantino Tapias
Representante de la FAO en Costa Rica**

San José, Mayo de 1998

AGRADECIMIENTOS

Durante los últimos diez años en que el autor se dedicó a la tarea de Investigación y Desarrollo para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales, tuvo necesidad de recurrir a conseguir la colaboración de una serie de instituciones, empresas y organizaciones cuya sola enumeración resultaría prolija. Sin embargo, es pertinente patentizar el reconocimiento a ciertas personas e instituciones, que hicieron posible el presente trabajo.

Al *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)* en la persona de su director general, Ing. Carlos E. Aquino González, por propiciar la participación del autor en la “Muestra de Tecnologías para el Desarrollo Agrícola Sostenible e Informática”, que tuvo lugar en la propia Sede Central de este Instituto en setiembre de 1995.

A la *Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*, por medio de su Representante en Costa Rica, Dr. Constantino Tapias por el suministro de la oportuna información sobre nutrición vegetal integrada así como sus estimulantes conceptos vertidos en este folleto.

Al Dr. Gustavo A. Enríquez, Representante de la *Agencia de Cooperación Técnica del IICA en Costa Rica*, quien instigó el presente trabajo, dedicando también parte de su valioso tiempo en la revisión del manuscrito, aportando oportunas sugerencias y cooperando en la edición final, tal como también lo han hecho el Dr. Pablo Araya y el Dr. Horacio H. Stagno.

Al *Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)*, a través del Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales, por su participación en la evaluación del bio-compost como supresor de fitopatógenos.

ALR

San José, Mayo de 1998

Del Autor

Armando López Rubio es un ingeniero agrónomo mexicano, residente actualmente en Costa Rica. Desde 1987 ha estado trabajando en la adaptación de un sistema biotecnológico para la obtención de biocompost a partir de los residuos agroindustriales. Mediante un financiamiento otorgado a una empresa agroindustrial, por medio del Fondo de Desarrollo Tecnológico, creado con recursos del BID y administrado por el Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) y el Banco Cooperativo (BANCOOP), fue posible aplicar la biotecnología, previamente adaptada, para procesar todos los residuos orgánicos que generan un beneficio de café que maneja 15.000 t de café cereza por ciclo, así como un ingenio azucarero que muele 150.000 t de caña de azúcar por zafra. Su sistema biotecnológico cuenta con la debida autorización del Ministerio de Salud, así como con la anuencia del Ministerio de Ciencia y Tecnología, quienes le han dado el adecuado seguimiento a sus trabajos durante estos años.

El Ing. López Rubio es egresado de la antigua Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, México (hoy Universidad Autónoma de Chapingo), en la especialidad de Industrias Agrícolas, en 1964. Hizo estudios de postgrado en la Universidad del Estado de Oregon, U.S.A, en el área de Ciencia y Tecnología de Alimentos. En 1972, bajo el patrocinio de la OEA, tomó un Curso de Formulación y Evaluación de Proyectos, en Fortaleza, Ceará, Brasil. Fue profesor de Chapingo y posteriormente, durante el período 1975/1986, colaboró como consultor externo ante el BID, IICA y OEA, en el área de los proyectos agroindustriales.

A la fecha se desempeña como Representante Legal de Servicios Técnicos Interamericanos, S.A. (Apdo. 236-1007, Centro Colón, San José, Costa Rica).

INTRODUCCIÓN

La notable capacidad del hombre para tolerar condiciones profundamente diferentes de aquellas en las que ha evolucionado ha creado un mito de que puede, indefinida e impunemente, transformar su vida y su medio ambiente gracias al progreso tecnológico y social; pero no es así (Dubos, 1974). Por el contrario; esa facilidad de adaptación biológica y socio-cultural a tensiones diversas y condiciones nocivas entraña paradójicamente, un peligro para su bienestar individual y para el futuro de la raza humana.

A menudo se supone que el progreso depende de la capacidad del hombre para conquistar la naturaleza. En realidad, hay necesidades biológicas y afectivas del hombre que le exigen, no una victoria sobre la naturaleza, sino más bien una colaboración con las fuerzas de ésta, sentencia Dubos.

El patético éxodo de fin de semana hacia el campo o la playa, así como el gusto por las chimeneas en las viviendas urbanas recalentadas, el apego sentimental a los animales domésticos, incluyendo las mascotas y las plantas, demuestran la persistencia en el hombre de los apetitos biológicos y afectivos que adquirió en el curso de la historia de su evolución y de los cuales no puede prescindir.

El aire, el agua, el fuego, los ritmos de la naturaleza y la variedad de los seres vivos no sólo tienen interés como combinaciones químicas, fuerzas físicas o fenómenos biológicos, sino como las verdaderas influencias que han modelado la vida humana, creando así en el hombre profundas necesidades que no cambiará en el futuro previsible.

La vida humana, al igual que la vida animal, se ve afectada por fuerzas de la evolución que adaptan ciegamente los organismos a su medio. Las fuerzas físicas del medio no cesan de modificarse lenta pero inexorablemente. Además, todas las formas de la vida, incluida

la humana, evolucionan constantemente, aportando su propia contribución al medio.

El hombre apareció en la tierra, evolucionó bajo su influencia, fue modelado por ella biológicamente y está ligado a ella para siempre. Puede soñar con las estrellas y coquetear aquí y allá con otros mundos, pero seguirá esposado a la tierra, su única fuente de sustento.

CAPÍTULO I

La situación agroambiental

*“Cuando el muro de la vida adelgaza y cuando ya por la
transparencia se ve la eternidad, debe quedarnos la satisfacción
íntima de haber luchado hasta la agonía, por mejorar el mundo que
nos toca vivir”.*

*Alfonso Reyes
(1889-1959)*

Los residuos agroindustriales y la contaminación del agua.

El manejo y disposición de los desechos y residuos agropecuarios se ha convertido en un problema tan grave como la producción misma de los recursos. El impacto ecológico que causan tales componentes, especialmente aquellos que provienen de la actividad agroindustrial, y que de manera directa o indirecta llegan a las corrientes superficiales, es una causa del deterioro de la calidad de las aguas. Por otra parte, la carencia de materia orgánica que se detecta en los suelos agrícolas y de pastizales, influye negativamente en la eficiencia de la aplicación de los fertilizantes convencionales y, consecuentemente, en la rentabilidad ya sea de la finca agrícola o de la explotación ganadera.

El deficiente manejo que se hace de los desechos agroindustriales, está conduciendo a preocupantes formas de contaminación de la atmósfera y del medio ambiente físico. Este impacto ecológico se detecta especialmente en las aguas superficiales, cuya calidad se está continuamente deteriorando debido a la presencia de agroquímicos y de sustancias orgánicas provenientes en su mayor parte, de la actividad agrícola y agroindustrial.

La evacuación de desechos en los ríos es una causa evidente y bien conocida de transformación de la biosfera. En éste caso la raíz

del mal está en el concepto primitivo de que una corriente de agua es una cloaca natural. Empero, sabemos muy bien que las especies vivas se asfixian por la falta de oxígeno y la acumulación excesiva de materias orgánicas (Fraser, 1974).

En el caso de Costa Rica, la contaminación de las aguas es un problema importante, especialmente en el Valle Central, ya que es ahí donde se concentra el grueso de la población y también la casi totalidad de las actividades industriales y de procesamiento de productos como el café. Se estima que alrededor de un 70% de los desechos orgánicos que van a los cauces de los ríos se originan en las actividades del beneficiado del café (PNUD, 1994).

Según una fuente del Ministerio de Salud, la generación de desechos agroindustriales es del orden de unas 3.642.120 t anuales (Vásquez, 1994). Muchos de éstos si no son botados a los ríos, se canalizan a los botaderos de basura municipales, los cuales, son otro problema nacional, motivando que en 1991 el manejo de los desechos sólidos fuera declarado emergencia nacional. Los residuos de la producción de banano y del café alcanzan la cifra de 12.000 t/día y no tienen ningún manejo adecuado.

Cabe señalar que la situación agroambiental que prevalece en Costa Rica, se presenta con mayor o menor grado en los demás países del área, especialmente aquellos que son productores de café, caña de azúcar, banano y palma aceitera.

Los grandes descubrimientos del siglo pasado nos ha enseñado que la energía básica del universo puede por igual mantener o destruir la vida y que los sistemas y equilibrios que la acrecientan son más frágiles y preciosos que lo que podemos imaginar.

Los especialistas de nuestra época saben que el aire, la tierra y el agua forman un sistema global interdependiente, llamado biosfera, el cual, siendo la base de toda la vida planetaria, transmite toda la energía necesaria y, pese a su enorme capacidad de supervivencia, está formado por mecanismos infinitamente delicados y vulnerables hojas, bacterias, plancton, catalizadores, niveles de oxígeno disuelto,

equilibrios térmicos, gracias a los cuales la ardiente energía solar puede ser utilizada y la vida continuar (Word, 1974).

A la larga, la producción de recursos, dependerá de la utilización de los desechos. De otra manera, el hombre convertirá la biosfera en un inmenso basurero público (Dubos, 1974).

Sabemos por los ríos y lagos que las propiedades de autopurificación del agua no son ilimitadas y, en fin de cuentas, los océanos constituyen una inmensa cisterna sin desagüe. Por tanto, no debemos cometer la imprudencia de hacer que los océanos mismos sobrepasen un límite de irreversibilidad que aún no conocemos. Porque aún cuando el aire y los océanos pudieran mantenerse tan contaminados como ahora y aún antes de que llegaran a perder su posibilidad de autopurificación, a ningún gobierno le serviría de mucho decir que los responsables son los demás (Word, 1974).

La erosión del suelo, problema capital de la agricultura

Los suelos fértiles cubren una extensión tan limitada de la superficie de la tierra que no podemos darnos el lujo de dilapidarlos. Y sin embargo, el hombre, con su propia negligencia, ha contribuido a destruir millones de hectáreas mediante la erosión del suelo. En general ha iniciado la destrucción despojando la tierra de su vegetación natural; a continuación la lluvia o el viento han descarnado y arrastrado la fértil capa superficial que él había aflojado al cultivar.

En México, de acuerdo con declaraciones de funcionarios de la entonces Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) y con base en los resultados del Primer congreso nacional sobre manejo y conservación de suelo y agua (1992), se estima que el 80 por ciento del territorio nacional presenta diversos grados de erosión y que hay una pérdida anual de por lo menos 500 millones de toneladas de suelo en los diversos ecosistemas. Por su parte, el vocal ejecutivo del Instituto nacional de investigaciones forestales y agropecuarias (INIFAP), precisó que estos problemas de erosión son provocados tanto por la intensidad de las lluvias, como por acciones de deforestación, el monocultivo de maíz y frijol y la propia topografía

de los terrenos de cultivo, que llegan a presentar pendientes de hasta 35% (15 grados) en el 75 por ciento de la superficie. Tal pérdida, a nuestro juicio, puede representar más de 220.000 ha por año.

La agricultura sedentaria, por oposición a la ambulante, deja el suelo exhausto cuando se descuida su reconstitución o cuando es imposible proceder a ésta, y puede hacerlo árido si no se toman medidas para evitarlo (Fraser, 1974).

El agricultor tradicional (poco cuidadoso), solamente adopta medidas para luchar contra la erosión del suelo cuando se ha producido ya un daño irreparable.

De una manera general, la agricultura debe mantener la proporción de materias orgánicas de la tierra, porque si no, ésta se endurece y se la lleva el viento.

Según el historiador inglés Arnold José Toynbee (1889-1975), el factor determinante de la caída de las civilizaciones radica en la pérdida del dominio que el hombre tiene sobre el medio natural: Mesopotamia, dice, es un ejemplo bien concreto de ello.

El objetivo final de las políticas de conservación de los recursos naturales, debería ser el de imponer un orden tal en el medio ambiente que éste contribuyera a la salud física y mental del hombre y al florecimiento de su civilización. Ahora se va comprendiendo que una política basada en la ecología debe ser concomitante con el desarrollo social efectivo (Caldwell, 1974).

Problemática sobre uso y manejo del suelo

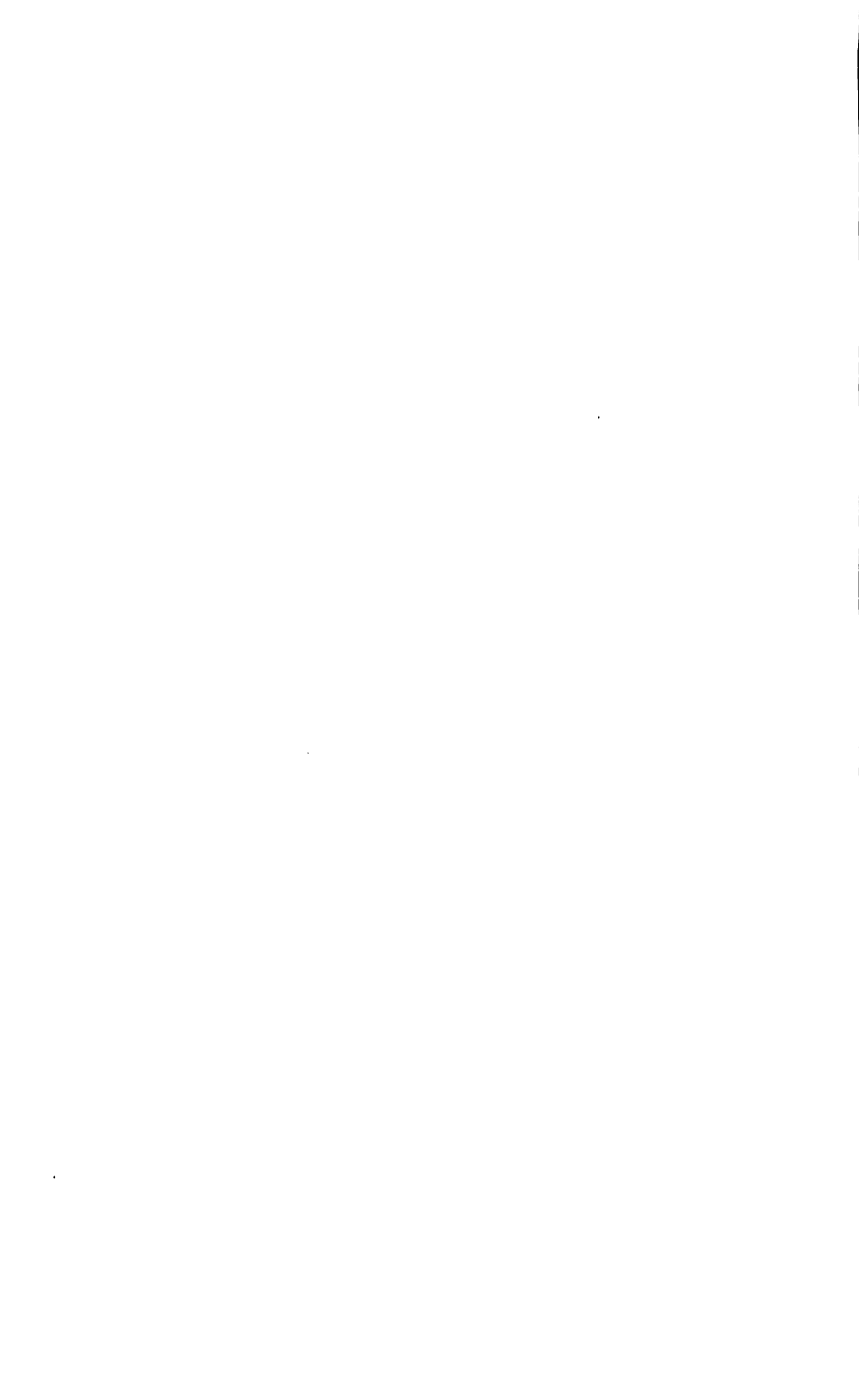
En los procesos del desarrollo agrícola, se presentan constantemente desequilibrios en el uso del suelo. Sobrepastoreo, monocultivo mal manejado y cultivos que exceden la capacidad natural de los suelos, son tres actividades importantes que inciden en la incorrecta utilización del suelo.

La alta fertilización específica suele efectuarse en suelos que de alguna manera responden a su aplicación química. Pero en muchas ocasiones, los agricultores tienden a utilizar fertilizantes en exceso, llegándose a alteraciones químicas indeseables e, incluso, a problemas de toxicidad para las plantas, aspectos que repercuten a largo plazo en una disminución del rendimiento de los cultivos.

El uso de plaguicidas hace aumentar la resistencia a éstos de los insectos y sus vectores de enfermedades, lo que repercute en el brote de enfermedades humanas; este problema exige un manejo artificial del ecosistema, contribuyendo así al círculo vicioso de plaguicidas.

El uso excesivo o el mal uso de maquinaria altera la estructura del suelo y subsuelo y tiende a hacerlo más compacto, lo que a largo plazo hace disminuir los rendimientos e incrementar la erosión.

La ejecución de prácticas agrícolas inapropiadas y el hecho de no realizar enmiendas orgánicas al suelo, resulta inevitablemente en la degradación paulatina de los suelos agrícolas y en la baja productividad de los mismos.



CAPITULO II

El suelo y la materia orgánica

*"No podemos resolver los problemas
más preocupantes
de hoy, utilizando los mismos niveles y patrones
de pensamiento que empleamos cuando
creamos los problemas"*

*Albert Einstein
(1879-1955)*

El suelo, riqueza vital

El suelo es el medio en que vive y crece la vegetación. En él crecen las plantas que proporcionan al hombre la mayoría de sus alimentos, así como muchas de las materias primas con las que fabrica productos esenciales. Otras plantas constituyen el alimento de los animales, y éstos, a su vez, proporcionan alimentos (como carne, huevos y leche), y materias (como cueros, pieles y lana).

En ciertas regiones templadas del mundo hay zonas de tierras negras, o suelos húmicos, cuyo color oscuro se debe a la gran cantidad de humus que contiene. Son muy fértiles y tan ricos en nutrimentos para las plantas que durante muchos años producirán considerables cosechas sin necesidad de añadir fertilizantes. Cerca de algunas regiones de tierras negras hay zonas de suelos de pradera, que asimismo son de color oscuro y extremadamente fértiles. Las tierras negras y los suelos de pradera de América del Norte y del Sur, de Europa y de Asia proporcionan en conjunto la mayor parte de la producción mundial de trigo maíz y otros alimentos (Moore, 1971).

El suelo, un organismo viviente

La fertilidad del suelo no se puede determinar mediante un simple análisis del terreno como todo buen agricultor comprenderá. Ni puede considerarse su mala productividad como una mera escasez de nutrientes, fácilmente remediable mediante la aplicación de cantidades elevadas de productos químicos. No, ¡Es más que eso! La fertilidad del suelo depende de una complicada serie de requisitos coordinados entre sí por estrecha interdependencia. Para una mejor comprensión, debemos considerar la tierra como un organismo viviente que sólo puede desempeñar sus funciones adecuadamente cuando todos sus organismos se hallan sanos y en buena armonía.

Propiamente dicho, el suelo arable especialmente, es algo vivo y es muy sensible a cualquier maltrato: descuido, desecación excesiva, labranza negligente con aperos pesados, inundación por falta de drenaje adecuado, daños por altas concentraciones salinas, erosión de lluvia o viento por carencia de protección de la superficie, o agotamiento. Un suelo así maltratado sufre, enferma y muere.

Una partícula de tierra es una comunidad invisible de criaturas infinitamente pequeñas: bacterias, hongos, algas, protozoarios, gusanillos, ácaros y otros organismos microscópicos, de cuyo equilibrio y salud depende el hombre, en buena parte, para cultivar con éxito sus cosechas (Fraser, 1974).

La respiración del suelo

Lo visto anteriormente nos conduce a la sorprendente conclusión de que el suelo respira efectivamente, aspirando oxígeno y exhalando bióxido de carbono, como cualquier otro ser viviente y demostrando que el suelo vive.

La respiración es necesaria para la parte más vital del suelo, la cual llamaremos "carne", para mayor simplicidad. Se compone de innumerables células vivas y tejidos de los microorganismos que se alimentan en el suelo con oxígeno, materia orgánica y nutrientes que, en cambio, generan energía y desempeñan funciones esenciales

químicas y fisiológicas. Se estima que en un kilogramo de suelo fértil existen mil millones de hongos, mil millones de protozoarios, veinte billones de bacterias, 800 billones de algas y cantidades increíbles de otros organismos vivientes. Una capa de tierra de unos 15 cm de profundidad pesa alrededor de 2.270 t/ha, lo que proporciona cierta idea del incontable número de organismos que existen en el suelo (Schroo, s.f.).

En el suelo debe existir espacio poroso suficiente. Este espacio es imprescindible para que el suelo pueda contener la humedad y el aire necesarios. El volumen de un suelo ideal debería contener aproximadamente un tercio de masa sólida, un tercio de humedad y un tercio de aire. Si uno de tales componentes predominara, lo haría a expensas de los otros, perjudicando la salubridad del suelo.

Los esfuerzos para aumentar el espacio destinado al aire en el sistema del suelo, mediante la ruptura de la tierra con herramientas de labranza no producirá efectos duraderos, ya que estos suelos tienden a cerrarse rápidamente tras los primeros aguaceros que sigan a esta operación.

La "piel" del suelo

Con el objeto de completar el perfil del suelo bajo su aspecto de organismo viviente, tenemos que concentrar nuestra atención en aquella delgada capa superior del suelo, que es la parte más vulnerable del sistema y que puede ser llamada la piel del suelo. Es a través de esta capa que el suelo puede regular su temperatura, exhalar sus vapores, inhalar aire fresco y absorber la benéfica lluvia. Siempre que en esta capa se mantenga una estructura suelta y estable, estas funciones se desempeñarán adecuadamente.

Sin embargo, no debemos olvidar que en los trópicos el tremendo calor del sol agotará la capa superior no protegida de tal manera que los factores estabilizadores la materia orgánica y los microorganismos resultarán abrasados transformados o quemados (Schroo, s.f.).

La corteza del suelo, socarrada o requemada, y sin vida, presentará escasa resistencia a las tormentas subsiguientes que arrastrarán consigo la fértil capa inmediata a la corteza. Igualmente la lluvia puede destruir fácilmente la delicada estructura de esta capa, impidiendo el contacto del suelo más profundo con el aire. Esta situación se caracteriza muchas veces por la aparición de una verdosa y resbaladiza lámina de algas en la superficie del suelo.

Los ecosistemas tropicales son a la vez tan numerosos, tan complicados y tan frágiles que nada sería más perjudicial a los intereses de las poblaciones humanas, que viven en ellos, que el puro y simple "trasplante" a los trópicos de técnicas (y a veces hasta de conceptos) que han demostrado ser útiles en las zonas templadas (Fraser, 1974).

El humus y las fuerzas electroconectivas

En los suelos arcillosos, los agentes sustentadores son fuerzas eléctricas adhesivas situadas en la superficie de sus partículas. La función de estas fuerzas es mejor y más segura cuando la tierra está encalada (adición de suficiente cal) apropiadamente y bien provista de materia orgánica. En los suelos arenosos, este último factor es aún más importante, porque las partículas gruesas de arena no poseen estas fuerzas adhesivas en cantidad suficiente y la única manera de proporcionarles la estabilidad es proveerlos de materia orgánica.

Las sustancias orgánicas que se encuentran en el suelo son derivadas de procedencias tales como vegetación o animales descompuestos, desechos forestales, residuos de cosechas anteriores, estiércol, compost, etc. Asociadas por efecto de la actividad bacterial a ciertos elementos estables toman el nombre de "humus".

Diversos autores utilizan la palabra "humus" (del latín humus) para referirse, en general, a toda materia orgánica del suelo, independientemente del grado de descomposición que haya sufrido. Algunos lo definen como el material de color oscuro formado por la descomposición parcial de material vegetal o animal, dentro o sobre la superficie del suelo, excluyendo a los organismos vivos. Otros,

aplican el término tan sólo al material orgánico residual, después que ciertos componentes de la materia orgánica original se han descompuesto fuertemente. Tal vez la mejor definición sea la utilizada por Davis (1957): "Humus es el material coloidal, semiestable, mezclado íntimamente con las partículas inorgánicas del suelo, y producido después que el material orgánico existente ha sufrido transformaciones intensas debidas a la actividad metabólica de plantas, animales y microorganismos por medio de la acción de las enzimas producidas externa o internamente por las células del organismo considerado, siendo dichas transformaciones causadas, predominantemente, por la flora microbiana".

Esta substancia orgánica, el humus, está íntimamente ligada a los fragmentos minerales del suelo. En su superficie posee también fuerzas eléctricas similares a las que se encuentran en la superficie de la arcilla. Por consiguiente, el humus puede unir firmemente los fragmentos minerales, proporcionando así la estabilidad necesaria.

El humus y la productividad en el trópico

El humus no dura eternamente en el suelo. El proceso de descomposición continuará. Especialmente bajo condiciones cálidas tropicales.

Una economía correcta del humus tiene un papel muy importante en los trópicos, ya que la eficacia de los fertilizantes minerales se puede asegurar con el recirculamiento de cantidades de materia orgánica de buena calidad.

La bioestructura y toda la productividad del suelo, se basa en la presencia de materia orgánica en descomposición o humificada. Lo que posee fuerza agregante en el suelo no es el humus, sino el producto intermedio de la descomposición bacteriana: los ácidos poliurónicos.

La pérdida del humus es por tanto, la pérdida de la bioestructura y, con ello, la pérdida de gran parte de la productividad del suelo (Primavesi, 1984).

Cuanto mayor sea la descomposición de los residuos vegetales y animales y cuanto más activa la formación de sustancias intermedias de descomposición, tanto mayor efecto tendrá sobre la estructura del suelo, y tanto más benéfico será.

La producción dirigida y periódica de las sustancias agregantes contenidas en los ácidos húmicos, es el único medio de mantener la productividad de los suelos agrícolas tropicales y subtropicales (Primavesi, 1984).

La materia orgánica, aplicada en cantidades suficientes y con frecuentes intervalos, combinada con un encalado adecuado (si es necesario) constituyen el único método para proporcionar una aireación y drenaje satisfactorios en suelos deficientes. En suelos arcillosos pesados, la aplicación de materia orgánica gruesa disminuye su densidad y después de su descomposición, se encontrarán canales y poros a través del cuerpo del suelo. La disociación de la materia orgánica también proporciona una gran cantidad de gas, el cual actúa como levadura, justamente como ocurre al cocinar la masa para una torta.

En la práctica, sin embargo, se presentan algunos problemas con el humus, como son por ejemplo, los siguientes: a) en el supuesto de que un suelo tenga, según su análisis, un nivel de humus adecuado, su mantenimiento exige que los aportes de materia orgánica compensen su transformación o las pérdidas de aquél, lo cual constituye un problema bastante complicado, ya que se desconocen muchos otros factores que afectan la velocidad de destrucción del humus en un suelo determinado; b) las variaciones se manifiestan muy lentamente, y hacen falta muchos años para que el análisis de laboratorio pueda poner de manifiesto una modificación significativa del nivel de humus en el suelo (Gross, 1981).

Las bacterias nitrificantes y liberadoras de los nutrimentos

Es un hecho probado que las cantidades totales de bacterias son mayores en suelos ricos en humus, suponiendo los demás factores constantes. La mayoría de las bacterias son aerobias (que requieren

oxígeno para vivir) y juegan un papel fundamental en la producción de alimentos para las plantas del suelo, haciendo asequibles los nutrientes escondidos cuando así lo requieren dichas plantas.

El suelo contiene ciertos organismos especializados en sus necesidades y en sus efectos, que son de primordial importancia. Estos organismos son principalmente anaeróbicos y algunos obtienen oxígeno y carbono mediante la reducción de las sustancias orgánicas. Otros obtienen nitrógeno de la atmósfera, y de esta manera, traen consigo una fijación del nitrógeno libre al nitrato, acumulando así las reservas de que pueden disponer las plantas. En un suelo rico en humus, esta fijación atmosférica se hace más rápida e intensamente; como resultado, las reservas de nitrógeno se incrementan. Hablando ampliamente, hay una correlación entre el contenido de humus del suelo y sus reservas de nitrógeno. Cuando el suelo se sobretrabaja y no se le agrega ninguna materia orgánica, su contenido en humus cae a 2% y el nitrógeno viene a estabilizarse en 0,1% (Milton, 1962).

Los suelos vírgenes de la pradera canadiense tenían un contenido original de humus de alrededor del 7% y un contenido de nitrógeno de 0,35%; el constante cultivo (sin restitución orgánica en el suelo) causó una baja en el humus hasta de 5% y una pérdida de las reservas de nitrógeno de cerca de 2,5 toneladas por ha.

Debe mencionarse que los organismos más importantes en la fijación de nitrógeno son los Clostridia y el Azotobacter. Ambos son perjudicados por la adición de nitrato (abono mineral comunmente usado) al suelo y bajo estas circunstancias no se realiza la fijación del nitrógeno. En otras palabras, la adición de nitrógeno químico impide la fijación de nitrógeno del aire al suelo o el atmosférico, que ocurre naturalmente desde el punto de vista biológico.

Otros organismos específicos permiten la liberación del "fosfato atado" o fijado en partículas y jugos del suelo y hacen asequible este nutriente para el crecimiento de la planta. Tales microorganismos producen una enzima fosfatasa que actúa sobre el fosfato orgánico y produce el fosfato inorgánico que es la forma en

que este elemento es requerido por la planta. Experimentos realizados en Inglaterra, demuestran que esta liberación del fosfato es estacional y que es mayor en los meses del verano, que puede equivaler a nuestro clima diario durante todo el año, cuando los microorganismos del suelo se muestran más activos. Se ha demostrado también que la cantidad de fosfato asequible, liberado de la anterior manera, es más o menos proporcional al contenido de humus.

Igualmente, pero en menor proporción esto se aplica a la liberación del potasio retenido. También se ha comprobado que en terrenos con alto contenido de humus, se incrementa el contenido de potasio y que éste se encuentra en mayor disponibilidad durante los meses del verano. El mecanismo de su liberación aún se desconoce, aunque se piensa que tiene que ver con ciertas bacterias que producen ácidos metabólicos en los intersticios de los cristales de morilita (cierto mineral que da origen al suelo), permitiendo así el intercambio de iones.

Los hongos, eficaces promotores de los agregados del suelo

Además de las bacterias del suelo, existen en éste otros habitantes que son regulados por el contenido de humus y que toman parte en el crecimiento de las plantas. Ellos son los hongos que, cuando se agrupan o reproducen, forman los micelios o hilos que se extienden a través de los espacios porosos, que perforan el suelo. Estos organismos excretan enzimas que descomponen las materias vegetales frescas y las convierten en humus. Los hongos del suelo, mediante los micelios, tienden a juntar las diversas partículas y a mejorar, por tanto, la estructura porosa, aumentando el tamaño y la estabilidad de los agregados del suelo. El crecimiento de los micelios, se ve favorecido por la presencia de humus y su extensión se ha estimado que es, en suelos fértiles, de 10 km por 100 g de suelo (Milton, 1960). De esto se desprende que en tales suelos los agregados serán efectivos y estables y darán por resultado un buen cultivo. En este suelo el tamaño de las partículas variará principalmente de 0,5 a 5,0 mm de diámetro y, serán esponjosas, con pequeñas capilaridades que permitirán que el agua sea expulsada o retenida y que el aire realice una buena ventilación.

Estudios realizados para evaluar el efecto de los microorganismos en la formación de agregados en un suelo estéril, migajón arcilloso, demostró que en todos los casos de suelos inoculados encontraron incremento en la agregación, presentándose variaciones de efectividad motivados por el metabolismo característico de cada espacio. Los resultados permiten apreciar que los hongos fueron más efectivos que las bacterias en la formación de agregados (Cuadro 1). La superioridad de los hongos, manifiesta en la producción de agregados estables, también se repite en la eficiencia para descomponer material carbonáceo (carbono). Refiriéndose a la eficiencia de diferentes microorganismos en la utilización del material celulósico, muchos investigadores han establecido que los hongos son capaces de transformar, bajo condiciones favorables, sólo la mitad de la fuente carbonácea en tejido fungoso, mientras que, en condiciones desfavorables, la cantidad se reduce considerablemente. Es decir, que solamente un 50% o menos, de la energía disponible, es directamente utilizada por estos organismos. En cambio, las bacterias aeróbicas utilizan solamente entre un 10 a un 25% de la energía disponible (Chema, 1959).

CUADRO 1. Efecto de los microorganismos en la formación de agregados en un suelo de migajón, arcilloso, serie Cecil (Baver).

Organismo inoculado	Porcentaje de agregados mayores de 2 mm
Ninguno	0
Hongos:	
Penicillium oxalicum	68,1
Fusarium moniliforme	69,7
Aspergillus niger	43,4
Cunninghamella blakesleeana	53,1
Bacterias:	
Bacterium megatherium	7,3
Bacterium radiobacter	19,3
Rhizobium alni	4,9

[La importancia de tales experimentos es ahora visible. Los hongos son los promotores más eficaces de la agregación, y puesto que requieren una mayor proporción de material carbonáceo que otros microorganismos para mantener su metabolismo activo, podrá admitirse que los residuos orgánicos más resistentes a la descomposición y más comúnmente empleados agrícolamente (paja de trigo y rastrojos de maíz), deben incorporarse a los suelos cuando se busque, fundamentalmente, mejorar en ellos las condiciones de permeabilidad y aireación, y que tales beneficios sean relativamente duraderos (Chema, 1959).

Los hongos y sus "alianzas estratégicas"

Debido a que los hongos viven de la descomposición de la materia orgánica en sus diversas formas, estos organismos constituyen la clave para la reincorporación de los materiales orgánicos en el suelo. Favoreciendo así la formación o el enriquecimiento de tales suelos.

Por otra parte, hay en los bosques de coníferas y de encinos, infinidad de hongos que viven asociados con las raíces de los árboles, ayudando esta asociación tanto al hongo como al árbol, en un mayor crecimiento de ambos. A este tipo de asociación se les llama micorrizas y son simbiosis mutualísticas entre hongos y raíces de las plantas superiores, que facilitan la absorción de nutrimentos de baja movilidad en el suelo, tales como el fósforo, el zinc y el cobre. A la fecha se conocen 127 endomicorrizas en el mundo, que es el grupo más común de micorrizas, ya que pueden asociarse con el 90% de las especies vegetales (La Nación, 1989).

La estructura del suelo, base de su fertilidad.

Entre las condiciones esenciales de las que depende la fertilidad del suelo destacan el de tener una estructura estable y duradera que asegure la óptima aireación, condiciones de humedad y actividad microbiológica. Una manera práctica para alcanzar tales condiciones óptimas, es mediante el uso de compostes, cuyos beneficios se describen más adelante.



Foto 1 – Enmendamiento orgánico: lado izquierdo sin abonar, lado derecho abonado. (A.López, Septiembre 1988)



Foto 2 – *P. Ostreatus* sobre broza de café. (A. López, Marzo 1988).



Foto 3 – Area de recepción de residuos. (A.López, Enero 1994)



Foto 4 – Mezclado y apilado de materiales. (A. López, Enero 1994).



Foto 5 –Pilas de residuos recién inoculados. (A.López, Enero 1994)



Foto 6 – Fase de fermentación anaeróbica. (A. López, Febrero 1994).



Foto 7 - Supervisión y control del proceso fermentativo. (A. López, Marzo 1988)



Foto 8 - Biocompost final, listo para ensacar. (A. López, Marzo 1994)

Otros factores que pueden considerarse como causantes de la disminución de la fertilidad del suelo son los siguientes:

- a) Reducción de los niveles de materia orgánica
- b) Disminución del contenido de humus
- c) Reducción de la carga de microorganismos benéficos al suelo
- d) Compactación del suelo y consecuentemente, pérdida de la aireación y retención de humedad
- e) Deficiencias de macro y microelementos
- f) Desbalance de los minerales del suelo
- g) Infestación de nemátodos, insectos o antrópodos plagas e infecciones por hongos y bacterias.
- h) Cambio significativo del valor del pH

El equilibrio del suelo, es la salud del hombre

La fertilidad del suelo no sólo depende de la cantidad total de nutrimentos para la planta aprovechables en el suelo, sino que tiene relación con una serie compleja de condiciones, las que juntas controlan la salud del suelo.

Cuando condiciones adversas ejercen una gran influencia, los recursos minerales del suelo no pueden ser utilizados completamente. Los fertilizantes químicos pueden dar incluso resultados negativos bajo tales condiciones.

En su mensaje para la celebración de la Jornada mundial para la paz (enero 1990), el Papa Juan Pablo II dijo que "muchos descubrimientos recientes han producido innegables beneficios a la humanidad, sin embargo, se ha constatado que la aplicación inadecuada de algunos descubrimientos en el campo industrial y agrícola produce, a largo plazo, efectos negativos" (ECO, 1989).

Dice B. A. Rockwell, antiguo director de investigación de la Asociación de granjas cooperativas de Pennsylvania, en 1948 "toda vida normal en esta tierra es el resultado de un balance

electroquímico. Cuando estos dos factores están balanceados, la planta o el animal es fuerte y vigoroso, resiste enfermedades y saca lo mejor de su medio. Cuando hay desequilibrio electroquímico, entonces se presenta un retardo en el crecimiento y aparecen las enfermedades".

Porque un suelo fértil es capaz de eliminar los agentes patógenos y de inducir una regulación biológica. La sanidad vegetal, dice A. Primavesi, de uno u otro modo, está ligada a la "salud" del suelo. En un suelo decadente, es difícil producir cultivos sanos. A medida que la bioestructura del suelo va decayendo, aumenta la susceptibilidad de las plantas a las plagas y aumentan los disturbios de insectos, enfermedades, y animales del suelo. La adición de materia orgánica en el suelo, cuando mejora su bioestructura, es una medida para mejorar la salud vegetal, no solo porque mejora la estructura grumosa sino por contribuir también a la diversificación de la microvida y fauna terrestres. En presencia de ácidos húmicos, los patógenos en el suelo, son pocos. Tiene pues mucho fundamento la aseveración del agrónomo francés A. Voicin cuando dice que: "la salud del animal y la del hombre, depende del equilibrio del suelo".

Fertilización convencional versus fertilización biológica

Los abonos orgánicos y los fertilizantes químicos (o inorgánicos) no son alternativos al punto de poder substituirse entre sí. Contrariamente, ambos materiales son complementarios y deben ser usados conjunta, pero juiciosamente, ya que cada uno responde a un aspecto diferente de la producción agrícola.

Estudios efectuados en otros países, principalmente europeos y asiáticos, anotan claras diferencias en cuanto a las particularidades biológicas entre parcelas manejadas convencionalmente y aquellas que se manejan orgánicamente y confirman la importancia de la vida orgánica en el suelo. Se infiere igualmente, que la fecundidad del suelo, o la fertilidad, no puede lograrse artificialmente por medio de mezclas de elementos nutritivos sino que aquella aparece como resultado de un proceso biológico no perturbado y ordenado normalmente en relación con el suelo (Rusch, 1973).

La diferencia entre uno y otro es la siguiente: la fertilización artificial (inorgánica), antepone el aprovisionamiento de los elementos nutritivos de las plantas, en tanto que la fertilización biológica u orgánica tiene como base promover el funcionamiento del "Ciclo de las sustancias Vivientes". Cuando este ciclo funciona normalmente, aparece lo que los científicos llaman el "equilibrio dinámico" y lo que hoy se conoce como el "equilibrio biológico" (Rusch, 1973).

Un análisis comparativo de los efectos que se observan en los sistemas de producción agrícola cuando se manejan ya sea con base en la fertilización química artificial o bien con base en la fertilización biorgánica, se describen en el Cuadro 2, según trabajos de Rusch (1973).

CUADRO 2. Fertilización artificial y fertilización biorgánica: observaciones hechas según el tipo de alimento dado a las plantas y sus consecuencias.

FERTILIZACIÓN ARTIFICIAL	FERTILIZACIÓN BIORGÁNICA
1-Pérdidas importantes de fertilizantes por causa de insolubilización, lavado y evaporación.	1-Las pérdidas de fertilizantes son excluidas y la insolubilización es imposible.
2-La estructura del suelo se destruye a medida que se intensifica el suministro de abonos.	2-La estructura del suelo se mejora y se estabiliza por medio del abono orgánico.
3-Formación de dos capas del suelo: la superficial y la suela (capa dura del suelo) .	3-Desaparece la suela de arado y la capa superficial se hace granulosa.
4-La necesidad de abonos químicos, aumenta de modo permanente.	4-La necesidad de abonos orgánicos se reduce progresivamente a medida que se sana el suelo.
5-Los gastos de abonos químicos, limitan la compra de abonos orgánicos.	5-El gasto de abonos orgánicos hace innecesaria la compra de abonos químicos.
6-Peligro de inundación, erosión ocasionadas por el viento y el agua.	6-Debido a su estructura viviente, no hay inundaciones ni erosiones.
7-Los suelos se ahogan y disminuye su	7-La respiración y capacidad de

<p>capacidad de absorción de agua.</p> <p>8-Aumento continuo de ataques por enfermedades y parásitos, debido a reducción de la resistencia del suelo y de las plantas.</p> <p>9-Disminución progresiva de los marcos de la calidad biológica.</p> <p>10-El rendimiento no corresponde con los gastos para abonos y otros agroquímicos.</p> <p>11-Dependencia creciente, tanto por el suelo, como por las plantas, de los cambios de tiempo (sequías, aguaceros, heladas y otros).</p> <p>12-Los suelos abonados químicamente se hacen cada día más difíciles de trabajar.</p> <p>13-Desaparición progresiva de la fecundidad degeneración de las variedades, necesidad de cambio (muy a menudo) de las semillas.</p> <p>14-Dependencia creciente hacia los fitosanitarios: incremento del envenenamiento del suelo y de los alimentos producidos.</p> <p>15-Pérdidas nutritivas crecientes al cocinar los alimentos</p> <p>16-Pérdidas en la conservación y disminución del período de la vida de anaquel.</p>	<p>absorción del agua en los suelos es máxima.</p> <p>8-Aumento continuo de la resistencia del suelo y de las plantas hacia los ataques de enfermedades y parásitos.</p> <p>9-Regreso a los marcos de la calidad biológica.</p> <p>10-El rendimiento aumenta con la actividad del suelo.</p> <p>11-Dependencia reducida del suelo y de las plantas con respecto a cambio de tiempo. Retención óptima del agua y riesgos reducidos de congelamiento.</p> <p>12-Las economías se realizan siempre en el trabajo del suelo con la agricultura biorgánica.</p> <p>13-Ninguna disminución de la fecundidad en alguna parte de la cadena.</p> <p>14-Gastos para fitosanitarios son muy bajos y en disminución: ninguna utilización de productos tóxicos y los alimentos producidos NO contienen venenos.</p> <p>15-Casi sin pérdidas al cocinar estos alimentos.</p> <p>16-Sin pérdidas cualitativas ni cuantitativas en la conservación y prolongación de la vida de anaquel.</p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: Rusch, 1973.

Nutrición vegetal integrada

Como se ha dicho arriba, la aplicación de la materia orgánica en el suelo, promueve la actividad biológica, la capacidad de intercambio de nutrimentos, el equilibrio del agua y la estructura del suelo. Como consecuencia, los campos están menos propensos a la erosión. Una mejor retención de los nutrimentos del suelo y un mejor desarrollo radical del cultivo que se alcanza con tal práctica de restitución orgánica, ayudan finalmente a mejorar la eficiencia de los fertilizantes minerales sobre el rendimiento de la cosecha, haciendo así más económico su uso.

Consecuentemente, debería haber un manejo adecuado de los recursos, tal como una nutrición vegetal integrada, de acuerdo con FAO, lo cual implica un uso integrado de los fertilizantes minerales junto con los abonos orgánicos y donde sea adecuado el uso de inóculos microbianos para promover la fijación del nitrógeno y otros elementos nutritivos (Roy, 1993).

Aún en sistemas de cultivos altamente intensivos a base de fertilización mineral, ésta debería acompañarse con restituciones regulares de abonos orgánicos económicamente competitivos, para evitar la degradación del suelo y mantener de este modo y aún mejorar, su fertilidad. De acuerdo con la FAO que aboga por este sistema integrado de nutrición vegetal el uso combinado de diferentes fuentes de nutrimentos incrementará los rendimientos por encima del nivel que se obtiene aplicando iguales cantidades de nutrimentos de cualquiera de las fuentes, pero solas (Schoningh y Wichmann, 1990).

En consecuencia, como lo sugiere Gligo (1986), la agricultura química debe hacerse bajo la concepción orgánica que es la que debe dar las bases científicas que interpreten los cambios en la fisiología de los ecosistemas y de los recursos de éstos. En una concepción moderna de la agricultura, ambos sistemas (químico y orgánico) no son excluyentes, sino que son complementarios, siempre que la agricultura química sea parte de una concepción integral biológica.

Consideraciones generales

En los trópicos la materia orgánica se disocia muy rápidamente, basta que exista oxígeno suficiente, calor y humedad. Cada suelo, según su tenor de arcilla, posee un nivel mínimo de materia orgánica que prácticamente no pierde. Sin embargo, un contenido mínimo de humus es insuficiente para mantener la estructura grumosa y un nivel satisfactorio de producción. En la Foto 1 en páginas centrales nótese la respuesta de un cultivo de café con y sin aplicación de bioabono.

Cuando la materia orgánica que se incorpora al suelo se encuentra además humificada, trae consigo más beneficios, como por ejemplo: aumento del poder "buffer", es decir, el aumento a la resistencia contra las variaciones bruscas del pH, lo cual es particularmente importante para aquellos suelos que se fertilizan químicamente.

Mejorando las propiedades físicas del suelo, estimulado la absorción de elementos nutritivos, abasteciendo de elementos fertilizantes a las plantas, asegurando una mayor disponibilidad de agua y activando la vida microbiana del suelo, el humus crea condiciones de vida para la planta cultivada y le permite producir más (Ferruzi, 1986).

Por otro lado, la adición de materia orgánica en el suelo, contribuye a la diversidad de la micro y macro vida terrestre. La reproducción de las lombrices de tierra, se ve altamente favorecida en suelos ricos en materia orgánica. Sabido es el papel que juegan las lombrices de tierra en el suelo, debido a sus acciones metabólicas, mecánicas y biológicas.

CAPITULO III

La bioconversión de los residuos y su aprovechamiento

"Debemos afirmar, hoy más que nunca, la urgente necesidad de revertir la pauta de comportamiento que conduce a preocupantes formas de contaminación"

Juan Pablo II (1920-)

Los residuos orgánicos, clave para una agricultura sostenible.

Con la marginación y el desplazamiento progresivo de los abonos orgánicos por los fertilizantes sintéticos, el problema del manejo de los residuos y desechos, se convirtió más en un peligro ambiental que en un recurso.

Sin embargo, todas las materias orgánicas continúan siendo en realidad una fuente de vida nueva para los suelos, una fuente de energía y renovación.

La recirculación de materias orgánicas es la utilización de éstas, previa una conversión biológica o no, para sostener o mejorar la productividad de las tierras cultivadas; mejoría que se evidenciará con el recirculamiento adecuadamente manejado, como se explicará más adelante.

Con el alza continua de los precios de los fertilizantes sintéticos, así como la amenazante escasez de energía, obliga a buscar alternativas viables que, como las materias orgánicas, constituyen una fuente renovable, disponible y barata de energía.

Cuando se dispone de procesos de base biotecnológica ya probados y maduros, los residuos orgánicos ofrecen un enorme

potencial para ser aprovechados. En los espacios siguientes nos referiremos a algunas de las posibilidades de utilización de tales residuos que tienen que ver con las siguientes áreas: a) Producción de hongos comestibles. b) producción de alimentos para animales y c) producción de biocompostes.

Los programas de desarrollo que se lleguen a ejecutar para aprovechar tales residuos orgánicos, no sólo contribuirán a resolver el grave problema actual de la contaminación ambiental, sino que adecuadamente manejados coadyuvarán a mejorar aspectos cruciales de la agricultura, valorizándolo apropiadamente, que sentarán las bases para asegurar la producción futura de alimentos sanos y equilibrados.

Producción de hongos comestibles

El cultivo de hongos comestibles constituye una alternativa biotecnológica viable para satisfacer el déficit crónico nutricional de grandes núcleos de habitantes en Latinoamérica. En 1984 más de 15 especies de hongos, agrupadas en varios géneros, eran cultivadas comercialmente a gran escala en diferentes partes del mundo; 13 de las cuales se encuentran creciendo en forma natural en diferentes zonas de México (Martínez, et al, 1984) y consecuentemente pueden producirse en dicho país, según se indica en el Cuadro 03 siguiente.

Aparte del champiñón (*Agaricus bisporus* (Lange) Imbach), ya es posible cultivar comercialmente, los siguientes: *P.ostreatus*, *V. bakerii* y *Lentinus edodes*, y con base en trabajos desarrollados por el micólogo mexicano Gastón Guzmán y colaboradores, se ha logrado la obtención de cepas puras, para su cultivo. Vale decir que dichas especies son cultivadas y a veces reconocidas con diferente denominación en países de Asia y África, constituyendo importante fuente de trabajo y de ingresos. El Cuadro 4 muestra la clase de subproductos orgánicos que se pueden utilizar como medios de cultivo de estas especies de hongos.

De acuerdo a resultados experimentales es posible obtener hasta 146 kg de hongos frescos por tonelada de broza (pulpa) fresca

de café en un total de cuatro cosechas durante un periodo de 40-45 días. En Foto 2 de páginas centrales *P.ostreatus* sobre broza de café.

Cuadro 3 Especies de hongos comestibles que crecen en México susceptibles de ser cultivados comercialmente.

<p><i>Agaricus bitorquis</i> (Qué) Sacc <i>Flammulina velutipes</i> (Curt. ex Fr.) Sing <i>Pholiota mutabilis</i> (Schaef ex Fr.) Kumm <i>Lentinus cubensis</i> (B.&C.) Sing <i>Pleurotus Smithi</i> Guzmán <i>P.cornucopiae</i> (Paul ex.Fr.) Sing <i>P.ostreatus</i> (Jacq.ex.Fr.) Gill <i>Volvariella bombycina</i> (Schaeff.ex.Fr.) Sing <i>V.bakerii</i> (Murr.) Shaffer <i>Auricularia fusco-succinea</i> (Mont.) Farl <i>A.polytricha</i> (Mont,) Sacc <i>Tremella fuciformis</i> Berk <i>Dictyphora indusiata</i> (Vent.ex.Pers.) Swsv.</p>

Cuadro 4. Clase de residuos agroindustriales y forestales utilizables para el cultivo de algunos hongos comestibles.

Hongo	Clase de residuos
<i>P. ostreatus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • trozos de encino y de otras especies maderables de difícil o nulo empleo productivo • pulpa de café, de cacao y de nuez, bagazo de caña de azúcar y de henequén paja de cebada, de trigo y de otras gramíneas aserrín y otros muchos residuos celulósicos
<i>V. bakerii</i>	<ul style="list-style-type: none"> • bagazo de la caña de azúcar y del henequén • paja de arroz y de otros productos secundarios • rastrojo de maíz, hojarasca de aguacate • residuos de cítricos • otros subproductos celulósicos.
<i>V. volvacea</i>	
<i>L. edodes</i>	
<i>L. cubensis</i>	

Producción de alimentos para animales

Como puede observarse, una de las opciones más viables y prometedoras de la utilización práctica de los residuos agroindustriales, como el de la broza (pulpa) del café y el bagazo de la caña de azúcar, sería la del cultivo de *P. ostreatus* y de *V. bakerii*. El bagazo resultante ya degradado por el hongo puede ser utilizado como forraje. Es interesante señalar que tanto *Pleurotus ostreatus* como *V. bakerii* son comunes en zonas subtropicales, en donde crecen sobre diversos desechos orgánicos, tales como troncos podridos, mantillo (humus), caña de azúcar y de henequén (Guzmán, 1977).

Respecto a la broza del café, como se menciona arriba, una vez que ha sido utilizada para el cultivo del hongo, se puede utilizar como ingrediente en la elaboración de alimentos para el ganado, tomando en cuenta los siguientes conceptos: a) el contenido de cafeína que originalmente anda entre 0,8 y 1,2% en la pulpa, merced al tratamiento previo al cultivo, se reduce hasta un contenido final de 0.2%. b) otros compuestos orgánicos tales como la lignina taninos y fenoles que constituyen factores antifisiológicos para la utilización de la celulosa y algunas proteínas por los animales, es posible esperar una reducción de tales compuestos, debido a la acción fenoloxidasa que posee el hongo *P. ostreatus* para atacar compuestos fenólicos y sus derivados, incluyéndose la lignina, y c) el residuo de la pulpa ya utilizada, posee micelio del propio hongo, el cual es rico en proteínas, quedando bastante digerible y con una mayor cantidad de celulosa disponible.

Abonos orgánicos, compost y biocompost

Al hablar de abonos orgánicos nos referimos a aquellas masas voluminosas compuestas de excrementos de animales mezcladas con residuos orgánicos, paja y desechos orgánicos. Dicho material es conocido con el nombre de compost, cuando está tratado por un método especial. Compost es una palabra formada de dos voces latinas: *com* (junto) y *positus* (colocado). Así, un compost, como su nombre lo indica, es una "mezcla". Sin embargo, es algo más que eso. Un compost se puede hacer sólo si se "colocan juntos" los materiales

adecuados y se deja que la masa orgánica permanezca bajo ciertas condiciones de humedad, temperatura y oxigenación, de manera que se favorezca un proceso de fermentación aeróbica para biotransformar los desechos así mezclados, en un material final denominado "humus".

El biocompost, según debe entenderse en este caso, es el producto fermentado de uno o varios desechos orgánicos mediante el uso de un catalizador orgánico y el cuidadoso control del proceso de biodegradación. Este biocompost es una fuente de humus, ácidos húmicos, una serie de elementos traza y una elevada carga de microorganismos benéficos al suelo.

La bioconversión de los residuos orgánicos y las lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*)

Se trata de una de las aplicaciones tradicionales de la biotecnología, y que se remonta a la noche de los tiempos, relacionada con las más viejas culturas orientales, particularmente la hindú y la china. El compost y la lombriz de tierra es pues una de las instituciones más antiguas y honorables de la agricultura.

Por su parte, los antiguos agricultores romanos sabían y valoraban el compost, lo mismo que los árabes y los egipcios. Asimismo, en el antiguo Egipto se consideraba a la lombriz de tierra como un organismo enormemente valioso, a tal extremo que tenían previstos castigos muy severos a quien se le encontrara traficando con tales anélidos fuera del reino (Ferruz, 1986).

Como se sabe, la lombriz de tierra es conocida desde tiempo inmemorial como el animal ecológico por excelencia. Transforma todos los residuos de la sociedad humana en un humus de óptima calidad, que devuelto al suelo lo revitaliza. En efecto, el humus de las lombrices debe su enorme poder, o valor, sobre todo a la flora microbiana que contiene, por lo que, más que un elemento biofertilizante, debería ser considerado un elemento corrector del suelo. Los análisis bacteriológicos del humus que se obtiene en explotaciones intensivas de lombrices, demuestran contenidos que

van de $1,3 \times 10^6$ hasta 6×10^{11} colonias bacterianas por gramo en distintas muestras analizadas. Esto es muy importante, ya que es muy superior a los abonos orgánicos de alta calidad cuyas cargas bacterianas andan al rededor de 5×10^9 (Ferruzi, 1983).

El cubrimiento superficial del suelo con compost nutritivo

Los experimentos comparativos entre suelos cubiertos y suelos desnudos muestran que el cubrimiento orgánico es la condición indispensable para lograr una actividad biológica óptima del suelo.

1. Al cubrir el suelo, se le protege contra los rayos directos del sol, los cuales causan daños considerables al desarrollo de los microorganismos que impiden la formación de una estructura celular óptima.
2. El cubrimiento impide la acción mecánica destructora de las precipitaciones fuertes sobre la estructura celular en formación, y porque así se amortiguan los choques de las gotas de agua.
3. Cubriendo el suelo se reduce considerablemente la evaporación y contribuye así a regular la formación de la estructura granulosa. Este cubrimiento es todavía más importante y hasta indispensable en suelos livianos, especialmente arenosos.
4. El cubrimiento del suelo con compost permite la transformación de los desechos orgánicos que se depositen ya sea debajo o sobre la cubierta de compost en la proximidad inmediata de la superficie del suelo y favorece el trabajo de los animales pequeños (como el de las lombrices) dentro de la tierra, tal como sería la formación de la estructura granulosa.
5. El cubrimiento del suelo con compost, reduce las variaciones bruscas de la temperatura, como sucede en zonas donde se presentan bajas temperaturas invernales.
6. El cubrimiento del suelo con materias orgánicas constituye un alimento durable para el "organismo" suelo.

7. El cubrimiento del suelo con compost protege en todos los casos de la acción desfavorable sobre la rizoesfera, de parte de las masas orgánicas en descomposición, acción de la cual se conoce el efecto negativo sobre la calidad biológica y la salud de las plantas. Una única cosa tiene que ser evitada: la capa de cobertura orgánica no tiene que formar una capa impermeable, ya que esto conduciría a un proceso de putrefacción anaeróbica. Esto dependerá de que no se utilicen materias que puedan formar una pantalla (follaje) ni que se aplique una capa muy gruesa de compost, a fin de favorecer siempre un proceso aeróbico (Rusch, 1973).

La producción de biocompost de alta calidad

El manejo adecuado de los residuos provenientes de la actividad agroindustrial, para su bio-conversión en componentes de alta calidad y su recirculamiento a las unidades de producción agrícolas, contribuiría definitivamente a resolver casi todos los problemas ya mencionados (Cruz, 1992). El uso de los desechos frescos tal como salen de las plantas agroindustriales, presenta el serio inconveniente de su elevado contenido de agua. Esto, a su vez, no sólo dificulta su manejo en el campo, sino que además incrementa el costo de acarreo enormemente. Por otro lado, no es conveniente aplicar tales desechos directamente al suelo, pues en su fase crítica fermentativa que tiene lugar rápida y naturalmente, ocasiona elevaciones de temperatura de la masa, la cual puede afectar el sistema radical de las plantas. Asimismo, la falta de buen manejo en el campo favorece el desarrollo de plagas tales como moscas y emanación de malos olores y el hecho de que se reproduzcan plagas indeseables como el *Phyllophaga* sp (gallina ciega o joboto).

En síntesis, los desechos y residuos agropecuarios tal como se les maneja y dispone hoy en día en muchos países mesoamericanos, efectivamente contribuyen a agravar la problemática agro-sanitario-ambiental, sin embargo, a través de su adecuado tratamiento tales desechos dejarían de ser parte del problema, para convertirse en parte de la solución. Visto desde esta nueva óptica, los materiales que actualmente denominamos desechos o residuos adquieren el status de

materias primas orgánicas, como base para la fabricación de biocompost.

En el Cuadro 5 se indican a título de ejemplo, algunas de las actividades agroindustriales y los residuos que pueden ser aprovechados para la obtención de biocompost, mediante el sistema de biodegradación controlada que más adelante se describe.

Cuadro 5. Tipo de agroindustria y sus residuos susceptibles de ser biotransformados y aprovechados.

Tipo de actividad	Clases de materias orgánicas (residuos) que generan
<p>1 Industrias Agrícolas:</p> <p>Beneficios de café Empacadoras de banano Fábricas de harina y puré de banano Ingenios azucareros</p> <p>Extractora de jugos de frutas cítricas (naranja, piña, mango, papaya, guanábana, etc.).</p> <p>Molinos de arroz Secado y desgranado de maíz Plantas extractoras de aceite Empacadoras de hortalizas</p>	<p>broza o pulpa de café, cascarilla pinzote o raquis, banano verde cáscaras de banano</p> <p>cachaza, bagazo y hoja-caña de la caña de azúcar y cenizas</p> <p>cáscaras de la fruta, semillas, corazones y coronas (follaje)</p> <p>granza de arroz y cascarilla olote, tuza, tamo y maizuelo bagazo de fruta de palma aceitera residuos vegetales de toda clase</p>
<p>2 Industrias pecuarias:</p> <p>Plantas avícolas Mataderos municipales y Plantas procesadoras de ganado Ganado estabulado Granjas porcinas</p>	<p>gallinaza, cuita y borucha</p> <p>boñiga, huesos, sangre boñiga y residuos de piensos estiércol</p>
<p>3 Industria Forestal:</p> <p>Aserraderos Fábricas de cartón</p>	<p>aserrín, virutas y desperdicios efluentes semi-sólidos de pulpa</p>

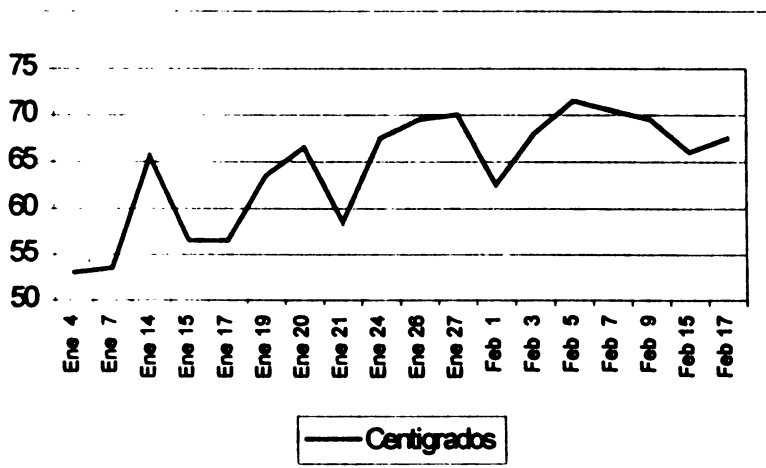
Fuente: Servicios Técnicos Interamericanos, S.A (SERVITECNIA)

Lo esencial del proceso de biodegradación controlada

Contrario a los sistemas de alto uso de energía, el sistema de biodegradación controlada, tal como lo hemos logrado adaptar en Costa Rica, es uno de los más eficientes, por cuanto hace uso del mínimo de equipos de energía, basando su sistema en principios biotecnológicos. Dicho principio se sustenta en el uso de catalizadores apropiados que, perfeccionados y adaptados al medio tropical, permiten inducir una fermentación básicamente aeróbica sobre los desechos orgánicos, para propiciar su adecuada biodegradación orientada hacia la humificación de sus componentes principales, representados éstos por una serie de sustancias orgánicas, tales como: a) Compuestos estructurales (celulosas, hemicelulosas y ligninas), b) Materiales de reserva (almidones proteínas y lípidos) y c) Principios inmediatos de las células (azúcares, almidones y proteínas). Esto, por cuanto sabemos que la velocidad y magnitud de la descomposición de la materia orgánica dependerá de la población microbiana activa, la cual a su vez, depende de diversos factores ecológicos y del contenido de nitrógeno de los residuos por descomponer, respecto al porcentaje de carbono orgánico.

Otros factores como temperatura y humedad ejercen una influencia decisiva sobre la actividad, de modo que, como parte del control de calidad que se aplica durante el proceso de fermentación, deberá procurarse que la temperatura se mantenga en un rango comprendido entre los 60 a 65 grados C y la humedad alrededor del 60%. Otro factor importante lo constituye la presencia de oxígeno, cuya carencia se refleja precisamente en la evolución del comportamiento temperatura- humedad. Una forma práctica de enriquecer la masa del O₂ consiste en airearla, por remoción de la masa, sin embargo debe tenerse el cuidado de no excederse, porque entre otras cosas se verían afectados la temperatura y los costos de operación. Tampoco se deben reducir dichas operaciones de aireación al mínimo, porque entonces se favorecen condiciones anaeróbicas que son indeseables para el proceso. No se usa tierra durante el proceso de fermentación. Una secuencia de las principales operaciones involucradas en el proceso se muestra en las Fotos 3, 4, 5, 6, 7, y 8 de páginas centrales.

En la gráfica (Figura 1) se observa la evolución del proceso en relación a sus temperaturas.



Fuente: Servicios Técnicos Interamericanos, S.A (SERVITECNIA)

Figura 1. Gráfica de las temperaturas aeróbicas de una pila de biocompost hecho con base en la cachaza de caña de azúcar.

El material previamente inoculado, se maneja en forma de camellones o pilas elevadas a ras del suelo, recurriendo al uso de un cargador frontal, fundamentalmente. Se realizan muestreos para su correspondiente análisis químico. El tiempo que el material pasará en el área de procesamiento dependerá del uso o destino final del producto. Para usarse como acondicionador de suelos, requiere un tiempo de 5 a 7 semanas, pero si se usa como biofertilizante requerirá de 8 a 12 semanas o más, por decir un ejemplo, sin embargo, existen otros usos. Las características del producto se modifican a medida que transcurre el tiempo debido a que a diferencia de los fertilizantes inorgánicos los biocompostes son complejos orgánicos biológicos activos, especialmente si mantienen un contenido de humedad adecuada para que los procesos puedan continuar, hasta que eventualmente se presenta el fenómeno de la mineralización por consiguiente, deberá mantenerse una adecuada coordinación entre los encargados de la producción, y los administradores de fincas para

determinar los momentos óptimos de salida y uso de estos abonos o acondicionadores orgánicos en el campo.

Resultados de análisis químico de biocompost

En el Cuadro 6 se presentan cinco muestras distintas de biocompost y sus correspondientes resultados.

Cuadro 6. Resultados de análisis químico efectuados a muestra de biocompost preparado por Servitecnia en Costa Rica.

Materia Prima Oránica Básica Utilizada						
Análisis	Unidad	Broza	Cachaza	Gallinaza	Lirio	Doméstico
pH		6,6	5,43	8,97	7,49	7,3
Sales solubles	%	n.e	3,8	4,5	0,60	1,11
Materia orgánica	%	30,0	68,6	n.e	34,7	29,8
Cenizas	%	n.e	31,4	n.e	65,3	n.e
Nitrógeno	%	0,18	2,32	2,00	0,86	1,53
Fósforo	ppm	735	3980	10700	144	1200
Potasio	ppm	6*	4800	16700	2250	4100
Calcio	ppm	32*	9300	4290	3750	4500
Magnesio	ppm	9*	1400	2310	785	1400
Boro	ppm	n.e	56	10	3	5
Zinc	ppm	1	25	22	9	35
Hierro	ppm	92	108	43	34	7
Manganeso	ppm	57	85	10	48	18
Aluminio	ppm	0,1*	9	130	11	24
Cobre	ppm	7	7	3	2	0,6

Materia Prima	Fuente Principal
Cachaza	ingenio azucarero
Gallinaza	planta avícola
Lirio acuático	presa hidroeléctrica
Desechos domésticos	basura municipal
Broza del café	beneficio de café

Fuente: Servicios Técnicos Interamericanos, S.A (SERVITECNIA)

Resultado de análisis microbiológico

La biotecnología adaptada por el autor en Costa Rica durante los últimos ocho años hace factible a escala industrial la obtención de un biocompost libre de larvas o de huevecillos de insectos plaga, así como de gérmenes patógenos y al mismo tiempo, mediante la aplicación de un riguroso control de calidad es posible elevar la carga microbiana benéfica al suelo en cantidades que sobrepasarían los 400 billones por gramo del producto final. El análisis microbiológico y parasitológico practicado por el Departamento de investigación epidemiológica del Ministerio de Salud, reveló asimismo el recuento de hongos y levaduras en el orden de 3×10^6 /g. como se indica en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Resultados del análisis microbiológico de una muestra de biocompost hecho en Costa Rica, por SERVITECNIA en 1992.

1. Recuento bacteriano total: más de 4×10^{14}
2. Recuento de hongos y levaduras: 3×10^6
3. Salmonella en 25 ng: negativa
4. *Staphylococcus* sp coagulada positiva: menos de 10/g
5. Estudio por *Clostridium* sp sulfito-reductores 3×10^8

Fuente: Laboratorio de investigación. Ministerio de Salud

Como se sabe, los procesos bacteriológicos estimulados por un bioacondicionador de suelos de tan alta concentración bacteriana, permiten liberar unos elementos minerales necesarios a la nutrición de las plantas, y provocan la solubilidad de los componentes insolubles que existen en el suelo y debido al control de calidad que se impone en el sistema de biodegradación controlada, se asegura la destrucción de microorganismos patógenos que transportan toda clase de enfermedades, así como de semillas viables de mala yerbas y otros parásitos. Este efecto se logra mediante un doble ciclo de

pasteurización. Esto no se practica en otros sistemas convencionales y es causa eficiente para que el producto salga contaminado.

Al respecto, el citado Departamento de investigación epidemiológica, después de efectuados los correspondientes análisis, ha emitido dictamen aprobatorio, acotando que "las muestras analizadas no representan un riesgo adicional a cualquier otro producto utilizado en la agricultura, tales como los abonos o fertilizantes químicos, pesticidas, etc. Por lo tanto, con la simple práctica de las medidas higiénicas comunes y corrientes el producto en referencia no constituye riesgo para las personas que lo manipulan".

Control de calidad

Este aspecto representa en sí un "área gris" cuando se trata de evaluar sistemas dedicados a la producción de biocompostes de alta calidad. El sistema CANAMEX tiene en el control de calidad, su columna vertebral. El cuidadoso control de la acción bacteriana no sirve tan sólo para asegurar la destrucción de los gérmenes patógenos y darle estabilidad al producto, sino también para reducir innecesarias y onerosas operaciones de volteo o remoción del material durante la fase de fermentación.

Características de un biocompost de alta calidad

1. Es un material estabilizado biológicamente, ya que no desprende malos olores ni genera elevación de temperaturas.
2. Contiene una proporción significativamente alta de materia orgánica pre-humificada.
3. Contiene apreciables cantidades de microelementos, aunque muy bajos en elementos mayores.
4. Posee un pH ligeramente inferior al 7,1 así como una estructura porosa, color café oscuro y un tamaño, uniforme de sus agregados.
5. No contiene larvas ni huevecillos de insectos plaga, pero si de lombrices de tierra.

6. Se encuentra libre de gérmenes patógenos tanto para el hombre como para las plantas y posee, en cambio, una elevada carga microbiana (bacterias, levaduras y hongos), benéficos del suelo.
7. Está libre de materiales extraños tales como: vidrio, piedras, plásticos, etc.
8. No contiene semillas viables de malas hierbas.
9. No contiene tierra, ya que el proceso utilizado no hace uso de ésta.
10. No contiene residuos de plaguicidas.
11. No contiene elementos pesados, o bien éstos están presentes en niveles que no sobrepasan los límites fijados por los organismos especializados.
12. El contenido de humedad y el hecho de ser un material granulado pulverulento, facilita su aplicación en el campo ya sea a mano o con ayuda de quipos mecánicos apropiados.

Inconvenientes de utilizar desechos sin previo tratamiento

Debe considerarse que la aplicación de estiércoles o de gallinaza "crudos" al suelo, no solo resulta ser antieconómica, sino que desde el punto de vista sanitario es antirecomendable. En cuanto a lo primero, es evidente que el acarreo y manejo de grandes volúmenes de estos desechos ocasiona gastos muy elevados, no menos evidente pero definitivamente comprobado, es el hecho de que 30 toneladas de estiércol surten el mismo efecto biológico que una tonelada de un buen biocompost¹, cuando se aplica a un suelo agrícola, según pruebas conducidas en Europa. Por lo que respecta a la calidad sanitaria, la situación es muy seria, ya que como sabemos, la mayoría de los microorganismos patógenos al hombre, lo mismo que muchos parásitos mueren a temperaturas cuyo rango oscila entre los 55 y 65 grados C. Estas temperaturas letales no se alcanzan ni se sostienen por tiempos prolongados con el calentamiento de los estiércoles o de las

¹ Se requieren unas 2,5 toneladas de estiércol fresco para obtener una tonelada de biocompost, y por lo tanto las 30 t/ha de estiércol crudo, pueden rendir una vez convertido en biocompost para aplicarse en 12 ha de terreno; ahorrándose también el acarreo y distribución de las 18 t que se pierden o transforman durante el proceso de biocompostaje.

cuitas de gallina que se esparcen sobre el suelo, siendo ésta una de las razones técnicas principales por las cuales debiera ser prohibida dicha práctica, porque no sólo no se destruyen tales patógenos, sino que se multiplican, merced a que se favorecen las condiciones de su desarrollo, particularmente la flora mesófila.

Optimización de los costos de producción

En buena medida, los costos de producción de biocompost están influenciados por varios factores, a saber: a) tamaño o escala de producción, b) estacionalidad de la generación de las materias primas (residuos orgánicos), c) duración del proceso, el cual depende de la tecnología aplicada, d) rendimientos obtenidos, el cual es función de la clase de las materias primas y de lo dicho en el punto (e) del manejo mismo de los materiales durante el proceso de biodegradación, lo cual es función directa de la tecnología y de varios otros factores de localización y temporales (climáticos), f) finalmente, del grado de acabado y presentación final del producto, lo cual a su vez, depende del destino (venta a terceros o uso en la finca), del mismo.

Para aquellas empresas que disponen de sus propios residuos, tal como sería el caso de los beneficios de café, ingenios azucareros, plantas empacadoras de banano, etc, quizás el mayor peso del costo pueda residir en la extensión del terreno que se destinará al proceso y el tiempo que el material permanecerá en el mismo, ya que terreno y tiempo, son factores importantes.

En este sentido, la tecnología "Canamex", ha logrado considerables avances, pues ha incidido en dos aspectos relevantes del costo: por un lado, se ha acelerado el tiempo de biodegradación, obteniéndose un biocompost en un tiempo récord de 5 a 7 semanas y por otro lado, se ha disminuido la frecuencia de remoción del material en forma considerable, unas tres a lo sumo, ya que en lugar de proceder a hacer remociones rutinariamente, se aplica un riguroso sistema de control del proceso, el cual se traduce en ahorros de uso de maquinaria, combustibles y mano de obra. Ambos factores: corta duración y poco uso de equipo, redundan en un menor requerimiento

de espacio y en consecuencia, menor costo de producción. Adicionalmente, debido a que el proceso controla adecuadamente las emanaciones que resultan de un material orgánico en vía de descomposición, así como la proliferación de moscas y otros inconvenientes comunes, se puede establecer la unidad de biocompostage relativamente próxima a la fuente de residuos con lo cual también se tiene un ahorro en los costos de acarreo.

Consideraciones finales

1. Tomando en cuenta que por cada millón de toneladas de residuos agroindustriales que se logren biotransformar, se pueden obtener alrededor de 400.000 t, de biocompost. Esta cantidad es suficiente para poder enmendar o abonar unas 100.000 ha anualmente. Dicha práctica de restitución orgánica debiera fomentarse no solo porque con ello se incide efectivamente en el control de la reducción de la contaminación ambiental, sino porque al mismo tiempo, constituye una medida instrumental, si no es que la única, en los esfuerzos de mejorar las condiciones físicoquímico y biológicas de los suelos.
2. El método y procedimiento adaptado en Costa Rica por el autor durante los últimos diez años, permite biodegradar toda clase de residuos orgánicos sólidos en forma eficiente obteniéndose en un período de 5 a 7 semanas un acondicionador orgánico biológico que ha dado en denominar biocompost, el cual reúne condiciones sanitarias y agronómicas muy interesantes. Una adecuada combinación de aspectos mecánicos y biológicos con un enfoque económico, permite obtener no solamente un biocompost de alta calidad, sino a un costo competitivo a escala industrial.
3. En síntesis, la alternativa del recirculamiento orgánico de los residuos agroindustriales, mediante la aplicación de una biotecnología como la que se ha logrado adaptar aquí para la conversión de biocompost de alta calidad, constituye sin duda la forma más eficaz para alcanzar los siguientes beneficios prácticos: a) resolver el grave problema de contaminación ambiental, b) aprovechar y revalorizar ingentes cantidades de recursos naturales renovables, c) mejorar la

productividad de los suelos agrícolas y d)propiciar una mejor calidad de vida, como resultado del reestablecimiento del "equilibrio biológico" del suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CRUZ, J. 1992. Obtención de compost de alta calidad. PROCIENCIA. (C.R.) 16 (87):4 - 6.**
- CHEMA, R. 1959. Generalidades sobre la materia orgánica y sus efectos físico-químicos en los suelos. Revista Chapingo (México) 77-78:415-433.**
- DUBOS, R. 1974. Lucha contra la contaminación. IN Biosfera. Un delicado equilibrio entre el hombre y naturaleza. Barcelona, UNESCO. p. 19-38.**
- GLIGO, N. 1986. Agricultura y medio ambiente en América Latina. San José, C.R., EDUCA. 248 p.**
- GROS, A. 1967. Abonos. Guía práctica de la fertilización. 7a. ed. Madrid, Ediciones Mundi.Prensa. 445 p.**
- GUZMÁN, G. 1987. Hongos. México, Editorial LIMUSA. 194 p.**
- MARTÍNEZ, D.; QUIRARTE, D.M.; SOTO, C.; SAIMONES, D.; GUZMÁN, G. 1988. Perspectivas sobre el cultivo de hongos comestibles en residuos agroindustriales en México. In Boletín de la Sociedad Mexicana de Micobiología 19:207-219.**
- MILTON, R. 1962. Functions of humus and compost. International Sugar Journal (G.B.) 64:224-227.**
- MOORE, W.G. 1971. Los recursos naturales; la agricultura. In El hombre y la tierra. Madrid, Salvat Editores. p. 93-130.**
- SCHÖNINGH, E.; WICHMANN, W. 1990. An alternative to mineral fertilizers for the LDCs. Fertilizer International 281:26-30.**

- SCHROO, H. s.f. Hechos prácticos sobre fertilidad del suelo, nutrición de cultivos y fertilización en los trópicos. Holanda, Albatros 66 p.
- CALDWELL, L.K. 1974. Lucha contra la contaminación. IN Hacia una política mundial sobre el medio. Barcelona, UNESCO. p. 129-140.
- FERRUZI, C. 1986. Manual de lombricultura. Madrid, Ediciones Mundi-Prensa. 138 pp.
- FRASER, F.D. 1974. Lucha contra la contaminación. In La Tierra muere con sus árboles. Aire y agua enfermos de plagas nuevas. Barcelona, UNESCO. p. 59-86.
- PRIMAVESI, A. 1984. Manejo ecológico del suelo. IN La materia orgánica. 5a ed. Librería El Ateneo. Bs.As. p. 95-117.
- ROY, R.N. 1993. Expert consultations on integrated plant nutrition systems. Roma, FAO, 13-15 de diciembre. 19 p.
- RUSCH, H.P. 1973. Fecundité du sol. París, Le courrier du Livre. 311 p.
- RUSSELL, E.W. 1983. Report on radionics. Gran Bretaña, Neville Spearman Limited. 253 p.
- WARD, B. 1974. Lucha contra la contaminación. In Para que la Tierra no se consuma. Barcelona, UNESCO. p. 143-151.

REFERENCIAS PERIODÍSTICAS

GONZÁLEZ, P. 1992. Pérdida de 500 millones de tons. Excelsior, México, D.F. Agosto 5, p. 1 y 10.

ECO. 1990. Paz con Dios Creador - Paz con toda la creación
Mensaje de Su Santidad Juan Pablo II para la celebración de la
Jornada Mundial de la Paz. San José, Costa Rica. Enero 10.

LA NACIÓN. 1989. Nueva especie de hongo. San José (C.R.).
Agosto 22.

VÁSQUEZ, W.B. 1994. Situación actual del manejo de desechos
generados por Costa Rica. Presentado en: Taller sobre Manejo de
los Desechos Sólidos y Peligrosos (San José, C.R., 1994). Ponencia.

¿QUE ES EL IICA?

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) organismo especializado en agricultura del Sistema Interamericano.

Como organización hemisférica de cooperación técnica, el IICA posee capacidad, es flexible y creativo para responder a las necesidades de cooperación técnica en los países, a través de sus treinta y cuatro Agencias de Cooperación Técnica, sus cinco Centros Regionales y su Sede Central, de los cuales se coordina la implementación de estrategias adecuadas a las características de cada Región.

El Plan de Mediano Plazo (PMP) 1994-1998 constituye el marco estratégico que orienta las acciones del IICA para el período en referencia. Su objetivo general es apoyar a los Estados Miembros para lograr la sostenibilidad agropecuaria, en el marco de la integración hemisférica y como contribución al desarrollo rural humano.

El Instituto programa su trabajo con base en las transformaciones productivas, comerciales, institucionales y humanas de la agricultura, con un enfoque integrado y sistémico del desarrollo, sustentado en la competitividad, la equidad y la solidaridad como ingredientes esenciales para lograr el desarrollo sostenible de la agricultura y el medio rural.

Los Estados Miembros del IICA son: Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas (Commonwealth de las), Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Canadá, Chile, Colombia, Costa Rica, Dominica, Ecuador, El Salvador, Estados Unidos de América, Grenada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, St. Kitts y Nevis, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Suriname, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. Los Observadores Permanentes son: Alemania, Austria, Bélgica, Comunidades Europeas, España, Federación de Rusia, Francia, Hungría, Israel, Italia, Japón, Portugal, Reino de los Países Bajos, República Arabe de Egipto, República Checa, República de Corea, República de Polonia y Rumania.



Desarrollo y Sostenibilidad



Juntos hacia el servicio con calidad



INSTITUTO INTERAMERICANO DE COOPERACION PARA LA AGRICULTURA
Agencia del IICA en Costa Rica
Apartado 6742-1000 San José, Costa Rica • Teléfono 229-0222
Fax (506) 229-4689 • E-mail: iicacr@iica.ac.cr