

el reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de américa latina



INDICE

	Página
I. INTRODUCCION	1
II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LAS REUNIONES EN GRUPO	2
A. CONCLUSIONES ACERCA DE LA SITUACION ACTUAL CON RESPECTO AL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS ORGANICOS FN PAISES DE AMERICA LATINA	2
B. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LA UTILIZACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO	3
C. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DEL COMPOSTAJE Y UTILIZACION DE COMPOSTES	5
D. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE AZOLLA Y ALGAS	7
E. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LAS POSIBILIDADES DE LA PRODUCCION Y UTILIZACION DEL BIOGAS Y DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES EN AMERICA LATINA	8
F. PLAN DE ACCION A NIVEL REGIONAL PARA ESTIMULAR LA ADOPCION DE SISTEMAS DE RECICLAJE DE DESECHOS ORGANICOS EN LA AGRICULTURA LATINO AMERICANA	10
G. PLAN DE ACCION A NIVEL NACIONAL PARA ESTIMULAR LA ADOPCION DE SISTEMAS DE RECICLAJE DE DESECHOS ORGANICOS EN LA AGRICULTURA	10
H. FORMAS DE MANTENER E INCREMENTAR EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS. FORMULACION DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	12
III. PONENCIAS	16
A. INTRODUCCION AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS	16
La importancia actual del reciclaje de los residuos orgánicos para la Agricultura	16
P.L. Arens	
B. FIJACION SIMBIOTICA DEL NITROGENO SU UTILIZACION Y EL USO DE ABONOS VERDES	18
1. Fijación biológica del nitrógeno: sus posibilidades y limitaciones	18
Y.A. Hamdi	
2. Fijación del nitrógeno como una fuente adicional de energia en la Agricultura Tropical	32
A.P. Ruschel y P.B. Vose	

	Página
3. Producción de inoculantes en leguminosas Y sus principales problemas Y.A. Hamdi y A.P. Ruschel	45
4. La posible contribución de la fijación biológica del nitrógeno de los cultivos C. Ramirez	56
C. LA PREPARACION DEL COMPOSTE Y SU UTILIZACION EN LA AGRICULTURA	60
1. Experiencias con composte en países en vías de desarrollo G.B. Willson, J.F. Parr y L.J. Sikora	60
2. Utilización de desperdicios orgánicos como fuente de mejoramiento de la productividad de los suelos J.F. Parr, G.B. Willson, L.J. Sikora y J.M. Taylor	69
3. Adaptación del método Pila aireada de Beltsville para la preparación del composte para su uso en los países en vías de desarrollo L.J. Sikora, G.B. Willson y J.F. Parr	79
4. La pulpa de café como abono F. Suárez de Castro	89
D. LA UTILIZACION DE LA FIJACION DEL NITROGENO POR EL COMPLEJO AZOLLA-ANABAENA PARA LA PROVISION DEL NITROGENO EN LOS ARROZALES	92
1. Utilización de la Azolla en arrozales irrigados Y.A. Hamdi	92
2. Utilización de las algas verde-azuladas en arrozales irrigados Y.A. Hamdi	103
E. BIOGAS, SU PRODUCCION, UTILIZACION Y EL USO DE LOS RESIDUOS	112
1. Bioconversión: un sistema inte rando la producción de alimentos energía el mejoramiento del medio ambiente E. Werner	112
2. Bioconversión: Producción de energia utilizando desperdicios agrícolas E. Werner	118
3. Algunos datos sobre producción y utilización del biogas P.L. Arens	124

	Página
F. LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO SU IMPORTANCIA Y FORMAS DE MANTENERLA	127
1. Mantención del contenido de materia orgánica en los suelos en particular en suelos arenosos F. Gati	127
2. Comportamiento y aprovechamiento del fósforo orgánico E. Bornemisza	155
IV. LA SITUACION ACTUAL CON RESPECTO AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS EN PAISES DE AMERICA LATINA	161
A. INFORMES DE LOS PAISES PARTICIPANTES	161
1. El estado del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura en Bolivia J. Pascuali	161
2. Reciclaje de la materia orgánica en la agricultura brasileña C.V. Vaz, E. Lobato, G. Pereira y J. Pereira	168
3. Reciclaje de materias orgánicas en la agricultura colombiana R. Lora Silva	195
4. Compostaje y uso de residuos orgánicos en Costa Rica G. Ramirez	200
5. Algunos datos sobre el reciclaje de materias orgánicas en Guatemala C.E. Gutierrez	206
6. Experiencias con el uso de residuos orgánicos en la agricultura de México B. Figueroa	210
7. Utilización de la materia orgánicas en el Paraguay A. Fatecha	215
8. Reciclaje de la materia orgánica en la agricultura de la República Dominicana A.J. Reynoso	218
9. Informe de la situación en Uruguay D. Gómez	227
B. CUADROS DE LA DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS ORGANICOS Y SU UTILIZACION EN LA AGRICULTURA DE AMERICA LATINA	233

C.	UTILIZACION DE LA FIJACION DEL NITROGENO (SIMBIOTICA) EN LA AGRICULTURA DE AMERICA LATINA	Página 244
ANEXO 1 -	Programa	245
ANEXO 2 -	Lista de participantes	249

I. INTRODUCCION

Este boletín da a conocer los resultados de la Reunión-Taller sobre Reciclaje de Materias Orgánicas para la Agricultura realizada en San José, Costa Rica, entre el 7 y el 17 de julio de 1980. Esta Reunión-Taller fue auspiciada por la FAO, en virtud del Programa Cooperativo FAO/Gobiernos y contó con el apoyo financiero de la SIDA (Organización Sueca para el Desarrollo Internacional) y la valiosa colaboración del Gobierno de Costa Rica, que fue el país hospedante.

La FAO asigna gran importancia al tema del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura. En un contexto de crisis de los recursos energéticos tradicionales, los residuos orgánicos, a través del reciclaje, constituyen una fuente alternativa renovable de energía. Por otra parte, frente al alza de los precios de los fertilizantes químicos, el uso de las materias orgánicas como fuente de mejoramiento de la productividad de las tierras adquiere una gran importancia. Es necesario, por lo tanto, contribuir a cambiar el concepto según el cual los desechos y residuos orgánicos son una carga que debe ser eliminada y promover, en cambio, una concepción que considere estos subproductos como un recurso valioso que pueden ser aprovechados en la agricultura de muchas maneras mediante el reciclaje. En este sentido, el objetivo de la Reunión-Taller fue el de intensificar el interés en el reciclaje de materias orgánicas en América Latina y el de ayudar a los países participantes a formular programas de acción encaminados al aprovechamiento racional de este recurso.

La Reunión-Taller fue inaugurada por el Señor Ministro de Agricultura y Ganadería de Costa Rica, Dr. Hernán Fonseca Zamora y contó con la participación de delegados de doce países latinoamericanos y con el aporte de expertos en el tema provenientes de países de otros continentes en los que el reciclaje orgánico ha alcanzado un mayor desarrollo.

El temario de la reunión se concentró en las siguientes áreas principales ligadas al reciclaje de materias orgánicas:

- la utilización de la fijación biológica del nitrógeno y el uso de abonos verdes;
- el compostaje de residuos orgánicos y la utilización del composte en la agricultura;
- el biogas, su producción, utilización y el uso de los residuos abonos;
- la materia orgánica del suelo, su importancia y formas de mantenerla.

Los informes presentados por las diferentes delegaciones respecto del estado del reciclaje orgánico en sus países hizo posible la configuración de un cuadro aproximado de la disponibilidad de materias orgánicas en la región y del uso que se da a estos residuos y desechos. Igualmente, el examen de esta situación y de las posibilidades y vías de utilización racional de estos recursos en la agricultura permitió a los delegados y participantes formular conclusiones y recomendaciones, al igual que planes de acción a nivel nacional y regional orientados a estimular la adopción de sistemas de reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura latinoamericana. La aplicación resuelta por parte de los gobiernos de estas políticas y estrategias, a través de programas específicos destinados a introducir las tecnologías adecuadas del reciclaje orgánico, favorecerá, sin duda, el desarrollo de la producción agropecuaria y ayudará a crear, en último término, condiciones para un bienestar rural mayor en los países latinoamericanos.

En este Boletín los informes están reproducidos en el idioma de presentación (español o inglés). Todos los informes en inglés incluyen un resumen en español.

II. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DE LAS REUNIONES DE LOS GRUPOS DE TRABAJO

A - CONCLUSIONES ACERCA DE LA SITUACION ACTUAL CON RESPECTO AL RECICLAJE DE LAS MATERIAS ORGANICAS EN PAISES DE AMERICA LATINA

1. SITUACION ACTUAL

1.1 Los delegados presentaron un informe por país sobre la disponibilidad de distintos tipos de residuos que están o podrían ser aprovechados en el reciclaje de la materia orgánica con fines agrícolas. Se reconoció que este aprovechamiento, además de constituir una fuente de mejoramiento de la calidad de los suelos, contribuye al control de la contaminación ambiental.

1.2 Se pasó revista a la situación existente en los siguientes subproductos:

Municipales: residuos urbanos, aguas negras

Agro industriales: subproductos de caña, café, cacao, coco, etc.

Pecuarios: Estiércol ovino, bovino, equino, gallinaza y otros residuos.

Residuos de cosecha

Abonos verdes

1.3 De esta información pueden deducirse las siguientes conclusiones respecto al uso de estos residuos.

a. Salvo excepciones, la gran mayoría de los países no cuentan con programas de aprovechamiento de basuras ni de aguas negras. La disponibilidad de estos desechos son importantes como para pensar en su aprovechamiento. La contaminación ambiental derivada de la falta de tratamiento desechos llega a ser muy elevada en algunas ciudades incluyendo capitales países.

b. Los subproductos agroindustriales han recibido en general una mayor atención en cuanto a su aprovechamiento. Existen programas desarrollados y en desarrollo sobre todo para desechos de caña de azúcar y café. El potencial futuro de estos desechos como recursos para el reciclaje orgánico puede alcanzar volúmenes muy considerables en la región.

c. Los estiércoles se aprovechan como abonos orgánicos, aunque en forma poco eficiente. La tecnología del biogas recién se está introduciendo en algunos países en forma experimental.

d. En cuanto a los residuos de cosecha, hay tecnología disponible en varios países que los aprovechan en forma completa para un mejor manejo y conservación de los suelos. Esta tecnología podría ser fácilmente incorporada a los países de la región que aún no la aplican. La misma considera se puede formular con relación al uso de los abonos verdes.

2. FACTORES LIMITANTES

En primer lugar se menciona como factor limitante para un uso integral de los residuos orgánicos, la falta de conocimiento tecnológico sobre reciclaje, su poca divulgación a nivel de agricultor y el desconocimiento de su importancia económica.

En algunos casos, se mencionó también el costo demasiado elevado de la maquinaria y del transporte y otros elementos. que exige una tecnología apropiada para reciclaje orgánico integral, sobre todo en el procedimiento de grandes volúmenes de desechos.

3. PLAN DE ACCION

Sobre la base de este diagnóstico a nivel de países de la región, se pudo elaborar una propuesta de plan de acción en los niveles regionales y nacionales para estimular el reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura latinoamericana.

B. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LA UTILIZACION DE LA FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO

Los distintos aspectos de la fijación biológica del nitrógeno por bacterias simbióticas y no simbióticas fueron presentados y discutidos, llegándose a las siguientes conclusiones:

1. La fijación simbiótica del nitrógeno es objeto de investigaciones y aplicación de la inoculación en numerosos países del continente, como se desprende del cuadro "Utilización de la Fijación de Nitrógeno (simbiótica) en la Agricultura en América Latina" (pág. 4).
2. Los principales factores que limitan la eficacia de la inoculación y que inclusive pueden hacerla fracasar son los siguientes:
 - i) calidad inadecuada del inoculante;
 - ii) alteración de la calidad del inoculante durante el transporte, almacenamiento y posterior distribución;
 - iii) métodos de aplicación inadecuados;
 - iv) competencia con cepas nativas de menor eficiencia fijadora.
3. La fijación no simbiótica asociativa es poco estudiada en América Latina, salvo en el Brasil, donde se han realizado adelantos notables en el tema, y se ha comprobado una fijación de nitrógeno del orden de 30 a 40 kg/ha/año principalmente en plantas de metabolismo del tipo C4 (ciertas gramíneas).
4. Hacen falta las siguientes acciones:
 - a. Evaluación de las condiciones regionales con relación a sistemas de fijación de nitrógeno dominantes en cada región.
 - b. Evaluación de las necesidades de inoculación por sistemas de cultivos.
 - c. Producción de inoculantes eficaces para lo cual es necesario (con relación a Rhizobium):

UTILIZACION DE LA FIJACION DEL NITROGENO (SIMBIOTICA) EN LA AGRICULTURA EN AMERICA LATINA

PAIS	INVESTIGACIONES	USOS	FACTORES LIMITANTES	PROGRAMA DE ACCION
Argentina	En curso en varios centros	Alfalfa, soya y otros	Control de calidad, transporte, aplicación	Selección de cepas autóctonas
Bolivia	Empezando	Soya	Calidad del inoculante	Producción de inoculantes locales
Brasil	En curso en diferentes centros	Inoculación en uso	Almacenamiento, transporte y métodos de aplicación	Selección de cepas y variedades con alto potencial de fijación
Costa Rica	Un programa en la Universidad			
Ecuador	INIAP	Pastoreo		
El Salvador	Dpto. de Investigación introduce cepas			
Guatemala				
México	En curso en diferentes centros	Inoculación en uso y en vía de intensificación	Extensionismo, control de calidad	Selección de cepas nativas y producción a nivel industrial
Nicaragua				
Paraguay	No existe	Soya		Producción local de inoculante
Perú	Experimentación de campo			
República Dominicana				
Uruguay	Realizadas extensamente en la década 1960	Inoculación ya generalizada		

- Tener un mejor conocimiento de la bacteriología de Rhizobium
 - Organizar cursos superiores de adiestramiento sobre tecnología de Rhizobium en laboratorios conocidos (Ej. C.P. Chapingo, México; Piracicaba, Brasil; Cairo, Egipto; Porto Alegre, Brasil); Cursos NIFTAL, Hawaii y MIRCEN, Río Grande do Sul, Brasil e instituciones internacionales especializadas.
 - Procurar el entrenamiento de personal auxiliar de laboratorio.
 - Elaboración de proyectos regionales para asesoría y financiamiento.
- d. Preparación de filminas promocionales con el objeto de demostrar la producción de inoculantes y su utilización para diferentes sistemas fijadores de nitrógeno.
- f. La preparación de un Manual para elaboración de inoculantes a nivel de laboratorio y comercial.
- g. Sugerencias para la legalización del control de calidad del inoculante desde su salida del lugar de producción hasta su aplicación en la semilla.

RECOMENDACIONES:

1. Que los gobiernos adopten las medidas necesarias para que el sistema fijador de nitrógeno sea usado en todo su potencial. Las investigaciones deben ser dirigidas en el sentido de conocer nuevos sistemas fijadores y aumentar el potencial en los actualmente conocidos. Asimismo se recomienda para lograrlo, desarrollar las acciones señaladas en las conclusiones No 4.
2. Incrementar las investigaciones con respecto al sistema Rhizobium-leguminosa con el objeto de obtener cepas altamente competitivas y efectivas en la fijación de nitrógeno, así como variedades de plantas con alta eficiencia de utilización de nitrógeno.
3. Efectuar pruebas regionales, demostraciones de campo e investigaciones aplicadas utilizando los servicios de extensión y la colaboración de agricultores, como metas definidas en los programas de desarrollo rural.

C. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DEL COMPOSTAJE Y UTILIZACION DE COMPOSTAS

CONCLUSIONES:

1. En todos los países existen grandes cantidades de subproductos orgánicos de diversas fuentes susceptibles de transformarse y utilizarse como abonos orgánicos; sin embargo, su utilización es mínima debido, entre otras causas, a la carencia de técnicas eficientes para la recolección, elaboración y uso de estos materiales.
2. Es necesario llevar a cabo programas para la utilización integral de subproductos orgánicos con la finalidad de rescatar las grandes cantidades de nutrientes que se pierden por inadecuado manejo e ineficiente aplicación y que están causando problemas de contaminación ambiental que hoy en día representan un reto a la ingeniería en el mundo entero.
3. Para la utilización de subproductos orgánicos en la agricultura se requieren diversas alternativas tecnológicas adaptables a las condiciones de cada país, para la obtención de abonos de buena calidad producidos al menor costo posible que coadyuven

con o en combinación con los fertilizantes químicos en la nutrición vegetal; así mismo, aporten o activen la actividad microbiana del suelo y el mejoramiento paulatino de sus propiedades físicas.

4. Las aguas negras pueden aportar casi todos los elementos esenciales que requieren las plantas; sin embargo, es necesario utilizar o adaptar la tecnología existente para su tratamiento antes de su utilización con el fin de hacer más eficiente su uso y prevenir la contaminación de suelos.

RECOMENDACIONES:

1. Elaborar la metodología referencial indispensable para que los países latinoamericanos puedan iniciar, a la mayor brevedad, el inventario de los recursos de materias orgánicas con que cuentan, tanto en el sector urbano, como en el rural.
2. Iniciar de inmediato la difusión, a nivel rural, de los sistemas de utilización de materias orgánicas, para su adaptación a las condiciones particulares de cada país, incluyendo zonas tropicales, subtropicales, templadas y de clima frío.
3. Iniciar los trabajos de investigación tendientes a demostrar las ventajas del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura y en 7a, prevención de la contaminación del ambiente y aquellos tendientes a resolver los problemas que limitan en la actualidad las posibilidades de utilizar los subproductos agroindustriales como compostas.
4. Que se otorgue la prioridad que el caso requiere para que a la mayor brevedad posible se efectúen los proyectos de factibilidad pertinentes, para la instalación de equipos pilotos de tratamiento de desperdicios urbanos; que deberán ser lo más sencillos posible, o sea, de tecnología simple, ya que éstos son los más adecuados a las condiciones de los países en vías de desarrollo.
5. Solicitar a la FAO la formación de una comisión que prepare un manual técnico que contenga:
 - a. Métodos de preparación de compostas y técnicas de evaluación del procesamiento.
 - b. Métodos de caracterización de las compostas en cuanto a sus propiedades químicas, físicas y microbiológicas.
 - c. Métodos de experimentación con materias orgánicas y su evaluación en el campo.
6. Continuar los estudios indispensables para desarrollar cepas microbianas capaces de desintegrar materiales ricos en celulosa, sugiriéndose que se transfiera a otros países la tecnología mexicana.
7. Investigar o adaptar tecnologías que permitan el tratamiento de basuras urbanas; sugiriéndose que para las grandes ciudades donde existen plantas procesadoras se preparen fórmulas orgánico-minerales que, por su mayor contenido de nutrientes, pueden soportar su traslado al campo en forma rentable, garanticen una concentración de nutrientes, disminuyan la dosis de aplicación y aporten materia orgánica a los suelos con los beneficios conocidos.
8. Crear los incentivos necesarios para facilitar el mercadeo de compostas, debiendo buscarse soluciones económicas que aseguren la producción y utilización de compostas a precios razonables, pudiendo obtenerse parte de su financiamiento a partir de los costos de eliminación de basuras urbanas.

Una vez obtenidas las tecnologías adecuadas de procesamiento, definir las condiciones y dosificaciones en que deben aplicarse para diversos cultivos en diferentes zonas ecológicas, ya que la respuesta eficaz motivará al agricultor a su utilización.

D. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LAS POSIBILIDADES DE UTILIZACION DE AZOLLA Y ALGAS

1. El sistema Azolla-Anabaena es el resultado de la convivencia de dos organismos vegetales de morfología simple, pues está constituida la primera por rizoide, talo y filoide que puede o no fijarse al sustrato, dentro de la cual se encuentra Anabaena, cuya función es la de fijar el Nitrógeno del aire.
2. Existen 6 especies de Azolla-Anabaena, cada una con sus propias características, en cuanto tiene que ver con el poder de fijación del nitrógeno del aire y sobre todo en la capacidad de adaptación a las diferentes condiciones del cultivo de arroz bajo riego.
3. Ya en el siglo XI se conocían los efectos beneficiosos del complejo antes mencionado, pero su mayor utilización en el cultivo de arroz bajo riego se inicia en el año de 1955 en el Vietnam, en donde cultivan alrededor de 320 000 ha. Diferentes estudios realizados demuestran que no todo el nitrógeno fijado del aire es utilizado por la planta de arroz, pues alrededor del 20% sería liberado a la atmósfera. Los estudios indican sobre la cantidad de nitrógeno aportado por hectárea y por año, por Azolla Anabaena, cuyo rango oscila entre los 100 y 1 564 kg.
4. Por las condiciones favorables de crecimiento de Azolla, en diferentes ensayos experimentales de Egipto, India, Brasil y otros países, presenta una interesante alternativa de incorporación de nitrógeno al suelo evitando de esta manera el uso de fertilizantes de origen industrial y aminorando los costos de producción, pues ha sido demostrado que la aportación de 15 toneladas de Azolla por hectárea aporta al suelo entre 30-40 kg de nitrógeno, cantidad que puede variar en función de diferentes factores.
5. Las condiciones específicas de las regiones tropicales del mundo, muchas de ellas apartadas de los centros de producción de proteína de origen animal, determinar la búsqueda de alternativas adecuadas que permitan balancear la ración alimenticia para la explotación racional de ganado porcino-bovino especialmente. El sistema de Azolla-Anabaena, siguiendo las técnicas de cultivo y explotación, permiten su utilización para este fin, pues diferentes estudios han demostrado que la utilización de Anabaena en alimentación de cerdos ha dado buenos resultados.
6. El método más utilizado para reproducir Azolla-Anabaena, en los diferentes países que practican su explotación, es el vegetativo y se realiza con sencilla tecnología, ya sea utilizando dispositivos adecuados o directamente en el campo, procurando, sobre manera, su protección contra el frío, cubriéndolos con paja que mantiene la temperatura adecuada para su desarrollo. En verano se procede a la construcción de pequeñas lagunas bajo sombra y agua en circulación, procediendo al control de malas hierbas cuando ésta se presenta. Podría decirse que hasta el momento no existe una aplicación a nivel de campo en todas las regiones tropicales del mundo a excepción de Vietnam, China, India y Egipto. En cuanto a América Latina, pocos países han realizado estudios en laboratorio, sin pasar a las etapas subsiguientes de utilización.
7. En la actualidad, además del interés demostrado por el conocimiento del sistema Azolla-Anabaena, países como Egipto y otros han iniciado el estudio de las Algas verdes-azuladas como otra alternativa de incorporación del nitrógeno al suelo. En la agricultura de alguna manera se ha venido utilizando como bio-fertilizante, pues, en forma general, trabajos realizados demuestran que es factible incorporar entre 24 a 48 kg/ha/año de nitrógeno al suelo.

8. Se han identificado 63 especies de algas fijadoras de nitrógeno, las que pueden utilizarse para las diferentes regiones arroceras. Son de morfología muy simples (filamentosas) y fija el nitrógeno del aire en células especializadas llamada Heterocistos.
9. La tecnología utilizada para la producción del inoculante es la de realizar cultivos en laboratorios, producto que se mezcla con sustancias de masa antes de ser llevado al campo; además, se conocen otras tecnologías más sencillas como la de cultivar en botellas, baldes, tanques o directamente en el suelo en recipientes galvanizados, donde se coloca una capa de tierra más una lámina de 5 cm de agua y se procede al cultivo del alga.
10. En resumen, se puede decir que el cultivo y explotación de las algas verdes-azuladas ahorra en un 30% la fertilización nitrogenada en arroz, pues la sola aplicación del alga incrementa los rendimientos.

CONCLUSIONES:

1. De manera general se puede concluir que el uso del sistema Azolla-Anabaena y algas verdes-azuladas, en las actuales condiciones por la que atraviesa la humanidad, se presenta como una alternativa interesante para los países productores de arroz y donde se utilizan apreciables cantidades de nitrógeno.
2. Faltan estudios y conocimientos sobre el cultivo y explotación de estos sistemas a nivel técnico y práctico en América Latina.
3. Desconocimiento de los gobiernos de las ventajas económicas que reviste el uso del sistema Azolla-Anabaena y de algas verdes-azuladas, cuya utilización permitiría minorar los gastos de importación de fertilizantes.

RECOMENDACIONES

1. Que la FAO, a través de sus especialistas, prepare un manual donde determine con claridad los diferentes sistemas de producción, cultivo y explotación de Azolla-Anabaena y de algas verdes azuladas. De ser posible que para los primeros meses del año 1981 se organice un curso de técnicas de cultivo del sistema Azolla-Anabaena y de algas verdes-azuladas.
2. Recomendar a los gobiernos de países productores de arroz bajo riego que, dentro de los programas de trabajo, incluyan el estudio del cultivo y explotación del sistema Azolla-Anabaena y algas verdes-azuladas.
3. Recomendar a los gobiernos de países con áreas de inundación periódica, que estudien las posibilidades para el cultivo y explotación del sistema Azolla-Anabaena y las algas verdes-azuladas para su posterior aplicación como abono verde y suplemento proteico para la alimentación animal.

E. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ACERCA DE LAS POSIBILIDADES DE LA PRODUCCION Y UTILIZACION DEL BIOGAS Y DE LOS RESIDUOS DE LOS DIGESTORES EN AMERICA LATINA

1. Desarrollando una política de producción y aprovechamiento del biogas, se puede conseguir una fuente de desarrollo socio-económico de los países de Latinoamérica y elevar las condiciones de vida, al poner a disposición de los sectores rurales una fuente de energía buena y barata.

La obtención del biogas se lleva a cabo en una cámara digestora en donde las bacterias anaeróbicas descomponen las moléculas complejas de materia orgánica aportadas por los residuos agrícolas, humanos y animales.

2. Se obtienen tres productos principales de su proceso de formación:
 - a. Gas metano, que es utilizado para la cocina, alumbrado o calefacción.
 - b. Efluente, garte liquida que se utiliza regándola sobre los cultivos.
 - c. Residuos sólidos, enriquecidos en N, P y K y otros elementos nutritivos para las plantas.

El contenido de CO₂ del gas metano no es prohibitivo y se puede utilizar sin peligros tóxicos.

La difusión de unidades caseras de elaboración del biogas tomó auge en China e India a partir de 1955.

3. En el sur de estos país se dan condiciones de temperatura promedio entre 25-30°C esenciales para su producción.

Se considera que cada miembro de una familia utiliza de 1 a 1,5 m³ de biogas por Día y con 2 vacunas se puede obtener este volumen.

CONCLUSIONES:

1. El proceso de producción del biogas normalmente solo es conocido a nivel experimental y no de agricultores en Latinoamérica.
2. Es una fuente alternativa de energia, ecológicamente equilibrada, de bajo costo y de fácil obtención que cubre las necesidades de gas combustible y alumbrado; además se aprovechan los residuos sólidos y líquidos de los digestores.
3. Al procesarse subproductos orgánicos en los digestores se podría evitar la contaminación ambiental.
4. Como Latinoamérica posee en su gran mayoría un clima tropical, tiene condiciones idóneas para la producción del biogas.
5. El aprovechamiento de los subproductos orgánicos produciendo biogas podria reducir la deforestación y la erosión del suelo.

RECOMENDACIONES:

1. Es necesaria la promoción de las técnicas de producción y utilización del biogas a través de programas de capacitación y extensión; concientizando a la sociedad que el uso racional de los desechos es una fuente de energía, favorece el equilibrio ecológico que constituye elementos necesarios para los procesos de obtención de alimentos.
2. Promover la aceptación dentro de los planes gubernamentales de proyectos de desarrollo y producción del biogas en los cuales se integren las diferentes instituciones públicas y privadas; como un importante aporte a la solución de la crisis energética.
3. Se propone acelerar el adelanto del estudio de la tecnología de producción de biogas en Latinoamerica, aprovechando la experiencia en China e India, por medio de un viaje de estudios.
4. Recopilar y difundir la información técnica sobre procesos y sistemas de producción de biogas.
5. La utilización adecuada de los efluentes y residuos.

F. PLAN DE ACCION A NIVEL REGIONAL PARA ESTIMULAR LA ADOPCION
DE SISTEMAS DE RECICLAJE DE DESECHOS ORGANICOS
EN LA AGRICULTURA LATINOAMERICANA

Creación de un Comité Permanente Latinoamericano sobre manejo y conservación de suelos que incluya, en forma específica, un grupo de trabajo sobre reciclaje de materias orgánicas en la agricultura.

Las funciones del grupo de trabajo sobre reciclaje estarán dirigidas a fomentar las siguientes acciones:

1. Formulación de planes de acción a nivel nacional destinados a introducir las tecnologías adecuadas en la materia.
2. Intercambio de información entre naciones a través de talleres u otros eventos con el fin de aprovechar de la mejor manera las experiencias logradas en cada país.
3. Divulgación de los resultados de las investigaciones fortaleciendo los servicios de extensión y divulgación y desarrollando programas de capacitación orientados al agricultor, especialmente a través del uso masivo de materiales audiovisuales simples y de una metodología adecuada de aplicación por parte de los extensionistas.
4. La cooperación horizontal entre los países que deban resolver problemas similares, tanto para la ejecución de programas específicos como para lograr una mayor y más rápida capacitación en los distintos niveles.
5. La creación de un canal de información que recolecte los conocimientos de cada uno de los países interesados con el objeto de difundirlos a través del sistema AGRIS.
6. La ejecución y conclusión de los distintos planes nacionales de investigación científica y tecnológica relacionados con el reciclaje de la materia orgánica. Desarrollo de programas cooperativos y/o conjuntos de investigación.

G. PLAN DE ACCION A NIVEL NACIONAL PARA ESTIMULAR LA ADOPCION DE
SISTEMAS DE RECICLAJE DE DESECHOS ORGANICOS EN LA AGRICULTURA

1. Reconocimiento de las instituciones y personas que de alguna manera estén vinculados con las posibilidades que ofrece el reciclaje de la materia orgánica como recurso energético, para la conservación de suelos y del medio ambiente, las cuales integrarán un comité a nivel nacional con apoyo gubernamental.
2. Formulación de un programa nacional que incluya:
 - 2.1 Inventario permanente

Tendrá una fase preliminar destinada a lograr un reconocimiento tanto de los problemas como las resoluciones propuestas a nivel nacional. Otra fase será de carácter permanente destinada a sostener las líneas de investigación que permitan incrementar los conocimientos científicos.

2.1.1 Investigación sobre los aspectos científicos y tecnológicos de:

- a. Disponibilidad, recolección y procesamiento de los desechos de origen urbano.
- b. Disponibilidad, recolección y procesamiento de los desechos de origen rural.

- c. Uso de desechos como biogas.
- d. Uso de composta y de desechos frescos como abono y mejoradores del suelo.
- e. Producción y uso de leguminosas, azolla, algas verdes-azuladas y otros productores biológicos de nutrientes, incluyendo inoculantes apropiados.
- f. Incorporación de estos recursos como complemento de las actuales disponibilidades energéticas y para su uso más racional de los abonos químicos y orgánicos.
- g. Efectos del reciclaje de materias orgánicas en el medio ambiente.
- h. Programa de capacitación a nivel universitario y técnico en base a todo lo concerniente a las características químicas, físicas y biológicas del reciclaje de materia orgánica. Ampliación y/o creación de laboratorios agroquímicos.

2.1.2 Investigaciones sobre aspectos socioeconómicos e institucionales.

- a. Estudio de prefactibilidad económica de cada uno de los procesos seleccionados para ser aplicados en el país.
- b. Estudio del impacto en el medio social tanto urbano como rural de la adopción de los áistintos procesos seleccionados.
- c. Adecuación de la politica, legislación y administración vigente para la aplicación de un programa nacional en esta materia.

2.2 Investigaciones aplicadas

Estará destinada a utilizar los conocimientos empíricos provenientes de los campesinos, y las experiencias ganadas por el sector público y privado sobre bases científicas.

2.2.1 Plantas pilotos v áreas demostrativas.

- a. Plantas pilotos de biogas.
 - 1) A nivel de ciudades o municipios
 - 2) A nivel de plantas agroindustriales
 - 3) A nivel de finca.
- b. Desarrollar las actuales técnicas que usa el campesino en la producción de composte e introducir nuevos sistemas simples para determinar los de mayor rentabilidad económica adaptable para el país y sus diferentes zonas.
- c. Selección de fincas representativas de las distintas regiones de un país para el establecimiento de redes de áreas demostrativas de todas las técnicas susceptibles de aprovechar al máximo los residuos orgánicos, la fijación biológica del nitrógeno, etc.
- d. Intensificar los ensayos en la utilización de la materia orgánica como un agente modificador en la habilitación y conservación de tierras para la agricultura.

2.3 Aspectos socioeconómicos

2.3.1 Educativos

- a. Programas audiovisuales con relación a la importancia y ventajas del uso de técnicas del reciclaje en la economía de energía, incremento de la productividad y protección del medio ambiente.
- b. Programas de capacitación a los extensionistas necesarios en este campo.
- c. Programas de producción de material audiovisual adecuado para el fomento del uso del reciclaje de la materia orgánica.

2.3.2 Análisis por regiones de los costos-beneficios que representa la utilización de reciclaje en la finca.

2.3.3 Creación de estímulos apoyados por el estado para fomentar el uso de técnicas de reciclaje orgánico.

2.3.4 Crear o ampliar la legislación sobre protección ambiental orientada hacia la conservación del suelo por medio del reciclaje de materia orgánica.

2.3.5 Establecer programas de cooperación horizontal entre diferentes países que se presenten ante la misma problemática.

2.3.6 Solicitar a la FAO apoyo para el mejor cumplimiento de este plan de acción y a la convocatoria a una nueva reunión del cumplimiento de este plan de acción.

H. FORMAS DE MANTENER E INCREMENTAR EL CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS FORMULACION DE CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La materia orgánica proporciona al suelo energía y carbono para los microorganismos. Estos al descomponerla contribuyen a la formación del humus y de los subproductos de descomposición, factores esenciales de la existencia de una buena estructura compuesta de agregados estables. En consecuencia la materia orgánica tiende a aumentar la porosidad y la aireación del suelo. Contribuye así a elevar el grado de infiltración y la capacidad de absorción del agua de los suelos arenosos.

La mineralización libera elementos nutritivos incrementando así la fertilidad del suelo, por este medio, por reducir la fijación de nutrientes y por regular su disponibilidad.

Se comprende por tanto, cuán peligrosa puede ser su desaparición por destrucción de la vegetación sin reemplazarla como consecuencia de un laboreo excesivo o inadecuado del suelo, por no devolver al mismo los residuos de cosecha, o por erosión que ataca a la rizosfera que constituye el horizonte biodinámicamente activo de la litosfera. Es en efecto, a su nivel donde se realizan en los ecosistemas las últimas etapas del reciclaje de numerosos elementos minerales.

Los métodos para mantener la materia orgánica del suelo estarán basados en trabajos de investigación, de laboratorio, invernaderos y finalmente de campo o aplicación directa. La cultivación de los suelos arenosos requiere en la mayoría de los casos métodos especiales debido a que la materia orgánica en ellos se descompone rápidamente. Una incorrecta enmienda o la misma incorporación del material fresco al suelo puede causar pérdidas en el contenido de material orgánico.

En algunos suelos arenosos, como en el caso de arenales en Hungría si el pH es mayor que 7 se recomienda la directa aplicación del composte y en suelos ácidos o ligeramente ácidos, estiércol más carbonato de calcio.

Otra forma de incrementar la materia orgánica en los suelos arenosos, es empleando el método de Egerszegi (1953) llevado a cabo en Hungría desde hace ya 3 décadas utilizando el estiércol.

Por su alto poder amortiguador (pH igual o superior a 8) es capaz de modificar el pH del suelo, como también el de aumentar la actividad microbiana y, en consecuencia, el continuo suministro de nutrientes para la obtención de altos rendimientos en las cosechas.

El método de Egerszegi consiste en la aplicación profunda del estiércol en forma de capa delgada, a diferentes profundidades (45-70 cm), con las características de enmienda, por cuanto:

- a. mejora las propiedades físicas del suelo;
- b. la capa de estiércol cumple también la función de acumular agua local y nutrientes para los cultivos;
- c. las raíces que penetran en la capa regeneran permanentemente el material orgánico de la misma;
- d. en condiciones anaeróbicas, la mineralización de la materia orgánica es mejorada.

Este método es aplicable para suelos arenosos donde reduce la pérdida de agua y de nutrientes por medio de la capa orgánica profunda, incorporada para protegerla de la oxidación rápida.

Una limitante del método es que requiere en todo caso una tecnología avanzada, aspecto que debe ser tomado en cuenta para los países en desarrollo, por el costo de la maquinaria.

La materia orgánica puede además ser incrementada en el suelo con la incorporación de residuos de cultivos y el abonado en verde con la utilización de leguminosas que tienen la finalidad de fijar el nitrógeno atmosférico y así enriquecer al suelo de un elemento nutritivo importante. Entre las leguminosas fijadoras tenemos por ejemplo: alfalfa (*Medicago sativa* L), Altramuz amarillo (*Lupinus luteus* L), Veza común (*Vicia sativa* L), y otros. La incorporación de leguminosas no tan solo incrementa el contenido de nutrientes sino también el de materia orgánica del suelo. Con el abonado en verde, por otra parte, se puede aumentar la capacidad de bases y la actividad biológica.

El abonado con rastrojos en regiones de suelos arenosos además de mejorar las condiciones edáficas ayuda a evitar la erosión eólica e hídrica.

El objetivo del mulch o arropo vegetal o mantillo, generalmente formado por desechos vegetales que se aplica uniformemente a la superficie del suelo es lograr por diversos medios mejorar las condiciones del suelo. Asimismo se protege el suelo de las erosiones eólicas e hídricas, y se aumenta la cantidad de agua almacenada en el suelo.

Su aplicación continuada con la labranza mínima, llevará a no disturbar la capa arable y facilitar el aumento de materia orgánica. Sumado a ello, la aplicación de abonos químicos llevará al aumento de los rendimientos.

Los subproductos de la agro-industria, como la pulpa de café, la cachaza, el bagazo y otros, tienden también a incrementar la materia orgánica de los suelos, ya sea en aplicación sola o con adición suplementaria de abonos químicos.

La preparación de compostes a partir de los estiércoles provenientes de granjas ganaderas pueden utilizarse como mejoradores del contenido de materia orgánica del suelo.

El composte como subproducto de la producción del biogas, es un abono orgánico de gran valor nutritivo y rentable por su bajo costo económico, conforme a los ejemplos prácticos de países en desarrollo como la India, China y otros, producido para la familia rural en unidades caseras.

De los materiales de origen orgánico como enmienda de suelos arenosos tenemos la turba; el lignito y las sustancias órgano-minerales con polímeros sintéticos.

La turba, material vegetal, escasamente descompuesto, se le utiliza fundamentalmente por su alto poder de retención de agua.

El lignito, otro material vegetal en estado de carbonización avanzada, tiene un gran valor estimulante por su alto contenido de ácido húmico que ejercen efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, pudiendo ser una fuente potencial del material orgánico en condiciones tropicales áridas. Su aplicación al suelo se puede efectuar en suspensión inyectando al suelo conjuntamente con fertilizantes químicos, o en estado sólido.

Los polímeros sintéticos o coloides macro-moleculares tienden en alguna medida a estabilizar la estructura del suelo; como el de establecer ligas que facilitan la agregación de los suelos arenosos y aumentan la capacidad de absorción catiónica y aniónica de los residuos, utilizando para tal fin por ejemplo productos combinados de bentonita y turba.

CONCLUSIONES:

1. El contenido de la materia orgánica de los suelos arenosos con pH sobre 7 puede incrementarse mediante aplicaciones directas de composte. Para suelos ácidos o ligeramente ácidos se recomienda la aplicación de estiércoles más carbonato de calcio mejorando en ambos casos las propiedades físicas y químicas de los suelos.
2. El método de Egerszegi o de alfombras de estiércol enterrados a diferentes profundidades dependiendo de las características de los suelos, se ha usado con éxito en Hungría para incrementar el contenido de materia orgánica en suelos arenosos.
3. El incremento de materia orgánica será también con leguminosas y residuos vegetales y el abonado en verde.
4. El abonado con rastrojos además de mejorar las condiciones del suelo y aumentar la provisión de elementos nutritivos, ayuda a evitar la erosión eólica e hídrica.
5. El uso de coberturas vegetales o mulches ayuda a conservar e incrementar el contenido de la materia orgánica del suelo, además de protegerlo contra la erosión eólica e hídrica.
6. La labranza mínima conjugada con la aplicación de mulch, llevará a no disturbar la capa arable del suelo y al incremento de su tenor en materia orgánica.
7. El composte, considerado como abono de gran valor es además rentable por ser bajo su costo.
8. Los materiales de origen orgánico, como enmienda, tienden también a aumentar la materia orgánica del suelo.

RECOMENDACIONES:

1. Que se investigue la posibilidad de utilizar el método de Egerszegi como una alternativa para el incremento de la materia orgánica de los suelos arenosos.
2. De ser posible crear cursos de capacitación sobre conservación de suelos, mantención de la materia orgánica a nivel de actualización a extensionistas y formación a agricultores.
3. Intensificar las investigaciones en la utilización de materiales de origen vegetal, como lignito y turba; investigar la posibilidad de la aplicación de los polímeros sintéticos, como estabilizadores de la estructura del suelo e intercambiar, el material obtenido en talleres regionales para acelerar el progreso. Experimentos regionales como otros que auspició FAO, podrán informar sobre diferentes prácticas en diversos ecosistemas.
4. Se recomienda una acción de seguimiento, ejecutado por un grupo de interesados, el mismo que podrá organizar los talleres, colaborar con los cursos nacionales y prestar asesoramiento a los interesados. En este sentido se recomienda buscar financiamiento especial a entidades como SIDA (Suecia) o CIDA (Canadá).
5. Establecer los criterios generales de dosificación dependiendo del objetivo de la aplicación ya sea mejoramiento físico, químico y microbiológico o integrado.
6. Aplicar los abonos orgánicos procesados desde el punto de vista del mejoramiento inmediato de las propiedades químicas del suelo, ya que uno de los objetivos del procesamiento es mineralizar los nutrientes que se encuentran en formas orgánicas de difícil aprovechamiento por la planta, siendo el mejoramiento físico gradual por medio de las aplicaciones bajas y continuas, con el transcurso del tiempo.
7. Buscar técnicas que mejoren la eficiencia de los subproductos orgánicos no procesados aplicados como mejoradores de las propiedades físicas del suelo de tal manera que se refleje este beneficio en la conservación del suelo redundando en un mejor manejo y conservación de sus propiedades que incremente la producción de cosechas.
8. Intensificar el estudio de la utilización de leguminosas y pastos como abonos verdes. Dicho estudio debe contemplar la selección de especies adecuadas para cada región, los métodos de manejo de los cultivos y los tiempos de incorporación de los materiales al suelo.
9. Investigar el uso de métodos de labranza mínima en combinación con coberturas vegetales para los principales cultivos y sistemas de manejo de cultivos en las diferentes regiones ecológicas.

III. PONENCIAS

A - INTRODUCCION AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS

LA IMPORTANCIA ACTUAL DEL RECICLAJE DE LOS RESIDUOS ORGANICOS PARA LA AGRICULTURA

por
P.L. Arens 1/

RESUMEN

1. En toda la historia de la agricultura el hombre ha aplicado toda clase de materias orgánicas a los suelos cultivados. Plinio en su Historia Natural ya hace mención del uso de abonos verdes y ha dado a conocer un número de plantas conocidas por ser mejoradores del suelo.
2. Hasta alrededor de 1850 era creencia general que las plantas se nutren de sustancias orgánicas, hasta que Liebig demostró con claridad que las plantas se nutren de agua y sustancias inorgánicas, principalmente N, P y K. Este gran descubrimiento ha revolucionado la agricultura y ha fomentado el desarrollo de la industria de fertilizantes hasta el día de hoy.
3. El gran desarrollo de la industria de abonos químicos ha marginado poco a poco la utilización de materias orgánicas como fertilizantes. Los fertilizantes químicos inorgánicos que conocemos hoy son 20 ó 100 veces más concentrados en los elementos N, P y K que los abonos orgánicos.
4. Con la marginación y el desplazamiento progresivo de los abonos orgánicos, en favor de los abonos químicos, entró el problema del manejo de los desechos y residuos. Poco a poco éstos se convirtieron más bien en un peligro ambiental que en un recurso. La quema de las basuras, de los residuos y desechos entró como una práctica normal para deshacerse de esta carga.
5. Sin embargo, todas las materias orgánicas siguen en realidad siendo una fuente de vida nueva para los suelos, una fuente de energía y de renovación. En los últimos años se puede observar un cambio fundamental en el pensamiento con respecto a los residuos y desechos. Más que una carga, los residuos orgánicos son un recurso. El gran valor de este recurso se evidencia con el reciclaje bien manejado.
6. El reciclaje de materias orgánicas es la reutilización de éstos, previa una conversión biológica o no, para sostener o mejorar la productividad de las tierras.
7. El reciclaje abarca un número de temas diversos, de los cuales los más importantes son:
 - compostaje aeróbica de toda clase de residuos orgánicos (basuras urbanas, residuos industriales y agro-industriales, residuos de cosechas, estiércol de todo tipo, etc.) y aplicación del composte;

1/ Senior Officer., Soil Management and Conservation Land and Water Development División, FAO, Roma, Italia.

- digestión anaeróbica de toda clase de residuos orgánicos de plantas, animales, hombres, etc. y aplicación de los residuos en los cultivos;
 - Fijación biológica del nitrógeno simbiótica o no simbiótica e incorporación de la materia orgánica enriquecida en nitrógeno;
 - la incorporación directa de toda clase de residuos orgánicos a los suelos, sin transformaciones previas.
8. El reciclaje de materias orgánicas ha recibido un gran impulso con la alza de los precios de los abonos químicos y con la búsqueda de alternativas viables de Fuentes de energía.
9. En las regiones con alta densidad de población, las prácticas del reciclaje son más difundidas que en otras. La amenazante escasez de energía obliga a considerar toda materia orgánica renovable y disponible como una fuente renovable de energía.
10. Los temas más actuales del reciclaje se refieren a:
- la producción y utilización del biogas;
 - la fijación simbiótica y no simbiótica del nitrógeno (*Rhizobium*, *Azolla-Anabaena*, etc.);
 - la mantención o el aumento del contenido de materia orgánica de los suelos;
 - la conversión de todos los residuos, desechos y basuras en abonos orgánicos útiles y competitivos.
11. La Reunión Taller abarca todos estos temas, más un examen sobre los recursos disponibles y las vías de su utilización para el bienestar de todos.
12. En el mundo de hoy, tanto en los países en vía de desarrollo como en los países desarrollados, no hay otra alternativa que la utilización de todos los residuos orgánicos disponibles. La quema de los desechos y residuos es una doble pérdida: se quema un recurso utilizable con otro recurso en vía de agotamiento (petróleo).
13. Es urgente que examinemos todas las vías posibles de una utilización de los desechos y residuos y de aprovechar las posibilidades de estos recursos orgánicos.

B. - LA UTILIZACION DE LA FIJACION SIMBIOTICA
DEL NITROGENO Y EL USO DE ABONOS VERDES

1. BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION: ITS POSSIBILITIES AND LIMITATIONS
1. FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO: SUS POSIBILIDADES Y LIMITACIONES

by

Y.A. Hamdi^{1/}

Summary

Free-living and symbiotic systems of biological nitrogen fixation are introduced. Potentials of nitrogen fixation are reviewed. Rhizobia-grain legume fix between 41 to 552 kg N/ha; Rhizobia-forage legumes fix between 62 to 897 kg N/ha; Frankia-non legume associations fix between 2 to 300 kg N/ha/year. Response to inoculation with azotobacter showed about 10% increase in yield. Inoculation with Azospirillum showed variable results according to location and crop variety.

Limitations of nitrogen fixation include lack of knowledge, inherent factors in different systems and environmental factors. These factors include temperature, light, oxygen, CO₂, moisture, pH, salinity, macro- and micro-nutrients, pesticides and biotic factors.

1. INTRODUCTION

In order to meet the escalating demand for food resulting from the dramatic expansion of the world's population during the last few decades, chemical fertilizers and pesticides have been used extensively to increase the crop yield of arable land.

Unfortunately the development of intensive modern agricultural practices for plant and animal production has not been achieved without drawbacks. First, intensive agricultural methods introduced undesired and sometimes catastrophic consequences by polluting air, soil and aquatic systems as well as food stuffs.

A second matter of concern is the high cost in terms of fossil energy of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizer. According to a United Nations Report (Pimental, 1976), 17 600-19 800 Kcal of energy are necessary to produce one kg of nitrogen fertilizer. In another estimate, 1.5 l of fuel oil is needed to manufacture and deliver one kg N to the farm.

Finally, the use of fertilizers may encounter economic obstacles, particularly in developing countries where the ratio between the cost of chemicals and the marketable price of crops is higher than in the industrialized nations.

Nitrogen-fixing organisms use light energy directly or indirectly to reduce atmospheric nitrogen and produce ammonia. This ammonia is utilized on site for the production of protein. Thus less pollution, energy consumption and lower production costs are achieved. The possibilities and limitations of biological nitrogen fixation are the subject of the present talk.

^{1/} Dept. of Microbiology, Institute of Soil and Water Resources Center, Giza, Egypt.

2. NITROGEN FIXING SYSTEMS

Nitrogen-fixing systems include free living, e.g. bacteria and blue-green algae; symbiotic systems, e.g. rhizobia - legume, angiosperm - actinomycetes, blue-green algae associations and associative systems, e.g. rhizosphere, phyllosphere and lichens. All these systems have only one thing in common, i.e. the ability to utilize N_2 , but they differ in physiology, metabolic structures and genetic characteristics. Table 1 summarizes the different systems known to fix atmospheric nitrogen, their capabilities and possibility of manipulation.

3. POTENTIAL OF NITROGEN FIXATION BY DIFFERENT SYSTEMS

The following is a summary of the potentials of different nitrogen fixing systems.

3.1 Rhizobia-Legume Systems

Different reports deal with the response of legume crops to inoculation. The amounts of nitrogen fixed by various crops were summarized by Nutman (1976) as presented in Table 2. In general pulses fix less nitrogen than forage legumes. However, this depends largely on the crop itself and on factors interfering with the growth of the crops.

3.2 Nodulated Non-Legume Plants

The nodulated non-leguminous plants are perennial angiosperms which bear N_2 -fixing root nodules.

Several research workers have estimated the amounts of nitrogen fixed by different plants of this group. Table 3 summarizes this data (Becking, 1977). Figures ranged from 2 to 300 kg N/ha/year depending on the type, age and location of the plants.

The symbiont has been defined as actinomycetes of the genus *Frankia*, which grows only in the presence of the host. Thus inoculation procedure is still under investigation.

3.3 Associative N_2 Fixation

3.3.1 Azotobacter

The beneficial effect of *Azotobacter* has been realized since 1902 in USSR and an *Azotobacter* inoculant was developed and utilized. Rubenchick (1960) indicated that out of 1 095 experiments, 890 (81%) showed increase in yield of cereals, vegetables, and other crops, the increment amounted to 10% or more in 514 experiments (47%) (Table 4). The data show that the crop increments exceeded 10% in the majority of the experiments.

Recently, several studies were made again on the response of crops to azotobacter inoculation. Ridge and Rovira (1968) evaluated the response of wheat to inoculation with *Azotobacter*, *Bacillus polymyxa* and *Clostridium pasteurianum*. The results showed that there was a much greater tendency for inoculation to increase grain yield than to decrease it. In general, the inoculation with azotobacter is still a matter of discussion and the benefits are debatable.

Table 1

BIOLOGICAL SYSTEMS FOR NITROGEN FIXATION; THEIR EFFICIENCY, BIOFERTILIZER PREPARATIONS, AND THE FEASIBILITY OF THEIR APPLICATION (Alaa El-Din; 1978)

Micro-organisms	Plant	Kg N Fixed/ha	Biofertilizer preparation	Feasibility
A) <u>Symbiotic nitrogen fixation systems</u>				
Bacteria (Rhizobia)	Forage legumes			
	Pulses	34-897/year	Legume - Inoculants	High
	Legume trees	41-552/crop	Not available	-
	Zygophyllaceae and <u>Trema cannabina</u>	74-542/year		
Actinomycetes	Non-leguminous angiosperms <u>Hippophae; Elaeagnus; Casuarina;</u> <u>Myrica, Alnus, etc.</u>	12-350/year	Not available	Probably
Blue green algae	Fungi: Lichens	-	Not available	-
	Water plants: <u>Azolla</u>	425/100 days	The plants - containing algae	High
	<u>Lemna gibba</u> (loose association)	60/100 days		Fair
	Gymnosperms: Cycads, <u>Zamia</u> Angiosperms: <u>Gunnera</u>	- -	Not available Not available	- -
B) <u>Non-symbiotic nitrogen systems</u>				
1.	<u>Heterotrophic bacteria: Azotobacter,</u> <u>Azospirillum</u>	20-50/year	Available Under experimentation	Debatable
	Others, e.g. <u>Mycobacterium, Methylobacter</u> <u>Bacillus, Clostridium, Desulfovibrio</u>	-	Not available	-
2.	<u>Photosynthetic bacteria, e.g.</u> <u>Rhodospirillum, Rhodospirillum</u>		Not available	-
3.	<u>Chemoautotrophic bacteria, e.g.</u> <u>Thiobacillus</u>		Available as phosphate dissolvers	
4.	<u>Blue green algae, e.g.</u> <u>Nostoc, Anabaena, Tolypothrix,</u> <u>Scytonema, Aulosira</u>	5.2-77.6/crop	Algae inoculants for paddy	Fair

Table 2

NITROGEN FIXED BY PULSES AND FORAGE LEGUMES
(kg N/ha, Nutman, 1976)

Plant	Average	Ranges
a) Pulses		
Vicia faba (broad bean)	210	45 - 552
Pisum sativum (peas)	65	52 - 77
Lupinus spp.	176	145 - 208
Phaseolus aureus (green gram)	202	63 - 342
Phaseolus aureus (mung)	61	-
Cajanus cajan (pigeon pea)	224	168 - 280
Vigna sinensis (cowpea)	198	73 - 354
Canavalia ensiformis	49	-
Cicer arietinum (chickpea)	103	-
Lens culinaris (lentil)	101	88 - 114
Arachis hypogaea (groundnut)	124	72 - 124
Cyanopsis tetragonolobus (guar)	130	41 - 220
Calopogonium mucunoides (calapo)	202	370 - 450
b) Forage legumes		
Centrosema pubescens (centro)	259	126 - 395
Desmodium intortum and D.canum (tick clover)	897	
Leucaena gluca	277	74 - 584
Lotononis bainesü	62	
Sesbania cannabina	542	
Stylosanthes sp. (stylo)	124	
Mixture of centro and stylo	115	
Phaseolus atropurpurea (siratro)	291	
Mikanea cordata	120	
Pueraria phaseoloides (kudzu)	99	
Enterolobium saman	150	

Table 3

NON-LEGUMINOUS DINITROGEN-FIXING ANGIOSPERMA AND
AMOUNTS OF NITROGEN FIXED (Becking, 1977)

Order	Family	Genus	Number of symbiotic species, in parenthesis number of species	N ₂ fix- ation kg N/ha/yr	
Casuarinales	Casuarinaceae	Casuarina	18 (45)	229	
Myricales	Myricaceae	Myrica	20 (35)	3.4-15.25	
		Comptonia	1 (1)	-	
Fagales	Betulaceae	Alnus	33 (35)	26-300	
Rhamnales	Elaeagnaceae	Elaeagnus	14 (45)	-	
		Hippophae	1 (3)	2-179	
		Shepherdia	2 (3)	-	
		Rhamnaceae	Ceanothus	31 (55)	60
		Discaria	2 (10)	-	
Coriariales	Coriariaceae	Colletia	2 (12)	-	
		Coriaria	13 (15)	-	
		Rosales	Rosaceae	Dryas	3 (4)
Rosales	Rosaceae	Purshia	2 (2)	-	
		Cerocarpus	3 (20)	-	

Table 4

EFFECT OF AZOTOBACTERIN ON VARIOUS CROP YIELDS
IN DIFFERENT REGIONS OF USSR
(Rubenchick, 1960)

Regions	Number of Experiments	Increase in Yield after use of Azotobacterin, %
Spring Wheat		
Poltava	2	5.48
Vladimir	6	12.92
Potato		
Gorki	1	10.21
Kirov	12	23.28
Vorshilovgrad	1	23.09
Poltava	1	30.00
Vladimir	2	32.37
Leningrad	5	7.56
Cabbage		
Vladimir	1	23.73
Kirov	1	18.48
Voroshilovgrad	3	20.76
Barley		
Kirov	2	11.90
Leníngrad	1	21.73
Oats		
Kirov	2	24.48
Gorki	1	8.98
Rye		
Kirov	1	14.29
Vorshilovgrad	1	16.66
Poltava	1	28.57

3.3.2 Azospirillum

In 1922 Beijerinck reported the occurrence of N₂-fixing Spirillum in an enrichment of *A. chroocoeum*. He named it *A. Spirillum*; later on in 1925 he gave it the name *Spirillum lipoferum*, Krieg (1977) gave the generic name *Azospirillum* to the two species: *Azospirillum lipoferum* and *A. brasilense*.

A large number of reports indicated the presence of *Azospirillum* in the soil in different parts of the world. The potential of the amounts of nitrogen fixed by these organisms in the rhizosphere of different plants was estimated (Dobereiner, 1978).

Response of crops to inoculation with *Azospirillum* varies between locations. Smith et al, (1975) showed that inoculation produced significantly higher protein and dry matter yields in pearl millet (*Pennisetum americanum*) and *P. maximum* (Table 5).

In field trials using different maize cultivars, Burris (1977) indicated that uninoculated plants gave slightly better yield than inoculated ones but the difference was not statistically significant.

In India, Subba Rao et al. (1979) reported that in general simple inoculation increased yields although such responses were variable depending on the initial N status of the soil and the variety of the crop planted. At Delhi, inoculation along with 40 kg N/ha increased rice yield over control which was 40 kg N/ha alone. At two other locations, the increase in yield by inoculation along with 40 kg/ha was approximately equivalent to that obtained with 60 kg N/ha alone without inoculation. Inoculation effects in wheat were significant at low levels of nitrogen (0-40 kg N/ha) at Delhi, Shillong and Nipal, whereas at Hissar a significant yield increase was obtained only at a high level of nitrogen (120 kg N/ha). Such significant response at a high level of nitrogen was also noticeable in fodder oats at Thansi while at another location, simple inoculation without the addition of nitrogen helped to increase yields to a large extent.

3.4 Azolla and Blue-Green Algae

A detailed account of the contribution of these systems will be handled separately.

4. LIMITATIONS OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION

The limiting factors can be grouped as follows.

4.1 Lack of Knowledge and Technology of Propagation and Utilization of Nitrogen Fixing Systems in Agriculture

FAO and SIDA are taking the lead in promoting and disseminating knowledge about these systems. Other organizations, e.g. NIFTAL, IRRI, ICRISAT, ICARDA, CIAT, and IITA are undertaking the responsibility of exploiting the use of nitrogen fixing systems.

4.2 Inherent Factors in Plants and/or the Nitrogen-Fixing Agent

Not all legumes are able to form nodules in association with rhizobia. The exact incidence of nodulation is not known, but reports indicate that 90% of the subfamilies Mimosoideae and Papilionoideae and 1/3 of Caesalpinoideae are nodulated.

Table 5

DRY MATTER FORAGE YIELDS INOCULATED WITH
S. LIFOFERUM COMPARED TO UNINOCULATED, 1975
(Smith et al., 1975)

Fertilizer N rate kg/ha	Dry matter yield kg ha ⁻¹		Increase from inoculation
	inoculated	uninoculated	
	Pearl millet		
0	4 750	5 300	- 550
20	5 820	6 070	- 250
40	7 350	6 040	1 310*
80	9 140	7 880	1 260*
	Guinea grass		
0	9 960	10 750	- 790
30	15 550	13 460	2 090*
50	17 610	15 560	2 050*
120	20 020	19 470	550
	Buffle grass		
0	1 640	2 030	- 390
20	2 938	2 642	292
40	3 097	2 544	548
80	3 625	2 974	651

*Significant at 5% level.

Nodulated hosts also have inherent genes which modify the response to the microsymbiont. The genes, rj1, rj2, rj3 and rj4 modify the response of soybean to R. japonicum. Genes sym 1, sym 2, sym 3 and no nod condition the nodulation of peas. The plant genes r, il, ie, n and d are now known for red clover (Holl and La Rue, 1976).

Rhizobia mutants are also known which have lost the ability to fix nitrogen. Differences were observed between cultivars and even ecotypes of Paspalum notatum in relation to the occurrence of Azotobacter paspali. Differences in nitrogenase activity were then confirmed in this species in Pennisetum purpureum and in Digitaria decumbens. Among S₁ lines of maize, several could be selected with nitrogenase activity many times higher than that of the original cultivar.

4.3 Environmental Factors

There are many factors which interfere with amounts of nitrogen fixed by various systems.

4.3.1 Temperature

Temperature is one of the important factors affecting the growth and function of nitrogen-fixing systems.

Limiting ranges for survival were 40.5-42.5°C for R. meliloti. Temperatures above 35°C and 40°C were lethal for both R. trifolii and R. lupini in soil (Chowdhury et al., 1968)

Blue-green algae are able to withstand temperature extremes. Nitrogen fixation by hot spring algae has been noted in Yellowstone National Park where the upper limit of temperature is near 60°C. At the other lower temperature extreme in the Antarctic, blue-green algae are abundant.

Optimum temperatures for azolla were reported to be between 18-28°C.

4.3.2 Light

Reduction of light intensity by shading affects nodulation and nitrogen fixation by legumes.

The optimum light intensity for N₂ fixation and photosynthesis was respectively near 5 500 and 10 000 meter candles for Anabaena cylindrica; at higher light intensity the pigments decreased.

With azolla, some reports indicated that high light intensities enhanced growth of azolla; however the growth was optimum at 15-18 K lux and at higher intensities growth and photosynthesis were inhibited.

4.3.3 Oxygen

A liberal supply of oxygen is necessary for the formation and functioning of nodules. This is mainly to ensure adequate respiration of the root nodule tissue, i.e. the supply of energy.

Blue-green algae grow well under reducing conditions at a redox range of -170 to +600 m.v.

Some O₂ pressure is essential for growing Azospirillum under conditions requiring N₂ fixation. When fixing N₂ there should be micro-aerophilic conditions (Burrís, 1977).

4.3.4 CO₂

Hadry and Havelka (1970) showed that CO₂ enrichment for soybean increased nitrogen fixation more than five-fold by doubling nodule specific activity, and doubling average nodule mass and extending the exponential phase. The nitrogen input is over 80% from N₂ for CO₂ enriched plants. compared to 25% for control.

Aeration of blue-green algae with air containing 3% CO₂ favoured the growth of Nostoc sp. while 5% of CO₂ in the air was toxic to cultures of Anabaena cylindrica.

4.3.5 Moisture

Rhizobia, as other soil bacteria, require a water film in which solutes are not so concentrated as to raise osmotic problems for the cell; too little water rather than too much is the threat to their survival and function.

Sprent (1972) examined the effect of water stresses on nitrogen fixation by Trifolium repens, Glycine max, Vicia faba and Lupinus arboreus. Water stress affects the growth of young nodules, and the formation of new nodules.

Waterlogging depresses nitrogen fixation largely as a result of O₂ deficiency. Nodule number, size and water content were also affected.

Water is a fundamental requirement for Azolla. At a relative humidity of 60%, Azolla becomes dry and fragile; at complete drying the vegetative plant dies. Although azolla can grow on a wet mud surface or wetted peat litter, it prefers to grow in a floating state on the water surface.

4.3.6 Reaction

A great deal of variability in pH tolerance has been found among rhizobia. R. meliloti, is very acid sensitive; R. japonicum is able to tolerate pH as low as 3.5. R. trifolii is less sensitive to acid conditions than R. meliloti (Vincent, 1965).

Nitrogenase activity of Azospirillum is optimum at pH 6.8 to 7.8; there is little growth and N₂ fixation below pH 5.5 or above 8.0.

Blue-green algae are found in most abundance in neutral or slightly alkaline habitats; they are rare in acid habitats.

Several workers have indicated that optimal pH for azolla growth varies from 4.5 to 7.5. The response of azolla to pH depends on many factors like temperature, light intensity and the presence of soluble iron.

4.3.7 Salinity

Several reports indicated that the growth of rhizobia and nitrogen fixation by different legumes is reduced with increasing levels of salt. Growth of soybean was totally inhibited at 0.8% or more of NaCl and at 1.5% Na₂SO₄.

The blue-green alga Calothrix sp. was slightly affected by 1 747.5 ppm of NaCl but severely depressed by 3 393.5 ppm (El-Nawawy et al., 1958). Bruck (1976) isolated a halophytic blue-green alga from the Great Salt Lake; it was able to grow at 16% NaCl.

In general, the growth rate of azolla gradually decreases as salinity increases. High salt concentrations containing 1 500 mg l of salt will kill Azolla pinnata in 3 weeks.

4.3.8 Combined nitrogen

Forms of, combined nitrogen are reported to decrease the nodulation of legumes and to reduce N₂ fixation. The degree of inhibition achieved depends on many factors including the concentration and form of nitrogen, the time of application and the strains used.

Nitrogen-fixing blue-green algae can readily assimilate inorganic and organic nitrogen. When combined nitrogen is available, it may be assimilated preferentially and N₂ fixation may be inhibited.

With Azospirillum, nitrogen fertilizers were required to enhance response to inoculation and high rates of 80 and 120 kg N showed the highest response (Smith et al., 1978).

Nitrogenase activity by Azolla continued in the presence of combined nitrogen. However, as the nitrogen concentration increased nitrogenase was reduced (Chu, 1978).

4.3.9 Macro and micronutrients

All nitrogen-fixing systems require macro and micronutrients; phosphorous, calcium and potassium are also required. Certain trace elements, especially molybdenum, cobalt, iron and boron, have a significant role in the activity of nitrogen-fixing systems. Deficiency of these elements reduces the activity. On the other hand, excess of certain elements, e.g. Mn and Al, may impair the activity.

4.3.10 Pesticides

The toxicity of pesticides to various nitrogen-fixing systems has received a good deal of attention. Fungicides affect rhizobia to some degree. Compounds containing toxic metals, e.g. Hg, Cu and Zn, always constitute a serious risk, although reports differ as to the degree and according to the detailed formulations.

There were indications of toxic effects from insecticides iri inoculated seed.

Herbicides are different in their effect on rhizobia, some are without effect and some are harmful.

Various reports deal with the effect of pesticides on blue-green algae. These compounds may or may not affect algal growth depending on the type, concentration and time of their application.

Azolla tolerated several compounds of pesticides, e.g. carbofuran, dimecren, cliazinoum, thiodin, 2,4D and DDT, dithiocarbamate and MCPA, utilized at recommended rates.

A caroliniana present in canals can be eliminated by 1 000 to 10 000 ppm 2,4D sprays.

4.3.11 Biotic factors

Many hypotheses have been advanced to account for the failure of rhizobia to colonize readily or for the decline of the populations naturally present or those deliberately added to soils. These include actinomycetes, fungi, bacteriophage, *Bdellavibrio*, protozoa and nematodes. Certain insects, e.g. Sítona larvae, mature within nodules of a number of legumes: Vicia faba, peas and some lupine. Larvae of Rivellia sp. attack nodules of *Glycine wightii* damaging 50-70% of the nodules.

Blue-green algae are attacked by various organisms like aphids, protozoa, fungi bacteria and viruses (Singh, 1978).

Azolla is frequently attacked by insects. The larvae of such insects, mostly Chironemus, Pyralis and Nymphulus, roll the leaves of plants together and feed upon them (Singh, 1978).

Resumen

Los sistemas fijadores de nitrógeno incluyen organismos libres como las bacterias y algas verde-azuladas y sistemas simbióticos tales como rhizobia-leguminosa, angiosperma-actinomicetos y asociaciones de algas verde-azuladas. También se conocen sistemas asociados, tales como en la rhizosfera, en la filosfera y líquenes. Todos estos sistemas tienen un solo denominador común, la habilidad de utilizar el N₂, pero difieren en fisiología, en estructura metabólica y en características genéticas.

Analizando el potencial de nitrógeno fijado por los diferentes sistemas; se indica que la Rhizobia-leguminosa para grano fija entre 41 a 552 kg N/ha; la Rhizobia-leguminosa forrajera, fija entre 62 a 897 kg N/ha; y la asociación Frankia-no leguminosa fija entre 2 a 300 kg de N/ha/año. Respuestas a la inoculación con azotobacter demostraron que es realizable un incremento en los rendimientos de alrededor de un 10%. La inoculación con *Azospirillum* demostró resultados variables de acuerdo a la localidad y a la variedad del cultivo.

Las limitaciones en la fijación del nitrógeno son debidas a la falta de conocimiento, a factores inherentes a los diferentes sistemas y factores ambientales. Entre otros factores se incluye temperatura, luz, oxígeno, CO₂, humedad, pH, salinidad, macro y micronutrientes, pesticidas y factores bióticos.

Parece existir una gran posibilidad de explorar la potencialidad de la fijación biológica del nitrógeno mediante la planificación de parcelas experimentales, teniendo en consideración el comportamiento de las leguminosas nativas en sus condiciones ambientales peculiares.

REFERENCES

- Alaa El-Din, M.N. Biofertilizers: Requirements and applications. FAQ/SIDA Workshop on 1978 Organic Materials and Soil Productivity in the Near East. Alexandria, Egypt, 9-18 October 1978.
- Becking, J.H. Dinitrogen fixing associations in higher plants other than legumes. In: 1977 A Treatise on Dinitrogen Fixation, Section III Biology (eds. R.W.F. Hadry and W.S. Silver) pp. 185-275. Wiley, Interscience Pub. London, Sydney, Toronto.
- Bruck, T.D. Halophilic blue-green algae. Arch Microbiol. 107: 107-109. 1976
- Burris, R.H. A synthesis paper on non leguminous N₂-Fixing Systems. In: Recent 1977 Developments in Nitrogen Fixation, (eds. W. Newton, J.R. Postgate and C. Rodriguez-Barruaco), pp. 487-513. Academic Press, London, New York, San Francisco.

- Chowdhury, M.S., Marshal, K.C. and Parker, C.A. Growth rates for R. trifolii and R. lupini 1968 in sterilized soil. Aust. J. Agric. Res. 19:919-925.
- Chu, L.C. The use of Azolla in rice production in China. Symposium on Nitrogen and Rice, 1978 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Dobereiner, J. N₂-fixation association with non-leguminous plants. In: Genetic Engineering 1977 for Nitrogen Fixation (ed. A. Hollaender), pp. 451-461. Plenum Press, New York and London.
- Dobereiner, J. Influence of environmental factors on the occurrence of Spirillum lipoferum 1978 in soils and roots. Ecol. Bull. (Stockholm) 26:343-352.
- El-Nawawy, A.S., Lotfi, M. and Fahmy, M. Studies on the ability of some blue-green algae to 1958 fix atmospheric nitrogen and their effect on growth and yield of paddy. Agric. Res. Rev., UAR, 36:308-320.
- Hadry, R.W.F. and Havelka, U.D. Symbiotic N₂ fixation. Multifold enhancement by CO₂ enrich- 1976 ment on field-grown soybeans. Pl. Physiol. Baltimore 51, Suppl. 35.
- Holl, E.B. and La Rue, T.A. Host genetics and nitrogen fixation. In: World Soybean Research, 1976 (ed. L.D. Hill). Proc. of the World Soybean Res. Conference.
- Krieg, N.R. Taxonomic studies of Spirillum lipoferum. In: Genetic Engineering for Nitrogen 1977 Fixation. (ed. A. Hollaender), pp. 463-470. Plenum Press, New York and London.
- Nutman, P.S. Rhizobium in soil. In: Essays in Soil Microbiology (ed. H. Walker), pp. 11-131. 1976 Butterworths Sci. Pub.
- Pimental, D. Food, nitrogen and energy. In: W.E. Newton and C.J. Nyman (eds.). Proc. 1st 1976 Int. Symp. Nitrogen Fixation, Pullman. Washington State University Press, pp. 656-673.
- Ridge, E.H. and Rovira, A.D. Microbial inoculation of wheat. 9th Intern. Congr. of Soil Sci. 1968 Trans. Vol. III, 473-481.
- Rubenchik, L.I. Azotobacter and its use in agriculture (translated from Russian). Published 1960 for the National Science Foundation, Washington D.C., U.S. Dept. of Commerce, Washington 25, D.C.
- Singh, P.K. Use of Azolla in rice production in India. Paper presented at the symposium 1978 on Nitrogen and Rice, IRRI, 18-21 Sept. 1978.
- Smith, R.L., Bouton, J.M., Schank, S.C. and Quesenberry, K.H. Yield increases of tropical 1975 grain and forage grasses after inoculation with S. lipoferum in Florida. In: Biological Nitrogen Fixation in Farming Systems of the Tropics (eds. A. Ayanaba and P.J. Dart), pp. 307-311. Wiley, New York, Brisbane, Toronto.
- Smith, R.L., Schank, S.C., Bouton, J.M. and Quesenberry, K.H. Yield increases of tropical 1978 grasses after inoculation with Spirillum lipoferum. Ecol. Bull. (Stockholm) 26:380-385.
- Sprent, J. Nitrogen fixation by legumes subjected to water stress and light stress. In: 1975 Nitrogen Fixation in Plants (ed. P.S. Nutman), pp. 405-422. Cambridge University Press.
- Subba Rao, N.S., Tilak, K.V., Lakshmi-Kumari M. and Singh, C.S. Field response of crops 1979 to the application of Azospirillum brasilense (In press).

Vincent, J.M. Environmental factors in the fixation of nitrogen by the legume. In: Soil
1965 Nitrogen (eds. W.V. Bartholomew and F.E. Clark). Amer. Soc. Agron., Madison, Wis
pp. 384-435. Agronomy Series No. 10.

Watanabe, A., Nishigaki, S. and Konishi, C. Effect of nitrogen fixing blue-green algae on
1951 the growth of rice plants. Nature (Lond.) 168:787-794.

2. NITROGEN FIXATION AS A SOURCE OF ENERGY IN TROPICAL AGRICULTURE
2. FIJACION DEL NITROGENO COMO UNA FUENTE ADICIONAL DE ENERGIA EN LA AGRICULTURA TROPICAL

by

Alaídes P. Ruschel 1/ and

Peter B. Vose 2/

Summary

The energy recovered by plants should be greater than the energy used in their production. In tropical areas excessive energy is consumed to produce food as is shown by the low yield/area obtained. Apart from choosing plants with high photosynthetic conversion efficiency, nitrogen fixation is one of the main possibilities for improvement in tropical agriculture, since symbiotic and associative N₂-fixing systems are well distributed in this region.

The objective of the present paper is to discuss energy requirements for N₂-fixation as well as the energy yields of different processes used to increase food production and yield/area. Symbiotic systems such as Legume-Rhizobium and Azolla-Anabaena can produce more than 50% of plant nitrogen in the case of the former and 100% in the case of Azolla. This could result in a higher yield of protein and a smaller use of ¹⁵N-fertilizer. Associative N₂-fixation has been demonstrated in sugarcane by using both ¹⁵N and evaluation of nitrogenase activity. The capacity to support a N₂-fixing system in sugarcane has been demonstrated to be an inherited character and can give 15-30% of plant-N. The use of selected varieties with the normal presence of N₂-fixing micro-organisms in new sugarcane fields will decrease the demand for N-fertilizer.

Better use of cultivated areas, e.g. by intercropping sugarcane in new fields, will be discussed as a means of increasing yield/area, and as a way to use labour during the whole year.

Improvement in nitrogen fixation either in legumes or non-legume associative N₂-fixing systems can be achieved by positive plant selection and breeding. The objective of such breeding will be to reduce the need for N-fertilizer. Achieving reasonable yields with low fertilizer input may be the overall objective rather than attaining ultimate maximum yield.

1. INTRODUCTION

Plant yields in the tropics are low when one considers that the energy recovered is smaller than the energy used in production (Vitlos, 1979). New alternatives to minimize losses of energy are necessary, using the technology and material of tropical regions. The most logical strategy to increase productivity would be to improve net photosynthesis, with a more efficient distribution of photosynthetic products in food of high nutritional value. Differences between C₃ and C₄ plants

1/ Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA)
Caixa Postal 96, 13400 Piracicaba, São Paulo, Brasil

2/ UNDP/IAEA Project BRA/78/006-CENA

Table 1

ORIGIN AND DISTRIBUTION OF N IN NON-NODULATED AND NODULATED SOYBEAN
 DETERMINED BY USE OF $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ AT 0.25 AND 50 kg N/ha
 (Ruschel *et al.*, Plant and Soil 53, 513, 1979)

kg N/ha	Shoots			Roots			Pods			Nodules		
	Ndfs	Ndff	Nfix	Ndfs	Ndff	Nfix	Ndfs	Ndff	Nfix	Ndfs	Ndff	Nfix
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Non-nodulated												
0	100.0	0	0	100.0	0	0	-	-	-	-	-	-
25	83.1	16.9	0	87.5	12.5	0	84.2	15.8	0	-	-	-
50	75.2	24.8	0	78.5	21.4	0	-	-	-	-	-	-
Nodulated												
0	56.0	0	44.0	100.0	0	nd	-	-	-	-	-	-
25	62.3	10.3	27.4	87.2	12.8	0	26.1	4.87	69.0	16.3	2.4	81.3
50	72.1	23.6	4.2	76.7	23.3	0	44.9	14.2	40.8	17.5	5.3	77.2

(Magalhães, 1979) indicate that cultivation of C₄ plants should be increased as they are better converters of solar energy, since C₃ plants reach a high photosynthesis saturation at 1/3 of maximum sunlight. However, C₄ representative plants such as sugarcane, maize and sorghum have high carbohydrate content and low protein, while C₃ plants although needing more CO₂ and lower temperatures than C₄ plants, have high nitrogen (protein) content. This suggests that research in C₄ plants should be directed to improving protein value and in C₃ plants to improving photosynthetic efficiency.

The oil scarcity has considerably changed agricultural processes, since not only fuel, but also fertilizers have had successive increases in price since 1973. Energy input for fertilizer production and transport is very high. Synthesis of ammonia by the Haber and Bosch process includes high temperature (300-600°C) and high pressure (200-800 atm). The better use of natural systems that can supply or enhance fertilizer uptake now seems a necessity. Mycorrhiza can increase P-absorption, and biological N₂-fixation can substitute part of the fertilizer-N.

The biological N₂-fixation process maintains the Pd-equilibrium in nature and is the only alternative to fertilizer for increasing nitrogen in the environment. According to Delwiche (1970) and Hardy and Holstein (1972) 0.6-1.6x10⁸ tons per year of N are incorporated into soil, mainly through symbiotic N₂-fixation in legume x Rhizobium, together with non-symbiotic fixation in soil or associated with rhizosphere fixation (sugarcane, forage grasses) and symbiosis of non-legume and micro-organisms (Alnus, Casuarina, Myrica x Actinomycetes, Azolla x Anabaena).

ENERGY RELATIONS IN LEGUME SYSTEMS

Nitrogenase, an enzyme present in all N₂-fixing micro-organisms, completes the transformation of dinitrogen into ammonia. Nitrogenase uses electrons transferred from photosynthesis through electron transferring ferredoxin and/or flavodoxin proteins, and requires ATP (the biological fuel) for oxidative phosphorylation in aerobes, and other sources of energy in anaerobes (Hardy et al., 1975). In accordance with Bergersen (1971) 15 moles of ATP are used per mol of N₂-reduced. However, plants always use energy to take nitrogen from the soil; or from the air by biological nitrogen fixation. The energy used in both cases is almost the same.

Ruschel et al. (1979) followed N-uptake, N₂-fixation and the distribution of nitrogen in different plant parts in nodulated and non-nodulated soybeans after applying three levels of ¹⁵N labelled nitrogen (0, 25 and 50 kg N/ha). It was found that shoots of non-nodulated plants had higher Ndff (Nitrogen derived from fertilizer) than nodulated and also higher Ndfs (Nitrogen derived from soil), as might be expected; in roots, partitioning of nitrogen was similar in both nodulated plants and non-nodulated, at all fertilizer levels (Table 1). It was concluded that nitrogen from fixation (Nfix) is primarily distributed to the aerial parts of plants, while in the roots Ndfs and Ndff are predominant. Determination of pod-N shows the great input of energy from Nfix (69.0 and 40.8% for 25 and 50 kg N/ha respectively), and the importance of N₂-fixation in the supply of seed protein. Comparing pods with shoots and roots, only a small proportion of Ndff is noticed in the former, which indicates the priority distribution given to fixed nitrogen in pod-formation and the relatively low N-transport from other parts of the plants to the pods, while 20% of the nitrogen used in nodule production and development comes from soil and fertilizer

Since the energy consumed by plants to fix nitrogen or to take up N from the soil is almost the same, we can conclude that every effort should be made to enhance the use of N₂-fixation in practice as an alternative to N-fertilizer. This can be done through selecting more efficient bacteria, and cultivars better able to support the symbiosis.

The great majority of N₂-fixing micro-organisms use part of the energy consumed to reduce the hydrogen-ion. Schrauzer (1977) observed that this reaction, ATP-dependent and catalysed by nitrogenase, diverts 25% of the energy to reduce H⁺. Bethlenfalvay (1977) reported H₂-evolution in beans during plant growth and Saito et al. (1980) working with this plant under phytotron conditions found that the symbiotic system has an efficiency of 0.66, when evaluating N₂-fixation by the acetylene reduction technique in relation to H₂-evolution. Using their data on ¹⁵N₂-fixation and H₂-evolved, and electron balance 3N + H₂ of the reaction performed by nitrogenase, it was possible to obtain the value of the energy used in both systems, i.e. 52% for N₂-fixation and 48% for H₂-evolution (Table 2), which means that N₂-fixation in this system was low. This is in accordance with data of Bergersen (1963) who obtained 42% and 58% for N₂ and H₂ respectively, working with soybean detached nodules. Schubert and Evans' (1977) results showed 53% and 47% (N₂) in mixtures of cell-free preparations of nitrogenase from soybean nodules. Conrad and Seiler (1979) carried out field measurements of hydrogen evolution by nitrogen-fixing legumes, and observed that soil covered with legumes represents a net source of atmospheric H₂, differing from soil covered with other plants which represent a net sink of atmospheric H₂. This energy loss can probably be decreased by general selection for more efficient N₂-fixing genotypes and bacteria.

Most of the land in tropical areas is 90% covered with pasture or forest, rich in legumes, having a greater contribution to the nitrogen economy than cultivated species (Dobereiner and Campelo, 1977). These authors report that in Brazilian savannas (caatinga) most of the herbaceous plants are Leguminosae, as well as in Cerrado regions, while the tropical rain forest has a large N₂-fixation contribution. N₂-fixation is already used in practice by agriculturalists, mainly by inoculation in legumes giving high N-yield: alfalfa 50-350, Trifolium spp. 50-200, peas 30-140, groundnuts 88, tropical pasture legumes, e.g. Stylosanthes 10-550 kg N/ha⁻¹/yr (Nutman, 1965). Large differences in N₂-fixation in legumes are linked to the net photosynthesis of the species. Soybeans can have a fixation of around 40-206 kg N/ha (Hardy et al., 1971), while Phaseolus-beans can fix around 50 kg N/ha (Brackel and Manil, 1965).

A recent NAS publication (1970) indicates that there are many useful tropical legumes which have received very little attention.

Another application of N₂-fixation could be the planting of inoculated legumes in soils that have lost their structure, e.g. soils which have been strip-mined. In this case, soil profiles are disrupted and growth of plants which need N-fertilizer is almost impracticable. Legume trees not only help the soil recover but also bring back its original characteristics.

Storage of energy in *Leucaena leucocephala* through biological N₂-fixation makes it a good source as cattle food and at maturity (4-5 yr) it supplies good wood material.

2.1 Non Legume Symbiosis

Application of N₂-fixation of symbiotic systems other than legumes x *Rhizobium* is known, such as the use of the association *Azolla-Anabaena*, the former being a fern and the latter an Alga that populates the dorsal lobule of the *Azolla*. The system survives in N-free media and accumulates 30-40 kg N/ha over two weeks in paddy rice (Watanabe, 1977). Fiore and Ruschel (1979), studying this symbiosis in plants from the Amazon river, observed that incorporation of *Azolla* in soil previous to planting increased the weight of paddy,rice plants. They also noticed the development of systems in the absence of aeration and nitrogenase activity was much better in pH 5.5 as was the increase of nitrogen in the system. The *Azolla* system is providing all the nitrogen required by the rice crop in certain areas of the world, such as Vietnam and parts of India (Singh, 1980). *Azolla-Anabaena* can serve as a protein source for pigs and ducks (Chevalier, 1926).

Table 2

ENERGY OF RHIZOBIUM (127K17) x PHASEOLUS VULGARIS
SYMBIOSIS USING DATA OF SAITO ET AL.. (1979)

Plant age (days)	N ₂ -fixed μmoles N/g nodules/h	H ₂ evolved μmoles H ₂ /h	(3N ₂ + H ₂) (N ₂ ase reaction performed)	Energy used %	
				N ₂	H ₂
21 - 22	29.5	81.6	170.1	52.1	47.9
25 - 30	17.0	43.3	94.3	54.1	45.9
32 - 33	19.8	16.9	36.7	53.9	46.6
37	8.4	7.9	16.4	51.8	48.2

In tropical regions there are quite a few non-legumes (Angiosperms) of significant economic importance that bear nodules as in temperate regions where members of the orders Coriales, Myricales, Fagales, Casuarinales, Rhamnales, Ericales and Rosales have as microsymbiont the actinomycete Frankia (Burns and Hardy, 1975). In Brazil there are representatives of Casuarina, mostly used as ornamental plants but there is no estimation of their nitrogen contribution by the system.

POSSIBILITIES OF INTERCROPPING

At present, the Brazilian Government is encouraging alcohol production from sugarcane to substitute part of the imported oil. This year 2.3 million hectares are being planted with cane and by 1985 there are expected to be about 4.1 million ha. There is an awareness among agriculturalists that such a rapid expansion of sugarcane may reduce the area of crops that produce protein food, such as legumes. Research has therefore to be directed to finding suitable other crops to plant with sugarcane. When a field of sugarcane is renewed, the cane is removed 6 months before the next planting time, and even after planting 70% of the area will be bare for almost six months. There will be additional losses of energy in removing weed and the application of herbicides, as well as solar energy. By planting other crops such as legumes before the sugarcane and in between the rows after planting, production per hectare could be increased, without harming the sugarcane, and soil nitrogen could be increased through biological fixation. This has been proved in Colombia (Gutierrez, 1980) and is common practice in S. China and parts of India. Table 3 shows the probable increases in yield/area in a sugarcane field. It assumes that soybeans are planted previous to sugarcane and Phaseolus beans between the rows of sugarcane. Expected yields will be 90, 0.4 and 1.0 ton/ha for sugarcane, beans and soybeans, respectively. If this practice was widely adopted in São Paulo State, total average yields per year could amount to as much as 46 million tons, 150 000 t and 570 000 t for sugarcane, beans and soybeans, respectively. In the long run, sugarcane improves the soil. The decay of roots adds organic matter to the soil, aeration is improved, and nitrogen fixation must tend to increase soil-N, as C/N ratio increases and root excretion supplies energy for micro-organisms.

Table 3 RENEWED AREA/YR OF SUGARCANE IN BRAZIL;
AREA AVAILABLE FOR PLANTING AN ASSOCIATED CROP, AND
TOTAL YIELD (t) OF SUGARCANE, BEANS AND SOYBEANS

	Renewed area ha/yr	Potential total yield (t)	
		1980	1985
Sugarcane (80 t/ha)	575 000	46 x 10 ⁶	70 x 10 ⁶
Soybeans (1000 kg/ha)	575 000	57 x 10 ⁴	11 x 10 ⁵
Phaseolus-beans (400 kg/ha)	380 000	15 x 10 ⁴	24 x 10 ⁴

Natural rubber production represents a great deal of stored energy. However, when *Hevea* sp. is being established, besides taking a long time (7 years), it is generally planted in soil that was recently covered with forest, and in the absence of the forest cover degradation of organic matter is rapid due to the high temperature and rainfall of the tropics. Loss of nitrogen occurs and this element must be replaced. Intercropping again offers the opportunity for improved land use. *Hevea* has a variable need for fertilizer nitrogen (Ani Bin Arope - III Seminario Nacional da Seringueira, Manaus, 1980). In Malaysia, it has been demonstrated that *Hevea*, when planted with legumes, needs only 27 kg of fertilizer N/ha/yr, without legumes it needs 612 kg N/ha/yr, and with legumes and other plants covering the soil 220 kg N/ha/yr, which indicates inputs as great as 550 kg N/ha/yr due to the Rhizobium-legume symbiosis. There is too, the possible existence of a nitrogen-fixing system directly associated with *Hevea* as nitrogen-fixing bacteria have been found (Ruschel, 1980) distributed in the stem of young plants. There is however as yet no evidence for such fixation.

ASSOCIATIVE NITROGEN FIXING SYSTEMS

Associative nitrogen fixation has been suspected since 1922 when Lipman and Taylor postulated some N-increase in wheat due to fixation. The first work demonstrating incorporation of N_2 in a non-legume was done with sugarcane (Ruschel et al., 1975). N_2 -fixing systems are usually linked to the rhizosphere (Starkey, 1958; Wallace and Lockhead, 1949), there being micro-organisms on root surfaces (Ruschel and Dobereiner, 1966) and inside roots (Dobereiner and Day, 1976). Recently the presence of N_2 -fixing micro-organisms has been observed inside stalks of sugarcane (Ruschel and Ruschel, 1977), maize (stalks and ears) and in crosses of maize and teosinte (Ruschel and Silva, 1979) as well as inside young rubber plant stems (Ruschel, 1980), indicating that N_2 -fixers are well distributed in nature. However, as far as is known these bacteria do not fix nitrogen in locations other than roots. For some systems we have good knowledge of the nitrogen fixing bacteria species, in others we have little information.

Benefits of N_2 -fixing micro-organisms and plant associations (rhizocoenoses) have not been evaluated properly at the present time due to technical difficulties. Estimates of around 250 g/ha/day, based on results of nitrogenase activity, were given by Dobereiner et al. (1972) in a well established *Paspalum* x *A. paspali* association; while Bülow and Dobereiner (1975) noticed activity of incubated maize roots similar to soybean nodules. By comparing tropical grasses uninoculated and inoculated with *Azospirillum*, Smith et al. (1978) observed fixation of around 40 kg N/ha/yr. Matsui et al. (1980) carried out a field experiment, on nine month old plant cane, in which $^{15}N_2$ enriched atmosphere was given over a five day period. ^{15}N enrichment of the soil taken from close to both big and small roots was found, but quantification of N_2 -fixation was not possible.

A definitive determination of the amounts of N_2 -fixation typically associated with Brazilian sugarcane has not been made. Tentative estimates (Ruschel and Vose, 1977; Ruschel et al., 1978; Vose et al., 1978) suggest it might be of the order of 25-30% of crop nitrogen, that is about 30-50 kg N/ha. In general, sugarcane in Brazil shows poor response to N-fertilizer and commercial application of N-fertilizer seldom exceeds 40-50 kg N/ha, while crops are removing upwards of 100 kg N/ha. This suggests that the balance is made up through N_2 -fixation and nitrogen derived from lightning ($5-7 \text{ kg N ha}^{-1}\text{yr}^{-1}$). Cases are known in Brazil where sugarcane has been grown continuously for 30 years without fertilizer-N (Alvarez, 1958; Anon., 1976). It is possible (probable?) that newer varieties developed under very high levels of N-fertilization, e.g. in Hawaii, will have a much reduced capacity to support a N_2 -fixing system. It is known that the ammonium ion completely blocks the N_2 -fixation process (Vose et al., 1980).

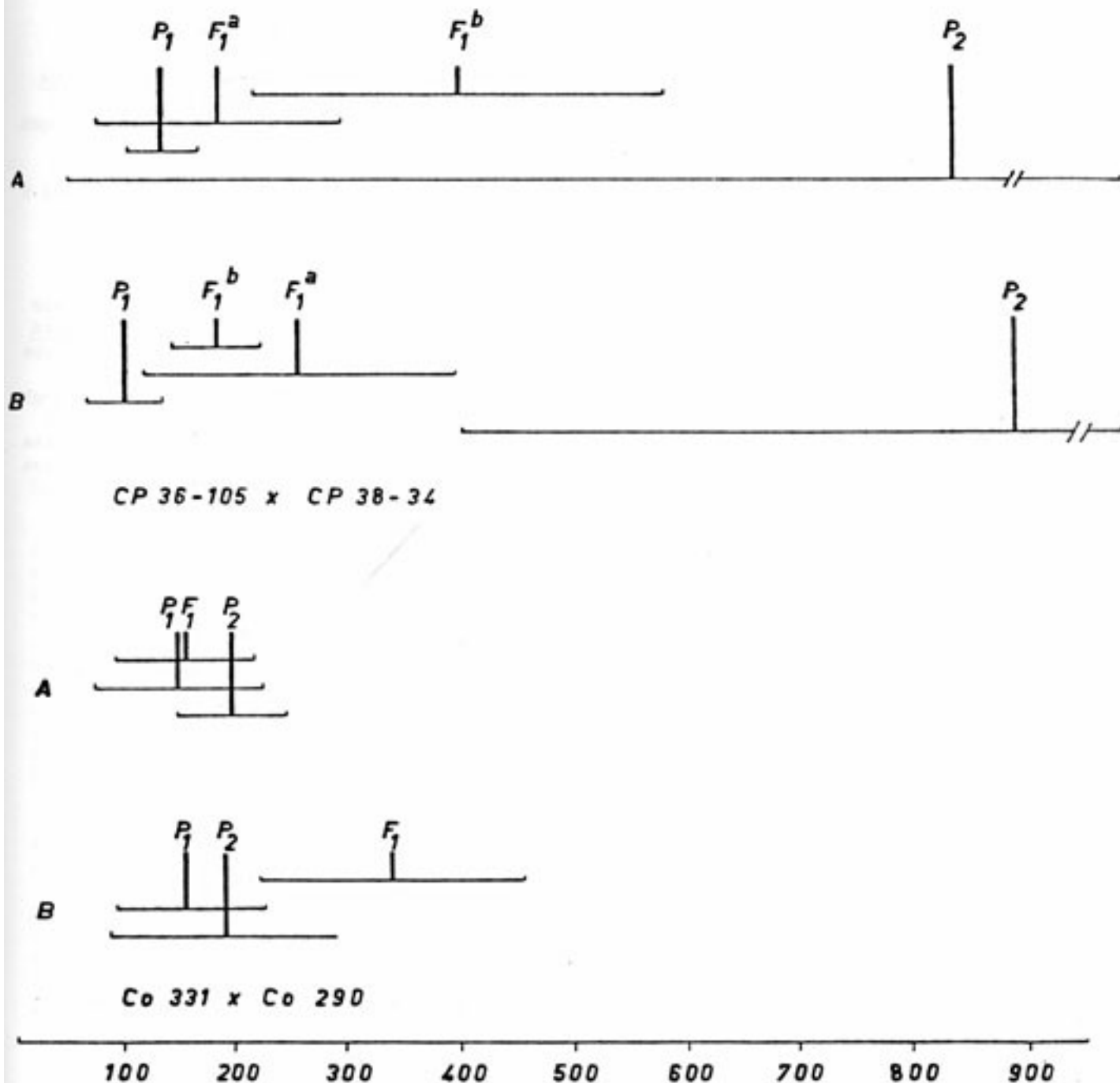


Figure 1. NITROGENASE ACTIVITY (N MOL OF ETHYLENE/PLANT) OF CROSSES CP36-105XCP38-36 AND Co331XCo290 IN TWO CONSECUTIVE YEARS, A (1977) AND B (1978). IT WAS FOUND THAT F_1 ACTIVITY WAS IN-BETWEEN THE PARENTS' ACTIVITY. (R. Ruschel and A.P. Ruschel, 1980)

It is known that a proportion of *Sorghum vulgare* cultivars show associative N_2 -fixation (Subba Rao and Dart, 1980). We have recently carried out a field experiment in which we measured the N_2 -fixation associated with Sudan grass, *Sorghum sudanense*, using ^{15}N labelled fertilizer and isotope dilution principles. We found that the Sudan grass fixed 14-19 kg N/ha, equivalent to 24-30% of total plant nitrogen at the first cut. The amount of nitrogen fixed was equivalent to the poorest *Phaseolus* bean variety in the same experiment, although in *Phaseolus* nitrogen fixed was 40-60% of total plant nitrogen. As Sudan grass regrows after cutting, the total N fixed in a season will almost certainly be greater than shown above.

The effect of plant species is well known. Ruschel and Ddbereiner (1965) working with different grasses noticed the effect of plant species on N_2 -fixing bacteria at the root-surface and in rhizosphere soil (Table 4). The root surface of all grasses studied had higher numbers of *Beijerinckia* than rhizosphere soil, *Melinis minutiflora* being the grass with the lowest number of bacteria. On the other hand, plant genotype also affects N_2 -fixation. Ddbereiner et al. (1975) pointed out the importance of plant genotype in maize and the potential for improvement of nitrogen fixation through plant breeding. By working with sugarcane varieties from known crosses showing high and low nitrogenase activity, Ruschel and Ruschel (1979) were able to observe that the charactexr for N_2 -fixation seems to be quantitative, indicating that positive selection for N_2 -fixation can be made (Figure 1).

Table 4 EFFECT OF PLANT SPECIES ON BEIJERINCKIA
(No. of microcolonies/g soil)

	Rhizosphere	Root surface
<i>Digitaria decumbens</i> sp.	91	203
<i>D. decumbens</i> A 24	101	282
<i>Panicum purpurascens</i>	107	160
<i>Cynodon dactylon</i>	85	243
<i>Melinis minutiflora</i>	2	11
Soil without plant	56	-

5. CONCLUSION

Nitrogen fixation, whether by Legume-Rhizobium symbiosis, *Azolla*-*Anabaena* or the less specific associations, e.g. of sugarcane, is already making a major contribution to nitrogen fertilizer economy and energy saving. Positive plant selection and breeding can do much to achieve better efficiency.

Much research still needs to be done not only to improve the N₂-fixing efficiency of the familiar Legume symbiosis, but also on such crops as sorghum and maize which are not normally recognized as N₂-fixing plants. In the latter case, it is important to recognize that we can probably greatly improve these systems by searching for more effective genotypes.

It is clear that there is great unexploited variability, and it is likely that we can find plants which better support N₂-fixation by going back to the less highly bred material which has not been selected under conditions of high N-fertilization. This approach is already providing results in maize (Brill - personal comm .) .

Possibly, cultivars especially selected for high nitrogen fixation may not produce the highest potential yields, as is likely with large applications of N-fertilizer. However, with the ever increasing cost of fertilizer, and the burden on many countries having to pay for it in hard currency, it is clear that in many tropical countries achieving reasonable yields with relatively low fertilizer input will be an overall objective, rather than the attainment of ultimate maximum yield.

Resumen

La fijación del nitrógeno es una de las principales posibilidades para el mejoramiento de la agricultura tropical. Los sistemas simbióticos tales como Rhizobium-leguminosa y Azolla-Anabaena pueden producir más del 50 y 100% del nitrógeno de la planta respectivamente. Esto puede dar como resultado el más alto rendimiento en proteínas y el más pequeño uso de fertilizante nitrogenado. Se ha demostrado la fijación-N₂ asociativa en la caña de azúcar usando 15N y la evaluación de la actividad de la nitrogenasa. La nitrogenasa es una enzima que está presente en todos los micro-organismos fijadores de N₂ y completa la transformación del dinitrógeno en amonio. Dado que la energía consumida por las plantas para fijar nitrógeno o tomar N del suelo es casi la misma, se puede concluir que se debería hacer un esfuerzo para aumentar el uso práctico de la fijación del N₂ como una alternativa para la fertilización nitrogenada. Esto puede hacerse mediante la selección más eficiente de bacterias y de cultivos capaces de soportar la simbiosis.

Otra aplicación de la fijación del N₂ sería la siembra de leguminosas inoculadas en suelos que han perdido su estructura. Árboles leguminosos no sólo recubren el suelo sino que recobran sus características originales.

En el estudio de plantas del río Amazonas se observó que la incorporación de Azolla en el suelo, previo a la siembra del arroz, incrementó el peso de las plantas de arroz. El sistema Azolla provee todo el nitrógeno que requiere el cultivo de arroz en ciertos lugares del mundo. La Azolla-Anabaena puede utilizarse como fuente de proteína para porcinos y patos.

En regiones tropicales hay unas pocas no-leguminosas (Angiospermas) de significado económico importante que llevan nódulos como aquéllas de las regiones templadas, y son miembros de los órdenes Coriales, Myricales, Fagales, Casuarinales, Rhamnales, Ericales y Rosales.

Existen buenas posibilidades para el uso de cultivo intercalados. Mediante el incremento del nitrógeno del suelo por medio de la fijación biológica, se puede aumentar la producción de caña de azúcar, sembrar soya antes de la siembra de la caña o intercalar frijoles entre los surcos de la caña. No obstante deben hacerse investigaciones, ya que hay cultivos de caña de azúcar que por más de 30 años no recibieron fertilización nitrogenada. El Sudan-grass, fija 14-19 kg N/ha, equivalente al 24-30% del nitrógeno total de la planta en el primer corte. Debido al costo creciente de los fertilizantes, el objetivo principal de la agricultura tropical, debe ser lograr rendimientos razonables con niveles bajos de fertilizantes, que tratar de alcanzar los rendimientos máximos que exigen altos niveles de los mismos.

REFERENCES

- Anon. Ensaaios de adubação a vários niveis de umidade. In: Relatório Anual do Planalsucar. 1976 Rio de Janeiro, Brasil, p.76.
- Alvarez, R., Segalla, A.L. and Catani, R.A. Adubação de cana-de-açucar. III. Fertilizantes nitrogenados. *Bragântia* 17:141-146. 1958
- Bergersen, F.J. The central reactions of nitrogen fixation. *Plant and Soil*, Special volume, 1971 511-524.
- Bergersen, F.J. The relationship between hydrogen evolution, hydrogen exchange, nitrogen fixation, and applied oxygen tension in soybean root nodules. *Aust. J. Biol. Sci.* 16:669-680. 1963
- Bethlenfalvay, G.J. and Phillips, D.A. Photosynthesis and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L. In: *Genetic Engineering for Nitrogen Fixation.* (ed) Hollaender. Plenum Press, New York. 1977
- Brakel, J. and Manil, P. Symbiotic fixation by the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.). 1965 Inoculation trials with *Rhizobium phaseoli*, *Bull. Inst. Agron, Stat. Rech., Gembloux* 33:3-25.
- Burns, R.C. and Hardy, R.W. Description and classification of Diazotropes. In: *Nitrogen Fixation in Bacteria and Higher Plants.* Chapt. 2:14-36. 1975
- Chevalier, A. La culture des *Azolla* pour la nourriture des animaux de bassecour et comme engrais vert pour les risières. *Rev. Bot. Appl. Trop.* 6:356-360. 1926
- Conrad, R. and Seiler, W. Field measurements of hydrogen evolution by nitrogen fixing legumes. *Soil Biol. Bioch.* 11:689-690. 1979
- Delwiche, C.C. The nitrogen cycle. *Sci. Am.* 223:136-146. 1970
- De-Polli, H., Matsui, E., Ddbereiner, J. and Salati, E. Confirmation of nitrogen fixation in two tropical grasses by 152d2 incorporation. *Soil Bio. Bioch.* 9:111-123. 1977
- Döbereiner, J. and Campello, A.B. Importance of legumes and their contribution to tropical agriculture. In: *A Treatise on Dinitrogen Fixation. Section IV. Agronomy and Ecology.* (eds) R.W.F. Hardy and A.H. Gibson. Willey, New York. 1977
- Döbereiner, J., Day, J.M. and Dart, P.J. Nitrogenase activity and oxygen sensitivity of the *Paspallum notatum* - *Azotobacter paspali* association. *J. Gen. Mícrob.* 71:103-116. 1972
- Döbereiner, J., Day, J.M. and Bülow, J.F.W. Associations of nitrogen fixing bacteria:with roots of forage grass species. *International Winter Wheat Conference, Zagreb, Yugoslavia.* 1975
- Döbereiner, J. and Day, J.M. Associative symbiosis in tropical grasses. Characterization of micro-organisms and dinitrogen fixing sites. *Proc. International Symposium on N₂-Fixation, Interdisciplinary Discussions, Washington State University Press.* 1975
- Fiori, M.F. and Ruschel, A.P. Nitrogen fixation by *Azolla-Anabaena* in culture solution. In: *International Workshop on Associative N₂-Fixation.* (eds) P.B. Vose and A.P.Ruschel. CRC Press. 1980
- Gutschick, V.P. Energy and nitrogen fixation. In: *Bio Science* 28(9):571-575. 1978

- Hardy, R.W.F. and Holstein, R.D. Global nitrogen cycling: pools evolution, transformations, transfers, quantitation and research needs. In: Proceedings Environmental Protection Agency Symposium on "The Aquatic Environment: Microbial Transformations and Water Quality Management Implications". (eds) R.K. Ballantine and L.H. Guaraos. Washington, D.C. 1972
- Hardy, R.W.F., Filmer, P. and Hageman, R.H. Nitrogen input. In: Crop Productivity Research Imperatives. (eds) A.W.B. Brown, T.C. Byerly, M. Gibbs and A. San Pietro. J. Michigan Agricultural Experiment Station, East Lansing, Michigan, USA. 1975
- Hardy, R.W.F., Burns, R.C., Herbert, R.R. and Jackson, E.K. Plant and Soil (Special volume - 1971 561).
- Lipman and Taylor. Science 56:605. 1922
- Magalhães, A.C.N. Fotossínteses. In: Fisiologia Vegetal. M.G. Ferri (ed), Editora da Universidade de São Paulo. 1979
- Matsui, E., Vose, P.B., Rodrigues, N.S. and Ruschel, A.P. Use of enriched gas to determine N_2 -fixation by undisturbed sugarcane plant in the field. International Workshop on Associative N_2 -Fixation, CENA, Piracicaba, Brasil. (eds) P.B. Vose and A.P. Ruschel. CRC Press. 1980
- Nutman, P.S. Symbiotic nitrogen fixation. In: Soil Nitrogen. (eds) W.V. Bartholomew, F.E. Clarck. Chap. 10:360-383. 1965
- National Academy of Sciences. Tropical Legumes: Resources for the Future. pp. 331, 1979 Washington, D.C.
- Quispel, A. General Introduction to the Biology of Nitrogen Fixation. North-Holland Publishing Company, New York. 1974
- Ruschel, A.P. Micro-organismos fixadores de N em Hevea sp. III Seminário Nacional da Seringueira e Simpósio Internacional da Borracha. Manaus, AM, Brasil. 1980
- Ruschel, A.P. and Ddbereiner, J. Bactérias assimbióticas fixadoras de nitrogênio na rizosfera de gramíneas forrageiras. Boletim No. 7. IPEACS/QNPEA - Ministério da Agricultura no Brasil. 1966
- Ruschel, A.P., Henis, Y. and Salati, E. Nitrogen-15 tracing of N-fixation with soil-grown sugarcane seedlings. Soil Biol. Bioch. 7(2):181-182. 1975
- Ruschel, R. and Ruschel, A.P. Inheritance of N_2 fixing ability in sugarcane. International Workshop on Associative N_2 -Fixation, CENA, Piracicaba, S. Paulo, Brasil. (eds) P.B. Vose and A.P. Ruschel. CRC Press. 1980
- Ruschel, A.P. and Silva, W.J. N_2 fixing populations in seeds and plant parts of teosinte and maize plants from Zea mays x Zea mexicana (teosinte) crosses. International Workshop on N_2 -Fixation, CENA, Piracicaba, SP, Brasil. (eds) P.B. Vose and A.P. Ruschel. CRC Press. 1980
- Saito, S.M.T., Matsui, E. and Salati, E. N_2 -fixation, H_2 -evolution and C_2H_4 -reduction relationship in *Phaseolus vulgaris* L. Physiologia Plantarum 49:37-42. 1980
- Schrauzer, G.N. Nitrogenase model systems and the mechanism of biological nitrogen reduction: Advances since 1974. In: Recent Developments in Nitrogen Fixation. (eds) W. Newton, J.R. Postgate and C. Rodriguez-Barrueco. Academic Press, London, p. 109-118. 1977

- Schubert, K.R. and Evans, H.J. The relation of hydrogen reactions to nitrogen fixation in
1977 nodulated symbionts. In: Recent Developments in Nitrogen Fixation. (eds)
W. Newton, J.R. Postgate and C. Rodriguez-Barrueco. Academic Press, London,
p. 469-485.
- Singh, P.K. Use of Azolla and blue-green algae in rice cultivation in India. International
1980 Workshop on Associative N -Fixation, CENA, Piracicaba, SP, Brasil. (eds) P.B. Vose
and A.P. Ruschel. CRC Press.
- Smith, R.L., Schank, S.C., Bouton, J.H. and Quesenberry, K.H. In: Environmental Role of
1978 Nitrogen-Fixing Blue-gree Algae and Asymbiotic Bacteria. Ecol. Bull. (ed)
U. Granhall. Stockholm. 26:380-385.
- Subba Rao, R. V. and Dart, P.J. Nitrogen fixation associated with sorghum and millet.
1980 International Workshop on Associative N₂-Fixation, CENA, Piracicaba, SP, Brasil.
(eds) P.B. Vose and A.P. Ruschel. CRC Press.
- Vlitos, A.J. Botanica criativa. Sugar Y Azucar do Brasil (3):36-42.
1979
- Von Bülow, J.F. W. and Debereiner, J. Potential for nitrogen fixation in maize genotypes in
1975 Brazil. Proc. Nat. Acad. Sci., USA, Vol. 72(6):2389-2393.
- Wallace, R.H. and Lockhead, A.G. Qualitative studies of soil micro-organisms: VIII -
1949 Influence of various crops on the nutritional groups of soil bacteria. Soil Sci.
67:63-75.
- Watanabe, I. The utilization of Azolla-Anabaena complex as nitrogen fertilizer for rice.
1977 IRPS (ii):1-15.

3. LEGUME INOCULANT PRODUCTION AND MAJOR PROBLEMS

3. PRODUCCION DE INOCULANTES EN LEGUMINOSAS Y SUS PRINCIPALES PROBLEMAS

by

Y.A. Hamdill/ - and
Alaides P. Ruschel-2/

Summary

Production of legume inoculants described in terms of: strain selection, evaluation of strains, bacterial propagation, carriers of rhizobia and prior treatments, inoculant preparation, quality control tests, and inoculant application. Problems on the inoculant production during fermentation, storage inoculant, and field application are discussed.

1. INTRODUCTION

Legume inoculation is defined as the addition of effective rhizobia to leguminous seeds prior to planting for the purpose of promoting symbiotic nitrogen fixation. Pure culture on agar were introduced in 1896 by Nobe and Hiltner (Date and Roughley, 1977), but were soon replaced by sterilized soil impregnated with rhizobia, then by peat.

Little argument exists that inoculation is necessary in the majority of agricultural soils throughout the world. Four conditions warrant the inoculation of leguminous seed with rhizobial preparations: 1) when a leguminous plant has not been previously cultivated; 2) if the leguminous crop that was grown previously on the land lacked good nodulation; 3) in a rotation cycle accompanying, or following, a non leguminous plant, and lastly 4) when the land has been abused by lack of care or reclaimed from disastrous conditions.

The objects of seed inoculation can be more accurately stated as the introduction into the soil at the time of sowing of a Rhizobium strain in such a way that the inoculant will: 1) remain viable until the host seedling is able to accept an infection; 2) compete with any naturalized rhizobia for infection sites on the roots of the host legume and so form sufficient nodule tissue to permit maximum N₂ fixation; 3) nodulate its host or hosts promptly and to a level of effectiveness over a range of environmental conditions; 4) persist in soil for at least several years to maintain nodulation of perennial legumes or to achieve prompt nodulation of regenerating annual species (Brockwell, 1977).

In general, six types of inoculants are known: 1) moist peat powder, 2) liquid or broth, 3) agar or bottle culture, 4) oil dried rhizobia in vermiculite, 5) lyophilized rhizobia in talc, and 6) a granular type peat inoculant.

1/ Department of Microbiology, Agriculture Research Center, Giza, Egypt.

2/ Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de S. Paulo, Piracicaba, S.P., Brazil.

These inoculants are all produced in the United States of America (Burton, 1976). One or more of these types is produced in different parts of the world according to conditions available.

2. STRAIN SELECTION

The selection of highly effective rhizobium strains is one of the principle obligations of the inoculant producer. A strain must be able to form effective nitrogen fixing nodules on the hosts for which it is recommended under a wide range of field conditions. Other characteristics include competitiveness in nodule formation and survival and multiplication on the soil particularly in the absence of the host. Additional criteria include prompt effective nodulation over a range of root temperatures, ability to grow well in culture, to grow and survive in peat and survive on seed, pH tolerance, pesticide tolerance and nodulation in the presence of combined nitrogen.

3. COLLECTION OF STRAINS OF RHIZOBIUM

Date (1976) indicated two approaches to the collection of suitable strains for new legumes or the establishment of a new collection of strains.

- (a) If the legume species is a new introduction, plant collectors should be requested to collect nodules at the same time so that the microbiologists can isolate the Rhizobium and subsequently provide it as the inoculum.
- (b) Uninoculated seed of the new species can be planted at a number of sites in the hope, not always realized, that native strains will form effective nodules from which suitable Rhizobium strains can be isolated.

In addition strains of rhizobia can be obtained from different culture collections: e.g. CSIRO, Canberra or Brisbane, Australia; Rothamsted Experiment Station, Harpenden, Herts., UK; USDA, Beltsville, USA.

4. EVALUATION OF STRAINS

Rhizobia for legume inoculants should be evaluated as follows:

- i. Screening for effectiveness in N₂-fixation.
- ii . Assay of selected effective strain for N-fixing ability under field conditions including competition for nodule sites, persistence and colonizing ability.
- iii . pH and pesticide tolerance, survival in culture and on seed. Controlled environment facilities will provide reliable comparative information of the ability of a large number of strains to fix nitrogen. Field trials can evaluate only a limited number of strains because of the demands of time, labour and facilities. In special circumstances, glasshouse trials in pure culture can be used to forecast field performance.

For controlled environment and glasshouse conditions, aseptic culture of plants in tubes or sand jars as described by Vincent (1970) provides a satisfactory means of ranking strains for effectiveness. Undisturbed soil core samples collected by driving an empty can into the ground and then removing it to the glasshouse can also be used.

Field trials provide the ultimate test of a strain's ability, since the proportion of nodules formed and the amount of nitrogen fixed are the end result of many interacting factors.

Effectiveness is measured either directly by determining the amount of nitrogen fixed or indirectly by measuring plant dry weight; these two parameters are highly correlated.

BACTERIA PROPAGATION

The submerged culture technique for growing rhizobia is now used by many producers of legume inoculants. Culture vessels or fermentors range from pyrex carboys to specially built tanks holding several hundred gallons of liquid medium.

The starters are prepared as follows: growth from 3-5 days test tube cultures of the various strains is transferred into special flasks containing sterile yeast extract mannitol agar medium. After 3-5 days incubation at 25°C, the starter flask is ready for use. The bacteria are washed from the surface and this suspension constitutes the seed or starter for one of the 10 gallon fermentors.

The fermentation media for growth of rhizobia varies depending upon the species of rhizobia to be grown. Basically, it is a yeast extract, sucrose, mineral salts medium.

The medium is prepared and sterilized in the individual fermentor. After cooling to 27°C, the starter culture is added. Sterile air is dispersed into the bottom of the vessel through a stainless steel sparger equipped with small drilled perforations. The average fermentation cycle is 72 hours. At the end of this period the liquid culture usually contains approximately $5\ 000 \times 10^6$ cells/ml.

The liquid cultures from the 10 gallon fermentors can be used as starter or seed cultures for the 400 gallon fermentors. Again 72 hours are required to attain the desired bacteria count of $5\ 000 \times 10^6$ cells/ml.

Fermentors vary from elaborate large ones (1 000-2 000 litres) to simple flasks or drums (10-100 litres). Good serviceable fermentors can be made from steel drums fitted with tube inlets, outlets, inoculation and sampling ports (Fig. 1) (Date and Roughley, 1977).

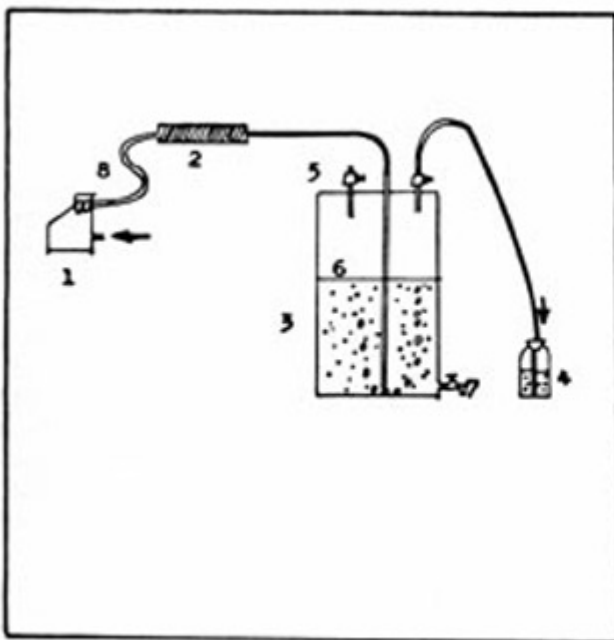


Figure 1. PROPAGATION OF RHIZOBIA: DIAGRAM OF SIMPLE FERMENTATION UNIT FOR PRODUCTION OF RHIZOBIAL BROTH CULTURES: (Date and Roughley, 1977).

1. Compressor for air supply.
2. Filter for sterilization.
3. Fermentation unit.
4. Outlet.
5. Inoculation port.
6. Broth stirred by air bubbles.
7. Sampling port.
8. Pressure reducing diaphragm.

6. CARRIERS OF RHIZOBIA

The first artificial inoculants were liquid bacterial cultures added to seed or directly to soil. Although the results were frequently unsatisfactory, broth cultures of *Rhizobium* suspensions washed from agar medium continued to receive attention. However, critical comparisons of liquid cultures with peat inoculants consistently confirmed the superiority of the latter. Liquid cultures seem to lack the protective effect afforded by peat to rhizobia on seed following inoculation.

Many attempts were made to produce inoculants other than peat based inoculants: 1) peat containing carbon black, 2) soil plus wood charcoal, 3) peat or soil amended with materials such as lucerne meal, ground straw, yeast and sugar, 4) Nile silt supplemented with nutrients, 5) soil plus coir dust or soybean meal, 6) other materials were tested as carriers of rhizobia: vermiculite, decomposed perlite and rice husk composts, ground rock phosphate, coffee husk compost, 7) cob-earth which is milled, decomposed, ground maize supplemented with nutrients, 8) finely ground bagasse was found suitable for soybean rhizobia, 9) coal based inoculant; best results were obtained with coal: bentonite: lucerne (CBL. 2:2:1) and a moisture content of 50% and 10) peat moss discs.

In spite of all attempts to substitute the peat inoculants, peat remains as the unchallenged carrier. Most of the potential carriers have been studied in detail but they do not seem to possess superior properties that would justify their replacement of peat. Some of the materials also suffer from the disadvantage of being unavailable in many countries. However, it is clear that the search for new carriers has often been prompted by the lack of suitable local peat, and that the materials investigated were cheap and readily available in those areas.

Prior Treatment of Carriers

- Source and character of peat

The most important factors to consider before selecting a particular peat as a carrier are the source and character of the material. Whereas the choice may be aided by chemical analysis, actual multiplications of *Rhizobium* strains in the peat are essential.

Most peat carriers have a high organic matter content but this is not an essential feature of peat carriers in good inoculant (South Africa 45.7-58.3%OM, Colombia 35-78%OM).

- Drying of peat and particle size

Drying of the harvested peat is an important step in its preparation. It has been shown with Australian peat that the final drying temperature should not exceed 100°C in order to avoid the formation of toxic degradation products and excessive rises in temperature when the peat is subsequently wetted by the addition of broth culture. Burton (1967) described the production of high quality inoculants by flash drying the peat carrier with hot air at 650°C to a moisture content of 7%. Dried peat is usually ground in a hammer mill. In Australia, the best results are obtained with peat carriers that pass through a 200 mesh sieve (Roughley, 1970). Whereas a small particle size is considered important by many inoculant producers, good results have been reported by van Schreven (1970) with peat sieved through 2 mm screen. Peat and soil carriers used by Indian workers, were ground to pass a 60 mesh sieve (Iswaran et al., 1969).

- pH and moisture content

Most peat deposits, with the exception of the Mount Gambier peats used in Australia, have a low pH and require the addition of a neutralizing agent before use (peat pH: 3 to 6). Peat carriers are usually adjusted to pH 6.0-7.0 with Ca carbonate. Ca carbonate is better than Na or K carbonates.

A final moisture, after adding rhizobia, of 40-55% appears favourable for most peats used as carriers (van Schreven, 1958). Good survival has been obtained in peat inoculants in USA containing 35-50% moisture, and 40-50% was found suitable in Australian peat (non-sterile) whereas moisture below 30% or above 60% was unfavourable for survival. However, for sterile peat, 60% moisture was recommended (Roughley, 1970).

Containers

The containers in which carriers are packed are important since their gas exchange and moisture property may have a marked effect on the quality of inoculants. Bottles plugged with cotton wool and covered with cellophane are used in Holland (van Schreven, 1958). Bags of low density polyethylene are used in Australia (0.038-0.051 mm gauge), while high density 0.31-0.32 mm ones are considered suitable for carriers in New Zealand and S. Africa.

Sterilization of Peat

Most inoculants are probably still being produced in unsterilized or partially sterilized peat. Many of these are of high quality and there appears to be no advantage in producers switching to the difficult and more expensive process of aseptic inoculation of sterilized peat in packets or other containers. Unfortunately this does not hold true for all peats used in inoculants; a rapid loss of viability of rhizobia in non-sterile peat stored at 25°C was reported by Vincent (1958). Survival in sterile peat was not affected by temperatures up to 26°C and high moisture levels, i.e. 60%.

There is evidence that slow-growing rhizobia, e.g. cowpea, soybean and *Lotononis*, may survive poorly in a non-sterile peat that satisfactorily supports survival of fast-growing strains (Roughley and Vincent, 1967). Whereas sterilization of peat may not be essential for all peats, it is a pre-requisite for others in order to ensure success with various *Rhizobium* strains.

Steam is most commonly used for sterilization: 1-4 hours at about 120°C or 3 hours at 125°C is usual. Dry heat was also used for 1 hour at 120°C.

Australian workers found excessive heat treatment of peat detrimental to subsequent growth and survival of rhizobia.

Roughley and Vincent (1967) reported excellent survival of rhizobia in gamma-irradiated peat (5×10^6 rad) and this method is currently used for all inoculants produced in Australia. However, gamma-irradiation does not completely sterilize the peat in routine practice and certain micro-organisms seem remarkably resistant to doses up to $2.4 - 2.8 \times 10^6$ rad (Anellis et al., 1973).

Gaseous sterilization of peat was tested in South Africa using Etox (90% ethylene oxide + 10% CO₂) at 500, 750 and 1 000 mg/l for 8 and 16 hr). A common characteristic of all Etox treated peat was the marked decrease in number of rhizobia shortly after inoculation (Strijdom and Deschodt, 1976).

7. INOCULANT PREPARATION

The next step in production of legume inoculants is to blend the liquid culture with the carrier medium. The freshly made inoculant is placed in shallow layers and cured at room temperature for several hours before packing. This dissipates heat and allows more intimate wetting. Superficial drying of the peat lessens the likelihood of mould growth, but if the peat is to be held longer than a few days at this stage, it should be covered loosely with polyethylene sheeting or transferred to large polyethylene bags or covered containers until packed.

8. STANDARDS OF INOCULANTS

The relationship between the number of viable cells put on the seed and success in securing nodulation is not simple. At one extreme, when conditions are absolutely favourable, the application of a few rhizobia will result in a rapid colonization of the developing root and plenty of nodules. On the other hand, conditions may be so unfavourable for survival, or other rhizobia already present may be so numerous, as to demand an extremely heavy inoculum if success is to be achieved. Table 1 gives inoculation rates recommended by the Australian Inoculant Research and Control Service.

9. MULTISTRAIN INOCULANTS

Multistrain inoculants contain either strains for two inoculation groups, e.g. strains for clovers and medics, or a mixture for strains from the one group. The first type is used to simplify distribution but it is not recommended because of the reduced numbers of rhizobia of each host group. The second type is used to provide an inoculant effective for the wider range of host plants to offset the dangers of undesirable variations resulting in loss of essential characteristics.

10. TESTS FOR QUALITY CONTROL OF INOCULANTS

Several tests are applied to control the quality of inoculants; among them are:

- i. qualitative tests for immediate detection of contamination or wrong strain in the broth culture (pH, agglutination, Gram smear, glucose, peptone agar and yeast mannitol agar);
- ii. quantitative tests in broth: total and viable count;
- iii. quantitative tests in peat culture.

Surface plate counts on Congo red yeast mannitol agar and plant infection counts can also be used for quality control checks.

11. INOCULANT APPLICATION

There are two main methods of inoculant application: direct and indirect. Direct methods include putting the inoculant into seed before sowing by dusting, slurry and pelleting. Indirect methods involve sowing seeds without inoculation and the inoculant is then applied into soil in liquid or granular form.

Table 1

INOCULATION RATE AND MINIMUM NUMBER OF RHIZOBIA
PER SEED FOR AUSTRALIAN INOCULANT RESEARCH AND
CONTROL SERVICE TESTED PEAT CULTURES
(Date and Roughley, 1977)

Host species	Seeds	Inoculation kg seed /70 g Peat (a)	Rhizobia minimum number/ seed (b)
<i>Lotononis bainesii</i>	3 840 000	5	110
<i>Lotus pedunculatus</i>	1 940 000	5	720
<i>Trifolium repens</i>	1 650 000	5	830
<i>Stylosanthes humilis</i>	440 000	5	3 180
<i>Medicago sativa</i>	430 000	10	1 640
<i>Trifolium subterraneum</i>	154 000	10	4 540
<i>Macroptilium atropurpureum</i>	88 000	10	8 000
<i>Vigna sinensis</i>	15 000	25	18 700
<i>Glycine max</i>	11 000	25	25 400
<i>Lupinus angustifolius</i>	7 500	25	37 400
<i>Phaseolus vulgaris</i>	4 000	25	70 000
<i>Pisum sativum</i>	3 100	25	90 000

(a) These values are higher than reported by Vincent (1970).

(b) For cultures in sterilized peat meeting current standard at the end by expiry period, 100×10^6 rhizobia/g except for *Lotononis* culture which is 30×10^6 /g. For cultures in non-sterilized peat (min. standard expiry 30×10^6 /g) the number of rhizobia/seed would be 10-fold fewer than listed.

11.1 Dusting

Initially, manufacturers recommended that inoculant be merely mixed with the seed immediately before sowing. Some cultures adhere to the seed by lodging in the micropyle and in scratches and irregularities on the testa, and by electrostatic attraction. However, as much of it falls off especially during the passage of the seed through machinery, dusting is no longer used.

11.2 Slurry

To increase the amount of inoculant adhering to the seed, the culture is either applied as a water suspension, or alternatively; the inoculant is mixed with moistened seed. The seed must be dried (not in direct sunlight) but as it dries part of the inoculant falls off. A large amount of the inoculant can be attached to seed by using an adhesive in the slurry, e.g. 10% sugar solution, gum arabic or cellofas A (carboxymethyl cellulose). With inoculant treated with slurry, there should be an incubation period of 14 days followed by storage in refrigerated conditions (4°C), since storage at ambient temperature would decrease the number of Rhizobia. After leaving these conditions, the inoculant must be delivered as quickly as possible to the farm for application.

11.3 Seed Pelleting

Pelleting legume seed with lime provides a means to protect rhizobia from both acid soils and fertilizers. Pelleting involves mixing the inoculum with an adhesive then putting the mixture onto the seed. Seeds are then rolled in a coating material. Adhesives usually used include synthetic glues, glues of vegetable origin, gelatin, various sugars and honey. Whatever adhesive is used, it should have sufficient tenacity to avoid the coating material sloughing off, which could lead to line blockages in machinery for sowing and plant establishment. Coating materials tested include calcium carbonate in many forms, dolomite, various grades of gypsum, bentonite and other clay minerals, superphosphate, rock phosphate and other phosphorus compounds, titanium oxide, soil and lhumus, talc and activated charcoal. For general purpose pelleting, the main requirements for a good pelleting material are that it should be relatively close to neutrality and be finely ground (90% at least should pass through 300 mesh, Brockwell, 1977).

11.4 Pre-inoculation

Pre-inoculation is the inoculation of seeds by merchants prior to sale or distribution to farmers and it implies a period of storage of the inoculated seed before it is sown.

Considerable interest was aroused some years ago by the development of a seed impregnation technique (now the commercial process known as Inoculated seed) devised to extend the life of inoculum by introducing rhizobia beneath the seed coat where they are protected from drying and other adverse environmental conditions.

Thompson, Brockwell and Roughley (1975) reviewed legume seed pre-inoculation in the USA and Australia; they recommended that the date of preparation be displayed on all batches of pre-inoculated seeds. Retailers should be acquainted with the principles governing storage of inoculated seed and the expiry period of one month should be adhered to.

11.5 Drenching Method of Inoculation (Liquid Inoculants)

Haly et al. (1976) described a pressure controlled commercial scale, spray as a legume inoculation technique. It was developed for the accurate placement of suspensions of nodule bacteria into soil beneath seeds and for the application of greater amounts of inoculum than can be carried on seed inoculated according to the present practice.

11.6 Granular Inoculants

Fraser (1966, 1975) developed a granular type inoculant. Columnar beds of the granules together with a synthetic medium, were inoculated with *R. meliloti* or *R. trifolii* and allowed to incubate for 7 days. A mixture of milk and sucrose was then percolated through them, and after draining off the excess liquid they were spread out to dry at room temperature.

Granules with counts ranging from 200 to 500 x 10⁶/g were produced by this method, and storage tests indicate that at 20°C, a shelf life of two years is possible before the number of rhizobia falls below the requirement of 300/seed. There are relatively few contaminants on the granules and, owing to the low moisture content, they are unable to multiply during storage. If placed in air-tight containers, however, moisture accumulates on the surface of the granules which allows moulds to develop. Comparative data on response of clover to the inoculant was presented.

In another study, Aziz (1978) developed a granulated inoculant for *R. phaseoli*, using a pharmaceutical tablet coating machine, sodium carboxymethyl cellulose and CaSO₄. Response to the granulated inoculant was significantly higher than other methods, e.g. seed pelleting.

Burton (1976) developed granulated inoculants from peat. With this method, chemical treatments can be applied to the seeds without fear of killing the rhizobia. It is beneficial for culturing soybean in hot sandy soils or when sowing legumes from the air.

12. PROBLEMS OF INOCULANT PRODUCTION

Poor response to field inoculation could be the result of problems arising during inoculant manufacture, during storage and at the time for field application. However, the first hurdle to be surmounted is to know the 'reason for inoculation, followed by knowledge of the nutrient levels required for the culture, and the variety used. Ham et al. (1979) observed that inoculation of soybean with an effective strain failed to increase yield and it did not compete even with native flora, which indicates the need for selection of strains from the region studied, and to take into consideration the legume variety, so as to achieve a good strain x variety association, with a high use of symbiotically fixed N. Before deciding on a Rhizobium for a specific situation, criteria which must be taken in consideration are specificity and effectiveness, competition of the strain with native flora, as well as survival and multiplication in the soil.

The main problem of inoculant production is contamination during the growing period in fermenters. Biological tests (litmus milk or development in culture media) for confirmation of Rhizobium generally take more than one day, and examination under a microscope with a Gram smear is not the final solution.

If a slow growing Rhizobium is used, more precautions have to be taken such as using good air filters and constantly monitoring growth. Some of the means that should be adopted for the control of all Rhizobia are :

- i. pH, for observing acid or alkali producing contaminants (pH > 6 or < 8 - suspect);
- ii. agglutination: by using specific antiserum (1:100) for the inoculant strain;
- iii. Gram stain - detect Gram positive contaminants, spore forms and other specific morphology;
- iv. inoculate with peptone agar for detection of growth after 1-2 days;
- v. growth in minitol-agar to detect contaminants.

3. USE OF INOCULANTS

The success of the inoculation depends on the manner of application. Seeds have to be free from pesticides, and after being inoculated they must be planted as soon as possible, although inoculated seeds may be kept overnight at low temperature. Soil needs to be reasonably moist. A period of drought after planting, besides affecting germination, also decreases nodulation.

Resumen

Cuatro condiciones garantizan la inoculación de las semillas de leguminosas con preparaciones rizobiales:

- i. Que en ese suelo previamente no se haya cultivado una leguminosa.
- ii. Si se sembró una leguminosa previamente, a esta le faltó buena formación de nódulos.
- iii. Cuando en una rotación se acompaña o sigue a una no-leguminosa y
- iv. Cuando el suelo está muy descuidado o se ha recuperado de una condición desastrosa.

Se conoce generalmente seis tipos de inoculantes y son de tipo comercial. La selección de una cepa de *Rhizobium* altamente efectiva es una de las principales obligaciones del productor de inoculantes. La evaluación del *Rhizobium* para la inoculación de leguminosas, se efectuaría, por su efectividad y habilidad en la fijación del N_2 , persistencia y habilidad en colonización. Para la preparación de inoculantes de leguminosas se utiliza la técnica del cultivo sumergido y turba, como portador. La turba tiene alto contenido de materia orgánica. La temperatura de secamiento final no debe pasar de $100^{\circ}C$, los mejores resultados se han obtenido en turbas portadoras que pasan a través de tamices con malla 200, el pH entre 6,0 a 7,0 ajustado con carbonato de calcio; el contenido final de humedad después de agregar el *rhizobium* es de 40-55% para la mayoría de turbas portadoras, y 60% para las turbas esterilizadas.

Pobre respuesta a la inoculación en el campo, sería el resultado de los problemas que aparecen en la preparación y almacenamiento del inoculante; y al tiempo de la aplicación en el campo; lo que implica la necesidad de seleccionar cepas de la misma región estudiada, su sobrevivencia y multiplicación en el suelo. El principal problema de la producción de inoculantes es la contaminación; es necesario que en la refrigeración se conserven temperaturas de $4^{\circ}C$. La semilla tiene que estar libre de la aplicación de insecticidas, sembradas tan pronto como sea posible y en un suelo con un contenido de humedad apropiado. La respuesta más altamente significativa ha sido a inoculantes granulados, que a otros métodos.

REFERENCES

- Annellis, A., Berkowitz, D. and Kemper, D. Comparative resistance of non-sporogenic
1973 bacteria to low temperature gamma radiation. *Appl. Microbiol.* 25, 517-23.
- Brockwell, J. Application of legume seed inoculants. In: *A Treatise on Dinitrogen
1977 Fixation. Section IV. Agronomy and Ecology.* (eds) R.W.F. Hardy and A.H. Gibson.
pp. 277-309.
- Burton, J.C. The Rhizobium-legume association. In: *Microbiology and Soil Fertility.* (eds)
1965 G.M. Gilmour and O.N. Allen. pp. 107-134 Oregon State University Press, Corvallis.
- Burton, T.C. Rhizobium culture and use. In: *Microbial Technology.* (ed) H.J. Pepler.
1967 pp. 1-33. van Nostrand Reinhold, New York.
- Date, R.A. Principles of Rhizobium strain selection. In: *Symbiotic Nitrogen Fixation in
1975 Plants.* (ed) P.S. Nutman. pp. 137-150. Cambridge University Press, Cambridge.
- Date, R.A. and Roughley, R.J. Preparation of legume seed inoculants. In: *A Treatise on
1977 Dinitrogen Fixation. Section IV. Agronomy and Ecology.* (eds) R.W.F. Hardy and
A.H. Gibson. pp. 245-275.
- Ham, G.E., Caldwell, C.B. and Johnson, H.W. Evaluation of Rhizobium japonicum inoculants
1971 in soils containing neutralized populations of Rhizobia. *Agron. J.* 63:301-303.
- Haly, F.W., Hutchings, R.J. and Zorin, M. Legume inoculation by spraying suspensions of
1976 nodule bacteria into soil beneath the seeds. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 42:241-244.
- Iswaren, V., Sundara Rao, W.V.B., Magu, S.P. and Jauhrí, K.S. Indian peat as a carrier of
1969 Rhizobium. *Curr. Sci.* 38, 468-469.
- Roughley, R.J. and Vincent, J.M. Growth and survival of Rhizobium spp. in peat culture.
1967 *J. Appl. Bacteriol.* 30:362-370.
- Roughley, R.J. The preparation and use of legume seed inoculants. *Plant and Soil* 32:675-701.
1970
- Strijdom, B.W. and Deschodt, C.C. Carriers of rhizobia and the effects of prior treatments
1975 on the survival of rhizobia. In: *Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants.* (ed)
P.S. Nutman. pp. 151-168. Cambridge University Press, Cambridge.
- Thompson, J.A., Brockwell, J. and Roughley, R.J. Pre-inoculation of legume seed. *J. Aust.
1975 Inst. Agric. Sci.*
- Van Schreven, D.A. Methods used in the Netherlands for the production of legume inoculants.
1958 In: *Nutrition of Legumes.* (ed) E.G. Hallsworth. pp. 328-338. Butterworth, London.
- Van Schreven, D.A. Some factors affecting growth and survival of Rhizobium sp. in soil peat
1970 cultures. *Plant and Soil* 32:113-130.
- Vincent, J.M. Survival of the root nodule bacteria. In: *Nutrition of Legumes.* (ed) E.G.
1958 Hallsworth. pp. 108-123. Butterworth, London.
- Vincent, J.M. *A Manual for the Practical Study of Root Nodule Bacteria.* IBP Handbook No.15,
1970 Blackwell Sci. Pub., Oxford and Edinburgh.

4. La posible contribución de la fijación biológica del Nitrógeno de los cultivos

por

C. Ramirez^{1/}

El 98 % del nitrógeno de la tierra se encuentra atrapado en las rocas y no juega ningún papel en los intercambios que ocurren en la biosfera, los cuales suceden entre la fase tierra-agua y la atmósfera (4). La mayoría de este nitrógeno (2 % del N global) se encuentra en la atmósfera como gas dinitrógeno (N_2) y no es utilizable por los productores primarios.

El 83 % de las necesidades anuales de nitrógeno de los productores primarios es suplido por la mineralización de la materia orgánica que libera las formas disponibles, el NH_4^+ y el NO_3^- (15). El resto del nitrógeno disponible es suplido por la fijación biológica, la fijación industrial y el agua de lluvia (que suple NO_2^- y NO_3^- producto de descargas eléctricas) (4).

El nitrógeno disponible del reservorio tierra-agua (NH_4^+ , NO_3^-) puede eventualmente perderse a la atmósfera como N_2 mediante la denitrificación. De ahí que la fijación biológica del nitrógeno, la reducción enzimática del N_2 a NH_4^+ juega un papel crucial manteniendo el balance del nitrógeno en NH_4^+ , NO_3^- en la biosfera.

El nitrógeno es el nutriente que más limita la producción primaria sobre la tierra (24). A su vez el nitrógeno le sigue solamente al agua como el mayor factor limitante en la producción agrícola (4). Esto es especialmente crítico pues para finales de siglo se necesita duplicar la producción de cereales, de 1,3 a 2,6 x 10⁹ toneladas, y cuadruplicar la producción de leguminosas de grano, de 0,13 a 0,5 x 10⁹ toneladas, para alimentar la población humana proyectada para entonces (14). Las opciones disponibles para contar con el nitrógeno que demanda tal aumento en la producción son las siguientes (13):

1. Aumentar la producción química de fertilizantes de 40 a 160 x 10⁶ toneladas.
2. Mejorar la eficiencia de la utilización del nitrógeno por los cereales (actualmente de un 40-50 %), mediante el uso de inhibidores de la nitrificación.
3. El invento de nuevos procesos catalíticos que requieran menos energía en la síntesis de fertilizantes.
4. Aumentar la eficiencia de la fijación biológica, sobre todo en la relación simbiótica *Rhizobium* leguminosas.
5. Mejorar la respuesta a la fertilización nitrogenada de las leguminosas.

Como se colige fácilmente, la alternativa 1 parece ser ineludible, pues para aumentar la producción agrícola se debe aumentar la producción de fertilizantes nitrogenados a un costo energético alto. La incertidumbre de la disponibilidad de la energía sumado al posible riesgo ambiental que conlleva el uso de fertilizantes nitrogenados, el aumento del N_2O producto de la denitrificación puede disminuir la capa de ozono filtradora de la radiación ultravioleta, lleva a considerar con más optimismo la alternativa 4, sobre todo la relación simbiótica entre *Rhizobium* y leguminosas. Las otras alternativas pueden ser que ofrezcan una salida viable en un futuro, pero su resultado es todavía incierto.

^{1/} Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica, San Pedro, Costa Rica.

En áreas cultivadas de la tierra la fijación biológica es llevada a cabo primordialmente por las leguminosas (23). Más aún, las plantaciones de leguminosas constituyen áreas de fijación biológica intensiva, con tasas de fijación de N_2 considerablemente más altas que las asociadas a otros sistemas fijadores (10, 12, 23, 15). Si bien hay mucha controversia sobre la cantidad de nitrógeno que puede ser fijada, se ha mencionado el promedio anual, por hectárea de 140 kg de N (4). Dependiendo mayormente del contenido de nitrógeno disponible del suelo, las leguminosas pueden fijar del 25 al 85 % del nitrógeno que necesitan en su ciclo de crecimiento (15). Aun considerando el drenaje neto de nitrógeno en la cosecha (grano o forraje), los residuos de cosecha, las raíces o las excretas de los animales en sistemas de pastoreo gramínea-leguminosas, pueden enriquecer considerablemente el suelo con nitrógeno. El mismo puede ser utilizado, ya sea en un sistema de rotación de cultivos o cultivo asociado, por no leguminosas sin los peligros ya mencionados de la Fertilización nitrogenada (8, 24).

Además debido al contenido alto (2,8%) de N en la leguminosa, no ocurre la inmovilización microbiana del nitrógeno del suelo durante la descomposición de los residuos, como sí lo es cuando se degradan residuos de gramíneas con un contenido más bajo de nitrógeno, 1,2% (15). El efecto benéfico sobre la fertilidad del suelo por los residuos de leguminosas no se circunscribe al aumento del contenido de nitrógeno sino también a la mejora de las propiedades físicas del mismo y a una mejor disponibilidad de otros nutrientes como el fósforo.

Además de este efecto indirecto de las leguminosas sobre la producción agrícola a través del mejoramiento de la fertilidad del suelo, las leguminosas de grano constituyen de por sí la fuente más económica de proteína para el consumo humano (8). Por ejemplo una hectárea cultivada de frijol de soya puede producir suficiente proteína para alimentar una persona por 5 500 días (con estándares de consumo de Estados Unidos).

La proteína animal producida en la misma área es solamente suficiente para cubrir las necesidades proteicas de una persona por 185 a 620 días (11).

Sin considerar las condiciones adversas extremas del suelo (pH bajo, toxicidad de Al y Mn, sequedad, baja fertilidad y alta salinidad) el crecimiento de las leguminosas está limitado por la carencia de nitrógeno en la ausencia de buena modulación con cepas de *Rhizobium* eficientes en fijar nitrógeno (26). De ahí que se recomiende la inoculación en la mayoría de los suelos cultivables del mundo (3, 26). La nodulación en sí misma, sólo puede dar resultados dramáticos cuando se maneja adecuadamente todo el complejo suelo-leguminosa *Rhizobium* (10). La baja concentración o ausencia de ciertos nutrientes en el suelo pueden afectar desde las etapas tempranas de la infección de los pelos radicales por *Rhizobium*, la formación de los nódulos, su funcionamiento (eficiencia de fijación) hasta otros aspectos de la fisiología de la planta (1). Por ejemplo, destacan la baja concentración de Ca^{++} (baja infección), baja concentración de Mo (baja eficiencia de la fijación) y el efecto global sobre las plantas y su simbionte de deficiencias de P, S y B (1, 9, 11). Hay mucho trabajo por realizar en los suelos encontrados en los trópicos para mejorar el manejo de la fertilidad de las leguminosas. Un buen manejo de la misma puede traer aumentos dramáticos en la producción con incrementos modestos en los insumos (corrección de deficiencia de Mo, por ejemplo).

La inoculación a menudo fracasa pues las plantas no son noduladas por la cepa de *Rhizobium* inoculada en la semilla sino por cepas propias del suelo (nativas) menos eficientes en la fijación, pero mejor adaptadas al suelo (10, 18, 20, 21, 22, 24). El que se hayan obtenido mejoras notables en la nodulación al aumentar el inóculo (2, 19, 20, 21) sugiere que el bajo número de *Rhizobium* en la rizosfera es el factor limitante. Esto ha sido corroborado en trébol subterráneo por investigadores australianos (6, 16, 17). Por esta razón el factor más importante a considerar en un inoculante (suponiendo que la cepa de *Rhizobium* es eficiente y totalmente compatible con la leguminosa huésped) es el número de bacterias (7). Más aún cualquiera sea el método de inoculación, este debe asegurar la mayor sobrevivencia de las bacterias no solamente en la semilla pero también en el suelo inmediatamente después de la siembra (.3, 5). La manipulación de la rizosfera de las leguminosas a través de los métodos de inoculación, constituye uno de los campos más promisorios para lograr realmente aumentos notables en la producción.

LITERATURA CITADA

1. Andrew, C.S., 1976. Nutritional restraints on legume-symbiosis, p. 253-374. In, J.M. Vincent, A.S. Whitney and J. Bose (eds.) Exploiting the legume-Rhizobium symbiosis in tropical agriculture. College of Tropical Agriculture Miscellaneous Publications 145. Department of Agronomy, University of Hawaii .
2. Bohlool, B.B., and Schmidt, 1973. Persistence and competition aspects of Rhizobium japonicum observed in soil by immunofluorescence microscopy. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:561-564.
3. Brockwell, J., 1977. Application of legume seed inoculants, p. 277-309. In R.W.F. Hardy and A.H. Gibson (eds.). A treatise on dinitrogen fixation, section IV: Agronomy and ecology. Wiley-Interscience, New York.
4. Burns, R.C. and Hardy, R.W.F., 1975. Nitrogen fixation in bacteria and higher plants Springer-Verlag, New York.
5. Burton, J.C., 1976. Methods of inoculating seeds and their effect on survival of rhizobia, p. 175-189. In P.S. Nutman (eds.), Symbiotic nitrogen fixation in plants. Cambridge University Press, Cambridge.
6. Chatel, D.L. and Parker, C.A., 1973. The colonization of host-root and soil by rhizobia. I. Species and strain differences in the field. Soil Biol. Biochem 5:425-432.
7. Date, D.A. and Roughley, R.J., 1977. Preparation of legume seed inoculants, p. 243-375. In. R.W.F. Hardy and A.H. Gibson (eds.) A treatise on dinitrogen fixation, Section IV. Agronomy and Ecology Wiley-Interscience, New York.
9. Dobereiner, J., 1978. Potential for nitrogen fixation in tropical legumes and grasses. p. 13-24. In J. Dobereiner, R.H. Burris and A. Hollander (eds.). Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. Plenum Press, New York.
10. Franco, A.A., 1976. Nutritional restraints for tropical grainlegume symbiosis, p. 237-252. In J.M. Vincent, A.S. Whitney and J. Bose (eds.), Exploiting the legume Rhizobium symbiosis in tropical agriculture, College of Tropical Agriculture Miscellaneous Publication 145. Department of Agronomy and Soil Science, University of Hawaii .
11. Fox, R.L. and Kang, B.T., 1976. Some Major fertility problems of Tropical soils, p. 183-210. In J.M. Vincent.
12. Franco, A.A., 1978. Contribution of the legume-Rhizobium symbiosis to the ecosystem and food production, p. 65-74. In J. Dobereiner, R.H. Burris, A. Hollander (eds.), Limitations and potentials for biological nitrogen fixation. Plenum Press, New York.
13. Hardy, R.W.F., 1980. The global carbon and nitrogen economy, p. 3-5. In W.E. Newton and W.H. and Orme-Johnson (eds.) Nitrogen Fixation, volume 1, free-living systems and chemical models. University Park Press. Baltimore.
14. Hardy, R.W.F., Havelka, V.D. and Quebedeaux, B, 1978. Increasing crop productivity: the problem, strategies, approach, and selected rate-limitations related to photosynthesis, p. 695-719. In D.O. Hall, J. Coombs and T.W. Boodwin (eds.), Proceedings of the Fourth International Congress on Photosynthesis. The Biochemical Society, London.

15. Gautschick, U.P., 1980. Energy flows in the nitrogen cycle especially in fixation, p. 17-27. In W.E. Newton and W.H. Orme-Johnson (eds.), Nitrogen Fixation, Volume I, free-living systems and chemical models. University Park Press, Baltimore.
16. Harris, J.R., 1954. Rhizosphere relationships of subterranean clover. I. Interactions between strains of *Rhizobium trifolii*. Aust. J. Agric. Res. 5:247-270.
17. Hely, F.W., Bergensen, F.J. and Brockwell, J, 1957. Microbial antagonism in the rhizosphere as a factor in the failure of inoculation of subterranean clover. Aust. J. Agric. Res. 8:24-44.
18. Holland, A.A. and Parker, C.A., 1966. Studies on microbial antagonism in the establishment of clover pasture. II. The effect of saprophytic soil fungi upon *Rhizobium trifolii* and the growth of subterranean clover. Plant Soil 25:329-340.
19. Johnson, H.W., Means, V.N. and Weber, C.R., 1965. Competition for nodule sites between strains of *Rhizobium japonicum* applied as inoculum and strains in the soil. Agron. J. 57:179-185.
20. Kapusta, G. and Rouwenhorst, D.L., 1973. Influence of inoculum size on *Rhizobium japonicum* serogroup distribution frequency in soybean nodules. Agron. J. 65:916-919.
21. Kuykendall, L.D. and Weber, D.F., 1978. Genetically marked *Rhizobium* identifiable as inoculum strains in nodules of soybean plants grown in fields populated with *Rhizobium japonicum*. Appl. Environ. Microbiol. 36:915-919.
22. Obaton, M., 1977. Effectiveness, saprophytic and competitive ability: three properties of *Rhizobium* essential for increasing the yield of inoculated legumes, p. 127-133. In A. Ayanaba, and P.J. Dart (eds.), Biological nitrogen fixation in farming systems of the tropics. Wiley, New York.
23. Parker, C.A., 1976. Perspectives in biological dinitrogen fixation, p. 3-18. In R.W.F. Hardy, and W.S. Silver (eds.) A treatise on dinitrogen fixation, Section III: Biology. Wiley-Interscience, New York.
24. Quispel, A, 1974. General introduction, p. 1-8. In A. Quispel (ed.). The biology of nitrogen fixation. North-Holland, Amsterdam.
25. Vest, G., Weber, D.F. and Sloger, C., 1973. Nodulation and nitrogen fixation, p. 353-390. In B.E. Caldwell (ed.), Soybeans, improvements, production and uses. Amer. Soc. Agron., Monograph 16, Madison.
26. Vincent, J.M., 1965. Environmental factors in the fixation by the legume, p.387-435. In M.V. Bartholomew, and F.A. Clark (eds.), Soil nitrogen. Amer. Soc. of Agron., Madison.

C. - EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS Y LA UTILIZACION
DEL COMPOSTE EN LA AGRICULTURA

1. EXPERIENCES WITH ORGANIC WASTE COMPOSTING IN DEVELOPING COUNTRIES

1. EXPERIENCIAS CON COMPOSTE EN PAISES EN VIAS DE DESARROLLO

by

G.B. Willson, J.F. Parr and L.J. Sikoral/

1. INTRODUCTION

1.1 Composting to Enhance the Usefulness and Acceptability
of Organic Wastes as Soil Amendments

This Conference is evidence of the importance of utilizing waste organic materials for their fertilizer value and to increase the soil's organic matter. Some of the problems associated with the utilization of various organic wastes as soil amendments (e.g. odours, human pathogens, and undesirable physical properties) can be resolved by composting. Composting is an ancient practice whereby farmers have converted organic wastes into useful organic soil amendments that provide nutrients to crops and enhance the tilth, fertility, and productivity of soils. Through composting, organic wastes are stabilized, nutrients are made available to plants, pathogens are destroyed, and malodours are abated.

1.2 Biochemical Aspects of Composting

Composting is a microbiological process that depends on the growth and activities of mixed populations of bacteria and fungi that are indigenous to the various organic wastes to be composted. When moisture is favourable, these micro-organisms will grow and decomposition proceeds. The microbes utilize the organic materials for carbon and energy, nitrogen, and other nutrients. As broadly defined above, composting includes a wide variety of micro-organisms for converting organic materials to a stabilized compost.

Although composting may be anaerobic, aerobic micro-organisms will predominate if oxygen is present. The aerobic micro-organisms convert more of the chemical energy to heat which raises the temperature of the biomass by an amount depending on the rate of energy conversion and the rate of cooling. If the temperature becomes sufficiently high, pathogens are destroyed. As the temperature rises, there will be a succession from mesophilic to thermophilic micro-organisms. There is also a natural selection of dominant micro-organisms depending on the nutrients supplied. Eventually, as the available carbon and other nutrients are depleted, microbial activity subsides, decomposition slows, and cooling occurs. The most rapid decomposition is accomplished by the aerobic thermophilic micro-organisms.

Poincelot (1975) discussed the principal parameters which are essential to the aerobic/thermophilic composting process. These are briefly summarized as follows:

1/ Agricultural Engineer, Laboratory Chief, and
Microbiologist, respectively
Biological Waste Management and
Organic Resources Laboratory
Science and Education Administration
US Department of Agriculture, Beltsville, MD 2075

1.2.1 Temperature

As composting proceeds, microbial activity increases and temperatures increase rapidly from the mesophilic into the thermophilic range, which begins at about 40°C. Decomposition of organic materials is most rapid in the thermophilic range. Optimal temperatures for composting range from 60°C to 70°C.

1.2.2 Moisture

The optimal moisture content of the biomass for rapid aerobic/thermophilic composting is from 40 to 60% (by weight). Below 40% moisture, decomposition will be aerobic but slow. Above 60% there may be insufficient air space to sustain aerobic decomposition and anaerobic conditions may prevail.

1.2.3 Aeration or oxygen supply

A continuous supply of oxygen must be available to ensure aerobic/thermophilic composting. The aeration requirement for composting sewage sludge may range from 0.62 to 1.23 m³ of air per kg (10 to 20 ft³ per pound) of volatile solids per day.

1.2.4 Carbon:nitrogen ratio

Since the micro-organisms require carbon for growth and energy, and nitrogen for protein synthesis, the rate of decomposition of organic wastes is affected accordingly. Rapid composting is achieved with wastes which have C:N ratios between 25:1 and 35:1. Lower ratios can result in the loss of N as ammonia, while higher ratios can prolong the process of composting.

1.2.5 P.H.

The optimum pH for rapid aerobic/thermophilic composting is between 6 and 7.5. However, research by USDA at Beltsville has shown that there is a wide range in pH over which sewage sludge can be composted with little effect on the rate of composting.

1.2.6 Particle size reduction

Grinding or shredding of some organic wastes can accelerate the rate of decomposition during composting by increasing the surface area for microbial attack. Excessive grinding, however, can lead to compaction and anaerobic conditions.

2. OBSERVATIONS IN DEVELOPING COUNTRIES

In addition to their extensive research in the USA on composting sewage sludge and animal manures, some of the authors have served as consultants on composting research programmes in developing countries. During 1974, Dr. Parr served as an FAO consultant on organic waste composting to the Korean Institute of Agricultural Science, Suweon, South Korea.

Mr. Willson consulted on a research project to compost coffee bean pulp for the Central American Research Institute for Industry (ICAITI) in Guatemala in 1979.

2.1 Use of Compost in Korea

The annual application of rice straw compost to paddy soils in Korea has been a long established agricultural practice. Composting is a time-consuming and laborious process in which rice straw is first chopped into 50-60 cm segments, by

hand, and then mixed with varying proportions of chicken litter, urea, lime and night soil. Recently, triple superphosphate has been added to provide some acidification for reducing the volatilization losses of ammonia (NH₃) during incubation. Under Korean conditions, about a 30% reduction in the weight of rice straw can be obtained in 90-100 days.

Yet, the use of compost for Korean paddy soils is currently being reassessed since significant yield increases are apparent only where soils are inherently low in organic matter. There seems to be little effect of compost on rice yields when soils contain more than about 2% organic matter. Moreover, paddy soils low in organic matter often produce higher yields following application of uncomposted rice straw and sufficient urea N to support decomposition, than from compost. A possible explanation here is that most Korean paddy soils are low in silica which may be more available from rice straw than from compost.

On the other hand, compost applied to upland soils in Korea - soils from granitic parent material, coarse textured, extremely low in organic matter, low cation exchange capacity (CEC), and subject to extensive erosion - often results in higher crop yields than from application of uncomposted rice straw with supplemental N. Possible explanations include increased moisture retention, increased CEC, less runoff of plant nutrients, and less erosion where compost has been applied. Whereas Government recommendations in Korea called for the use of compost on paddy, evidence suggested that rice straw, uncomposted, produced better results - possibly due to increased availability of silica.

2.2 Composting Coffee Pulp in Guatemala

Where coffee is processed on the farm, the pulp may be composted with other farm wastes and applied to the land. Centralization of coffee processing for economic and marketing reasons has largely disrupted this pattern of utilization of the coffee pulp as a soil amendment. Other uses for the pulp have not been developed, so it has become a disposal problem and a source of pollution. The small-scale methods of composting employed on the farms were not suited to composting the volumes of coffee pulp generated at central processing plants and large-scale composting methods had not been adapted to the characteristics of the coffee pulp.

After considering the various available methods of composting, ICAITI decided to set up a research programme to adapt the aerated pile method of composting (Willson et al., 1980) to coffee pulp. It appeared that coffee pulp was well suited to this method of composting without any conditioning treatment or addition of other materials since it has an initial texture that presents little resistance to air movement and has a favourable carbon-nitrogen ratio.

Preliminary tests, however, indicated that a pile of coffee pulp will settle and lose its porosity, and that any air movement will be channelled.

Thus, some preliminary conditioning of the pulp appears to be essential for rapid aerobic, thermophilic composting. Conditioning methods that were considered included solar drying, dewatering with a screw press, and blending with another material. Solar drying requires a large area and extra handling. Dewatering with the screw press may be tested when a press is obtained for use on another research project.

The materials that have been tested for conditioning or bulking sewage sludge for composting in the research at Beltsville, Maryland, are unavailable or in short supply in Central America. Most of the coffee in Central America is produced in mountainous areas of volcanic origin; thus pumice gravel which seemed to have the essential characteristics for conditioning the coffee pulp, would be readily available to most coffee processing operations. In tests of the pumice gravel as a conditioning agent for the coffee pulp, the piles with pumice settled less than those without. Observations of the colour and odour of the pulp also indicated that the

treated piles had maintained their porosity and were aerobic throughout while untreated piles were mostly anaerobic. Ratios of 3 and 4 parts coffee pulp to 1 part pumice gravel were tried with apparent success.

Four pile surface treatments were tested to evaluate the attractiveness of the coffee pulp to insects. When no cover was used, the exposed coffee pulp dried quickly resulting in a surface that did not seem to attract insects. However, the dried coffee pulp would not be composted. Application of 1 cm of pumice sand had much the same effect, but increased the amount of dried coffee pulp. A burlap cover kept the coffee pulp moist, but would be difficult to keep in place if exposed to wind. One cm of dry coffee pulp compost remained dry and unattractive to insects on its outer surface and was moist with fungal activity evident at its inner surface. Thus it appeared that any of the surface treatments could be used for insect control and that the compost treatment would produce the least amount of dried, uncomposted material.

Additional research will be necessary to optimize the ratio of pumice gravel to coffee pulp, to develop design criteria for aeration including rate and pressure requirements, to determine the time required for adequate stabilization, and to determine optimum pile sizes and shapes which will be somewhat dependent on the size of operation and the equipment available.

3. FACTORS THAT INFLUENCE THE SUITABILITY AND SUCCESS OF COMPOSTING SYSTEMS FOR DEVELOPING COUNTRIES

3.1 Management and Mechanization of Composting

Considering the variety of microbial choices and the multitude of possible feedstocks for the process, it is not surprising that many different methods have been developed for managing the composting process. These range from the pile of manure that decomposes before use to very highly mechanized and carefully controlled systems. Each system was developed to meet a specific set of operating objectives within particular economic and sociological systems. Although there is a need for recycling waste organic materials to the land in all societies and the utility of most wastes would be improved by composting, there have been numerous failures in attempts to adapt composting systems to circumstances for which they were not designed.

3.2 Low Technology Composting Systems

Systematic efforts to manage the composting process essentially began with Sir Albert Howard's development of the Indore process (Howard, 1935). The Indore process, named after the state in India where it was formulated, employs a 5-foot high layered pile of garbage, night soil, animal manure, sewage sludge, straw, and leaves. The pile is turned twice and composting is completed in 3 months. With various adaptations the Indore process has been used extensively in India, China, and South Africa (Gotaas, 1956).

The Indore process requires no capital expenditure other than for land and can be managed with manual labour. The labour requirements of this system are substantial and it is best suited to processing small volumes of materials. Thus, systems of this type are suited for some applications in developing countries such as home gardens and small farms.

3.3 High Technology Composting Systems

The labour demand of the Indore and similar systems was not acceptable for composting large volumes of materials in Europe and the United States, so a variety of systems were developed to mechanize handling of the materials and reduce the composting time. Most of these systems were developed for processing municipal solid

waste so they frequently included equipment for shredding and separation of the noncompostable fractions, usually before composting. Elaborate separation systems will not be cost effective unless markets are developed for other fractions of the solid waste stream. Examples of these systems are Dano, Caspari (briquetting), Earp-Thomas, Fairfield-Hardy, Eweson, Metrowaste Knee, and Triga.

As the composting systems become more mechanized and elaborate, the labour requirements were reduced, the processing time was shortened, and space requirements were reduced, but at a high capital cost and requiring highly skilled operation and maintenance. Since the solid wastes are abrasive and mildly corrosive, maintenance requirements are substantial. These high mechanized or turn-key composting systems are not generally a good choice for developing countries, due to their high initial costs, probable difficulties in obtaining spare parts, outside assistance with major repairs, and the need for highly skilled operators. The high fixed costs of these systems has contributed to their economic failure in the United States in that they must operate near capacity rather than gradually increasing production as a market is developed for the compost product.

3.4 Intermediate Technology Composting Systems

Windrow composting is essentially a variation of the Indore process but usually involves more frequent turning. Windrows have been used to compost a variety of materials, including municipal solid waste, sewage sludge, feedlot manure, and crop residues. Willson (1977) discusses a few of the machines that have been developed for turning the windrows. Some of the windrow turning machines have been designed to have a shredding action which makes them better suited to composting municipal solid waste. Windrow composting approaches the labour efficiency of the more elaborate mechanized systems, but at significantly less capital cost.

In a research project on composting sewage sludge at Beltsville, windrow composting was found to be acceptable for anaerobically digested sludge, but produced an unacceptable level of odour when used for raw (undigested) sludge. An aerated pile method of composting was developed to reduce the odour problem and was also found to provide better control of pathogens. This composting method is adaptable to a wide variety of applications (Sikora et al., 1980). It requires very little mechanization, but is readily adaptable to mechanization of the material handling operations if the mechanization is cost-effective for a specific composting plant.

3.5 Utilization of Compost

Composting as an industry has failed in a number of instances because a market for the compost product was not determined prior to the production of compost. The reasons for the failure are not that a market for compost is not available but that the full utility of compost was not realized by the producer and advertised to the consumer and that composting costs and market characteristics were not properly analyzed. Stickelberger (1975) stated that the most important reason for the failure of composting to become an accepted disposal method for urban wastes in Europe arises from the fact that agricultural research institutes and authorities did not recognize the full potential value of compost, considered only the fertilizer content. Research scientists at the Beltsville Agricultural Research Center have studied the various beneficial applications of sewage sludge compost and have made a number of recommendations for its use (Hornick et al., 1979).

If a compost is permitted to be used on food-chain crops by regulatory agencies it could be used as a crop fertilizer and soil conditioner. Because the high temperatures achieved during composting destroy enteric pathogens like those found in sewage wastes, vegetables eaten uncooked may be grown the same year compost is applied. When utilizing compost as a fertilizer as well as a soil conditioner for vegetables, agronomic row crops, or pasture, yearly compost application rates should be determined by the nitrogen or phosphorus requirement of the specific crop to be

grown. A recent study at Beltsville has demonstrated that compost application to soybeans at a low rate (7.5 t/ha) stimulated nodulation and plant yield. When compost is applied to soils deficient in organic matter, yields may significantly exceed that attributable to the fertilizer content.

The application of composted sludge can aid significantly in the reclamation of lands disturbed by surface mining, by removal of topsoil, and by excavation of gravel deposits. On these lands the establishment and growth of plants may be difficult because of (a) extremely low pH, (b) extreme droughtiness from lack of organic matter, (c) very high surface temperatures, (d) lack of nutrients, and/or (e) very poor soil physical conditions. The organic matter in compost improves soil physical conditions, including decreasing surface crusting, and the nutrients from compost markedly improve the fertility of disturbed lands.

Composted sewage sludge can be used economically and beneficially for the production of turfgrasses for various areas including home lawns, parks, institutional grounds, athletic fields, golf courses, roadsides, and cultivated sod. The benefits received from use of compost are derived from its content of plant micro- and macronutrients and organic matter. On many soils with poor physical properties, compost used correctly will produce better turfgrass than chemical fertilizers. Composted sludge can be used in turfgrass production as (a) a soil amendment for the establishment of turfgrasses, (b) a fertilizer source for maintenance of established turfgrasses, and (c) a soil amendment or growth medium for commercial turfgrass production. If a compost contains constituents which prevent its use on food-chain crops, the turfgrass industry is probably the most feasible market for composts especially in urban areas.

Compost can be used effectively in preparing potting mixes to grow transplants for ornamental, garden, or commercial purposes. Sewage sludge compost used in this way supplied organic matter, slow-release nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, and lime, and fertilizer levels of the micro-elements (iron, zinc, copper, manganese, boron, and molybdenum) for plants. Effective potting mixes have been prepared from sludge compost + peatmoss + vermiculite (1:1:1, by volume) compost + peat + sand, (1:1:1, by volume) and compost + infertile loamy subsoil (1:1, by volume). Amending nursery soils and soils where plantings are to be made with compost can improve soil fertility, pH, soil structure, and the water holding capacity of the nursery bed. Hoitink (1980) has suggested that some composts may be effective for controlling certain plant diseases.

The utility of composts is broad, but specific uses such as a potting mix are highly dependent upon the physical, chemical, and microbiological quality of the product. The compost product can sometimes be improved considerably by some pre-treatment such as separation, as in the case of refuse composting, and these pre-treatments should be considered in the overall economics of composting organic wastes and the final utilization of the product.

FUTURE RESEARCH NEEDS ON ORGANIC WASTE COMPOSTING IN DEVELOPING COUNTRIES

- i. Blending/mixing of different wastes having different chemical and physical properties to obtain a useful and acceptable organic amendment for agricultural soils should be considered in formulating plans for organic waste composting. For example, a waste such as street refuse that may have too wide a C/N ratio for effective composting or direct agricultural use, could be mixed with sewage sludge, or poultry litter, etc.
- ii. Organic wastes and their composts vary in their effectiveness for increasing plant growth depending on the soil, crop, climate, application rate and

supplemental fertilization. It has been suggested that compost may not decompose as rapidly in the soil as the unprocessed waste would under some soil conditions.

- iii. Numerical nutrient availability indexes should be determined for composts as we have proposed for various organic wastes in the paper by Parr et al. (1980). The farmer would then be able to select wastes for composting in accordance with the desired properties and nutrient availability he hopes to achieve.
- iv. Simple and easy-to-maintain equipment is needed for small-scale composting in developing countries. Turn-key technology is not appropriate, but simple and reliable collecting, mixing, blending, turning, and screening equipment is, that can be fabricated, operated, and maintained by local people.
- v. One of the large untapped waste sources in developing countries is street refuse - demonstration projects are needed to show that street refuse (60-70% O.M.) in cities and villages can (i.e. the organic fraction) be utilized to prepare useful and acceptable compost for agriculture.
- vi. Development of guidelines for simple and basic monitoring will be needed to ensure safe and beneficial use. Some of the potentially available organic wastes in some developing countries will be undesirable for composting and use on food-chain crops because of heavy metals/toxic industrial organic content.
- vii. Demonstration programmes are needed to ensure proper (efficient and effective) use of the composts once they are prepared. As Hauck (1978) points out, there is a need to "reintroduce the use of organic fertilizers" in developing countries - this includes compost.
- viii. Training programmes, workshops and short courses organized by the extension (Agricultural Advisors, etc.) service should be staged regularly to instruct farmers at the village level on the basic principles/method/techniques for composting wastes (i.e. the art of compost preparation). Instruction should include selection of wastes with different chemical and physical properties to produce a compostable mixture and the desired compost characteristics. The short courses could also cover such things (in addition to the process itself) as how NH_3 volatilization loss might be minimized - or how sparing use of some chemical fertilizer would make a more valuable compost.

5. SUMMARY

The value of other waste organic materials may also be improved by composting for agricultural use. Frequently it is advantageous to combine two or more waste streams to facilitate composting and to improve the quality of the compost. For example, solid waste usually has too little moisture for rapid microbial activity and has a high C/N ratio. Sewage sludge usually has too much moisture and its C/N ratio is too low for composting. Thus a combination of the two materials is more suited to composting than either alone. Using garbage for increased vegetable production is an attractive alternative to accumulating an unsightly and unsanitary heap around a city. The preferred treatment for municipal solid wastes is composting if the organic components are to be recycled to agriculture (Hauck, 1978).

Past economic failure of composting enterprises in both developed and developing countries can only serve to emphasize the importance of carefully considering the options available and selecting a system with an appropriate level of technology. However, the continuing increases in fertilizer costs and the demand for food will increase the probability of success. Additional research in the developing countries on suitable equipment for composting under their conditions and on optimizing use of the compost should be beneficial.

Resumen

La preparación del composte es una práctica muy antigua y necesita ser estimulada en el campo y asociada en la utilización de varios desperdicios orgánicos.

Frecuentemente es ventajoso combinar dos o más fuentes de desperdicios para facilitar la preparación y mejorar la calidad del composte.

En el proceso aeróbico/termofílico de la preparación del composte, se consideran como parámetros principales, una temperatura óptima entre 60 y 70°C, el contenido de humedad óptimo entre 40 a 60% (por peso), buena aireación o un continuo abastecimiento de oxígeno que asegure el proceso aeróbico/termofílico, una relación carbono:nitrógeno entre 25:1 a 35:1, el pH óptimo entre 6 y 7.5 y la reducción del tamaño de las partículas. Una práctica agrícola anual en los suelos para los arrozales en Korea es la aplicación del composte de paja de arroz, con resultados discutibles; hay evidencias que la aplicación directa de la paja de arroz, produce mejores resultados, posiblemente debido al incremento en la disponibilidad de sílice.

En Guatemala se utiliza la pulpa del café en la preparación de composte. Ha dado buen resultado en proporciones de 3 a 4 partes de pulpa con 1 parte de grava de piedra pómez que le da aireación, no obstante es necesario optimizar la proporción más adecuada. Los diferentes métodos para la preparación y manejo del composte varían desde la pila de estiércol hasta los sistemas altamente mecanizados y cuidadosamente controlados, siendo los más apropiados los sistemas de preparación de tecnología intermedia, debido a que requieren muy poca mecanización; si la mecanización es un costo efectivo en una planta específica para la preparación del composte. Se recomienda que los países en vías de desarrollo, teniendo presente sus propias condiciones, realicen investigaciones adicionales relacionadas con el composte y su preparación, tales como mezclas de diferentes desperdicios su efectividad en el crecimiento de las plantas; índices numéricos de disponibilidad de nutrientes; equipos de zarandeo que puedan ser fabricados, operados y mantenidos por gente de la localidad; preparación de cartillas para el control simple y básico, programas demostrativos y programas de entrenamiento.

REFERENCES

- Gotaas, H.B. Composting: sanitary disposal and reclamation of organic wastes. World Health Organization Monograph 31. Geneva, Switzerland. 205 p.
- Hauck, F.W. Organic recycling to improve soil productivity. Paper presented at the FAO/SIDA 1978 Workshop on Organic Materials and Soil Productivity in the Near East. FAO, Rome.
- Howard, A. The manufacture of humus by the Indore process. J. Roy. Soc. Arts. 84:25. 1935
- Hoitink, H.A.J. Composted bark, a lightweight growth medium with fungicidal properties. 1980 Plant Disease Vol. 64:142-147.
- Hornick, S.B., Murray, J.J., Chaney, R.L., Sikora, L.J., Parr, J.F., Burge, W.D., Willson, G.B., and Tester, C.F. Use of sewage sludge compost for soil improvement and plant growth. Science and Education Administration, Agricultural Reviews and Manuals, Northeastern Region Series 6, U.S. Department of Agriculture, Beltsville, MD, 10 p.
- Parr, J.F., Willson, G.B., Sikora, L.J., and Taylor, J.M. Utilization of Organic Wastes as resources for improving soil productivity. FAO/SIDA Workshop on Organic Recycling in Agriculture, San Jose/Turrialba, Costa Rica, 7-18 July 1980.
- Poincelot, R.P. The biochemistry and methodology of composting. Conn. Agric. Exp. Sta. L975 Bull.No. 754, 18 p.

- Sikora, L.J., Willson, G.B., and Parr, J.F. Adaptation of the Beltsville Aerated Pile
1980 Method of Composting for use in developing countries. FAO/SIDA Workshop on
Organic Recycling in Agriculture. San Jose/Turrialba, Costa Rica. 7-18 July 1980.
- Stickelberger, D. Survey of City Refuse Composting. p. 185-209. FAO Soils Bulletin 27,
1974 FAO, Rome.
- Willson, G.B. Equipment for composting sewage sludge in windrows and in piles. p. 56-60.
1977 In: Natl. Conf. on Composting of Municipal Residues and Sludges. Information
Transfer, Inc., Rockville, MD.
- Willson, G.B., Parr, J.F., Epstein, E., Marsh, P.B., Chaney, R.L., Colacicco, D., Burge, W.B.,
1980 Sikora, L.J., Tester, C.F., and Hornick, S.B. A Manual for the Composting of
Sewage Sludge by the Beltsville Aerated Pile Method. Joint U.S. Dept. of
Agriculture-U.S. Environmental Protection Agency. 64 p.

2. UTILIZATION OF ORGANIC WASTES AS RESOURCES
FOR IMPROVING SOIL PRODUCTIVITY

2. UTILIZACION DE DESPERDICIOS ORGANICOS COMO
FUENTE DE MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD
DE LOS' SUELOS

by

J.F. Parr, G.B. Willson, L.J. Sikora, and J.M. Taylor^{1/}

1. INTRODUCTION

Proper management of organic wastes such as crop residues, animal manures, and sewage sludges on land is essential for protecting agricultural soils from wind and water erosion, and for preventing nutrient losses through runoff. Efficient and effective use of these materials as soil amendments also provides one of the best means we have for maintaining soil productivity^{2/} by recycling plant nutrients and by improving soil physical properties. The beneficial effects of organic wastes on soil physical properties are widely known (Allison, 1973; USDA, 1957) as evidenced by increased water infiltration, water-holding capacity, water content, aeration and permeability, soil aggregation and rooting depth, and by decreased soil crusting, runoff, and bulk density.

In the United States, a soil loss of about 12 tons/ha/yr is generally accepted as tolerable on deep and productive agricultural soils (USDA, 1978). However, a national survey by the USDA's Soil Conservation Service (USDA, 1977) indicated that in 1975 soil losses from cropland amounted to about three billion^{3/} tons or an average of about 22 tons/ha. A conclusion of this survey was that our present soil loss would have to be reduced by at least 50% if crop production in the USA is to be sustained.

It is indeed ironic that despite the expenditure of nearly \$15 billion^{3/} on soil erosion control and conservation practices since the mid-1930's, soil erosion of agricultural croplands in the United States, chiefly by water, remains our most serious environmental problem (Carter, 1977; Brink et al., 1977). The principal reason for this is that many farmers have shifted to highly intensive and exploitive farming systems which mainly involve continuous row crops and that no longer include sod based rotations, cover crops, green manure crops, conservation tillage, strip cropping, and contouring. Many farmers have gone to continuous wheat or corn (maize) or corn-soybean rotations which fail to provide the soil with adequate protection against wind and water erosion. They have done so in order to maximize short-term crop yields and profits, which have taken precedence over the longer-term advantages of soil and water conservation (Carter, 1977).

^{1/} Laboratory Chief and Microbiologist, Agricultural Engineer, Microbiologist, and Plant Physiologist, respectively. Biological Waste Management and Organic Resources Laboratory, Science and Education Administration, U.S. Department of Agriculture, Beltsville, Maryland 20705.

^{2/} Soil Productivity as defined in "Soil", The 1957 USDA Yearbook of Agriculture is: "the capability of a soil for producing a specified plant or sequence of plants under a defined set of management practices. It is measured in terms of the outputs or harvests in relation to the inputs of production factors for a specific kind of soil under a physically defined system of management".

^{3/} Billion in this text = to thousand million.

There is growing concern worldwide about the effect of soil erosion on the decline of long-term soil productivity. According to Brown (1978), the world demand for cropland is greater than ever before, yet the amount of cropland being abandoned each year from desertification, severe erosion, waterlogging and salinization, and the diversion of irrigation water to non-farm use is at a record level. He also points out that the conversion of prime cropland to non-agricultural uses such as urbanization, energy production, industrialization, and transportation is occurring steadily in nearly every country in the world. The evidence cited by Brown (1978) raises some doubt as to "whether it will be possible to get a combination of cropland expansion and yield increases that will satisfy the growth in the world food demand now projected for the remainder of this century".

The purpose of this paper is to present some new perspectives and strategies that may help to ensure the efficient and effective use of organic wastes to reduce soil erosion and to improve soil productivity and tilth in both developed and developing countries.

2. IMPROVING SOILS WITH ORGANIC WASTES

The Food and Agriculture Act of 1977 (Public Law 95-113) directed the US Department of Agriculture to prepare a report to the Congress on "the practicability, desirability and feasibility of collecting, transporting, and placing organic wastes on land to improve soil tilth and fertility". The urgency for this information stems from the increased cost of energy, fertilizers, and pesticides that confront US farmers, and the problems of soil deterioration and erosion associated with intensive farming systems (USDA, 1978). This report is now available upon request from the Office of the Secretary of Agriculture in Washington, D.C. and contains detailed information on the availability of 7 major organic waste materials for use in improving soil tilth and fertility, i.e., (a) animal manures, (b) crop residues, (c) sewage sludge, (d) food processing wastes, (e) industrial organic wastes, (f) logging and wood manufacturing wastes, and (g) municipal refuse. For each waste, information is reported on the quantity currently generated, current usage, potential value as fertilizer (based on major plant nutrients contained), cost of land application, competitive uses, problems and constraints affecting their use, and potential for increased use in the future. The report points out that this kind of information is essential for sound agricultural planning and successful implementation of programmes for recycling organic wastes on agricultural land.

3. USAGE PATTERNS

3.1 Current Usage

A summary of the USDA report on the annual production of the seven categories of organic wastes in the US, their current use on land, and the probability of increased use on land in the future is presented in Table 1. A grand total of about 730 million dry metric tons of organic wastes are produced annually. This represents a national resource of significant economic value, and its proper and efficient use should be emphasized. About 50% of this total is comprised of crop residues, while about 22% is made up of animal manures. Thus, about 75% of the total annual production of organic wastes are associated with crop residues and animal manures. The USDA report established that about 3/4 of these two wastes are currently being applied to land for improving soil productivity.

Table 1

ANNUAL PRODUCTION OF ORGANIC WASTES IN
THE UNITED STATES, CURRENT USE ON LAND,
AND PROBABILITY OF INCREASED USE

Organic wastes	Total production		Current use on land <u>1</u> / (%)	Probability of increased use on land <u>2</u> /
	Dry metric tons (x 1000)	% of total		
Animal manure	158 730	21.8	90	Low
Crop residues	391 009	53.7	68	Low
Sewage sludge and septage	3 963	0.5	23	Medium
Food processing	2 902	0.4	(13)	Low
Industrial organic	7 452	1.0	3	Low
Logging and wood manufacturing	32 394	4.5	(5)	Very low
Municipal refuse	131 519	18.1	(1)	Low
Total:	727 969	100.0	-	-

1/ Values in parentheses are estimates because of insufficient data.

2/ Medium indicates a likely increase of 20 to 50%, low indicates a 5 to 20% increase, and very low indicates less than a 5% increase.

3.2 Constraints and Competitive Uses

Sewage sludges make up about 0.5% of the total organic waste produced and approximately 1/4 of it is applied to land. The other four wastes listed in Table 1 have not been used extensively on land because of certain competitive uses; high costs of collection, processing, transportation, and application; and because of constraints on usage related to certain chemical and physical properties. For example, (a) cotton gin trash and sugarcane bagasse are now increasingly sought as sources of fuel for burning, (b) some food processing wastes may have extremely high acidity or alkalinity that may adversely affect soil pH or they may contain heavy metals or some organic chemicals that may be phytotoxic or that may endanger the food chain after absorption and accumulation, and (c) shredded municipal refuse contains a considerable amount of solid fragments (glass, plastics, metals) which do not biodegrade readily and might detract aesthetically when applied to land.

3.3 Potential for Increased Usage

Table 1 shows that for the organic wastes that we generate in the US, the potential for their increased use on land to improve soil productivity is low. Only the use of municipal sewage and septage (septic tank pumpage) on land is expected to increase appreciably, but this increase is very small when compared on a national basis with the two largest waste categories, i.e. animal manures and crop residues. Competitive uses for food processing wastes and logging and wood manufacturing wastes, numerous potential toxins in organic industrial wastes, and the undesirable chemical and physical properties of municipal refuse may restrict their use as organic amendments.

Crop residues are now being seriously considered as a source of energy in the US. Larson et al. (1978) have estimated that crop residues could provide sufficient energy each year to fuel 130 electric power plants of 1 000 megawatt capacity each. This is equivalent to about 30% of this nation's current annual natural gas consumption. The use of crop residues for energy production is currently limited by the cost of collection, storage, processing, transportation, and conversion technology (Epstein et al., 1978). However, as the cost of conventional fossil fuels continues to rise, the use of crop residues and biomass for energy will become increasingly feasible.

The USDA report recognized that there is a growing shortage of good quality organic wastes for use in maintaining and improving the productivity of our agricultural soils. It is likely that this situation will intensify in the not-too-distant future. The report cited a number of ways in which our limited amounts of organic wastes might be used more effectively as soil amendments. These include:

- i. improving methods of collection, storage, and processing (e.g. composting) of animal manures to minimize the loss of nitrogen that often occurs in these operations;
- ii. applying to land manures that are presently wasted or discarded;
- iii. applying to land crop residues that are not now being fully utilized;
- iv. increasing the use of acceptable sewage sludges on land;
- v. increasing the use of the organic/ compostable fraction of municipal refuse.

Increased usage of each category of waste listed in Table 1 on land is possible if future research should indicate that existing constraints can be removed, and if their value for improving the tilth, fertility and productivity of soils is shown to be greater than for existing competitive uses.

4. STRATEGIES FOR THE FUTURE

The capacity of a nation's agricultural soils to produce sufficient food and fibre for the needs of its inhabitants is a major determinant in the well-being of a nation's economic stability. Nations exporting agricultural products are few in number and it is alarming that some of them, such as the United States and Canada, are beginning to experience an apparent decline in soil productivity because of farming practices which lead to increased soil erosion and a concomitant loss of plant nutrients and soil organic matter. Many developing countries are also experiencing a decline in the productivity of their agricultural soils for the same reasons as found in developed countries, i.e. failure to employ conservation tillage and best management practices, misuse or failure to make use of crop residues and animal manures, overgrazing, reluctance to use grass and legume crops in the rotation, and intensive row cropping of marginal and steeply sloping soils.

The following strategies and recommendations are offered as ways and means for halting the decline of soil productivity in all countries, regardless of their state of development, and in helping to restore a long-term, stable, sustainable, and productive agricultural system.

4.1 Assessment of Organic Wastes

At two earlier FAO/SIDA workshops, i.e. (i) Organic Recycling in Asia held in Bangkok, Thailand, December 1976; and (ii) Organic Materials and Soil Productivity in the Near East held in Alexandria, Egypt, October 1978, it was apparent that many countries do not have reliable information on hand as to the types, amounts, and availability of various organic wastes that might be used as amendments for improving the productivity of agricultural soils. Such information is a necessary prerequisite for successful planning and implementation of organic recycling programmes for both agriculture and industry.

As a result of these workshops, the countries of the two regions (i.e. Southeast Asia and the Near East) have recognized the need for this information and are now conducting surveys on the present and future availability of organic wastes for land application. Specific data is being compiled on the types and amounts of organic wastes produced in each country, present level and mode of utilization, constraints in their use for recycling, and potential for increased usage.

Until recently this type of information was also lacking the US. However, as was indicated earlier, a thorough assessment of the types, amounts, and availability of organic wastes was conducted and is contained in the report on "Improving Soils with Organic Wastes" (USDA, 1978). The Food and Agriculture Organization recently published a survey on the utilization of residues from agriculture, forestry, fisheries, and related industries which included responses from 57 countries (FAO, 1979). However, only a few countries were able to provide comprehensive information on residue utilization.

Thus, within a particular region it is highly recommended that country-by-country surveys be conducted to assess the practicability, desirability, and feasibility of recycling organic wastes for soil improvement and plant growth. It is also advisable that countries within a region exchange their surveys for mutual interest and benefit. For example, it is possible that wastes from several processing operations (e.g. sugarcane and cassava) might be "coupled" in the future for energy (alcohol) production. Data in these surveys should be kept current by updating at 2 to 3 year intervals.

4.2 Re-introduction of Organic Fertilizers

Organic fertilizers, including animal manures, crop residues, and green manures, were traditionally and preferentially used in developing countries until the 1960's when chemical fertilizers began to gain in popularity because of their extensive use in more advanced countries. Chemical fertilizers became easily available and, unlike organic fertilizers, they were less bulky and thus easier to transport, handle, and store. They were also relatively inexpensive and they produced effective results, particularly during the era of the "Green Revolution" when crop varieties were introduced that responded best to heavy applications of chemical fertilizers. Consequently, when the world energy crisis began in the early 1970's chemical fertilizers had virtually replaced organic sources of crop nutrients in developing countries. Because of the energy crisis, chemical fertilizers became much more expensive and less available, and once again organic fertilizers began to regain their lost popularity.

A further and significant consequence of these events as Hauck (1978) points out is that "in many countries that have recently been increasingly dependent upon mineral fertilizers, the technical knowledge of organic waste utilization has been lost. It is thus necessary to re-introduce the established techniques, to improve them, and to develop new practices conforming to modern technology".

Fortunately, even during the chemical fertilizer era considerable research was underway to develop methods for handling, processing (e.g. composting), and utilizing agricultural, municipal, and industrial organic wastes for improvement of agricultural soils and for plant growth (Sikora et al., 1980 Willson et al., 1980). A relevant point by Hauck (1978) is that environmental pollution has become an international concern. Thus, proper processing and recycling of organic wastes as organic resources for improving soil productivity also reduces environmental pollution. Additional benefits include improved public health, conservation of resources, and better appearance of both urban and rural communities.

It is unlikely that organic fertilizers will totally replace chemical fertilizers in developing countries, nor should that be the goal. There is evidence that higher crop yields are possible when organic wastes are applied in combination with chemical fertilizers, than when either one is applied alone. This suggests that the addition of organic wastes can increase the efficiency of chemical fertilizers. Regional research is needed to establish the proper combinations of organic wastes and chemical fertilizers to achieve maximum crop yields and fertilizer efficiency. The effects of different types of organic wastes (agricultural, municipal, and industrial) on the efficiency of various chemical fertilizers should be evaluated, as well as the potential for enriching organic wastes with concentrated nutrient sources (i.e. chemical fertilizers) to increase their fertilizer value.

4.3 Re-introduction of Organic Methods of Farming

There is increasing concern about the adverse effects of our US agricultural production system, particularly in regard to the intensive and continuous production of cash grains and the extensive and sometimes excessive use of agricultural chemicals. Among the concerns most often expressed are:

- i. sharply increasing costs and uncertain availability of energy and chemical fertilizer and our heavy reliance on these inputs;
- ii. steady decline in soil productivity and tilth from excessive soil erosion and loss of soil organic matter;
- iii. degradation of the environment from erosion and sedimentation, and from pollution of natural waters by agricultural chemicals;
- iv. hazards to human and animal health and to food safety from heavy use of pesticides;
- v. demise of the family farm and localized marketing systems.

Consequently, many feel that a shift to some degree from conventional (i.e. chemical-intensive) toward organic farming would alleviate some of these adverse effects and in the long term would ensure a more stable, sustainable, and profitable agricultural system.

Thus, in April 1979 Dr. Anson R. Bertrand, Director, Science and Education Administration, US Department of Agriculture designated a team of scientists to conduct a study of organic farming in the United States, Europe, and Japan. While other definitions exist, the Study Team defined organic farming as follows: "Organic farming is a production system which avoids or largely excludes the use of synthetically-compounded fertilizers, pesticides, growth regulators, and livestock feed additives. To the maximum extent feasible, organic farming systems rely upon crop rotations, crop residues, animal manures, legumes, green manures, off-farm organic wastes, mechanical cultivation, mineral-bearing rocks, and aspects of biological pest control to maintain soil productivity and tilth, to supply plant nutrients, and to control insects, weeds and other pests".

Accordingly, during the past year the Study Team assessed the nature and activity of organic farming both in the US and abroad; investigated the motivations of why farmers shift to organic methods; explored the broad socio-political character of the organic movement; assessed the nature of organic technology and management systems; evaluated the level of success of organic farmers and the economic impacts costs, benefits, and limitations to organic farming; identified research and education programmes that would benefit organic farmers; and recommended plans of action for implementation. The results and findings of this study are now being published in a document entitled "Report and Recommendations on Organic Farming" (USDA, 1980) and will soon be available for distribution. The information in this report may be highly relevant to a number of agricultural problems that exist today in both developed and developing countries.

4.4 Re-introduction of Best Management Practices

Many farmers in both developed and developing countries have shifted toward intensive row cropping for short-term economic gain, and have thus neglected soil and water conservation practices. This has resulted in markedly increased soil erosion, irreparable damage to cropland, sedimentation, and nutrient runoff and enrichment of surface waters. With increasing public concern for environmental pollution, and agriculture's contribution to it, one can envisage possible future legislative actions by governments to require that conservation management practices be implemented.

Meanwhile, there is presently an urgent need to reintroduce those soil and crop management practices which have been cited as best management practices for controlling soil erosion and water pollution from cropland (USDA/EPA 1975, 1976). These include the use of sod based rotations, contouring, and grassed waterways. Research and extension programmes should be developed and implemented, where needed, to demonstrate the cost/benefit relationships of conservation management practices. Aspects of multiple cropping systems such as double cropping, sequential cropping, and intercropping may also provide special means for controlling wind and water erosion, and for effective recycling of nutrients from crop residues (ASA, 1976).

4.5 Non-traditional Soil and Plant Additives

There are a number of products that have been introduced into developing countries that are generally referred to as soil and plant additives for which the manufacturers' claims greatly exceed the performance of the product (Weaver et al., 1974; Dunigan, 1979; Weaver, 1979).

These products include (a) microbial fertilizers and soil inoculants which are purported to contain unique and beneficial strains of soil micro-organisms, (b) microbial activators that supposedly contain special chemical formulations for increasing the numbers and activity of 'beneficial micro-organisms in soil, (c) soil conditioners that claim to create favourable soil physical and chemical conditions which result in increased growth and yield of crops, and (d) plant stimulants and growth regulators that supposedly stimulate plant growth, resulting in healthier and more vigorous plants, and increased yields.

In most cases, where researchers have evaluated these products using acceptable scientific and statistical methods, they have been unable to demonstrate any significant yield increases. Such studies have also usually failed to provide evidence for any additional claims of benefit. It is noteworthy, however, that there are some legitimate products on the market that have stood the test of time. A classic example is the commercial preparation of the nitrogen-fixing bacteria *Rhizobium* used for inoculating legume seeds.

The proper use of organic fertilizers, chemical fertilizers, lime, and specific rhizobia inoculum for legumes when needed will usually pay dividends to farmers. However, any product which promises to perform extraordinary processes in soils and

plants , or to have magical and mysterious beneficial effects on plants and micro-organisms when applied at very low rates of application should be viewed with caution and scepticism. Such products are invariably a poor investment, of little or no economic value, and cannot substitute for good farming methods and sound management practices in either developed or developing countries.

4.6 Research Needed on Organic Wastes

As both developed and developing countries begin to utilize municipal wastes (e.g. sewage sludges and effluents, and garbage) and industrial wastes (e.g. food processing and acceptable industrial organic wastes) for land application, in addition to traditional organic sources such as animal manures and crop residues, research will be needed to determine how these wastes differ in their ability to improve soil tilth and fertility.

Information is limited on the extent to which one particular organic waste can be substituted for another to achieve the desired level of soil improvement. Criteria should be developed by which the relative effectiveness of different organic wastes can be compared. For example, studies are needed on (a) rates of decomposition for each waste under different soil regimes and cropping systems, (b) rates at which the contained plant nutrients are mineralized, recycled, and utilized by both current and subsequent crops, (c) the potential toxic effects of certain wastes on plants and micro-organisms, and (d) the impact of organic waste management on the control of plant insects and diseases. Each organic waste has unique properties that should be thoroughly investigated in the soil/water/plant ecosystem.

Improved methods are needed for processing and managing organic wastes for efficient utilization of plant nutrients by crops. Numerical indexes should be developed to predict the nutrient availability of different wastes. This nutrient availability index would correlate the rate at which nutrients contained in various organic wastes are released to crops under different soil, climatic, and cropping conditions (USDA, 1978).

5. SUMMARY

There is a growing worldwide concern about the apparent decline in the long-term productivity of agricultural soils which stems from severe soil erosion associated with intensive farming systems and a lack of soil and water conservation practices. Moreover, prime cropland is being lost to non-agricultural uses such as urbanization and industrialization, often at rather alarming rates, in most countries throughout the world. If we are to meet the world's demand for food and fibre for the rest of this century we must renew our efforts not only to halt the decline in soil productivity but to increase it as well. One way that this can be achieved is through the efficient and effective use of organic wastes to reduce soil erosion and to increase crop yields.

Most countries do not have reliable information as to the types, amounts, and availability of different organic wastes that might be used for improving the productivity of their agricultural soils. Country-by-country surveys are needed to obtain these data and to assess the practicability, desirability, and feasibility of recycling organic wastes for soil improvement and plant growth. Such information is absolutely essential for successful planning and implementation of organic recycling programmes in developing countries.

Additional strategies for halting the decline of soil productivity and for restoring a long-term stable, sustainable, and productive agricultural system include (a) reintroduction of organic fertilizer, (b) reintroduction of best management

practices for controlling soil erosion and water pollution from cropland, (c) consideration of organic methods of farming, and (d) the development of improved methods for processing and managing organic wastes for efficient utilization of plant nutrients by crops. Numerical indexes are needed to predict the nutrient availability of different wastes that might be used for land application.

Resumen

El uso efectivo y eficiente en los suelos de desperdicios orgánicos tales como residuos de cosechas, estiércol y sedimentos de aguas negras, tiene gran significado en el mantenimiento de la productividad en países desarrollados y en vías de desarrollo. En los Estados Unidos hay información detallada sobre la disponibilidad de siete principales materiales de desperdicios orgánicos: (a) estiércol; (b) residuos de cosechas; (c) aguas negras; (d) desperdicios de procesamiento de alimentos; (e) desperdicios orgánicos de la industria; (f) desperdicios de la explotación forestal y manufactura de la madera y (g) basuras municipales. En los Estados Unidos, al presente, el uso potencial de los desperdicios orgánicos es bajo; pero el incremento del uso de cada categoría será posible si investigaciones futuras removieran sus limitaciones y si el valor como mejorador de la labranza, fertilidad y productividad de los suelos se demostrara que es mayor que sus actuales usos competitivos.

La mayoría de los países no tienen una información real de los tipos, cantidad y disponibilidad de los diferentes desperdicios orgánicos que podrían ser usados como mejoradores de la productividad de sus suelos agrícolas. Tal información es un requisito necesario para la planificación exitosa e implementación de programas de reciclaje en ambos, agricultura e industria.

Las estrategias adicionales para el futuro incluyen reintroducción de fertilizantes orgánicos, incluyendo estiércol, residuos de cosechas y abonos verdes; reintroducción de métodos orgánicos en las prácticas agrícolas, apropiadas rotaciones de cultivos; reintroducción de las mejores prácticas de manejo para el control de la erosión del suelo y contaminación del agua en las tierras de cultivos, hay que evitar la aplicación de aditivos no tradicionales de plantas y suelos, porque tales productos han demostrado incremento de rendimientos no significativos y generalmente han fracasado al intentar demostrar los beneficios adicionales que preconizan.

Deben realizarse investigaciones con desperdicios orgánicos para determinar como esos desperdicios difieren en su habilidad de mejorar la fertilidad y laborabilidad. Deben desarrollarse índices numéricos para predecir la disponibilidad de los diferentes desperdicios. El índice de disponibilidad de nutrientes correlacionaría la proporción de nutrientes que liberan los diferentes desperdicios orgánicos para los cultivos en condiciones diferentes de suelo, clima y condiciones de cultivo, con el contenido original de nutrientes.

REFERENCES

- Allison, F.E. Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production. Elsevier, New York, 1973. Amsterdam. 637 p.
- American Society of Agronomy. Multiple Cropping. ASA Special Publication No. 27. Madison, 1976. Wis. 378 p.
- Brink, R.A., Densmore, J.W., and Hill, G.A. Soil Deterioration and the Growing Demand for 1977. Food. Science 197:625-630.
- Brown, L.R. The worldwide loss of cropland. Worldwatch Paper No. 24. Worldwatch Institute, 1978. Washington, D.C. 48 p.

- Carter, L.J. Soil Erosion: The Problem Persists Despite the Billions Spent on It. Science 1977 196:409-411.
- Dunigan, E.P. Microbial fertilizers, activators and conditioners: a critical review. 1979 Developments in Industrial Microbiology. 20:311-322.
- Epstein, E., Alpert, J.E. and Calver, C.C. Alternative uses of excess crop residues. In: 1978 W.R. Oschwald (ed.) Crop Residue Management Systems. p. 219-230. Amer. Soc. Agron. Madison, Wis.
- FAO. Agricultural residues: quantitative survey. Agricultural Services Bulletin Prov. 1979 FAO, Rome. 116 p.
- Hauck, F.W. Organic recycling to improve soil productivity. Paper presented at the FAO/ 1978 SIDA Workshop on "Organic Materials and Soil Productivity in the Near East". FAO, Rome.
- Larson, W.E., Holt, R.F. and Carlson, C.W. Residues for soil conservation. In: W.R. Oschwald 1978 (ed.) Crop Residue Management Systems. p. 1-15. Amerc. Soc. Agron., Madison, Wis.
- Sikora, L.J., Willson, G.B., and Parr, J.F. Adaptation of the Beltsville Aerated Pile 1980 Method of Composting for use in developing countries. FAO/SIDA Workshop on Organic Recycling in Agriculture. San Jose, Turrialba, Costa Rica, 7-18 July 1980.
- U.S. Department of Agriculture. Soil - Yearbook of Agriculture. U.S. Government Printing 1957 Office, Washington, D.C.
- U.S. Department of Agriculture/U.S. Environmental Protection Agency. Joint Publication on 1975 "Control of Water Pollution from Cropland". Volume I: A Manual for Guideline Development. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 111 p.
- U.S. Department of Agriculture/U.S. Environmental Protection Agency. Joint Publication on 1976 "Control of Water Pollution from Cropland". Volume II: An Overview. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 187 p.
- U.S. Department of Agriculture. Soil Conservation Service. Report on "Cropland Erosion". 1977 Washington, D.C.
- U.S. Department of Agriculture. Improving Soils with Organic Wastes. Report to the Congress 1978 in Response to Section 1461 of the Food and Agriculture Act of 1977 (PL 95-113). Publ. by the U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 157 p.
- U.S. Department of Agriculture. Report and Recommendations on Organic Farming. A Special 1980 Report prepared for the Secretary of Agriculture. Publ. by the U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 164 p.
- Weaver, R.W. Evaluation of the effectiveness of microbial fertilizers, activators and 1979 conditioners. Developments in Industrial Microbiology, 20:322-327.
- Weaver, R.W., Dunigan, E.P., Parr, J.F. and Hiltbold, A.E. Effect of two soil activators 1974 on crop yields and activities on crop yields and activities of soil micro-organisms in the Southern United States. Southern Cooperative Series Bulletin No. 189. 24 p.
- Willson, G.B., Parr, J.F. and Sikora, L.J. Experiences with organic waste composting in 1980 developing countries. FAO/SIDA Workshop on Organic Recycling in Agriculture. San Jose/Turrialba, Costa Rica, 7-18 July 1980.

3. ADAPTATION OF THE BELTSVILLE AERATED
PILE METHOD OF COMPOSTING FOR USE IN
DEVELOPING COUNTRIES

3. ADAPTACION DEL METODO PILA AIREADA DE
BELTSVILLE PARA LA PREPARACION DEL
COMPOSTE PARA SU USO EN LOS PAISES EN
VIA DE DESARROLLO

by

1

L.J. Sikora, G.B. Willson and J.F. Parrl/

1. INTRODUCTION

In the early 1970's, improved wastewater treatment methods were the cause of rather dramatic increases in the production of sewage sludge in the United States. In 1972, the U.S. Department of Agriculture's Biological Waste Management and Organic Resources Laboratory at Beltsville, Maryland, USA, began research on the composting of sewage sludge to determine (a) whether composting could be a viable alternative to such ultimate disposal methods as incineration, landfilling, and ocean dumping and (b) if composted sewage sludge could be applied safely and beneficially to land.

Sludge composting at Beltsville began using the windrow method for composting digested sludge (Willson and Walker, 1973). This method was successful in producing a stabilized product after 14 days in windrows turned 5 times a week followed by 30 days of curing in a static pile. While the windrow method was suitable for composting digested sludge, it was not acceptable for composting raw or undigested sludge. Raw sludge has a higher odour potential than digested sludge and was found to cause an undesirable level of malodour emissions during windrow turnings. Moreover, temperatures in the outer surfaces of the windrows were too low to provide the desired level of pathogen destruction. To overcome these problems of malodours and pathogen survival from windrow composting of undigested sludge, the Beltsville Aerated Pile Method of Composting was developed.

In the Aerated Pile Method, partially-dewatered sewage sludge (18-25% solids), digested or undigested, is mixed with a bulking material such as woodchips and constructed into a pile which contains a loop of perforated pipe in its base to facilitate forced aeration (Figure 1). The pile is covered with screened compost blanket which insulates the pile and filters odours arising from the pile. Air is drawn through the pile periodically with a blower and the exhaust air is conducted through a screened compost pile which serves as an odour filter mechanism. Within 3 days after composting begins, pile temperatures have risen to a range of 60 to 70°C where they remain for most of the 21-day composting period. At the end of this period the pile is taken down and the composted material is removed and transferred to an unaerated curing pile for 3 to 4 weeks.

1/ Microbiologist, Agricultural Engineer and Laboratory Chief, respectively.
Biological Waste Management and Organic Resources Laboratory
Science and Education Administration
U.S. Department of Agriculture
Beltsville, MD 20705

COMPOSTING WITH FORCED AERATION

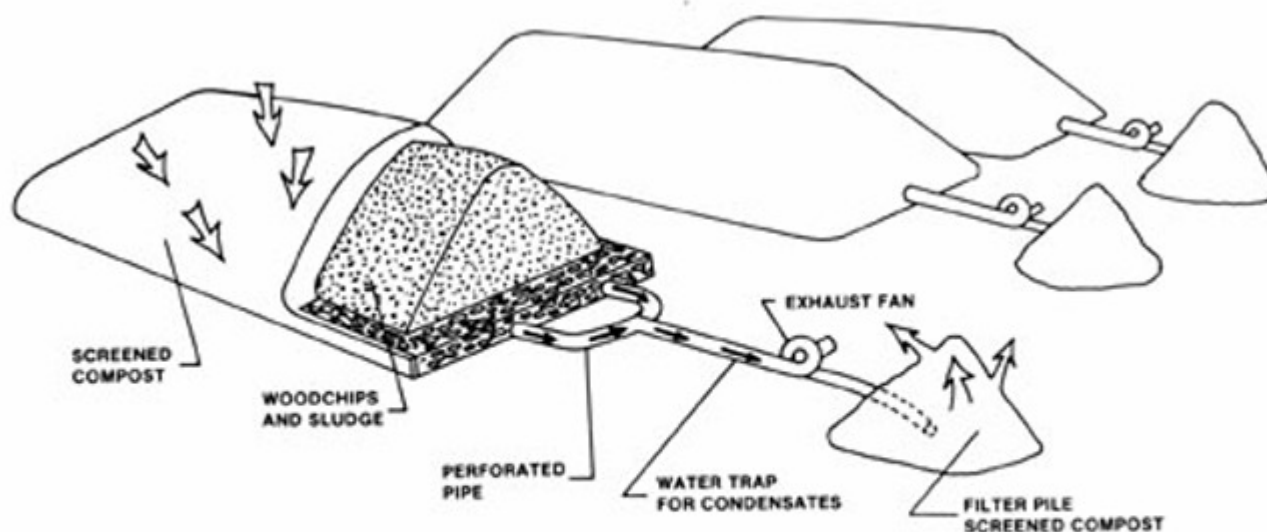


Figure 1. Schematic of the Beltsville Aerated Pile Method of Composting as developed by engineers and scientists at the Beltsville Agricultural Research Center, Beltsville, MD, for the composting of sewage sludge filter cake.

During curing, the compost is further stabilized and also undergoes additional drying. After curing, the compost can then be separated from the woodchips by screening and the recovered woodchips can be re-used with incoming sludge. The screened compost is a humus-like material that is relatively free of pathogens, contains no malodours, and unlike sludges, can be easily handled, conveniently stored, and uniformly applied to land. Research has shown that it can be used beneficially as a fertilizer and soil conditioner (Sikora et al., 1980).

While the Aerated Pile Method was initially designed to compost vacuum filtered sludge cake of about 22% solids, other wastes have been successfully composted by this method. Patterson and Short (1979) demonstrated that both septage and portable toilet wastes could be stabilized by composting in Aerated Piles. In a pilot study at Camden, New Jersey, undigested liquid sewage sludge with only 5% solids was successfully composted using spent licorice root as the bulking material. In other pilot studies in Nassau County, New York, and at Beltsville, Maryland, filter press sludge cake containing 35% solids was composted satisfactorily. Thus, the Aerated Pile Method has proven to be adaptable to wastes that vary widely in their solid contents and physical and chemical characteristics. It is believed that the Beltsville Aerated Pile Method would be successful in composting any of the materials that have been composted by the windrow method and, accordingly, would require less land per unit of waste material composted.

Developing countries are in need of a good, readily available source of organic matter for use as a soil amendment to improve soils and increase crop productivity in eroded and desertified areas. Composting of unstabilized waste materials such as refuse or septage is a process which yields a beneficial organic matter for use as a soil conditioner and low analysis fertilizer. Typical mixed community refuse or segregated combustible refuse including garbage can be composted. Refuse can be composted alone or combined with other predominantly organic wastes such as sewage sludge, crop residues, manures, meat and food processing wastes, and various nontoxic industrial and commercial wastes (Wiley, 1967). This paper will discuss composting of waste materials using the Beltsville Aerated Pile Method and, because of its adaptability to a wide range of materials and operating situations, discuss its usefulness as a method for stabilizing organic wastes in developing countries.

2. FACTORS AFFECTING THE COMPOSTING PROCESS

Composting, for practical purposes, can be defined as the aerobic, thermophilic decomposition of organic wastes by micro-organisms under controlled conditions, which yields a partially-stabilized residual material that decomposes slowly when conditions again become favourable for microbial activity (Parr et al., 1978). Heat, a by-product of substrate decomposition by micro-organisms, is conserved in the aerated pile which results in a rise in temperature. One factor which affects composting is the supply of oxygen to the micro-organisms. Insufficient oxygen results in anaerobic conditions and incomplete stabilization of organic material. The end products under these conditions are often highly odorous. Temperature in a compost pile is the primary indicator of how well the process is working. Time-temperature relationships provide a reliable index on the probable extent of destruction of human pathogens. For example, a pile temperature of 55°C for 3 days would ensure essentially total destruction of indigenous human pathogens (Burge et al., 1979). If temperatures do not rise in a pile containing waste materials, it could indicate that air is being drawn through the pile at too high a rate, causing excessive heat loss and subsequent cooling. The rate of decomposition may also be slowed by certain toxic compounds in the sludge and/or bulking material that may adversely affect the activity of the compost microflora.

Excessive moisture content in the compost mixture can also lower the decomposition rate. A moisture content of about 60% is near the upper limit for optimum aerobic, thermophilic composting (Haug, 1979). At moisture contents above 60%, many of the voids became filled with water, thereby restricting air passage, and the system becomes anaerobic. Thus, high moisture content leads to incomplete decomposition, low temperatures in the pile and malodorous end products. Very low moisture content (< 40%) can also inhibit the decomposition process (Poincelot, 1975) but this situation does not normally occur when dealing with liquid wastes because of the large volumes of dry bulking material needed to reach the low moisture levels.

Decomposition in the pile can be limited by the amount of carbon (C), nitrogen (N), or their ratio (C:N). Ideally, the C:N ratio in a compost pile should be 30 to 40:1 (Gray et al., 1971; Poincelot, 1975). The decomposition process proceeds rapidly at this C:N ratio and the N in the wastes is conserved in the form of microbial biomass. Lower C:N ratios will compost or decompose, but N will be lost through volatilization and N is possibly the single most important plant nutrient in compost. High C:N ratios (< 50:1) will limit the composting process because of insufficient N to support the microbial population. Human wastes normally have C:N ratios around 10 and, for more effective composting, should be increased to about 30:1 by adding a carbonaceous bulking material.

The chemical characteristics of both the waste material and bulking material may cause significant adverse effects on the composting process (Parr et al., 1978). Sludges having an excessively high lime content may affect the composting process by creating adverse pH levels for the growth and activity of the compost microflora. Willson et al (1976) investigated the composting of advanced wastewater treatment sludges and found that adequate temperatures occurred in all sludge composts except the compost containing the high pH sludge. In respiration studies of the raw, limed sludge that is composted at the Beltsville Experimental Sewage Sludge Composting Facility, oxygen uptake did not commence until the sludge pH was adjusted to 8.5 or lower (personal communication, W. D. Burge). Therefore, the chemical characteristics of the wastes are an important consideration in the successful stabilization of wastes by composting.

3. MATERIALS, EQUIPMENT, AND PROCEDURES FOR COMPOSTING BY THE BELTSVILLE AERATED PILE METHOD

3.1 Bulking Materials

Liquid sludges and partially-dewatered sludges having a moisture content of from 75 to 83% can be composted more readily by the aerated pile method if they are first mixed with a suitable bulking material which will lower the moisture content of the mixture to an optimum range of 50 to 60%. The bulking material also imparts the necessary structure, texture, and porosity to the mixture so that it can be mechanically aerated. To accomplish this, bulking materials should have sufficient wet strength and moisture adsorptive capacity. Carbonaceous material is preferred and may be necessary so as to achieve the proper C:N ratio discussed earlier.

Bulking materials should be selected on the basis of availability and cost. Some suggestions in locating suitable bulking materials would be to canvass the surrounding area for industries that generate organic wastes. Paper and pulp industries, agriculture processing industries, and corporations with large volumes of waste paper are possible sources of such organic wastes. Compost site operators should consider the seasonal availability of certain bulking materials such as leaves or maize stover to supplement and extend the primary bulking material. Operators should also consider mixtures of bulking materials such as leaves and woodchips, or refuse paper and sawdust, to prevent possible shortages of any one bulking agent. These steps will aid the compost site operator in withstanding constraints such as shortages or periodic increased costs of bulking materials.

The operator should be aware that any change in the bulking material may affect the process and may markedly affect product quality. The latter consideration is most important if the product is being marketed or distributed for a specific use, and if a certain nutrient content or balance is required. For instance, if the compost is to be used as a potting mix ingredient to establish a specific ornamental plant, a change in the bulking material may adversely affect the growth of the plant. Certain woody materials are toxic to plants such as the California incense cedar (*Calocedrus decurrens*) which is very toxic to young seedlings (Bunt, 1976).

The diversity of bulking materials that have been used successfully in tests at Beltsville and other locations are shown in Table 1. In Los Angeles County, California, dry composted sewage sludge serves as the bulking material for windrow composting of digested sludge (Horvath, 1978). At the Beltsville Composting Facility unscreened sludge/woodchip compost and unscreened sludge RDF (Refuse Derived Fuel) pellet compost have been used successfully as bulking materials for composting vacuum filtered sludge cake at 22% solids. The volumetric ratios were 2:1, i.e. unscreened compost to sludge which is about the same ratio used when only woodchips is the bulking material.

Table 1 BULKING AGENTS REPORTED AS SATISFACTORY
IN COMPOSTING TESTS PERFORMED AT BELTSVILLE, MD
AND OTHER LOCATIONS

Woodchips	Dry, composted sewage sludge
Sawdust	Groundnut hulls
Tree trimmings	Leaves
Bark	Air classified refuse
Maize stover	Refuse derived fuel cubes, pellets
Unscreened compost	Automobile tires-woodchips
Fly ash-woodchips	Sugarcane bagasse
Shredded bark	Rice hulls
Refuse	Cereal straws
Cotton gin trash	

3.2 Equipment

Equipment requirements for composting vary with the size of the operations. Willson et al., (1980) discussed the equipment necessary for a 10 dry ton per day facility which would serve a population of about 100 000. Equipment common to most public road maintenance departments could perform all of the operations for such a plant. A farm tractor with a bucket can be used for moving materials, mixing sludge with bulking materials, building and taking down piles, and cleaning the composting pad. A dump truck can be used for moving materials to and from the site. For very small operations, a garden rototiller could be used for mixing; in some cases, even pitchforks and wheelbarrows may suffice. For somewhat larger operations, a farm tractor-mounted rototiller could fulfil the mixing requirement. Self-mixing feed wagons have also been tested for mixing woodchips and filter cake sludge (Higgins et al., 1979).

Forced aeration of the static pile is accomplished using a blower which develops 13 to 26 cm of water pressure, depending on the bulking material used and on the pressure losses in the distribution system. Blower size also depends on pile size and geometry, and on the pipe size; however, most small-scale facilities have found that blowers of 1/3 hp capacity are adequate.

Perforated pipe is placed in the base of the aerated pile and in the odour filter pile, while solid pipe connects the perforated pipe to the blower. The blower is controlled by a timer which regulates the on-off sequence for aeration. It has been shown that temperature distribution within the pile is more uniform with intermittent aeration rather than continuous aeration. In piles containing mixtures of filter cake sewage sludge and woodchips, an aeration rate of 15 m³/hr/t of sludge solids is usually adequate (Willson et al., 1980).

A method of screening the final product is necessary if the bulking material is to be recovered, or if finer or multiple compost products are desired. Unscreened compost can be recycled as bulking agent and the process, called "recharging" has

been successfully performed at Beltsville using maize stover, RDF pellets, and woodchip-sludge compost. The sewage sludge composting facilities that do screen on a routine basis have found it to be the most limiting step in the process because efficient screening is moisture dependent and, therefore, dependent upon the weather unless compost piles are under a roof. A number of mechanical screens with varied capacities can be used (Higgins et al., 1979), including screening equipment from the plant nursery trade which handles relatively small volumes. The cost of screening should be weighed against the use of the screened versus unscreened product and the cost and availability of replacing the bulking material if screening is not done.

Equipment for measuring temperature and/or oxygen is available and Willson et al. (1980) have listed some brands and models which they found acceptable. Temperatures can be measured using a long stem dial thermometer, a probe attached to a temperature reading device, or using implanted thermocouple wire and potentiometer. A probe and a portable oxygen analyzer are sufficient for O₂ measurements. Other equipment useful at a compost facility is some means for determining the moisture content of mixes or of the waste material and bulking material, air velocity and pressure determination equipment to measure air flows and resistance in piles, and equipment to determine the pH of the sludge and the compost. All measuring equipment should be portable and sufficiently durable for outdoor work.

3.3 Site Requirements

Selection of a site for composting is dependent upon the location of the waste generating facility, the amount of wastes, site topography, soils, geology, groundwater flows, drainage, and adjacent land use. Ideally, a compost site should be located close to the waste generating facility. However, adjacent sites may not be available, or the waste generating stations may be scattered. In this case, a centrally located site with proper vehicle access would be chosen.

The size of the site would depend upon the amount of waste to be composted. Colacicco et al. (1977) estimated that the land requirement for sewage sludge composting was approximately 1 acre (0.4 ha) for every 3 metric dry tons of sludge processed per day. The land is utilized for a receiving area for the wastes, an area for mixing wastes with the bulking agent, an area for composting, curing/drying, screening or other conditioning, and storage. Areas for an office, vehicle parking, and machinery maintenance may also be necessary.

The site should be designed so that runoff from the surrounding area is diverted away from the compost site. Also, the site should be designed to collect and contain the runoff from the compost pad itself, possibly in a pond or by diverting the runoff to a sewer. Finally, access to utilities is an important consideration in site selection.

The compost pad where most of the mixing and composting occurs should be paved with a material that is relatively impervious. Paved surfaces facilitate the handling of materials, cleaning and maintenance operations, especially during wet weather. A paved surface will also prevent possible groundwater contamination. However, for small operations paving can be dispensed with, provided the soil has a low infiltration capacity.

Sites should be surrounded with suitable buffer zones (e.g. trees and shrubs, either natural or planted) which separate the facility from nearby residences or sensitive areas such as nursing homes and hospitals. Such buffer zones will provide protection to nearby residences from dust, noise, and occasional odours.

3.4 Monitoring

The transformation of waste material such as sewage waste to a stabilized and relatively odour- and pathogen-free organic material by composting requires quality control. Monitoring of a compost pile plus care in building of the pile with regard to moisture content will help to ensure that the product will be safe and beneficial to use.

Table 2 lists suggested monitoring parameters for composting. Temperature measurement gives more information about the process than any other single measurement. To ensure significant pathogen kill, all portions of the pile should attain a temperature of 55°C for at least 3 days (Burge et al., 1979). The coldest portions of the pile are generally at the base edges and just under the blanket, and monitoring these areas at least three times a week will ensure an acceptable level of pathogen destruction throughout the entire pile.

Table 2 **SUGGESTED PARAMETERS AND TIME INTERVALS
FOR MONITORING A COMPOST OPERATION PROCESSING LESS THAN 23
DRY METRIC TONS OF WASTE SOLIDS PER WEEK**

Parameter	Interval	Comment
Moisture content	monthly	initial mixture with new waste material or bulking agent and after composting
Temperature	3 times per week	ensure stabilization and pathogen kill
Oxygen	optional	indication of aerobic conditions
Pathogen survival	-	as required by local regulations
Heavy metals	-	as required by local regulations
Pesticides	-	as required by local regulations
Process odours	daily	indication of an aerobic condition
Blower operation	daily	blower and time check
Waste material changes	monthly	source, moisture, pH, etc.

Oxygen analysis of gas samples taken from the centre of the piles is also a useful index for quality control. Oxygen readings should be in the range from 5% to 15% and readings below 5% indicate inadequate movement or distribution of air. An immediate remedial measure for low O₂ readings would be to increase the aeration rate. Monitoring of O₂ concentrations in gas samples is not as critical as temperature measurements, but in some cases O₂ monitoring may be desirable to ensure an odour-free stabilized product.

Site operators should be aware that malodours can arise from a number of sources including exposed, wet, waste materials, careless operating and "housekeeping" procedures, unstabilized or excessively wet compost, and after extended periods of precipitation. Improperly constructed odour filter piles and poor connections

between the pile and the blower and the blower and filter pile can also contribute odours. Odour filter piles accumulate condensate with time and should be changed periodically or they may become inefficient and anaerobic. Blowers and timers should be checked daily to ensure that they are operating according to the preselected on/off time sequence. Nuisance odours can develop at compost sites if they are not taken care of promptly. Attentive and conscientious site operators can prevent most odour problems with proper management.

The site operator should always be watchful of any changes in the physical properties of the waste materials and bulking materials coming into the site. On a continuing basis, he should be particularly aware of the resulting moisture content of the waste-bulking material mixture in accordance with the prescribed volumetric or gravimetric mix ratio. An unexpected increase in liquidity (i.e. decrease in solid content) of the waste material can result in excessive moisture, a slow rate of decomposition, low temperatures, anaerobiosis, and unwanted odour problems. If changes are observed, the chemical properties of the waste in question should be thoroughly investigated. Chemical processes employed as wastewater treatment plants are sometimes changed without informing the compost site operator. Local regulatory officials will determine the necessity and frequency of monitoring for pathogen survival in the compost and also for levels of other possible toxicants such as heavy metals and pesticides. Assurance of pathogen kill in the composting of human wastes is mandatory. Levels of heavy metals and pesticides in compost is a concern when the compost is to be used on food chain crops. Individual countries have regulations governing each and the proper regulatory agency should be contacted for information on monitoring requirements for public use of a compost product.

4. SUMMARY

The Beltsville Aerated Pile Method of Composting is adaptable to a wide range of municipal and agricultural wastes, and operating conditions. For example, liquid sewage wastes with a solid content as low as 5% can be composted if the proper bulking materials are used. A large number of different organic wastes and residues can serve as bulking materials for municipal wastes, such as sewage sludge, and this adaptability enhances composting as a viable alternative to other treatment disposal methods for use in developing countries. The composting process described in this paper requires no highly specialized equipment, only a modest amount of site preparation, and no permanent facilities other than electrical services. Potential environmental problems can be avoided by selecting a site which provides a suitable buffer area, constructing the compost pad of impervious material, and controlling runoff to and from the site. A major advantage of composting organic wastes is that the final product, i.e. compost, can be used beneficially as a fertilizer and soil conditioner which will aid in correcting the agronomic problems in developing countries. However, product quality is highly dependent upon the chemical and physical properties of the waste materials that are composted, and on the effective implementation of a monitoring programme to ensure a safe and acceptable product for use by consumers.

Resumen

El presente trabajo presenta la preparación de composte de desperdicios usando el método Pila Aireada de Beltsville, el cual utiliza los residuos de albañal, parcialmente drenados (18-25% de sólidos) digeridos o no digeridos.

El composte resultante es un material parecido al humus, relativamente libre de patógenos, sin mal olor y diferente al material original. Puede ser fácilmente manipulado, convenientemente almacenado y uniformemente aplicado al suelo. Investigaciones han demostrado que puede ser usado beneficiosamente como un fertilizante y condicionador del suelo.

Los países en vías de desarrollo necesitan conocer una buena y real fuente disponible de materia orgánica para utilizarla como mejoradora del suelo y aumentar la productividad in áreas desérticas y erosionadas.

La preparación del composte de desperdicios inestables tales como basuras o residuos de albañales rinde materia orgánica para ser usada como un condicionador del suelo y un fertilizante de análisis bajo, sin embargo, la cualidad del producto es altamente dependiente de las propiedades físicas y químicas del desperdicio utilizado en la preparación del composte y de una efectiva implementación de un programa de observación cuidadoso que asegure un producto confiable y aceptable para ser usado por el consumidor.

El proceso descrito para la preparación del composte requiere un equipo no altamente especializado, un lugar no demasiado grande para la preparación y ninguna otra facilidad permanente que servicios eléctricos.

REFERENCES

- Bunt, A.C. Modern Potting Composts. The Pennsylvania State University Press. University
1976 Park, PA.
- Burge, W.D., Colacicco, D. and Cramer, W.N. Control of pathogens during sewage sludge
1979 composting. p. 105-111. _In: Proc. Natl. Conf. and Exhib. on Municipal and
Industrial Composting. Information Transfer, Inc. Rockville, MD.
- Colacicco, D., Epstein, E., Willson, G.B., Parr, J.F. and Christenson, L.A. Costs of
1977 composting sewage sludge. 18 p. Agricultural Research Service, ARS, Northeast
Regional Publication. No. 79.
- Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J. A review of compost - Part I. Process
1971 Biochem. 6:32-36.
- Haug, R.T. Engineering principles of sludge composting. Water Pollut. Control Fed.
1979 51:2189-2206.
- Higgins, A.J., Singley, M.E., Singh, A., Callanan, K., Whitson, B. and Chen S. Rutgers
1979 University evaluation program on compost mixing and screening equipment. p. 42-47.
_In: Proc. Natl. Conf. and Exhib. on Municipal and Industrial Sludge Composting.
Information Transfer, Inc. Rockville, MD.
- Horvath, R.W. Operating and design criteria for windrow composting of sludge. p. 88-95.
1978 _In: Proc. Natl. Conf. on Design of Municipal Sludge Composting Facilities.
Information Transfer, Inc., Rockville, MD.
- Parr, J.F., Willson, G.B., Chaney, R.L., Sikora, L.J. and Tester C.F. Effects of c.ertain
1978 chemical and physical factors on the composting process and product quality.
p. 130-137. In: Proc. Natl. Conf. on Design of Municipal Sludge Composting
Facilities.
Information Transfer, Inc., Rockville,
- Patterson, J.C. and Short, J.R. Static pile composting of chemical toilet waste and
1979 septage within a national park. p. 191-197. In: Proc. Natl. Conf. and Exhib.
on Municipal and Industrial Sludge Composting. Information Transfer, Inc.,
Rockville,
- Poincelot, R.P. The biochemistry and methodology of composting. Conn. Agric. Exp. Sta.
1975 Bull. No. 754, 18 p.
- Sikora, L.J., Tester, C.F., Taylor, J.M. and Parr J.F. Fescue yield response to sewage
1980 sludge compost amendments. Agron. J. 72:79-84.

- Wiley, J.C. A discussion of composting of refuse with sewage sludge. *Compost Sci.* Spring-
1967 Summer, 1967. p. 22-27.
- Willson, G.B. Equipment for composting sewage sludge in windrows and in piles. p. 56-60.
1977 _In: Proc. Natl. Conf. on Composting of Municipal Residues and Sludges. Information
Transfer, Inc., Rockville, MD.
- Willson, G.B., Epstein, E. and Parr, J.F. Recent advances in compost technology. p. 167-172
1976 In: Proc. Third Natl. Conf. on Sludge Management Disposal and Utilization.
Information Transfer, Inc., Rockville, MD.
- Willson, G.B., Parr, J.F., Epstein, E., Marsh, P.B., Changey, R.L., Colacicco, D., Burge,
1980 W.D., Sikora, L.J., Tester, C.F. and Hornick, S.B.. A Manual for the Composting of
Sewage Sludge by the Beltsville Aerated Pile Method. p. 64. Joint U.S. Dept. of
Agriculture and U.S. Environmental Protection Agency.
- Willson, G.B. and Walker, J.M. Composting sewage sludge: How? *Comp. Sci.* 14:30-32.
1973

4. La pulpa de café como abono

por
F. Suarez de Castro 1/

Qué es la pulpa de café

La pulpa es la parte de la cereza de café, formada por el epicarpio o película roja exterior y casi la totalidad del mesocarpio o capa de tejido blando, hialino que rodea el endocarpio o pergamino (9).

La pulpa se desprende del grano en la fase inicial del beneficio o sea al comenzar el conjunto de operaciones que se ejecutan luego de cosechar el fruto, para preparar el producto (grano) que se lleva al mercado.

Composición química

Con base en varios análisis químicos efectuados en Colombia y Centro América pueden darse las siguientes cifras indicativas de la composición química de la pulpa (1, 2, 9).

Humedad	74	a 78	%
Materia orgánica	90	a 92	%
Nitrógeno total (N)	1,4	a 1,9	%
Fósforo total (P ₂ O ₅)	0,30	a 0,35	%
Potasa (K ₂ O)	3,5	a 3,7	%

Es interesante notar que las concentraciones de potasio, calcio y fósforo en la pulpa son más altas que las respectivas concentraciones de estos elementos en el grano de café (6). Además, tanto su contenido de materia orgánica como de nitrógeno y potasio son mayores que los del abono de establo, el estiércol de aves y el composte de basura (g).

Cantidad que se produce en América Latina

En la actualidad, se calcula que en América Latina se producen anualmente alrededor de 3,3 millones de toneladas de pulpa fresca. La mayor parte de este material se pierde, arrojándose a los ríos y creando problemas, en ocasiones graves, de contaminación de las corrientes de agua.

Valor de la pulpa como abono

En experimentos llevados a cabo en Colombia (Chinchiná y Blonay) (5, 7), Brasil. (3) y Centro América (1) se ha comprobado que la pulpa de café es un valioso abono orgánico cuya aplicación produce aumentos significativos en la producción de café y otras plantas de valor económico. Se han registrado aumentos del 80 al 300%, sobre los correspondientes testigos, en la producción de cafetos a los cuales se les han aplicado entre 5 y 10 kilos de pulpa por año; su efecto ha sido mayor que la aplicación de varios fertilizantes químicos. Ha sido también mayor que el de la aplicación de mantillo y abono de establo (3, 5, 9).

Además, se ha encontrado que la aplicación de materia orgánica en general y de pulpa de café en particular, produce efectos benéficos en el control de algunas dolencias como los nematodos, posiblemente por la inoculación que se hace de gran número de organismos predadores los cuales se alimentan de los parásitos y reducen en muchos casos la población de éstos hasta niveles no perjudiciales para la planta (4, 8).

1/ I.I.C.A., San Isidro de Coronado, Costa Rica.

Factores que dificultan el uso de la pulpa como abono

Hay varias circunstancias que dificultan la eficaz utilización en América Latina de tan valioso abono. En el caso de Centro América, la mayor parte de la cosecha de café se despulpa, fermenta y seca en unos pocos centenares de beneficios de gran tamaño. El cultivador de café vende su cosecha en cereza, y por lo tanto tiene luego que acarrear la pulpa desde el beneficio hasta su finca. Como este transporte no puede hacerse durante la época de la cosecha, por estar ocupada toda la mano de obra disponible en la recolección, la pulpa se almacena en los beneficios, en grandes zanjas que luego de llenarlas se cubren con tierra. Al terminar la recolección y beneficio del café, comienza a sacarse esa pulpa, que no ha sufrido ninguna clase de descomposición sino que ha permanecido ensilada, para utilizarla como abono. El material tiene entonces hasta un 75 por ciento de humedad, lo cual encarece su transporte.

Al llevar la pulpa a las fincas, si no se dispone inmediatamente de mano de obra libre, se amontona en las calles, en ocasiones hasta por varias semanas; conviértese así en criadero de mosca doméstica, insecto que constituye un peligro para la salud de la población. Estas dos circunstancias dificultan la utilización amplia de la pulpa en los cafetales, pues encarecen su transporte, por una parte y obligan a los gobiernos a mantener restricciones y vigilancia sobre la manera como se maneja el subproducto. A pesar de estas limitaciones algunos cafetaleros usan la pulpa de café como fuente de abono orgánico. En el caso de Colombia en donde, en general, aún las fincas más pequeñas benefician el café que producen, es más fácil almacenar el material en fosas sencillas para luego transportarlo paulatinamente a los cafetales.

Cómo abonar con pulpa

Es posible descomponer la pulpa mediante un sistema Indore para hacer con ella un composte. Sin embargo, el procedimiento no es muy práctico para Centro América por las circunstancias ya anotadas. En Colombia la Federación Nacional de Cafeteros recomienda un sistema de fosas de descomposición en donde la pulpa se mezcla con otros residuos de la finca. La pulpa fresca, o más o menos descompuesta, se debe aplicar regando de 5 a 10 kilos alrededor de cada cafeto, sin que quede contra el tronco ni amontonada, e incorporándola ligeramente al suelo con un rastrillo de dientes.

Al proyectar abonar una finca es mejor desarrollar el trabajo por "tablones" de manera que aunque no se cubra la superficie total en un año, se tenga la seguridad de poder regresar cada dos o tres años al mismo lote. Este procedimiento ordenado permite también formarse una idea del efecto que tenga el tratamiento sobre la producción. Con las dosis aconsejadas, la pulpa que produce 5 a 10 hectáreas de cafetal alcanza para abonar una hectárea. Resulta también muy conveniente combinar la fertilización química anual con un abonamiento orgánico cada dos o tres años. En ese caso, toda la pulpa que vaya a usarse se pone en la primera abonada. Este sistema tiene la ventaja de evitar que el pH del suelo se baje por efecto de las sales químicas que se le aplican y asegura una ampliación del periodo de disponibilidad de los nutrientes para la planta.

Dados los precios actuales de los fertilizantes químicos, y la necesidad de importarlos, en buena proporción, es de particular importancia utilizar al máximo los subproductos que, como la pulpa de café, son valiosas fuentes de nutrientes para las plantas.

LITERATURA CITADA

1. Carvajal, J.F. Nutrición mineral del cafeto. Requerimiento de la cosecha. Costa Rica. Ministerio de Agricultura e Industrias. Información Técnica N°9. (STICA). 1959. 15 p.
2. Claude, B. Utilisation des sous-produits du café (Etude Bibliographique). Café, Cacao, Thé 23(2):146-152. 1979.

3. Ferreira de Castro, J. Experimento de adubação mineral, organica de calagem en cafeeiro sombreado com Inga. Boletim de Agricultura, (Brasil) 4 (11-12):89-92. 1955.
4. Lopez A., C. La pulpa de café y su influencia en el desarrollo del cafeto y en la disminución de nemátodos patógenos del cafeto. Boletín Informativo, ISIC (El Salvador) 35:5-8. 1962.
5. Machado, A. Experimentos sobre fertilizantes quimicos y orgánicos en los cafetales. Chinchiná, Colombia, Cenicafé. Boletín Informativo 3(32):37-39. 1952.
6. Malavolta, E. et.al. Estudos sobre a alimentação mineral de cafeeiro. XI. Extração de macro e micro-nutrientes, na colheita, per las variedades "Bourbon amarillo", "Caturra amarillo" e Mundo Novo. Turrialba (IICA), 13(3):188-189. 1963.
7. Parra, J. El valor fertilizante de la pulpa de café. Cenicafé 10(10):441-465. 1961.
8. Somasekhar, P. Nematodes associated with arabica coffee in India, Plant Protection Bulletin (FAO) 7(6):78-79. 1959.
9. Suarez de Castro, F. Valor de la pulpa de café como abono. Boletín Informativo, ISTC (El Salvador), Suplemento N°5. 1960. 12p.

D. - LA UTILIZACION DE LA FIJACION DEL NITROGENO
POR EL COMPLEJO AZOLLA-ANABAENA PARA LA
PROVISION DEL NITROGENO EN LOS ARROZALES

1. AZOLLA.UTILIZATION IN IRRIGATED RICE FIELDS

1. UTILIZACION DE LA AZOLLA EN ARROZALES IRRIGADOS

by
Y.A. Hamdil^{1/}

Summary

Azolla is a symbiotic algal association that grows on the surface of water. Atmospheric nitrogen is fixed by the algal symbiont *Anabaena azollae*. Nitrogen fixation and growth rates vary with the species of *Azolla* and environmental conditions. Under field conditions, rates of nitrogen fixation are between 103 to 1 216 kg N/ha/year according to location, time and variety of *azolla*.

Azolla is used in agriculture as green manure or with rice plants. Green manuring with 10 t/ha of *azolla* is as efficient as a basal application of 30 kg N. Rice grain yield increased as much as 54% after manuring with *azolla*.

Methods of preservation and propagation of *azolla* are discussed.

1. INTRODUCTION

Azolla is a symbiotic algal association that grows on the surface of water. According to a popular Vietnamese legend, the cultivation of *azolla* was promoted by a Buddhist monk in the 11th century. Even at the beginning of this century, only three villages in Vietnam knew the secret of the inoculum production. In 1955, *azolla* covered 40 000 ha in the Red River delta and by 1965 the area cultivated had reached 320 000 ha (Tuan and Thuyet, 1979).

Azolla's importance in the N-economy of the rice crop is reported in Vietnam (Tuan and Thuyet, 1979), the Philippines (Watanabe et al, 1977) and North America (Rains and Talley, 1979). *Azolla* supply nitrogen for rice through the capability of the blue-green alga *Anabaena azollae* to fix atmospheric nitrogen. The amount of nitrogen fixed by this association is higher than that produced by the alga alone.

The genus *Azolla* belongs to the family Azollaceae (Salvinaceae) of the Order Salviniales of the Division Pteridophyte.

There are six species known: *Azolla filiculoides*, *A. caroliniana*, *A. mexicana*, *A. microphylla*, *A. pinnata* and *A. nilotica*. *Azolla* floats on the water surface with the fronds lying horizontally. The fronds vary greatly in size between species, those of *A. pinnata* for example being 1-2 cm in diameter, while those of *A. nilotica* are about 15 cm. Roots extend vertically down into water and can penetrate mud. Their length varies with species, being 1-2 cm for *A. pinnata* and about 4 cm for *A. filiculoides*. The roots occur at branch nodes on the ventral surface of the stem.

^{1/} Dept. of Microbiology, Institute of Soil and Water Resources,
Agric. Res. Center, Giza, Egypt.

The algal symbiont *Anabaena azolla* grows in association with the fern at two different sites: in leaf cavities of the aerial upper lobe of the bilobed azolla leaves and in close connection with the apical meristem of the plants and at the apex, it is present under the over-arching young leaves where it apparently grows in complete unison with the leaf development of the fern. The apex is the primary site of infection of the fern (Becking, 1979).

The algal filaments found in azolla leaflets contain 40-50% of their cells as heterocysts while the free-living blue-green algae usually contain about 15% only.

Many workers have isolated the algal symbiont from azolla but no successful re-establishment of the symbiotic state between any of these isolates and the algal free fern plants have been registered (Peters et al., 1978).

Azolla is always propagated through vegetative reproduction. However, azolla is heterosporous and produces both mega and micro-sporangia within the sporocarps which are formed at the lower level of the fern (Becking., 1978).

Although azolla can utilize nitrogen present in its aquatic environment, the algal symbiont is capable of meeting the entire nitrogen requirement of the association. Nitrogen fixation by *Azolla-Anabaena* symbiosis has been demonstrated by the use of a nitrogen-free nutrient solution, acetylene reduction, gas chromatography, and by the use of N^{15} . Nitrogen can be supplied to the association by N_2 fixation or by absorption from the aqueous medium, or by any combination of the two without the loss of nitrogenase activity (Peters et al., 1976). Nitrogenase activity of *A. azolla* is protected by the fern from combined nitrogen in the medium.

Both the azolla plant and the algal symbiont are photosynthetic components. The azolla contains chlorophyll a and b while the alga contains chlorophyll a and phycobilins. Both organisms contain carotenoids. On the basis of 3 separate methods of determination, the algal partner contributes 15-20% of the association to the chlorophyll (Peters et al., 1978)

2. GROWTH AND N_2 FIXATION RATES OF AZOLLA

Nitrogen fixation by the azolla-anabaena association is carried out by the algae which show higher rates of N_2 fixation than the free-living ones. The efficiency of azolla plants to fix nitrogen is affected by many factors affecting their growth. When azolla is grown with combined nitrogen, the growth remains almost unaffected or is affected slightly, while the nitrogen fixation efficiency is drastically reduced (Chu, 1979).

The nitrogen fixed by the symbiont (*Anabaena azolla*) is partially released and transferred to the host tissue (the fern) through the hair cells and the envelope surrounding the algal packets. ^{15}N experiments showed that in general, 50% or less of the N_2 fixed is incorporated into the symbiont.

Variable amounts of the fixed nitrogen are liberated into the aquatic environment as is the case with the free-living blue-green alga. Shen et al. (1963) reported that a Chinese variety of *Azolla* released 14-12% of its fixed nitrogen into the water. Saubert (1949) reported that 2% of the nitrogen assimilated by *A. pinnata* was released. Brill (Peters, 1977) indicated that a specimen of *A. mexicana* excreted about 20% of its fixed nitrogen as ammonia.

3. NITROGEN INPUT TO THE ECOSYSTEM THROUGH PROPAGATION OF AZOLLA

Estimates of the nitrogen input of azolla into the ecosystem (paddy soils, water areas, etc.) are rather variable. The results presented in many reports are summarized in Table 1. Inputs ranging between 103 to 1 564 kg N_2 fixed/ha/year are reported. This variability is due to many factors affecting the growth and N_2 fixation of azolla. These estimates are based mostly on unlimited continuous growth of azolla in open water areas with optimal conditions. In agricultural practice, growth of azolla is discontinuous. Correcting the values (accounting for cover and reduced nitrogen fixation in night), a figure of 103-162 kg N/ha is suggested by

Table 1 NITROGEN INPUT TO THE ECOSYSTEM BY DIFFERENT AZOLLA SPECIES GROWN IN DIFFERENT COUNTRIES

	Alaa El-Din et al. (1978)	Chu (1978)	Tuan & Thueyt (1978)	Becking (1972)	Becking (1976)	Watanabe (1977)	Rains & Talley (1978)	Olsen (1970)	Shen et al. (1963)	Singh (1978)	Saubart (1949)	Moore (1969)
Azolla strain	Pinn.	Pinn.	Pinn.	Pinn.	Pinn.	-	Filic.	Filic.	-	-	-	-
Location	China	China	Vietnam	-	-	Phillip.	USA	-	Vietnam	India	-	-
Seeding rate ton/ha	7.5	-	2.5	-	-	-	0.5	-	-	1.4	-	-
Growing period, days	100	-	60	-	-	220	35	90	45	7-20	-	90-120
Yield												
Green matter, ton/ha	158	-	30	-	-	-	50	-	-	28	-	-
Rate, ton/ha/yr	575	150	183	-	-	-	521	-	-	333	-	-
N₂-fixed kg/ha	428	-	25	-	-	330	52	95	-	20-40	-	100-160
Rate, kg/ha/yr	1 564	300	152	325-670	103-162	540	542	380	1 000-1 216	840	310	400-480

4. APPLICATIONS OF AZOLLA IN AGRICULTURE

Azolla plays a significant role in agriculture in certain parts of the world. It is used as green manure, grown with rice and used for feed. Another potential use for azolla is to improve water quality, and there maybe others, although it is still regarded as an unwelcome weed in some parts of the world.

4.1 Azolla as Green Manure

Singh (1979) outlined the farmers' practice in India for growing azolla as a green manure: fresh azolla should be spread on the surface of standing water (5-10 cm) at the rate of 1 000 kg fresh weight/ha; 8-20 kg P₂O₅/ha should be applied. Mixing carbofuran 100-500 gm/ha with the inoculum protects the azolla.

According to the same author, when 0.1-0.4 kg of inoculum/m² was sown in the field, 8-15 t of green matter/ha was obtained in 7-20 days and 333 t/ha/yr, which contained 840 kg N, (Table 2) and 20 t dried compost was produced annually in breeding plots. A thick layer of azolla ensured about 30-40 kg N/ha because it contained 4-5% N on a dry weight basis (0.2-0.3% on a fresh weight basis).

Between 10 and 20 days, when azolla covers the whole field, plants should be incorporated into the soil with a rotary hoe or other implement, and rice seedlings should be transplanted. Unincorporated azolla dies gradually if left on the surface.

Table 2 YIELD OF AZOLLA AND NITROGEN IN THE FIELD AND IN CONCRETE TANKS IN TERMS OF FRESH WEIGHT (from Singh, 1979)

Mean water temperature °C day-night	AZOLLA (t/ha)					
	Fields			Tanks		
	Amount inoculated	Amount harvested	Increase	Amount inoculated	Amount harvested	Increase
	31.6-24.6					
Monthly average yield	13.6	41.4	27.7	11.8	35.5	26.8
Annual average yield	164.1	497.7	333.4	141.0	461.7	321.1
Annual nitrogen yield	0.41	1.25	0.84	0.35	1.16	0.8

The data were collected from 32 plots and a total of 256 m² in fields and 12 tanks with a total of 82.8 m². The azolla crop was collected four times a month over 20 months (June 1976 to January 1978).

When water is not available to irrigate the entire areas, some fallow land can also be used for azolla cultivation with plants being gathered weekly, leaving some inoculum for further growth. About 5-10% of the land will produce enough organic matter to fertilize the entire area in 2-3 months.

Fresh or decomposed azolla may be used as top dressing at a later stage of plant growth.

In China, the azolla is grown on harvested rice fields or fallow land between the first and second crop. When the azolla are fully grown on the surface water, it is drained away and the azolla mat is then turned into the soil with a small tractor-drawn rotary plough. The remnants are left as seed to propagate azolla again for use as manure. The process is repeated a number of times.

4.2 Crop Response to Green Manuring with Azolla

Singh (1979) showed that a layer of azolla covering a hectare of rice field contains about 10 t of green matter and ensures about 25-35 kg N/ha. This amount can be doubled by growing a second layer of azolla after the first crop has been gathered. Pot and field experiments conducted in both seasons (Rabi and Kharif) over 3 years with high yielding rice varieties (IR-8, Vaní, Supriya, Ratna, Jaya, Kalinga-2, Puaa 2-21) and cultivars (CR 1005, CR 181-5, CR 188-10, SG-1) revealed that the use of azolla increased plant growth, the number of tillers, and the grain and straw yield significantly (Table 3).

Green manuring of 10 t azolla/ha is as efficient as a basal application of 30 kg N. However, split application of N fertilizer was slightly superior. Grain yield increased by as much as 54% when 10-12 tons of azolla were incorporated into the soil or allowed to decompose without incorporation.

The mineralization of azolla N and its incorporation into flood soil was faster at room temperature than when incubated at 24°C. About 56% of the N as ammonia was released 3 weeks after incubation at 24°C, whereas 80% was released at room temperature (Singh, 1979). Watanabe et al., (1977) reported that nitrogen in azolla is slowly mineralized in a submerged soil, 62-75% of total nitrogen in azolla was released as ammonia after 6 weeks. Pot experiments showed that nitrogen in dried azolla increases rice growth, but its availability to rice is 40% lower than that of ammonium fertilizer nitrogen.

Table 3 EFFECT OF AZOLLA ON YIELD OF IR-8 AND SUPRIYA RICE DURING RABI, 1977 (Singh, 1979)

	No. of panicles/ m ²		Wt. of panicles g/m ²		Grain yield kg/ha		Straw yield kg/ha	
	IR-8	Supriya	IR-8	Supriya	IR-8	Supriya	IR-8	Supriya
Control	339	434	745	548	4 722	3 489	3 607	2 571
Azolla, t/ha	430	545	880	825	5 918	5 125	4 643	3 786
Increase, %	27	26	18	51	25	47	29	47

4.3 Azolla Cultivated under Rice Plants

The most common method of azolla cultivation is under rice plants (Chu, 1979). Young azolla plants are spread in rice fields before or after transplanting. The entire azolla growth is turned under 15-20 days later and manually mixed with the paddy mud as a basic or additional manure. Generally there are 16-24 tons/ha green manure (1 000-1 500 kg/mu)^{1/}. This amount contains 2.5-3.0 kg N, equivalent to 30 to 40% of the nitrogen requirement for one rice crop. Based on the results of 1 500 experiments, Chu (1978) indicated that azolla increased the rice yield by 0.6-0.75 ton/ha (40-50 kg/mu).

The beneficial effects of azolla depend on several factors:

- i. the variety of the fern: well grown vigorous plants usually contain 3-4% dry matter and 25-32% organic carbon and have a C:N ratio of 10. Such green manure decomposes quickly to supply available N to the growing rice plants;
- ii. rice variety: rice varieties with a long growing period generally give a better response to azolla application than varieties with short periods, because the longer growing period facilitates absorption of nutrients released during azolla decomposition;
- iii. type of soil: the addition of green manure to high fertility soils usually increases crop yield by 9.9-27%, while in soils of low fertility, a yield increase of 13.3 to 42.7% can be expected;
- iv. turning azolla under (by hand or machine) gives better results than natural decomposition.

In the USA, it appears feasible to grow azolla with rice, provided there is proper management (Talley et al., 1977). The density of the rice crop and the timing of the cultivation of azolla with rice are important factors. The yield of rice from dual cultivation of *A. filiculoides* and rice was 25% higher than that from unfertilized controls. The yield response was equivalent to the addition of 10 kg/ha as ammonium sulphate. With *A. mexicana*, rice yields were about 3 times higher than those of unfertilized controls when 40 and 80 kg N/ha were applied as ammonium sulphate.

In Vietnam, azolla is considered as a winter crop like potatoes, vegetables, maize and soybean. The practice of azolla cultivation is summarized by Tuan and Thuyet (1979) as follows:

- Spring rice (February to June) - early summer rice (July to late October) - maize, soybean, or multiplication of azolla.
- Spring rice (February to June) - medium summer rice (July to November) - potatoes, or vegetables.
- Spring rice (February to June) - late summer rice (July to November) - azolla as winter crop.

^{1/} 1 mu = 0.066 ha or 660 m²

Double-narrow rows method

Chu (1979) described a method of cultivating rice and azolla, for most of the year, in double narrow rows, thus increasing the rice yield (Fig. 1). The method requires the transplanting of the rice shoots in double narrow rows. The space between double rows is 53.3-66.6 cm (16-20 Chinese inches), between the narrow rows 13.3 cm (4 Chinese inches) and between clusters 6.7 cm (2 Chinese inches). The azolla is cultivated in the broad space between pairs of double rows after transplanting the rice seedlings. An area of 2 ha, cultivated with azolla most of the year produced an average yield of rice from double cropping of 13.2 t/ha and of Azolla of 109.3 t/ha. The total nitrogen fixed (estimated by the Kjeldahl method) was 224-299 kg N/ha.



Figure 1

DOUBLE NARROW ROW METHOD FOR RICE CULTIVATION
(Courtesy Dr. L.C. Chu)

Chu (1979) gave the following technical advice for raising azolla successfully:

- i. rice plants must be of the compact type, with straight, narrow leaves, hard stalks, big ears, a high number of grains and medium tillering capacity;

- ii. plant spacing should be 53.3-66.6 cm (21.3-26.6 inches) between double rows with 13.3 x 6.7 cm (5.3 x 2.7 inches) between plants, making a total of 400-480 thousand rice hills per hectare;
- iii. sufficient parent azolla should be grown in shallow water until toward harvest time when the water should be deep. When the rice plants are fully grown, employ shallow irrigation or drainage if necessary to vitalize the azolla. Good drainage control also benefits growth of rice.
- iv. Efficient pest and diseases control are also necessary.

5. PRESERVATION OF AZOLLA

As the plant is reproduced vegetatively, it is necessary to maintain viable stocks throughout the year, and this presents problems during the very hot and very cold months. The Chinese have developed several methods to protect azolla from extreme temperatures.

5.1 Preservation during Cold Months (Winter)

- a. After collecting the azolla and draining off the adhering water, place it in a special pit lined and covered with straw matting.
- b. A more effective method is to keep the azolla on a straw mat laid over intersecting drainage grooves. The latter also provide aeration. The height of the heap is maintained at 50-60 cm and it is covered with straw mats, which are pegged down to prevent damage from low temperatures and low moisture.

5.2 Preservation during Hot Months (Summer)

To protect azolla from high temperatures, it is kept in basins or ponds in the fields with the water circulating and shaded by trees around the ponds or basins. During the warm part of the year, pests are most active and so organo-phosphorus is used to help preserve the azolla.

6. PROPAGATION OF AZOLLA IN THE FIELD

Singh (1977) in India suggests the following guidelines for field propagation of azolla (Fig. 2):

- i. multiplication should be in ploughed, levelled and banded fields;
- ii. maintain 5-10 cm of standing water while multiplication continues; raising the waterlevel to 30 cm will not have an adverse effect;
- iii. inoculate azolla at the rate of 0.2-0.4 kg/m², depending upon the availability of inoculum;
- iv. mix superphosphate at the rate of 4-20 kg P₂O₅/ha along with inoculum. Ratna and rock phosphate are not recommended for azolla cultivation. A few grams, 0.1-1.0 g/kg of azolla, of the pesticide Furadan should also be mixed with the inoculum, or both superphosphate and Furadan may be applied after inoculation;

- v. a layer forms in a week, harvest the azolla with a bamboo stick and again inoculate at the same rate for further multiplication;
 - vi. harvested azolla should be re-inoculated into other fields, otherwise it will decompose and turn into compost (5% N), which also can be used;
 - vii. fresh azolla (0.2-0.3% N) is generally used for manuring;
 - viii. At Cuttack in India, azolla multiplies at the rate of 2-4 time/week throughout the year when the day and night water temperature ranges between 29 and 17 to 33 and 28°C. Its multiplication is affected adversely when water temperature exceeds 40°C in the day and 32°C at night;
 - ix. it grows well in slightly acidic (pH 6) to alkaline (pH 8) soils, but the very acidic soils of Kerala (pH 2.9 to 3.6) do not support its growth;
 - x. it can also be multiplied in concrete tanks with 6 inches of soil in them;
 - xi. an azolla multiplication programme should be started about a month in advance to have sufficient inoculum for one acre. A typical programme is: 4 kg azolla + 36 g superphosphate (S.P.) inoculate 4 x 3 m incubate one week 12 kg azolla + 90 g S.P. inoculate 4 x 6 m incubate one week 36 kg azolla + 300 g S.P. inoculate 10 x 10 m incubate one week 110 kg azolla + 900 g S.P. inoculate 20 x 15 m incubate one week 330 kg azolla + 3 kg S.P. inoculate 45 x 20 m incubate one week 1 000 kg azolla inoculate into one acre +9 kg S.P. A few grams of the pesticide Furadan may be mixed with each inoculum.
- For the propagation of azolla in large areas, the fields must be divided into a maximum size of 300 or 400 m² subplots. It grows better in smaller plots because it gets collected by the wind in large areas;
- xii. if pests occur, apply Furadan at a rate of 2-3 kg/ha on the spots where damage started. Azolla pests do not attack rice plants and in fact help in faster azolla decomposition.

These measures are, to a great extent, followed in China where, however, they fertilize azolla with potassium (ashes) and apply organic manures during cultivation.



Figure 2

AZOLLA MULTIPLICATION
(Courtesy Dr. P.K. Singh)

Resumen

La Azolla es una asociación algal simbiótica que crece sobre la superficie del agua. La simbiosis Azolla-Anabaena fija el N atmosférico para el cultivo del arroz.

El nitrógeno fijado en condiciones de campo se ha registrado entre 103 a 1 564 kg de N/ha/año, de acuerdo a la localidad, tiempo y variedad de azolla; se han registrado incrementos en rendimientos de hasta el 54%. La azolla se usa en algunos lugares como un mejorador potencial de la calidad del agua; y en otras partes del mundo, como una mala hierba que no es aceptada por la gente. Como un abono verde, la azolla debe esparcirse sobre la superficie de aguas tranquilas (5-10 cm) y en proporción de 1 000 kg de material fresco/ha. Cuando se inoculó con 0,1 a 0,4 kg de inóculo/m²; se obtuvo en el campo de 8 a 15 t de materia verde por hectárea entre los 7 a 20 días y 333 toneladas/ha/año; esto último equivale a 840 kg de nitrógeno y 20 toneladas de composte seco.

Cuando la azolla cubre todo el campo, entre los 10 a 20 días, las plantas se incorporarán al suelo y las plantas de arroz serán transplantadas. La azolla crece en campos de arrozales ya cosechados o en tierras de barbecho entre el primer y segundo cultivo. Cuando crece y cubre toda la superficie del agua, después de drenar el agua, la azolla se entierra dentro del suelo. Los remanentes se dejan como semillas para una más amplia propagación y para ser usado como si fuera estiércol. Hay que proteger la azolla tanto contra el frío como contra las temperaturas altas.

REFERENCES

- Alaa El-Din, M.N. Bio-fertilizers: requirements and applications. FAO/SIDA Workshop on 1978 Organic Materials and Soil Productivity in the Near East, Alexandria, Egypt. 9-18 October 1978.
- Alaa El-Din, M.N., Fawaz, Kreaman, Abdel-Ghaffar, A.S. and Abdel-Wahab, S. Nitrogenase 1978 activity of *Azolla pinnata*. Alex. J. Agric. Res. (In Press).
- Becking, J.H. Va. Symbiosen: Stickstoff-bindung. Fortschritte der Botanik. 34:459-467. 1972
- Becking, J.H. Contribution of plant-alga associations. In: W.E. Newton and C.J. Nyman 1976 (eds.), Proc. 1st International Symposium on Nitrogen Fixation. Vol. 2. pp. 556-580. Washington State University Press, Pullman.
- Becking, J.H. Environmental requirements of *Azolla* for use in tropical rice production. 1979 Symposium on Nitrogen and Rice, 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Chu, C.L. The use of *Azolla* in rice production in China. Symposium on Nitrogen and Rice. 1979 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Moore, A.W. *Azolla* - biology and agronomic significance. Bot. Rev. 35:17-34. 1969
- Olsen, G. On biological nitrogen fixation in nature, particularly in blue green algae. 1970 C.R. Trav. Lab. Carlsberg, 37:269-283.
- Peters, G.A., Evans, W.R. and Toia, R.E., Jr. The *Azolla*-*Anabaena azollae* relationship. 1976 IV. Photosynthetically driven, nitrogenase-catalysed N₂ production. Plant Physiol., Lancaster, 58:119-126.

- Peters, G.A., Toia, R.E. Jr., Raveed, D. and Levine, N.J. The Azolla-Anabaena Azollae
1978 relationship. IV. Morphological aspects of the association. *New Phytol.*, 80:583-593.
- Peters, G.A. The Azolla-Anabaena Azollae symbiosis. In: Genetic Engineering for Nitrogen
1977 Fixation. (ed.) A. Hollaender. pp. 231-259. Plenum Press, New York.
- Rains, D.W. and Talley, S.N: Uses of azolla in North America. Symposium on
1979 Nitrogen and Rice. 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Saubert, G.G.P. Provisional communication on the fixation of elementary nitrogen by a
1949 floating fern. *Ann. Royal Botanic Gardens. Buitenzorg.* 51:177-197.
- Shen, C., Lu, S., Chen, K. and Ge, S. The initial experiment of Azolla's nitrogen fixing
1963 ability. *Pedology Bull., Peking, Bimonthly.* 4(8):46-48.
- Singh, P.K. Azolla plants as fertilizer and feed. *Indian Farming.* 27:19-22.
1977
- Singh, P.K. Use of Azolla in rice production in India. Symposium on Nitrogen and Rice.
1979 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Singh, P.K. and Subudhi, B.P.R. Utilize Azolla in poultry feed. *Indian Farming* 27:37-38.
- Talley, S.N., Talley, R.J. and Rains, D.W. Nitrogen fixation by Azolla in rice fields.
1977 In: Genetic Engineering for Nitrogen Fixation. (ed.) A. Hollaender. pp.259-281.
Plenum Press, New York.
- Tuan, D.T. and Thuyet. Use of Azolla in rice production in Vietnam. Symposium on Nitrogen
1979 and Rice. 18-21 September 1978. IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines.
- Watanabe, I., Le, K.K., Alimagno, B.V., Sato, M., Chel Bari, D.C. and de Guzman, M.R.
1977 Biological nitrogen fixation in paddy field studies by in situ acetylene reduction
assays. IRRI Research Paper Ser., No. 3. pp. 1-16. IRRI, Manila, Philippines.
- Watanabe, I., Espinas, C.R., Berja, N.S. and Alimagno, B.V. Utilization of Azolla-Anabaena
1977 complex as a nitrogen fertilizer for rice. IRRI Research Paper Ser., No. 11.
IRRI, Manila, Philippines.

2. BLUE-GREEN ALGAE UTILIZATION IN IRRIGATED RICE FIELDS

2. UTILIZACION DE LAS ALGAS VERDE-AZULADAS EN ARROZALES IRRIGADOS

by

Y.A. Hamd^{1/}

Summary

Blue-green algae constitute a unique group of photosynthetic prokariotes. Fourteen Filamentous heterocystous and 13 non-heterocystous nitrogen fixing blue-green algae species are now known. Considerable amounts of nitrogen are fixed by blue-green algae; auxins and vitamins are liberated and become available to rice plants.

Nitrogen fixation by blue-green algae in culture media ranges between 3.6 to 330 mg N/100 ml within two months according to species and time of incubation.

Response of rice crop to algae inoculation ranges between 4.2 to 368% increase in grain yield in pot experiments. Under field conditions, a range of yield increases of 0.85 to 32% are reported.

Methods of propagation and application of blue-green algae are described.

1. INTRODUCTION

The blue-green algae constitute a unique group of photosynthetic prokariotes of undoubted antiquity. Recognition of blue-green algae as N fixers dates back to Frank in 1889, but the first confirmation for the evidence that *Anabaena variabilis*, *Anabaena sp.* and *Nostoc punctiforme* grew well in pure culture in a medium free of combined nitrogen was presented by Drews in 1928 (Steward, 1975).

Stewart (1977) listed 40 filamentous heterocystous (Table 1) and 13 non-heterocystous nitrogen-fixing blue-green algae (Table 2)

2. TRANSFER OF FIXED NITROGEN

Under certain conditions, large quantities of fixed nitrogen are liberated as ammonia into the surrounds. Up to 42% of the fixed nitrogen was liberated into the media used for the blue-green algae grown in laboratory experiments (Shalaan, 1980).

Studies on symbiotic systems involving blue-green algae have shown clearly that the nitrogen fixed by blue-green algae is rapidly transferred to the host. Bergersen et al. (1965) have shown that nitrogen fixed in cycads was transferred from these sites and appeared in all parts of the plants within 48 hr. Transfer of fixed nitrogen in lichens occurred within 3 hours in the mycosymbiont. ¹⁵N appeared in the anigiosperm in *Gunnera* system within 1.5 hr of supply ¹⁵N₂ to alga.

Pot and field experiments show that the nitrogen fixed by blue-green algae becomes available to associated rice plants. Rice plants grown in sand cultures, pot or field plots benefit from the blue-green algae in terms of increase of crop yield.

^{1/} Dept. of Microbiology, Institute of Soil and Water Resources,
Agric. Res. Center, Giza, Egypt.

Table 1 HETEROCYSTOUS BLUE-GREEN ALGAE REPORTED TO FIX N₂ IN PURE CULTURES
(Stewart, 1977)

Anabaena ambigua	Cylindrospermum gorakhpurense
A. azollae	C. licheniforme
A. cycadeae	C. majus
A. cylindrica	C. sphaerica
A. fertilissima	Fischerella major
A. flos-aquae	F. muscicola
A. gelatinosa	Hapalosiphon fontinalis
A. humicola	Mastigocladus
A. lavenderii	Nostoc calcicola
A. naviculoides	N. cocmune
A. variabilis	N. cycadeae
Anabaena sp.	N. entophytum
Anabaenopsis circularis	N. muscorum
Anabaenopsis sp.	N. punctiforme
Aulosira fertilissima	N. sphaericum
Calothrix brevissima	Scytonema arcangelii
C. elenkinü	S. hofmanni
C. parietina	Stigonema dendroideum
C. scopulorum	Tolypothrix tenuis
Chlorogloea fritschii	Westiellopsis prolifica

Table 2 NON-HETEROCYSTOUS ALGAE REPORTED TO FIX NITROGEN IN PURE CULTURES
(Stewart, 1977)

Gloeocapsa	795
Gloeocapsa	6 501
Lyngbya	6 409
Oscillatoría	6 407
Oscillatoria	6 412
Oscillatoria	6 506
Oscillatoría	6 602
Phormidium sp.	
Plectonema boryanum	
Plectonema	6 306
Plectonema	6 402
Raphidiopsis indica	
Trichodesmium (impure)	

Many reports indicate that, in addition to the liberated ammonia, a variety of organic compounds, e.g. vitamins and growth-promoting substances, are also liberated. Vitamin B₁₂ is liberated according to Venkataraman et al. (1964) by many algae.

In addition to vitamins, the algae produce auxin-like growth substances (Venkataraman and Neelakantan, 1967) and considerable amounts of ascorbic acid (Vaidya et al., 1970). The algae liberated these substances either by excretion or autolysis into the surrounding medium, and crop plants can assimilate them.

In studies in Egypt (Shalaan, 1980), the exudates of algal growth increased the root length of rice seedlings by rates ranging between 169 and 292% compared to untreated ones. Length of rice leaves increased also by about 1-13% after application of blue-green algae (Watanabe et al., 1951).

3. NITROGEN FIXED BY BLUE-GREEN ALGA

3.1 Laboratory Conditions

Amounts of nitrogen fixed under laboratory conditions vary with the species, type of media, period of incubation, method of determination, etc. Table 3 summarizes some of the available data on the amounts of nitrogen fixed in culture media. Potential nitrogen fixed by blue-green algae is calculated assuming that 500 m³ constitutes the surface water to a depth of 5 cm/ha. Obviously, various algal species have different potentials. However, it should be indicated that this calculation is based on a continuous growth of blue-green algae, a case which is not possible under natural conditions.

3.2 Field Conditions

Different reports deal with the contribution of algal fixed nitrogen to the soil and its relevance to rice plants. Alaa El-Din, 1978 summarized the results of the research work conducted in Egypt, India, Japan and in the Philippines as presented in Table 4. The data show the following:

- a. In areas where commercial N fertilizers are not used algal application can give the same benefits as applying 24-48 kg N/ha.
- b. The nitrogen fertilizer used could be reduced by about 30% when combined with algal inoculation.
- c. Even at high levels of applied N, algal inoculation increases the yield per unit input, besides its ecological benefit, e.g. synthesis of growth-promoting substances such as amino acids which help the growth of the rice plants.

Usually, successive inoculation with algae for 3-4 consecutive seasons sustains a high crop yield at a reduced level of nitrogen fertilization in the subsequent cropping season, provided no adverse ecological conditions occur, e.g. frost during winter time or accumulation of high salt concentrations.

4. PROPAGATION AND APPLICATION OF BLUE-GREEN ALGAE FOR RICE FIELDS

Many technologies are available for the propagation of algal inoculants, e.g. shake culture, tank culture, closed circulation systems, gravel culture, dry sand culture and open air soil culture. The last is also known as the Indian system, because it is widely used in India. It can be summarized as follows (Singh, 1979, Fig. 1):

Table 3

AMOUNTS OF NITROGEN FIXED BY DIFFERENT
BLUE-GREEN ALGAE IN LIQUID CULTURES^{1/}

Species	N-fixed Period, Days	mgN 100 ml	kg N/ha <u>2/</u>	Reference
<i>Aulosira fertilissima</i>	45	8.7	43.5	Singh (1942)
<i>Anabaena oryzae</i>	60	4.4	22.0	De (1939)
	55	117.0	885.0	Khadr (1975)
	45	270.2	1 350.0	El-Sayed (1978)
<i>Anabaena variabilis</i>	60	5.7	28.5	De (1939)
	-	27.0	135.0	Taha (1963)
	55	92.7	463.5	Khadr (1975)
<i>Anabaena naviculoides</i>	60	3.6	18.0	De (1939)
	55	83.0	415.0	Khadr (1975)
	45	154.4	772.0	El-Sayed (1978)
	56	330.2	1 651.0	Shalaan (1980)
<i>Calothrix brevissima</i>	60	52.0	261.0	Watanabe et al. (1963)
<i>Calothrix elenkíni</i>	-	57.0	285.0	Taha (1963)
<i>Nostoc calcicola</i>	55	99.3	497.5	Khadr (1975)
	45	187.3	936.5	El-Sayed (1978)
<i>Nostoc commune</i>	60	70.6	353.0	El-Borollosy (1972)
<i>Nostoc muscorum</i>	55	101.3	506.5	Khadr (1975)
	45	175.5	877.5	El-Sayed (1978)
	56	192.6	963.0	Shalaan (1980)
<i>Tolypothrix brevissima</i>	60	52.0	260.0	Watanabe et al. (1951)
<i>Tolypothrix tenuis</i>	60	96.0	480.0	Watanabe et al. (1951)
	60	141.9	709.5	El-Borollosy (1972)

1/ Incubation under most favourable conditions.

2/ Calculated on the basis of 5 cm depth of water
(one hectare will have 500 m³ surface water).

Table 4

NITROGEN FIXATION AND INCREASE OF YIELD OF PADDY
INOCULATED WITH DIFFERENT BLUE-GREEN ALGAE
(Alaa El-Din, 1978)

Type of experiment	Algae species	% Increase over control		N-fixed kg N/ha	Remarks	References
		Grains	Straw			
	Different	-	-	77.6-353.4		De and Mandel (1956)
Field	<u>T. tenuis</u>	15.0	-	-	Well drained	Watanabe <u>et al.</u> (1951)
		25.0	-	-	Badly drained	
Pot	<u>T. tenuis</u>	4.2	19.3	-	-P fertilization	Ibrahim <u>et al.</u> (1971)
		7.0	56.6	-	+P fertilization	
		16.1	67.0	-	+N + P fertilization	
Field	<u>T. tenuis</u>	15.3	-	48		
Field	<u>T. tenuis</u>	14.1	-	24	After horse bean	Abou El-Fadl <u>et al.</u> (1967)
		29.7	-	24	After wheat	
Field		0.85-21.1		5.2-15.2	(9) field exp.	Venkataraman and Goyal (1968)
Lab.		600	-	-		Allen (1956)
Field	<u>Aulosira fertilissima</u>	114	-	-		Allen (1956)
Pot	<u>Aulosira fertilissima</u>	368	-	-		Singh (1961)
Field	<u>Nostoc</u> +	22.2	14.1	-	200 g dry algae/ha	Subrahmanyam <u>et al.</u> (1975)
	<u>Anabaena</u> + <u>Tolypothrix</u> + <u>Scytonema</u>	32.6	37.6	-	200 g algae + 1 000 kg lime + 20 g P ₂ O ₅ + 0.28 kg Mo/ha	
Field		6.7-21.4	-	20.30	(9) exp. 1965-75	Venkataraman (1977)
Field	<u>Anabaena azotica</u>	24	-	-		
Field	<u>A. azotica</u> Var. <u>alpina</u>	17	-	-		Ley <u>et al.</u> (1959)
Pot	<u>A. variabilis</u>	18	-	-		
Field	<u>T. tenuis</u>	10.2-17.9	6.2	-		Watanabe (1962)
Field		13.8	-	-		Relwani (1965)

- i. Shallow trays of galvanized iron sheet (102 x 90 x 23 cm, or 4 x 3 ft x 9 in), or bricks and mortar structures for permanent units are prepared. The size and number of trays (tanks) depend upon the amount of inoculum produced. It is advisable to have permanent structures with proper facilities for irrigation and drainage at the block level.
- ii. 17 kg soil are put in the trays and mixed well with 10 g superphosphate. About 2 g of Na molybdate may also be added if there is response to its addition in the particular type of soil.
- iii. The soil is kept in a flooded condition after the addition of water. Lime is recommended for acidic soils to raise the pH.
- iv. The starter culture is sprinkled on the surface of the standing water when it becomes clear. The starter culture must be in a healthy condition (about 20 g fresh material equivalent to 2 g dry weight), for rapid growth. Trays should be kept in an open field since algae multiply rapidly after inoculation, under these conditions.
- v. Algae multiply rapidly during the summer and cover the area in 15 days. Algal mats are then harvested and used for inoculation. In off seasons, algal mats are collected, dried in shade and kept for possible use. Fresh algae should be used as inoculum as soon as possible.
- vi. Cultivation and harvesting of algal growth should be continued with a change of soil after 3-4 harvests. A single harvest from a tray 85 x 15 cm is around 250-400 g fresh algae in 20 days.
- vii. To prevent insects which eat blue-green algae add 3-5 g of Diazinon or cyeolane or Furadan.
- viii. Nitrogen-fixing blue-green algae growing in fallow flooded rice fields before ploughing can also be collected and used as a starter culture or inoculum. In this case, some knowledge of identifying promising blue-green algae by visual observation is required.

4.1 Field Application

- i. Inoculate fresh algal material as soon as possible instead of drying the algae. The inoculation rate for standing water is 25-50 kg/ha (90% moisture) which comes to 3-5 kg/ha on a dry weight basis. The addition of excess algal material helps to produce more algae a shorter time.
- ii. Apply algal material with each crop for the subsequent 3-4 seasons.
- iii. Inoculate algal material in clear water a week after planting. Inoculation should be avoided during rains.
- iv. Apply superphosphate at the rate of 20-40 kg P₂O₅/ha in two split applications, the first one during inoculation and the second one after 20 days.
- v. Algae can be used safely with 20-40 kg N-fertilizer to obtain higher yields.



Figure 1

BLUE-GREEN ALGAE MULTIPLICATION IN TRAYS CONTAINING SOIL
(Courtesy Dr. P.K. Singh)

Resumen

Estudios de sistemas simbióticos de las algas verde-azuladas han demostrado claramente que el nitrógeno fijado por ellas se transfiere rápidamente al huésped. El nitrógeno fijado es liberado como amonio y llega a estar disponible para las asociadas plantas del arroz y las beneficia en términos de incremento en rendimiento. En adición también se liberan una variedad de compuestos orgánicos y sustancias promotoras de crecimiento.

En áreas donde no se usan los fertilizantes nitrogenados comerciales, la aplicación de las algas puede promover los beneficios de una aplicación de 24 a 48 kg/N/ha. El uso de fertilizantes nitrogenados puede reducirse en un 30% cuando es combinado con inoculación de alga. Aún con aplicaciones de altos niveles de nitrógeno, la inoculación con el algas incrementa el rendimiento por unidad de insumo.

Hay muchas tecnologías disponibles para la propagación de los inoculantes de algas tales como cultivo en agitación, cultivo en tanque, sistemas de circulación cerrada, cultivo en grava, cultivo en arena seca y cultivo en suelo descubierto. El último sistema se conoce como sistema índú.

La aplicación en el campo consiste en la inoculación de material fresco de algas en la proporción de 25 a 50 kg/ha sobre agua tranquila. Aplicar este material con cada cultivo por un período de tres a cuatro estaciones subsiguientes. El material será inoculado a una semana después del transplante, en agua clara. Evitar la inoculación durante

las lluvias. Aplicar el superfosfato fraccionadamente 20 kg de P205/ha durante la inoculación y los otros 20 kg después de 20 días. Para la obtención de los más altos rendimientos se puede usar con el algal de 20 a 40 kg de fertilizante nitrogenado.

REFERENCES

- Abou-El-Fadl, M., Eid, M.T., Hamissa, M.R., El-Nawawy, A.S. and Shoukry, A. The effect of
1967 nitrogen fixing blue-green algae *Tolypothrix tenuis* on the yield of Paddy in UAR
J. Microbiol. UAR 2:241-249.
- Abou-El-Fadl, M., Hamissa, M.R., El-Nawawy, A.S. and Abd-El Azíz, M.S. Evaluation of the
1970 blue-green algae *Tolypothrix tenuis*. The first Conf. on Rice, Cairo, Egypt.
- Alaa El-Din, M.N. Biofertilizers, their basic requirements and mode of application. FAO/
1978 SIDA Workshop on Organic Materials and Soil Productivity in the Near East.
Alexandria University, Alexandria, Egypt. 9-18 October 1978.
- Allen, M.B. Photosynthetic nitrogen fixation by blue green algae. Trans. Intern. Conf.
1958 Use Solar Energy. Sci. Bases 4. Tucson, Arizona Univ. Arizona Press: 27.
- Bergersen, F.J., Kennedy, G.S. and Wittman, W. Nitrogen fixation in the coralloid roots
1965 of *Macrozamia communis*. Aust. J. Biol. Sci. 18:1135-42.
- De, R.K. The role of blue green algae in nitrogen fixation in rice fields. Proc. Roy.
1939 Soc., London, 127 B, 121.
- De, P.K. and Mandel, L.N. Fixation of nitrogen by blue green algae in rice soils. Soil
1956 Sci. 811:453-458.
- El-Borollosy, M.A. Studies on N-fixing blue-green algae in ARE. M.Sc. Thesis, Fac. Agric.,
1972 Ain Shams University, Egypt.
- Ibrahim, A.N., Kamel, M. and El-Sherbeny, M. Effect of inoculation with alga *Tolypothrix*
1971 *tenuis* on the yield of rice and soil nitrogen balance. Agrok. Talajtan: 20(3):
389-400.
- IRRI. Annual Report for 1974. Soil and Crop Management. Los Baños, Laguna, Philippines:
1974 158-159.
- Khadr, M.S. Studies on nitrogen fixing blue-green algae in Egyptian soils, Ph.D. Thesis,
1975 Fac. Agric. Al-Azhar University, Cairo.
- Ley, S.H., Veh, T., Liu, F., Wang, L. and T Sui, S. The effect of nitrogen fixing blue-
1959 green algae on the yield of rice plant. Acta. Hydrobiol. Sinica 4:440-444.
- Relwani, L.L. Response of paddy varieties to blue-green algae and methods of propagation.
1965 Curr. Sci. 34:188-189.
- Shallaan, N.S. Some studies on metabolites of N-fixing blue-green algae. Ph.D. Thesis,
1980 Fac. Agric., Ain Shams University, Egypt.
- Singh, R.N. The fixation of elementary nitrogen by some of the commonest blue-green
1942 algae from the paddy field soils of the United Provinces and Bihar. Ind. J.
Agric. Sci. 12:743-756.
- Singh, R.N. Role of blue-green algae in nitrogen economy of Indian agriculture. Indian
1961 Council of Agricultural Research, New Delhi.
- Singh, P.K. Use of azolla in rice production in India. Symposium on Nitrogen and Rice.
1979 IRRI, Los Baños, Laguna, Philippines. 18-21 September 1978.

- Stewart, W.D.P. Biological cycling of nitrogen in intertidal and supralittoral marine
1975 environment. In: Proc. 9th European Marine Biol. Symposium (ed. H. Barnes), pp.
637-660. Aberdeen University Press.
- Stewart, W.D.P. Blue-green algae. In: A Treatise on Dinitrogen Fixation, Section III.
1977 (eds.) R.W.F. Hardy and W.S. Silver. pp. 63-123. Wiley-Interscience Pub., New
York, London.
- Subrahmanyam, R., Relwani, L.L. and Patnaik, S. Preliminary observations on the inter-
1965 action of different rice soil types to inoculation of blue-green algae in
relation to rice culture. Proc. Indian Acad. Sci. 6B, 252.
- Taha, M.S. Isolation of some nitrogen-fixing blue-green algae from the rice fields of
1963 Egypt in pure culture. Mikrobiologiya 32:421-425.
- Vaidya, B.S., Patel, I.M. and Jani, V.M. Secretion of a highly reducing substance by
1970 algae in media and its possible role in crop physiology. Sci. Culture. 37:383-384.
- Venkataraman, G.S. Blue-green algae, a biofertilizer for rice. Division of Microbiology,
1977 Indian Agricultural Research Institute, New Delhi-110012.
- Venkataraman, G.S. and Neelakantan, S. Effect of the cellular constituents of the
1967 nitrogen-fixing blue-green alga, Cylindrospermum muscicola, on the root growth of
rice seedlings. J. Gen. Appl. Microbiol. 13:53.
- Venkataraman, G.S. and Goyal, S.K. Influence of blue-green algae inoculation on crop yields
1968 of rice plants. Soil Sci., Pl. Nutr. 14:249-251.
- Venkataraman, G.S., Jacob, K.M. and Goyal, S.K. Nitrogen fixation by the endophytic alga
1964 from the coralloid roots of Cycas revoluta. Proc. Natl. Acad. Sci., India, 34B,
153.
- Watanabe, A. Effect of N-fixing blue green alga. Tolypothrix tenuis on the nitrogenous
1962 fertility of paddy soils and on the crop yield of rice plants. J. Can. App.
Microbiol. 8:85.
- Watanabe, A., Nishigaki, S. and Konishi, C. Effect of nitrogen-fixing blue-green algae on
1951 the growth of rice plants. Nature 168:748-749.

E. BIOGAS, SU PRODUCCION, UTILIZACION Y EL USO DE LOS RESIDUOS

1. Bioconversión: un sistema integrando la producción de alimentos y energía y el mejoramiento del medio ambiente

por

E. Werner 1/

Como en otras partes de las zonas tropicales, las comunidades marítimas de este Hemisferio, específicamente los países latinoamericanos que bordean los Océanos Atlántico y Pacífico, el Mar Caribe y el Golfo de México, han sido tan vulnerables a la crisis energética como las naciones más industrializadas del mundo. Sus crisis, sin embargo, han sido agravadas por la necesidad de utilizar los limitados recursos económicos disponibles para resolver problemas de salud y alimentación al igual que los de energía. Para optimizar la tecnología y el capital disponible, es necesario integrar nutrición, energía y medio ambiente en el desarrollo de un programa para la utilización de recursos. Esto es especialmente cierto en los proyectos para el desarrollo de recursos marinos, que son inherentemente más difíciles de implementar y operar, y donde la disponibilidad de productos pesqueros y la capacidad del mar para absorber los desperdicios tiende a aminorar la necesidad de integración.

El concepto del desarrollo de recursos marinos, tal como se relaciona a los países del Tercer Mundo y a los países menos desarrollados ha sido discutido ampliamente en ponencias anteriores (1) y está basado en una serie de consideraciones y parámetros óptimos que reconocen y funcionan dentro del marco de las limitaciones tecnológicas y socio-económicas existentes en esas áreas. Para ser útil, y más importante aún, aceptable, una operación o artefacto para el desarrollo de recursos marinos, ya sea para alimentos, producción de energía o el mejoramiento del medio ambiente, debe ser de un tamaño manejable, tecnológicamente sencillo, de bajo pero efectivo costo y de emplazamiento específico. El propósito de esta ponencia es desarrollar los conceptos generales de un mecanismo en particular para el desarrollo integral de recursos marinos y demostrar su aplicación. Consideremos cada uno de los parámetros en detalle.

Tamaño manejable quiere decir que el proyecto para el desarrollo de recursos marinos no plantee problemas nuevos o logísticos para los nuevos usuarios. El proyecto debe ser de un tamaño que vaya de acuerdo con las necesidades locales de alimentos y energía y que pueda absorber los desperdicios producidos localmente. El parámetro básico, sin embargo, no es la capacidad para producir la energía necesitada, sino más bien la habilidad para operar con el combustible, recursos energéticos o compuestos disponibles en la localidad.

Tecnológicamente sencillo es el principio que debe regir la transferencia de tecnología. Como se ha indicado anteriormente (2) los intentos de introducir tecnología efectiva pero sofisticada han fracasado luego de que los últimos consejeros técnicos se han marchado. La nueva tecnología, para ser efectivamente introducida, debe integrarse, en vez de reemplazar la tecnología nativa. La integración y la aceptación serán mucho más fáciles donde la fabricación y el emplazamiento se puedan realizar con materiales y mano de obra locales. Los arrecifes artificiales (Areefs) (3) son un ejemplo de tecnología marina que puede ser aprendida fácilmente y asimilada a un nivel básico.

1/ Coordinador de Fuentes Alternativas, Oficina de Energía, Puerto Rico.

Efectividad de costo es un parámetro obvio pero muy importante. Esto no siempre está en conflicto con bajos costos ya que en el caso de utilizarse materiales y mano de obra locales resultará más efectivo económicamente (si no más realista en términos de recursos económicos) el poder descartar o sustituir unidades desgastadas o averiadas por las inclemencias del tiempo que diseñar y construir unidades para larga duración.

Otra consideración implícita en los conceptos de tamaño manejable y efectividad de costo es orden de magnitud. Poblados pesqueros, pequeños y aislados, por ejemplo, tienen poca demanda energética y producen bajos niveles de contaminación en sus aguas. Su producción de energía, usualmente generada por medio de pequeños generadores impulsados por combustible diesel o gasolina, se limita a producir la necesaria para operar plantas locales de hielo y suplir electricidad a los servicios indispensables. Aún donde hay líneas de distribución disponibles, el alto costo de los combustibles importados coloca la electricidad a un nivel fuera del alcance de los propósitos domésticos. Las necesidades energéticas para cocinar son suplidas por el carbón o materiales recogidos para tal propósito y las baterías que operan radios constituyen el único aparato eléctrico "normal" utilizado. Así pues, la energía que pueda producirse como resultado de operar un bioconvertor marino, sólo se utilizaría para aminorar en algún grado las necesidades básicas de iluminación, cocina y comunicación.

Habiendo establecido la filosofía en la cual se basan los elementos del diseño del bioconvertor marino, será provechoso examinar el trasfondo de tales elementos y el papel que juega cada uno en el sistema total.

El principal elemento lo constituyen las columnas de agua de flujo abierto para el sistema de maricultura en las cuales se mantiene encerrado lo que es básicamente un policultivo ecológicamente balanceado. Este desarrollo es una combinación de la tecnología Areef (Arrecifes Artificiales) (3), técnicas de cultivo en jaulas y plataformas (4) y métodos de producción de algas. Esto se podría considerar como cultivo y cría en un complejo tridimensional donde el área de la superficie se multiplica a medida que aumenta la distancia entre el fondo y la superficie. En términos prácticos, un módulo de un acre en una profundidad de 15 pies de agua tiene la productividad biológica (de biomasa) de una finca de 15 acres de extensión.

El próximo componente en importancia en el sistema es el artefacto de bioconversión que produce el combustible utilizado en la generación de electricidad, al igual que para cocinar y para refrigeración, que provee combustible por absorción en instalaciones cercanas. La tecnología envuelta en la digestión anaeróbica no tan sólo es antigua, sino práctica. La utilización de bacterias para descomponer materiales orgánicos para producir metano se practicaba en el Londres del Siglo 17 para proveer el gas para el alumbrado público (6) y actualmente se utiliza en Taiwan y en India como un método para eliminar los desperdicios animales y suplir el gas necesario para cocinar. La figura 1 muestra el proceso.

El dibujo muestra el proceso claramente aunque en la práctica las diferentes partes que lo componen estarían colocadas de manera diferente. En el caso del bioconvertor marino, por ejemplo, el envase rígido sería reemplazado por una bolsa de lona impermeable o membrana neoprene flotante que estaría integrado a la cámara de gas. Los residuos son generalmente más fáciles de extraer por el fondo, y si el gas fuera a ser usado solamente para un motor de combustión interna, tendría que haber un separador sencillo en la línea para remover el CO_2 y el H_2O para elevar el nivel de BTU de la unidad y eliminar la corrosión en el motor.

Se pueden añadir variaciones al plan básico para afrontar las necesidades y condiciones locales. Un ejemplo sería el instalar un bioconvertor pequeño de paredes rígidas y un sistema de disposición de desperdicios cerca de una industria que produzca desperdicios orgánicos en forma líquida, como lo es una destilería. Un plan para este tipo de operación se muestra en la figura 2.

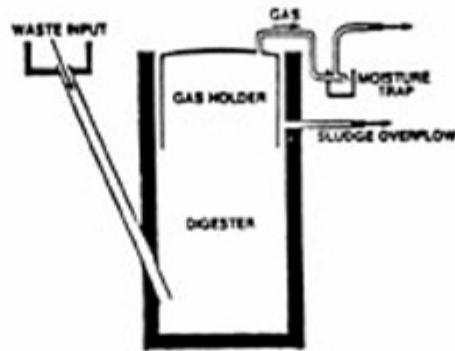


Figura 1: Esquema de un digester de biogas de pequeña escala.

Obtenido de: "Methane from Human, Animal and Agricultural Wastes"; in "Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World". Norman Brown, Edit., A.A.A.S. Selected Symposium N°6, 1978.

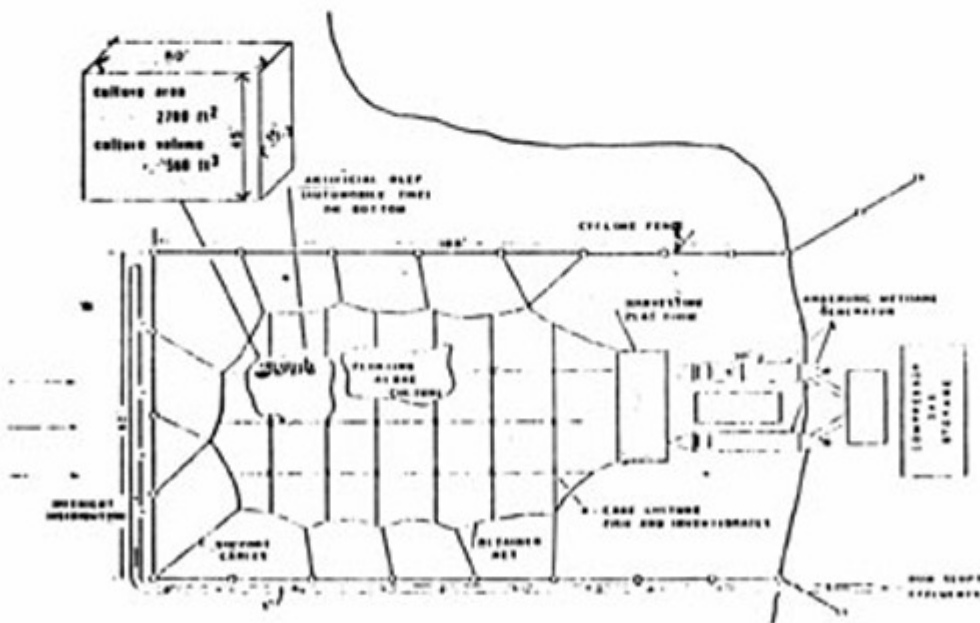
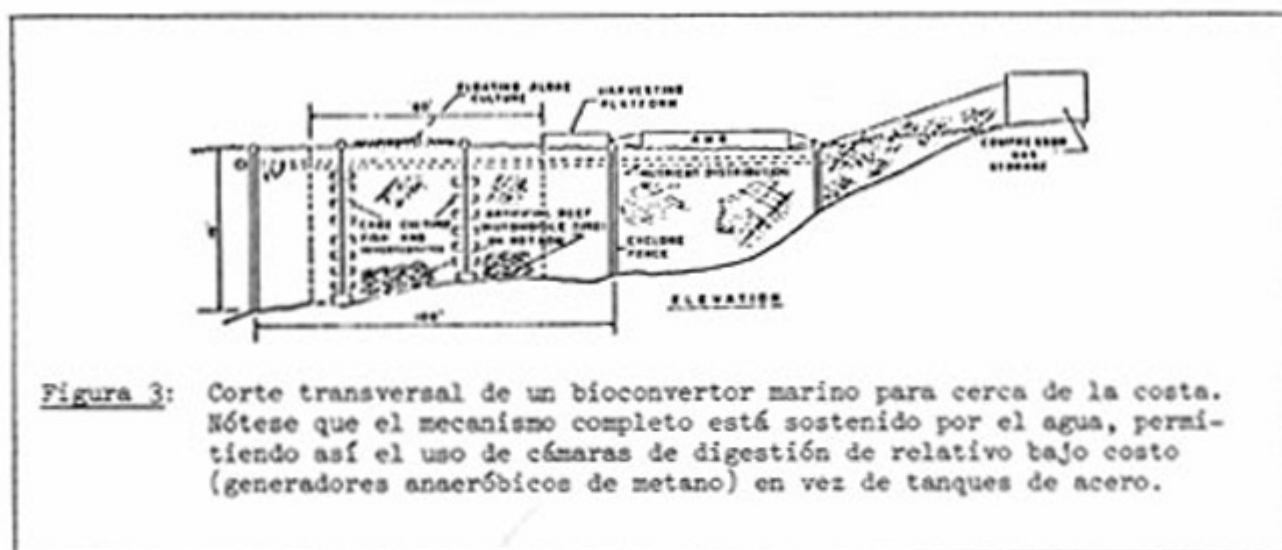
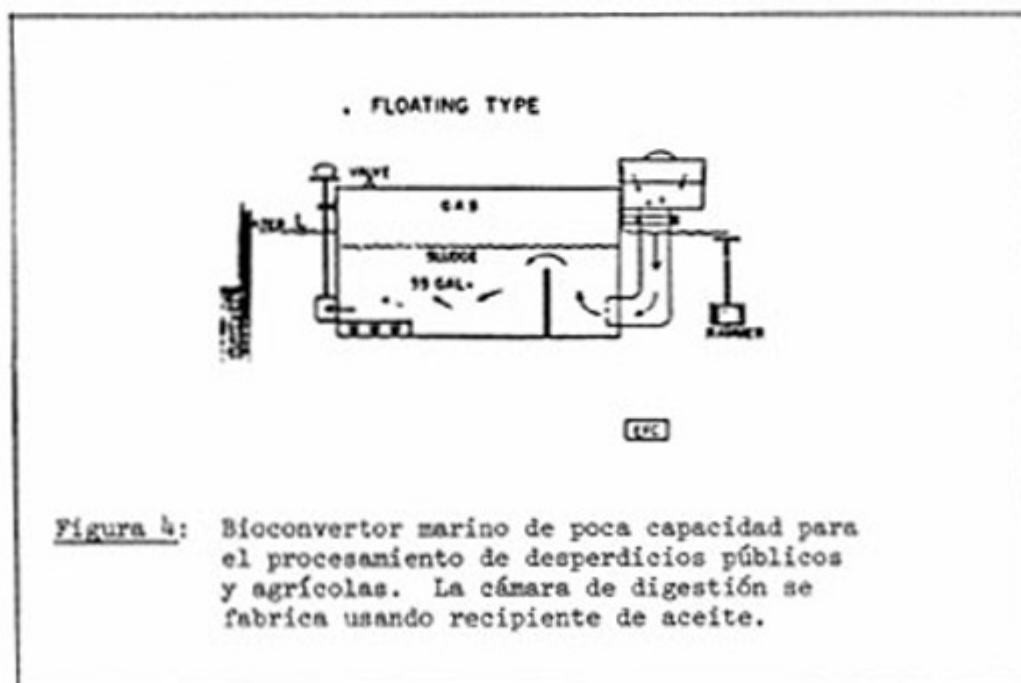


Figura 2: Bioconvertor de desperdicios líquidos de pequeña escala para cerca de la costa. Área de superficie del cultivo de biomasa es $60^1 \times 45^1 = 2\ 700$ pies cuadrados. Volumen actual del cultivo de biomasa a 15 pies es 40 500 pies cúbicos.

La figura 3 muestra un corte transversal de una estructura para cerca de la costa. Para aguas más profundas se emplearía un fondo colgante para mantener la profundidad a un nivel al que se pueda trabajar.



Donde los desperdicios sólidos constituyen la fuente de nutrientes, como en las plantas procesadoras de pescado, el diseño para cerca del muelle o los módulos con digestores rígidos flotantes de menor capacidad (figuras 4 y 5) serán más apropiados.



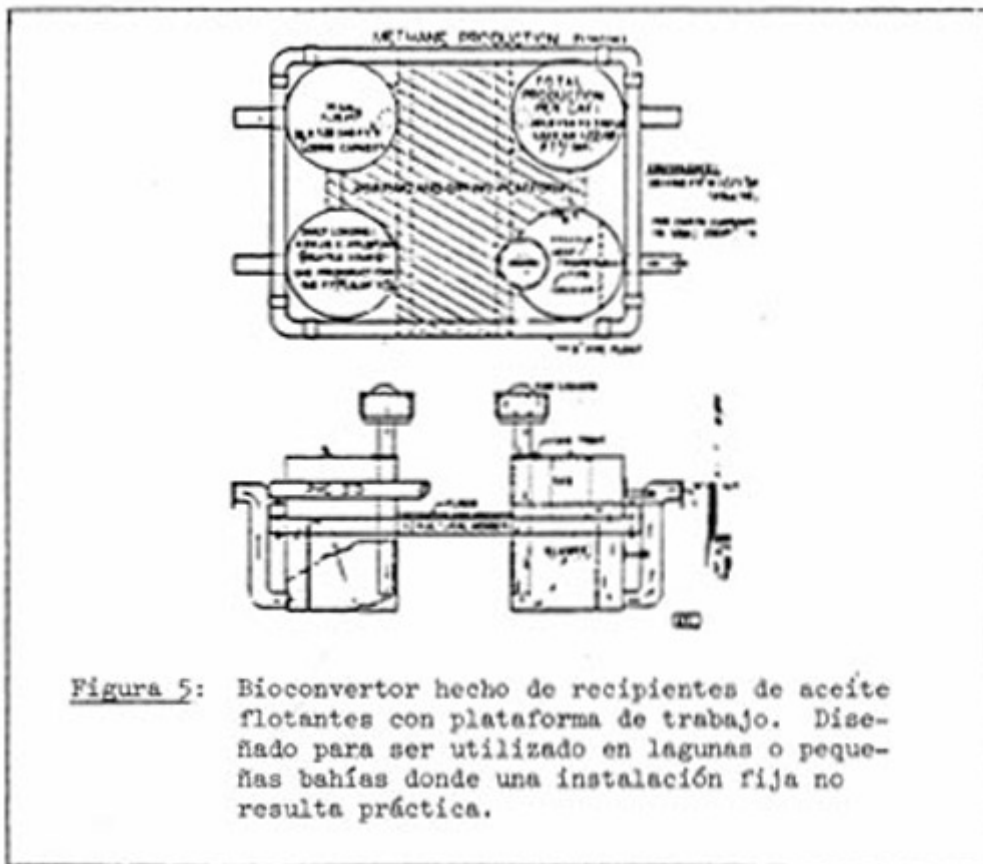


Figura 5: Bioconvertor hecho de recipientes de aceite flotantes con plataforma de trabajo. Diseñado para ser utilizado en lagunas o pequeñas bahías donde una instalación fija no resulta práctica.

Los restantes elementos del bioconvertor marino son unidades suplementarias que operan a través del proceso para proveer un constante flujo de nutrientes al sistema, procesar y transferir productos intermediarios y remover o utilizar los productos finales. Estos incluyen moledores manuales para reducir el tamaño de las partículas de las algas cosechadas y otros tipos de biomasa; plataformas de trabajo para separar los productos comestibles comerciales (ostras, pescados, langostas, etc.); tuberías para recircular los afluentes del digestor y el $G0_2$; facilidades para remover los residuos y empacar el generador adaptado de metano con sus mecanismos de purificación.

Es obvio hasta este momento que el sistema propuesto conlleva una ardua labor. No se toma en consideración la utilización de energía durante el proceso. Se puede decir que el sistema utiliza como combustible la energía de la luz solar y la del músculo, las cuales son renovables, inexhaustibles, no contaminantes y se encuentran en cantidades considerables donde el sistema de bioconversión es más aceptable.

Análisis más detallados de los parámetros de operación para el bioconvertor marino serán presentados en estudios subsiguientes y actualmente se tienen datos específicos concernientes a condiciones y compuestos particulares. En general, los productos de esta propuesta operación son variados y prometedores. El proceso de maricultura en sí puede producir ostras, langosta y pescado para el consumo local y la exportación. La energía producida en la forma de gas combustible para cocinar o utilizar en sistemas de refrigeración se puede transportar fácilmente a través de tuberías de baja presión y la energía generada en muchos niveles en ese tipo de economía. Además, del recogido periódico de los residuos se obtiene abono luego de que éstos son secados al sol. La contaminación por desperdicios orgánicos puede reducirse considerablemente y hasta eliminarse ya que los mismos se convierten en metano y en afluentes sólidos y líquidos que se devuelven a la cosecha o al terreno.

los beneficios para la salud pública que envuelve esta tecnología pueden ser un factor extremadamente importante en el bienestar de la población, ya que el costo de localización es marginal.

Esta ponencia ha sido un intento de introducir y difundir los resultados de observaciones y experiencias obtenidas en el trabajo ligado al desarrollo de recursos marinos y a los problemas energéticos de las áreas rurales no-industrializadas de los trópicos. Se espera que la información aquí presentada sea útil y que su implementación ayude a desarrollar y expandir el tremendo potencial para la producción de alimentos y energía que existe a lo largo de casi cualquier costa a la vez que se mantiene un ambiente saludable.

Se reconoce al Centro de Estudios Ambientales y Energéticos de la Universidad de Puerto Rico, a su director y personal científico por su asistencia y cooperación, ya que fue allí donde el autor realizó la mayor parte de este trabajo. También se agradece al Departamento de Energía de los Estados Unidos por su ayuda a dicha institución y proyectos como éste.

RESUMEN

La utilización del sistema del bioconvertor marino ofrece la posibilidad de producir alimento y energía a la vez que se mantiene un ambiente saludable. El proceso de maricultura puede producir ostras, langostas y pescado para el consumo local y la exportación. La energía producida en forma de gas combustible, para cocinar o utilizar en sistemas de refrigeración, se puede transportar a través de tuberías de baja presión. Los residuos secados al sol pueden ser utilizados como abonos. La contaminación por desperdicios orgánicos pueden reducirse considerablemente y hasta eliminarse.

La factibilidad del empleo del bioconvertor marino en los países en desarrollo, así como los diferentes elementos de este sistema son discutidos en sus características más importantes.

LITERATURA CITADA

1. Werner, E. "A Non-Coherent Approach to the Implementation of a Sea Grant Program for Underdeveloped Areas", Proceedings 7th Annual Sea Grant Association Meeting, Seattle, Washington, 1974.
2. Werner, E., "Marine Resource Development in the Third World and LDC's, Pandora's Box", Contrib. Paper, A.A.A.S. Annual Meeting, Denver, Colorado, February 20-25, 1977.
3. Werner, E. and Guell, F., "A Review and Applications Discussion of Artificial Reffs as an Integral Part of an Ocean Resource Utilization Program", Proceedings of the 2nd International Ocean Development Conference, Tokio; October 1972.
4. Avault, J.W., Edit., Proceedings of the 4th Annual Workshop, World Mariculture Society, Monterrey, México, January 23-26, 1973.
5. Werner, E. and Harris, J.A., "Possible Uses of Pelagic Seaweed as a Mariculture Substrate", *ibid.* See also: Ryther, J., "Cultivation of Seaweeds as a Biomass Source for Energy", Proceedings Fuels from Biomass Symposium, Urbana, Illinois, April 18-19, 1977.
6. Douglas, R.W., "Synthetic Natural Gas from Animal Wastes by Anaerobic Fermentation", Symposium Clean Fuels from Biomass, Orlando, Florida, January 27-30, 1976.
7. Singh, R.B., "The Biogas Plant; Generating Methane from Organic Waste", Compost Science, January-February, 1975.

2. Bioconversion: Producción de energía utilizando desperdicios agrícolas

por

E.. Werner 1/

Los países en desarrollo de este hemisferio, enfrentados a los problemas de nutrición y salud pública, apenas han comenzado a desarrollar soluciones efectivas al surgimiento de la crisis "precipitada" por la "OPEC". Sólo cuando el alza del petróleo comenzó a crear una crisis económica, se vio claro la necesidad de desarrollar fuentes alternativas de energía. Al igual que en los países industrializados, la primera mira fué desarrollar fuentes alternativas centralizadas a gran escala. Donde existen "red" eléctrica y recursos amplios, tales como instalaciones hidroeléctricas, obviamente ésta es la ruta a seguir.

Considerando el hecho de que la mayoría de los países latinoamericanos están distantes de un sistema nacional de generación y distribución, es obvio que una solución más práctica e inmediata hace falta. Las limitaciones económicas hacen imperativo el integrar el problema energético con los de nutrición y salud pública. El darle prioridad a uno de estos problemas sólo complicaría la situación. El propósito de esta ponencia es explicar el desarrollo del concepto de un sistema de producción de energía integrado con la solución a los problemas de nutrición y saneamiento.

El concepto nos es común a todos, más no lo conocemos como bioconversión. Nuestro vecino del Sur, Brasil, ha estado activamente envuelto en la producción de alcohol por fermentación, que no es más que una forma de bioconversión. Charcos de oxidación y compostajes son métodos bien conocidos de bioconversión y la técnica específica que nos interesa, la digestión anaeróbica para la producción de "biogas" ha estado en uso en la India y la China desde hace muchos años (1). Históricamente el hombre ha utilizado el proceso de bioconversión por siglos en la producción de alcohol, "yogurt" y quesos, aún en el siglo XVII las calles de la ciudad de Londres se iluminaban con el biogas producido por el sistema público sanitario (2).

Aunque la digestión anaeróbica y la producción de biogas se pueden llevar a cabo en cualquier sitio del mundo, son los países tropicales los que tienen las condiciones más ventajosas para este proceso. Las condiciones de crecimientos perennes, en muchos casos la gran cantidad de precipitación, producen grandes cantidades de biomasa; el usualmente caliente clima tropical ayuda a acelerar el proceso y eliminar la necesidad de utilizar energía adicional para mantener la temperatura óptima.

Quizás los aspectos más obvios y ventajosos en la producción de biogas es su relación íntima con las necesidades y recursos de los países en desarrollo. Esta es una fuente descentralizada de energía (3), la cual es barata, de tecnología sencilla y puede fácilmente construirse con materiales y mano de obra locales. El aspecto más ventajoso de esta tecnología es su relatividad al sitio específico. No existen problemas logísticos o al menos éstos se mantienen en un mínimo, ya que el biogas puede ser producido de cualquier compuesto orgánico y puede ser utilizado hasta sin procesamiento por el productor mismo. Esto significa que el digestor de biogas puede ser utilizado efectivamente tanto como por una familia para producir combustible para cocinar como por una ciudad o poblado para generar parte de su energía eléctrica.

Hasta ahora sólo hemos considerado el aspecto de energía en el desarrollo del concepto de la producción de biogas. Integremos ahora, como mencionamos anteriormente, los otros dos elementos de supervivencia: salud y nutrición. Si consideramos los compuestos orgánicos más apropiados para la digestión anaeróbica y la producción de biogas, como representado en la Tabla 1, vemos que los desperdicios constituyen el elemento más importante.

1/ Coordinador de Fuentes Alternativas, Oficina de Energía, Puerto Rico.

Tabla 1 - Compuestos orgánicos más convenientes para la digestión anaeróbica y la producción de Biomasa

- Desperdicios animales incluyendo paja, desperdicios de comida y estiércol.
- Desperdicios de cosechas: bagazo, yerbajos, rastrojo, paja y forraje podrido.
- Desperdicios de matadero, residuos animales tales como sangre, carne, desperdicios de pesca, cuero y desperdicios de lana.
- Residuos de industrias que tienen base agrícola tales como aceite endurecido, desperdicios de frutas y vegetales procesados, bagazo y residuos de centrales azucareras, aserrín, residuos y semillas de tabaco, afrecho de arroz, residuos de té y polvo de algodón de las industrias textiles.
- Humus de bosques.
- Desperdicios de cosechas acuáticas tales como algas marinas y jacintos acuáticos.

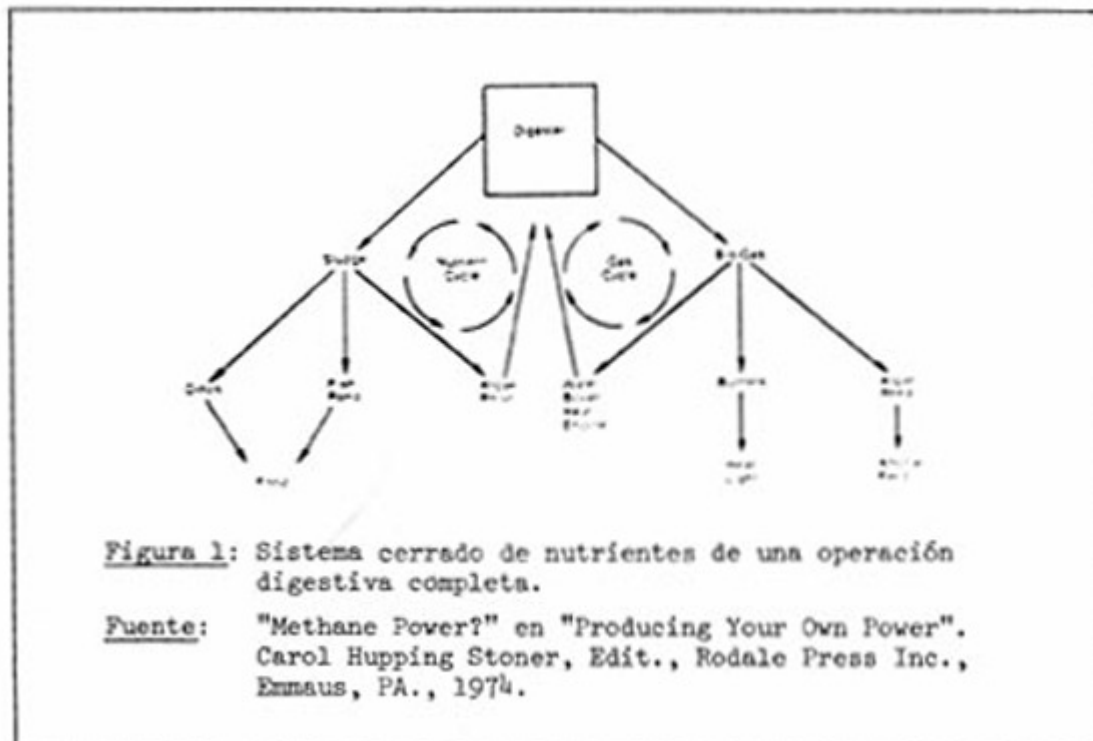
Fuente: "Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World". Norman Brown, Editor A.A.A.S. Selected Symposium 6, 1978.

Independientemente del tipo de cosecha que se considere, desperdicios en formas de hojas, tallos, cáscaras y cascarones de frutas o raíces, serán siempre productos de la agricultura y serán una fuente apropiada de biogas al ser procesadas anaeróbicamente. Desperdicios humanos y aguas cloacales son tan valiosas como los desperdicios de animales, los cuales generalmente se "desperdician" al usarse como abono. Los residuos de plantas procesadoras y empacadoras de alimentos, ya sean vegetales o animales, también pueden ser convertidos en biogas, inclusive desperdicios sólidos, propiamente separados y colocados en vertederos sanitarios, se convierten en fuentes duraderas y útiles de biogas (4). Empleando una o más de las técnicas a ser discutidas en esta ponencia, se puede ver claramente que la salud pública está siendo tomada en consideración prioritariamente en esta aplicación.

La producción de alimentos está igualmente integrada en el desarrollo de la producción de biogas, ya que una característica importante del proceso es que el único elemento que se usa del compuesto es carbón que en combinación con el hidrógeno produce gas metano (CH_4). Todas las sales orgánicas como cloruro, fosfatos y nitritos pasan enteramente a través del proceso y está disponible nuevamente su uso en la agricultura. La Figura 1 demuestra el ciclo orgánico y el proceso envuelto en la digestión anaeróbica.

En la práctica, existen dos productos valiosos derivados de la producción de metano por digestión anaeróbica. El agua que pasa a través del sistema contiene un alto contenido de nutrientes en forma de sales disueltas y está disponible como agua limpia para la irrigación. Las sales y otros compuestos que no se disuelven, se concentran en el fondo del digestor. Al removerlos periódicamente y secarlos al sol, estos residuos se pueden utilizar como abono. Este tipo de fertilizante es más eficiente y menos dañino al terreno que la aplicación directa de desperdicios humanos y animales. Como se puede observar, se vuelven a usar todos los desperdicios de nuevo en la tierra y esto no genera ningún producto

contaminante del que haya que deshacerse. Una fuente adicional de proteínas puede producirse sencillamente permitiendo que los micro-organismos se reproduzcan rápidamente para luego recogerse por filtración "del agua afluyente". La proteína disponible por medio de este proceso se puede utilizar como alimento animal con buenos resultados (5).



El integrar los elementos de salud, viveres y energía nos trae como consecuencia un proceso que elimina los desperdicios, produce combustible para producir energía y provee nutrientes para futuras cosechas de alimentos. Algunos de los desperdicios que se pueden utilizar se muestran en la Tabla 2, y la cantidad de biogás que pueden producir algunos de los desperdicios comunes está tabulada en la Tabla 3.

La tecnología involucrada en la digestión anaeróbica es esencialmente tan sencilla como su concepto (a excepción de la producción de biogás de vertederos); todo lo que se necesita es una cámara cerrada de un tamaño apropiado a la cantidad de compuestos disponibles y las necesidades del biogás. La cámara puede ser de cualquier material que impida la penetración del aire para proveer condiciones anaeróbicas. El diseño que ilustra el principio se demuestra en la Figura 2.

Ya que la cantidad de presión que genera el proceso es relativamente baja, un foso forrado de barro, hormigón o plástico con una tapa firme es suficiente. En la actualidad bolsas de goma de "neoprene" son usadas en Taiwan.

En el caso más sencillo, el gas es sacado directamente de la cámara de digestión para alimentar directamente una lámpara o cocina. Una versión más sofisticada es el uso de un tanque de gas separado del digestor para controlar la presión y una columna de separación para remover el CO_2 , vapor de agua y sulfuro de hidrógeno para que el 65 por ciento de metano sea purificado y pueda ser utilizado directamente en un motor de combustión interna (convertido de diesel o gas) para operar un generador. La Tabla 4 muestra los requisitos de metano de los diferentes enseres que pueden ser aprovisionados por el gas.

Tabla 2 - Desperdicios que pueden ser utilizados en la producción de combustible para energía y abonos

<u>Desperdicios animales</u>	<u>Alimentos de plantas</u>
Orina	Soya
Sangre	Semillas de algodón
Huesos triturados	Cáscaras de maní
Cultivos animales	
Pedazos de pescado seco	<u>Desperdicios vegetales</u>
<u>Estiércol</u>	Heno, grama
Escremento humano	Heno, alfalfa
Orina humana	Heno, grama azul
Pollo	Algas
Ovejas	<u>Vegetales no leguminosos</u>
Cerdos	Trébol rojo
Caballos	Paja de avena
Ganado	Paja de trigo
<u>Residuos</u>	Aserrin
Milorganita	<u>Desperdicios sin tratamiento</u>
Activado	
Cloaca nueva	

Tabla 3 - Cantidad de biogas que puede ser producido por varios desperdicios comunes

<u>Estiércol</u>	<u>Pies³/lb. de materia seca</u> (total de sólidos)
Cerdos	6,0 - 8,0
Pollos	6,0 - 13,2
Ganado (India)	3,1 - 4,7
Cloaca convencional	6,0 - 9,0

Fuente: "Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World". Norman Brown, Edit. A.A.A.S. Selected symposium 6, 1978.

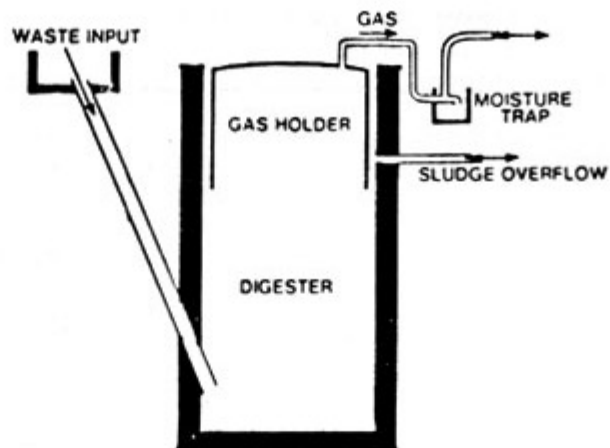


Figura 2: Esquema de un digester de biogas de pequeña escala.

Obtenido de: "Methane from Human, Animal and Agricultural Wastes"; in "Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World". Norman Brown, Edti., A.A.A.S. Selected Symposium N° 6, 1978.

Tabla 4 - Requerimientos del aprovisionamiento de metano para diferentes enseres

Uso	Especificaciones	Cantidad de gas requerida	
		pies ³ /hr	m ³ /hr
Cocina	hornillas 2"	11,5	0,33
	hornillas 4"	16,5	0,47
	hornillas 6"	22,5	0,64
Alumbrado de gas	por camisilla	2,5-3,0	0,07-0,08
	2 camisillas	5	0,14
	3 camisillas	6	0,17
Refrigerador	por pie ³ de capacidad	1	0,28
Incubadora	por pie ³ de capacidad	0,45-0,60	0,013-0,017
Gasolina	1 litro	47-66 (b)	0,013-0,017
Motor Diesel o gasolina (a)	convertido a biogas	16-18 por hp	0,45-0,51
Combustible Diesel	1 litro	53-73 (b)	1,5-2,07
Agua hirviendo	1 litro	2,2 (c)	0,62 (c)

(a) Basado en un 25% de eficiencia.

(b) Volumen absoluto de biogas necesario para proveer la energía equivalente a 1 litro de combustible.

(c) Volumen absoluto de biogas necesario para calentar 1 litro de agua hasta el punto de ebullición.

Fuente: "Renewable Energy Resources and Rural Applications in the Developing World". Norman Brown, Edit. A.A.A.S. Selected Symposium 6, 1978.

En vista de que el ritmo de producción del proceso depende del tamaño de la población bacteriana, que a su vez es una función del área disponible a la cual los organismos puedan adherirse, es obvio que un aumento en la razón de superficie a volumen de la cámara puede ser altamente beneficioso. Un trabajo reciente realizado (6) en el Centro de Estudios Energéticos y Ambientales de la Universidad de Puerto Rico ha resultado en un diseño que maximiza esta razón, manteniendo aún una construcción no rígida.

Está fuera del marco de esta exposición general el entrar en los detalles específicos del diseño o los parámetros operacionales necesarios para la unidad funcional. Esta información está disponible y las reglas generales pueden ser desarrolladas para un sitio específico o para unos compuestos cuando sea necesario.

En resumen, la utilización de un generador de biogas, en el cual se produce metano mediante el proceso de digestión anaeróbica puede ser una técnica útil para la producción de energía, embellecimiento del ambiente y la seguridad de contar con una fuente de fertilizantes sin entrar en gastos usuales de dinero o energía. Debemos señalar que esta tecnología requiere una mano de obra intensa por lo cual contribuye también a solucionar otro problema social: el desempleo.

Se espera que el breve bosquejo del concepto de biogas y la discusión tecnológica hayan sido de ayuda y les sugiera un camino hacia la auto-suficiencia energética y el mejoramiento de los niveles de salud y nutrición a los países en desarrollo.

RESUMEN

El alza en los precios del petróleo ha impulsado en el mundo la búsqueda y utilización de fuentes alternativas de energía. La producción de biogas es una alternativa disponible para los países en desarrollo.

La tecnología para producir biogas es sencilla, barata y puede realizarse utilizando los materiales y mano de obra locales. La producción de biogas puede ser destinado tanto por una familia para cocinar, como por una ciudad o poblado para cubrir parte de sus necesidades de energía eléctrica.

La producción de biogas puede ser integrada dentro de un sistema destinado a resolver problemas de nutrición y saneamiento. Eliminando los desperdicios, el sistema permite producir combustible para la producción de energía, abono para la agricultura y una fuente adicional de proteína para la alimentación animal.

Se indican los desperdicios que pueden ser utilizados, la cantidad de biogas producida por desperdicios comunes y los requerimientos del aprovisionamiento de metano para diferentes enseres.

LITERATURA CITADA

1. Singh, R.B., "The Biogas Plant: Generating Methane from Organic Waste", Compost Science, January - February, 1975.
2. Douglas, R.W., "Synthetic Natural Gas from Animal Wastes by Anaerobic Fermentation" Symposium Clean Fuels from Biomass, Orlando, Florida, January 27-30, 1976.
3. Werner, E., "Biogas: A Decentralized and Economically Feasible Alternate Energy Source", Proceedings La Consulta del Caribe sobre Energía y Agricultura, Puerta Plata, República Dominicana, November 29 - December 1, 1978.
4. Van Zee, J.W., "Methane from Landfills", P.G. and Survey, E. August 1974.
5. Coe, W.B. and Turk, M., "Processing Animal Waste by Anaerobic Fermentation", Proceedings Waste Natural Environmental Project, 33rd Annual Conference Chemurgic Council, Washington, D.C., 1972.
6. Werner, E. In: Annual Report, 1979. Center for Energy and Environment Research, University of Puerto Rico, San Juan, 1980.

3. Algunos datos sobre producción y utilización deI biogas

por

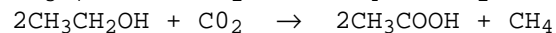
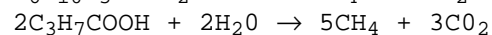
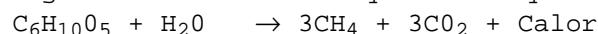
P.L. Arens 1/

El biogas es muy similar al gas de pantano. El proceso de formación del gas metano por fermentación anaeróbica es conocido desde hace muchos siglos en China y la India. La difusión más generalizada de su producción y utilización comenzó alrededor de 1955 en China (sobre todo en la Provincia de Sechuan) y en India.

Procesos básicos: son todos efectuados por bacterias anaeróbicas

- a) Descomposición de las moléculas complejas de materia orgánica (carbohidratos, proteínas, materias grasas, etc.) en sustancias con peso molecular mucho más pequeño con 1-6 átomos C.
- b) Las moléculas más simples son el substrato con que se alimentan las especies de bacterias metanogénicas.

Algunas reacciones bioquímicas son:



Composición química del biogas en %

Metano, CH ₄	50-65
Dióxido de carbono, CO ₂	35-45
Nitrógeno, N ₂	0-3
Hidrógeno, H ₂	0-1
Acido sulfídrico, H ₂ S	0-1
Oxígeno, O ₂	0-1

Equivalencias del biogas

Un metro cúbico de biogas pesa entre 1 y 1,1 kg. Su valor energético es equivalente a: 1,25 kWh de electricidad, ó 0,7 litros de petróleo, ó 0,6 litros de diesel, o el trabajo de un motor de 2 HP durante una hora. Un metro cúbico de biogas provee combustible para un camión de 2 1/2 toneladas para 2,7 kilómetros, o para cocinar tres comidas para una familia de 5 personas.

Datos para planificación de construcción

Capacidad necesaria del digestor familiar: 1-2 m³ por miembro de la familia. Para familias de 3 a 5 personas se calcula 2 m³ por persona; para familias de más de 5 personas se calcula 1,5 m³ por persona y para familias muy grandes entre 1-1,5 m³ por persona. En climas tropicales calientes la capacidad puede ser algo menos.

1/ Senior Officer, Soil Management and Conservation Land and Water Development Division, FAO, Roma, Italia.

Cada m³ del digestor produce 0,15-0,25 m³ de biogas por día en los trópicos. En climas subtropicales la producción diaria puede alcanzar 0,2 m³ por m³ de digestor en el verano, 0,1-0,15 m³ en el invierno.

Tipos estandar de digestores

- en Sechuan (China), tipo familiar con 6-12 m³ de capacidad.
- en India, tipo de planta de gas Gobar, con 5-10 m³ de capacidad.
- en China, tipo comunal, con 80-150 m³ de capacidad.

Estimación de necesidades del biogas

- Para cocinar se requieren 0,2-0,4 m³ por persona por dia.
- Para iluminar se requieren 0,07 m³ por camisa por hora ó 0,03 m³ por 40 velas de luz por hora.
- La generación de electricidad requiere 0,9-1,1 m³ por cada kWh de producción.

Rendimientos de materia prima de digestión

<u>Estiércol de</u>	<u>kg/dia</u>	<u>% humedad</u>	<u>m³ gas/kg</u>	<u>m³ gas/animal por día</u>
Bovino	10	83	0,037	0,368
Puerco	2,3	96	0,064	0,147
Gallina	0,18	30	0,050	0,009
Hombre	0,4	80	0,071	0,028

Características de algunas materias primas

	<u>% C</u>	<u>% N</u>	<u>C/N</u>	<u>m³ biogas por ton m.s.</u>	<u>% CH₄</u>
Estiércol bovino	7,3	0,29	25	250-280	50-60
Estiércol porcino	7,3	0,60	13	550-590	
Estiércol equino	10,0	0,42	24	200-300	
Estiércol ovino	16,0	0,55	29		
Estiércol humano	2,5	0,85	3		
Paja de cereales	46,0	0,53	87	300-350	55-60
Hojas de árboles	41,0	1,00	41	200-300	55-60
Residuo de aguas negras				600-650	50

Construcción

La construcción de una unidad con digestor tipo familiar chino requiere alrededor de 20-25 hombres/día para un digestor de 6 m³; unos 25-35 hombres/día para un digestor de 10 m³.

Materiales necesarios para un digestor de 10 m³:

Ladrillos	1 200 - 1 400
cemento	4 - 6 bolsas
cal viva	200 - 300 kg
arena	1 1/2 - 2 m ³
grava fina	0,6 - 1 m ³

Factores limitantes

1. Temperatura, optimal 30-35° C sin grandes fluctuaciones.
2. El proceso anaeróbico requiere exclusión de aire del sistema.
3. Relación C/N de la materia prima, alrededor de 20-25.
4. Suficiente humedad: la materia prima debe contener aproximadamente 90% de humedad al entrar en el digestor, sino se acidifica rápidamente y se forma espuma densa en la superficie.
5. pH óptimo de la materia prima entre 7 y 8,5.
6. Composición química, límites máximos admisibles:

sales solubles	4%
sulfatos, como SO ₄	0,5%
cobre	100 ppm
cromio	200 ppm
nickel	100 ppm
cianuro, como CN ⁻	25 ppm
Amonia, como NH ₃	0,25 %
7. Materia prima de naturaleza vari.ada da mejores resultados que materia prima de una sola fuente.

El éxito de un digestor depende de como se le maneja.

F. LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO, SU IMPORTANCIA Y FORMAS DE MANTENERLA

1. Mantención del contenido de materia orgánica en los suelos,
en particular en suelos arenosos

por

F. Gati 1/

RESUMEN

La mantención de la materia orgánica del suelo tiene gran importancia en primer lugar en los trópicos. La necesidad del reciclaje periódico de la misma sobre todo se presenta en suelos arenosos, pobres en materia orgánica (inferior a 1,5 %), coloides minerales y orgánicos (4,5 % aprox.) y capacidad de intercambio catiónico baja (3-4 meq/100 g de suelo).

La aplicación de material vegetal (residuos de cultivos, masa verde, paja, arropo vegetal) mejoran el régimen de agua de ellos y aumentan las actividades biológicas favorables. Con agrotécnica adecuada se puede también lograr aumento en el contenido de humus. La colocación en profundidad del estiércol formando capas delgadas es un nuevo método de enmienda de los suelos arenosos que es provechoso sobre todo en los trópicos de la zona árida.

Seria aconsejable incluir el proyecto biogas en los Planes de Desarrollo Agrícola e Industrial de los países de América Latina de la zona tropical. A partir de materiales orgánicos, en diferente grado de mineralización (turba, lignito), mediante el uso de tecnología adecuada, se pueden obtener productos que en casos especiales sean capaces de reemplazar el tradicional método de reciclaje de la materia orgánica.

Los compostes preparados de desechos urbanos e industriales pueden contribuir a la solución de los problemas que surgen de la escasez de abonos orgánicos en zonas con suelos arenosos.

1. INTRODUCCION

La mantención de la materia orgánica del suelo cultivado en un nivel definido -según la opinión general- es uno de los problemas más graves de la agricultura. Es sabido que las materias orgánicas representan la base de la fertilidad de los suelos y son los portadores principales de los elementos nutrientes vegetales como el nitrógeno, el fósforo y el azufre. En la materia orgánica están integradas materias de origen diferente, desde los residuos vegetales y animales todavía no descompuestos, hasta las materias húmicas polimerizadas por completo descompuestas. Ella contiene lignina, carbohidratos, aminoácidos, grasas, resinas, enzimas etc. Las funciones de la materia orgánica del suelo son muy complejas: entre otras fija el nitrógeno atmosférico y también es fuente de nutrientes para los microorganismos. Para las plantas la materia orgánica del suelo proporciona, también por vía directa, nitrógeno y fósforo y, por lo tanto, a los suelos ricos en materia orgánica se les llama fértiles.

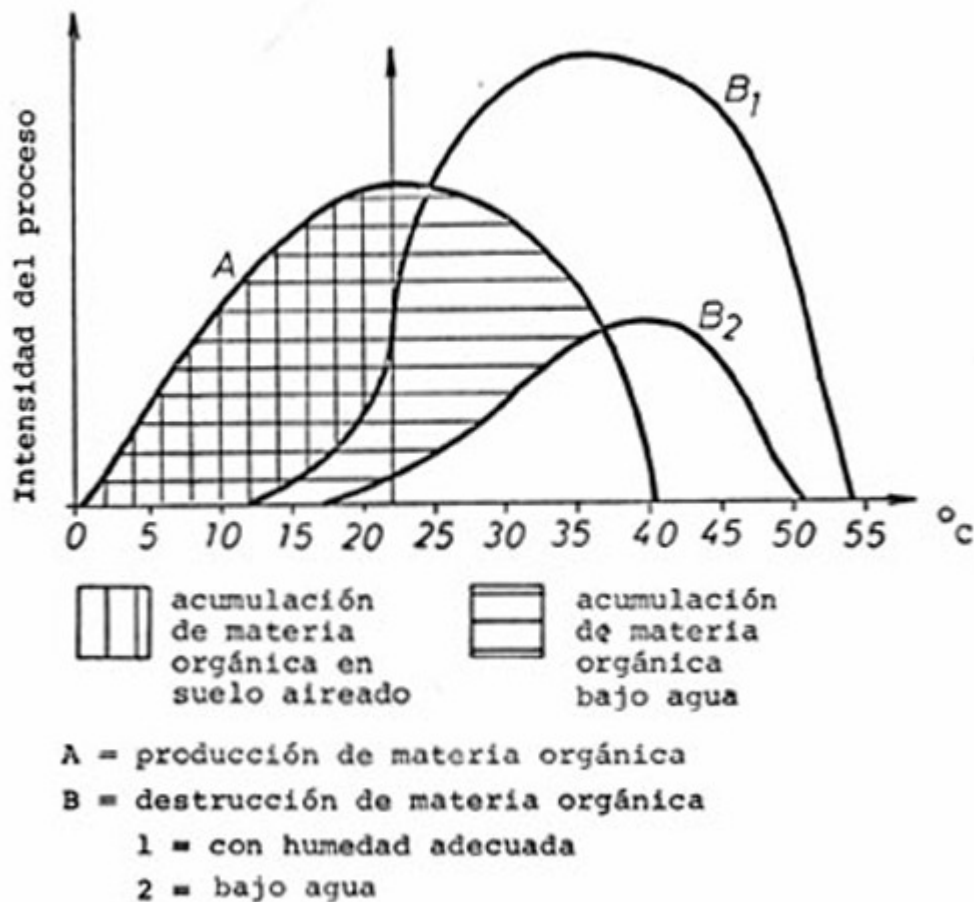
2. PROPIEDADES DE LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO TOMANDO EN CONSIDERACION LAS CONDICIONES TROPICALES

El contenido de materia orgánica de los suelos tropicales esencialmente no difiere de aquel de los suelos de las zonas templadas, en contradicción con la opinión general según la cual los suelos tropicales serían pobres en humus. Por ejemplo,

1/ Vice-jefe del Departamento de Suelos Arenosos, Instituto de Investigaciones de Suelos y Química Agrícola de la Academia de Ciencias de Hungría, Budapest.

la gran parte de los suelos "undic" en Puerto Rico continen un promedio de 3,75% de materia orgánica y 0,19% de nitrógeno y los suelos "ustic" 1,84% de materia orgánica y 0,20% de nitrógeno (Smith et al, 1975). Lo cierto es que tanto el grado de la acumulación del humus como el de la destrucción de la materia orgánica dependen de la temperatura, Fig. 1 (Mohr et al, 1972). Sin embargo, en los trópicos y también en zonas templadas hay suelos con bajo y otros con alto contenido de materia orgánica (Sanches Pedro, 1976). En general, en las partes relativamente bajas, en regiones alomadas de los trópicos, la materia orgánica se mantiene en su estado original o menos humificado, mientras que en las partes más altas se forma más humus. Además de estas tendencias generales, el tipo genético del suelo también influye en el contenido de humus. Por ejemplo, el suelo arenoso Norfolk en Cuba contiene 1,70 M.O. Klimes-Szmik y Nagy de Szebényi, 1975), entre los suelos volcánicos en Costa Rica el suelo aluvial Juray tiene 5,5%, el suelo Colorado (distropets) 9,7% y el suelo Birrisito (vitrandept) 15,7% de materia orgánica (Igue et al, 1971).

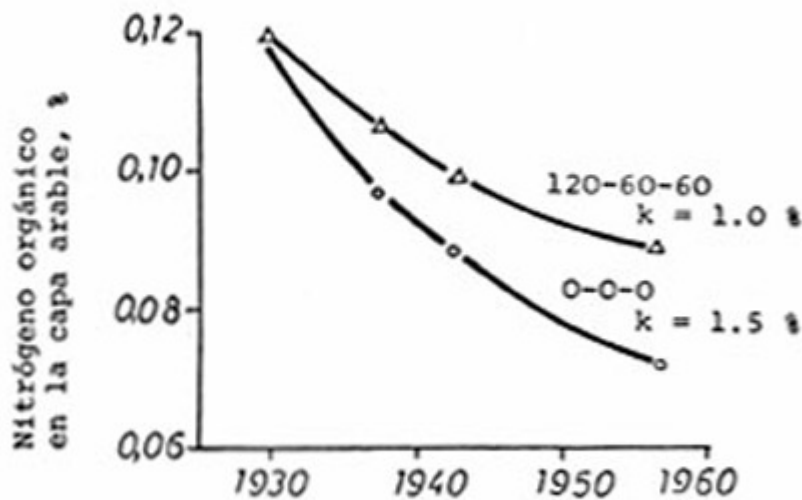
Figura 1: Amplitud de la destrucción y la acumulación de la materia orgánica en función de la temperatura



Fuente: Mohr et al. 1972.

En los terrenos cultivados, la materia orgánica del suelo se degrada, Tabla 1 (Greenland y Nye, 1959) y a consecuencia de esto, el contenido de nitrógeno orgánico en la capa arada disminuye, Figura 2 (Gokhale, 1959). Igue *et. al.* (1971) comprobaron que la mineralización del fósforo orgánico depende de la relación C/P y, más aún, del contenido total de fósforo, Figura 3, pues la descomposición de la materia orgánica lleva consigo cambios esenciales en el contenido de nitrógeno y fósforos orgánicos de los suelos. La materia orgánica juega un papel importante en el suministro de nitrógeno, Figura 4 (Allison y Sterling, 1949). También influye en esto la relación C/N. En el caso de que el valor de ésta relación sea bajo, la materia orgánica es rica en nitrógeno. Si la temperatura aumenta, la alta relación C/N disminuye, lo que favorece la actividad microbiana. En condiciones tropicales, la relación C/N aumenta en las zonas más altas, Tabla.2 (Mohr *et al*, 1972). Ortega Sastriques (1975) hizo constar que en los suelos pardos tropicales de Cuba existe una dependencia rectilínea entre el contenido de carbono y la relación C/N, Figura 5; (Uhland, 1949) verificó en ensayos de campo que la materia orgánica influye en alto grado los rendimientos, Figura 6. (Bornimisza *et al*, 1967) constataron que el encalado aumenta la descomposición de la materia orgánica en suelo latosólico. Lugo-López y Juárez (1959) encontraron una correlación significativa entre la estabilidad de los agregados y el contenido de materia orgánica del suelo.

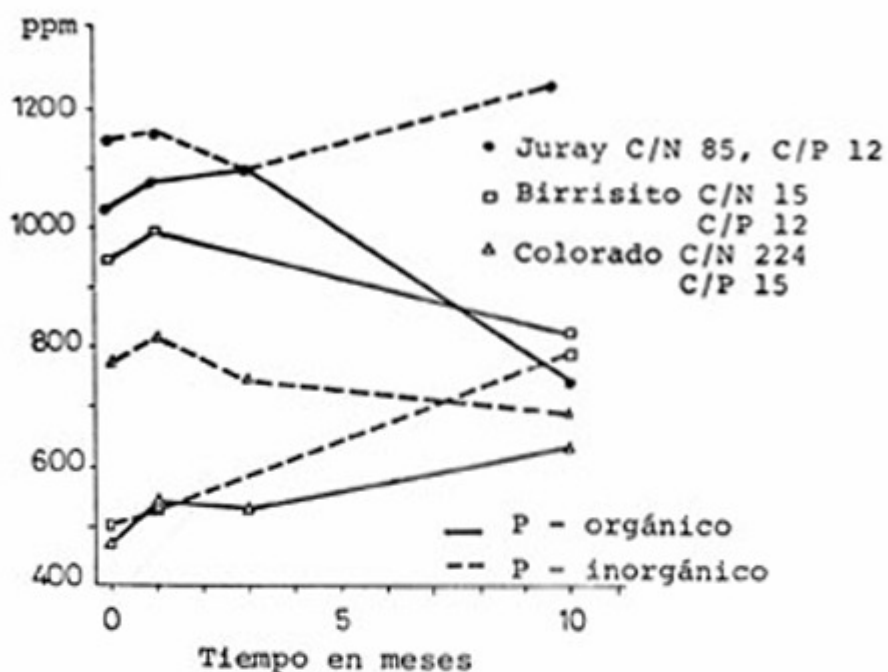
Figura 2: Cambios a largo plazo en el contenido de nitrógeno orgánico del suelo de plantaciones de té fertilizado y no fertilizado en Assam



k = tasa de la descomposición anual del carbono orgánico del suelo

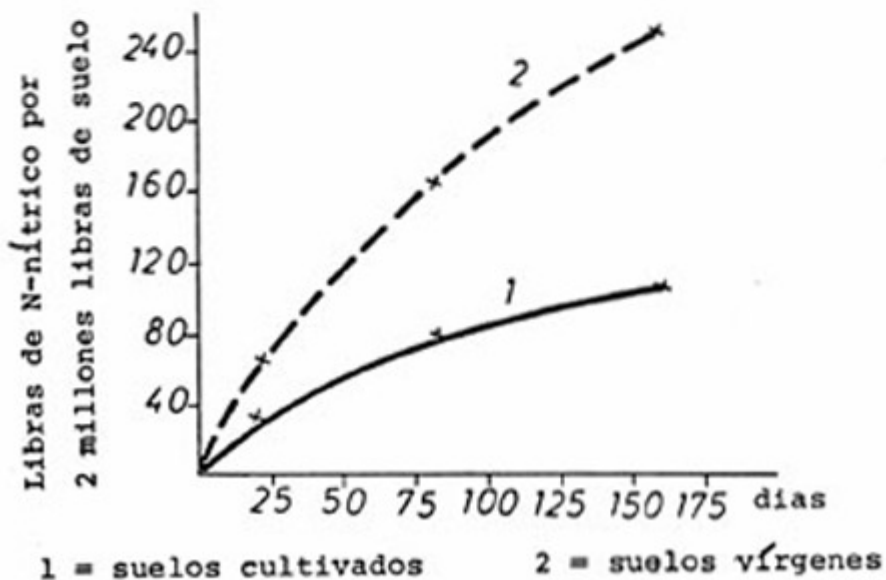
Fuente: Gokhale, 1959.

Figura 3: Concentración de P-orgánico e inorgánico en ppm a diferentes tiempos de incubación en tres suelos volcánicos de Costa Rica



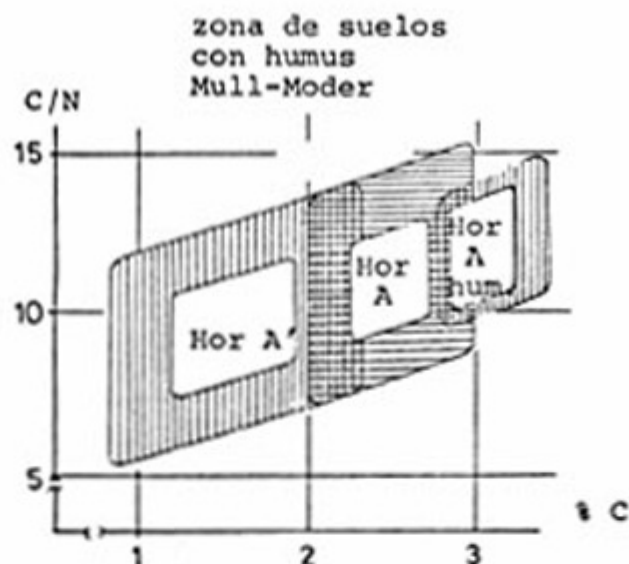
Fuente: Igue et al. 1971.

Figura 4: N-nítrico formado de la materia orgánica del suelo durante variados intervalos de tiempo de incubación



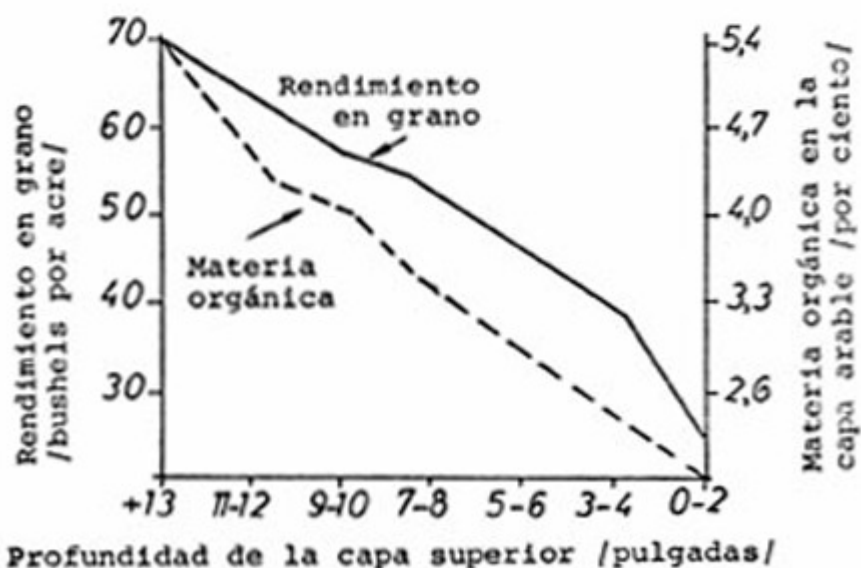
Fuente: Allison and Sterling, 1949.

Figura 5: Areas de distribución del horizonte A de los suelos Pardos Tropicales típicos en el espacio C/N por % C



Fuente: Ortega Sastriques, 1975.

Figura 6: Relación entre la profundidad de la capa arable, rendimiento en grano y porcentaje de la materia orgánica en la capa superior hasta 7 pulgadas de profundidad



Fuente: Uhland, 1949.

Tabla 1 - Ritmo de la descomposición del carbono orgánico en la capa arable de algunos suelos tropicales y de la zona templada durante varios años de cultivo

Ubicación	Tratamiento	Num. de años de cultivo	Ritmo de la descomposición "k" por ciento/año
1. Zaire	Barbecho limpio	3	12,8
2. Ghana	Maiz - mandioca rotación	7	4,7
3. Trinidad	Rotación con leguminosas	6	2,6
4. Trinidad	Rotación con leguminosas	12	1,8
<u>Sabanas de los trópicos</u>			
5. Ghana	Rotación de cosechas	7	4,0
6. Senegal	Maní continuo	6	6,0
7. Sudán	Algodón - maní rotación	6	2,5
<u>Zona templada</u>			
8. Missouri	Maíz continuo	25	2,8
9. Missouri	Rotación de cosechas	25	0,8
10. Francia	Rotación de cosechas	14	1,4

Fuente: Greenland and Nye, 1959.

Tabla 2 - Algunos datos referentes a la relación C/N en suelos

País	Tipo de suelo	Relación C/N	Autores
Sud Africa	Pretoria Turba Negra	14,1	Theron and van Niekerk
Sud Africa	Pretoria Suelo Rojo, loam	14,3	Theron and van Niekerk
Malawi	Suelo Negro	15,3	Raychaudhuri, 1941
Malawi	Suelo Rojo	13,4	Raychaudhuri, 1941
India	Suelo Negro de Algodón	14,7	Raychaudhuri <u>et al.</u> 1943
India	Suelo Rojo	10,2	Raychaudhuri <u>et al.</u> 1943
Costa Rica	Loam arenoso, altura 90 m s.n.m.	11,0	Jenny <u>et al.</u> 1949
Costa Rica	Arena fina loamosa altura 550 m	11,6	Jenny <u>et al.</u> 1949
Costa Rica	Suelo orgánico, loam arenoso altura 1250 m s.n.m.	15,2	Jenny <u>et al.</u> 1949
Indonesia	Suelos de caña	14,5 <u>1/</u>	Van Harreveld-Lako 1929
Indonesia	Suelos de caña y arroz	11,9 <u>2/</u>	Villanueva and Lumang 1940

1/ Medio de 500 muestras, según Hardon, 1936.

2/ Medio de 40 muestras.

Fuente: Mohr et al. 1972.

En los trópicos, el alto nivel de la producción vegetal se debe al reciclaje natural del material vegetal que se transforma parcialmente con el tiempo en humus. En el caso de que este ciclo, a consecuencia del cultivo de la tierra y la recolección de la cosecha, resulte interrumpido, se disturba el equilibrio entre los componentes inorgánicos y orgánicos del suelo. El efecto recíproco entre ellos se debilita, dando lugar al inicio de los procesos de erosión. Desde el punto de vista del mantenimiento de la fertilidad del suelo, la fertilización mineral unilateral no es suficiente. Aunque las grandes dosis de los abonos minerales y la aplicación de especies intensivas de cultivos aumentan los rendimientos, al mismo tiempo intensifican la actividad microbiana en el suelo. Dado que los microorganismos utilizan como fuente de energía compuestos orgánicos, se acelera la degradación de la materia orgánica del suelo. Esto se puede compensar únicamente mediante el aporte de materiales orgánicos nuevamente añadidos. Por lo tanto, la eficacia de los abonos minerales se puede asegurar con el reciclaje de cantidades adecuadas de materias orgánicas de buena calidad, como lo hizo constar Hauck (1978), con ocasión del Workshop "On organic materials and soil productivity in the Near East" organizado por la FAO/SIDA, en Alexandria, en 1978. La dinámica del humus regulada facilita la optimización de las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo que lleva consigo la realización de un alto nivel de cosechas bien equilibrado.

Haciendo una recopilación de lo anterior se pone de manifiesto que una economía correcta del humus tiene un papel muy importante en los trópicos. Por encima de estas consideraciones generales, se destacan los suelos arenosos tropicales, debido a sus propiedades físicas, químicas y biológicas peculiares.

RECICLAJE DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS ARENOSOS TROPICALES

Los suelos arenosos son en general pobres en coloides orgánicos e inorgánicos y, a consecuencia de sus desventajosas propiedades físicas, el agua se infiltra rápido, es decir, tienen baja capacidad de retención de agua. Como ejemplo se indican unas características químicas y físicas de un suelo arenoso tropical típico de Cuba contenidas en la Tabla 3 (Klimes-Szmik y Nagy de Szab'ényi 1975).

Las propiedades químicas y físicas de los suelos arenosos motivan que el reciclaje de materia orgánica se realice tomando en cuenta la meta a lograr que consiste en:

- i. mantener/aumentar el contenido de materia orgánica del suelo;
- ii. mejorar las propiedades físicas del suelo;
- iii. asegurar la conservación de los nutrientes y del agua en el suelo;
- iv. incrementar la capacidad de absorción catiónica y aniónica del suelo;
- v. suministrar energía adecuada para las actividades microbianas.

Una dinámica equilibrada del humus, para el establecimiento de la cual se usan materiales de calidad locales, en la mayoría de los casos responden a los requisitos arriba enumerados.

Para el reciclaje de materia orgánica se emplean:

- a. los materiales orgánicos vegetales que quedan en la superficie de la tierra (abono verde, residuos de cosechas, rastrojos, abono de paja, arropo vegetal, etc.);
- b. estiércol, compostes, abonos líquidos de las granjas ganaderas, desechos urbanos e industriales orgánicos, etc.;

Tabla 3 - Análisis químico y físico del suelo Herradura, arena fina

a) Índices químicos, I

Horizonte	H ₂ O	KCl	Acidez		Materia org. %	Nitrógeno		Fósforo asim.
			hidr. (Y1) meq/100 g	camb. (Y2)		Total asim.	mg/100 g	
A _p 0- 18	6,0	4,5	2,41	0,49	1,25	60	2	2,2
A ₁ 18- 25	6,0	5,0	1,43	0,42	0,96	50	2	1,8
A ₃ 26- 42	6,0	5,0	0,91	0,32	0,53			
B ₁ 42- 61	5,0	4,0	2,33	0,76	0,24			
B ₂ 61-125	5,0	3,7	6,61	5,34	0,17			

b) Índices químicos, II

Horizonte cm	Valor de			V%	Ca	Cationes cambiabiles		
	T	S	T-S			Mg	K	Na
	meq/100 g					meq/100 g		
A _p 0- 18	3,95	1,85	2,10	47	1,62	0,14	0,05	0,04
A ₁ 18- 26	2,10	1,65	0,45	79	1,50	-	0,05	0,10
A ₃ 26- 42	2,10	1,65	0,45	79	1,50	-	0,05	0,10
B ₁ 42- 61	3,10	1,65	1,45	53	1,50	-	0,05	0,10
B ₂ 61-125	8,29	3,48	4,81	42	1,50	0,78	0,10	1,10

c) Índices físicos

Horizonte, cm	Higr. (hy) %	Composición granulométrica			
		2-0,2	0,2-0,02	0,02-0,002	<0,002
		mm Ø			
A _p 0- 18	0,66	0,3	87,3	6,5	5,9
A ₁ 18- 26	0,52	0,3	86,3	6,5	6,4
A ₃ 26- 42	0,40	0,2	86,5	7,0	6,3
B ₁ 42- 61	0,94	0,3	78,3	7,5	13,9
B ₂ 61-125	2,80	0,7	55,4	8,2	35,7

Fuente: Klimes-Szmik y Nagy de Szabényi, 1975.

- c. materiales orgánicos parcialmente mineralizados; por ejemplo, la turba, el lignito, enmiendas a base de éstos, etc.

El cultivo de los suelos arenosos requiere, en la mayoría de los casos, métodos especiales debido a que la materia orgánica se descompone rápidamente en ellos. Un cultivo incorrecto " o la misma incorporación del material fresco al suelo, puede causar pérdidas también en el contenido de material orgánico del suelo, lo que se llama, según Jenkinson (1963) "acción de iniciación" (priming action), Figura 7. La pérdida de carbono en un suelo debido a las acciones de iniciación viene dada por la fórmula $\frac{x-y-z}{x}$, donde x es la cantidad de carbono que pierde un suelo incubado con materias orgánicas añadidas; y es la fracción de x proveniente de la materia orgánica añadida; z es la cantidad de carbono perdido por el suelo incubado solo. Una acción de iniciación puede proceder de diferencias entre las condiciones de un suelo al que se le han añadido materias orgánicas y un suelo al que no se le añade nada o de mecanismo todavía desconocido, mediante los cuales la adición de materias orgánicas acelera la descomposición de la materia orgánica del suelo. Entre los métodos siguientes se hallan algunos, a mi juicio, mediante los cuales pueden evitarse estos efectos perjudiciales.

3.1 Materias orgánicas naturales

Los suelos arenosos están expuestos, a causa de sus propiedades físicas, a la erosión y al secamiento. Los tratamientos que siguen aumentan la capacidad de retención de agua de los suelos arenosos, disminuyen las pérdidas por evaporación por un lado y, por otro, enriquecen el suelo en materias orgánicas.

3.1.1 Abono verde e incorporación de residuos de cultivos

Por lo común se usan para esto leguminosas, a causa de que los rizobios fijan el nitrógeno del aire y por este medio enriquecen el suelo en nitrógeno. Tales son, por ejemplo, las especies Altramuz amarillo (*Lupinus luteus* L.), Veza común (*Vicia sativa* L.), Trébol blanco (*Trifolium repens* L.), Alfalfa (*Medicago Sativa* L.), etc. Según los resultados de las investigaciones de Sallai (1967), el abono verde de girasol incorporado a un suelo arenoso calcáreo en Hungría aumentó no sólo el contenido de nitrógeno, sino también el de fósforo y potasio, Figura 8. El abonado en verde no incrementa sólo el contenido de nutrientes, sino también el de materia orgánica del suelo, Tabla 4 (Jenkinson, 1960). A consecuencia del abonado en verde, también aumenta la capacidad de las bases y la actividad biológica del suelo. La masa verde se suele enterrar, a la profundidad de unos 40 cm., 20-30 ton/ha, lo que equivale a 50-100 kg de nitrógeno.

Si se incorporan al suelo solamente los residuos de plantas que deja el cultivo saliente, éstos equivalen también a cantidades apreciables de nutrientes. Antes de la a-radura se proporciona NPK fertilizantes con el fin de aumentar el suministro de nutrientes y acelerar la nitrificación en el suelo. En la Tabla 5, se presenta el contenido de nutrientes de los residuos de varios cultivos (Larson y Beale, 1961).

3.1.2 Abonado de paja

Es el enterrado de la paja después de la recolecta de la cosecha. La meta principal del abonado de paja en las regiones de suelos arenosos es frecuentemente la defensa contra la erosión eólica. Para evitar su efecto depresivo se aplica de suplemento un fertilizante nitrogenado o compostes de paja. Por este medio también aumenta el almacenamiento de nitrógeno y otros nutrientes del suelo. En la Tabla 6 se presentan los datos analíticos de la paja y en la Figura 9 el ritmo de su descomposición en un suelo del clima subhúmedo, luego la liberación acumulativa de CO_2 en función del tiempo (Purna Chandra y Bollen, 1960). El efecto de varios materiales orgánicos en el contenido de carbono de una arena francosa se indica en la Tabla 7 (Peevy y Norman, 1948).

Figura 7: La acción de iniciación
(Priming action)

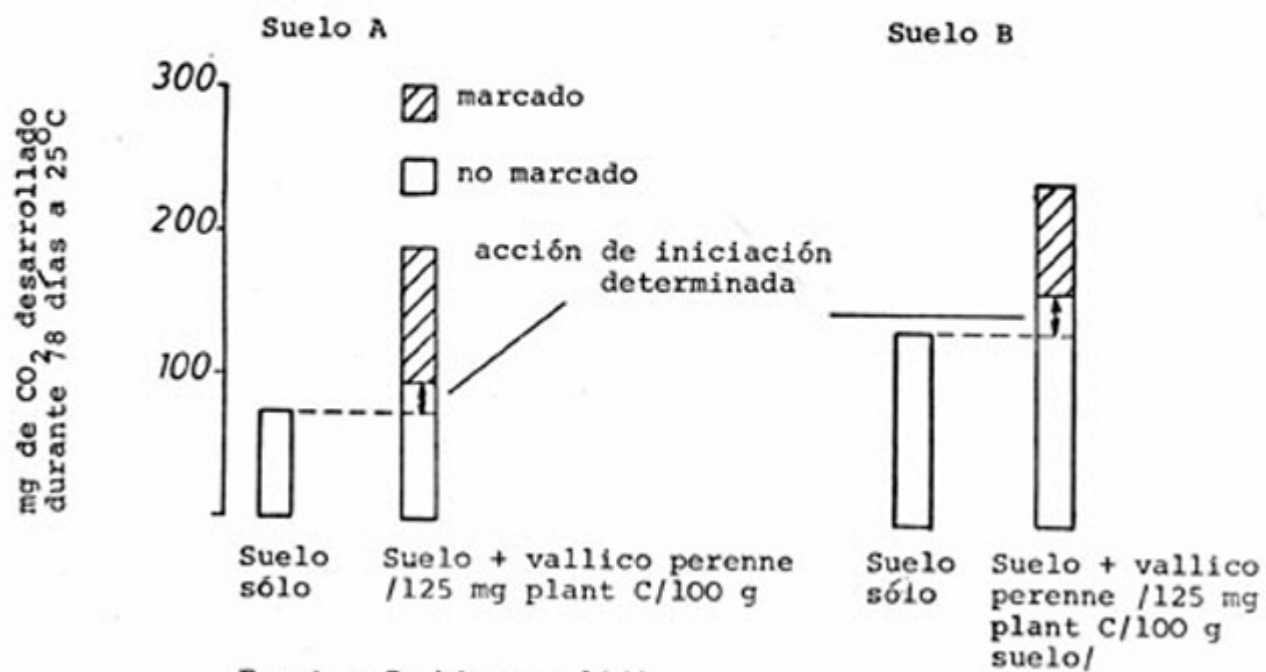
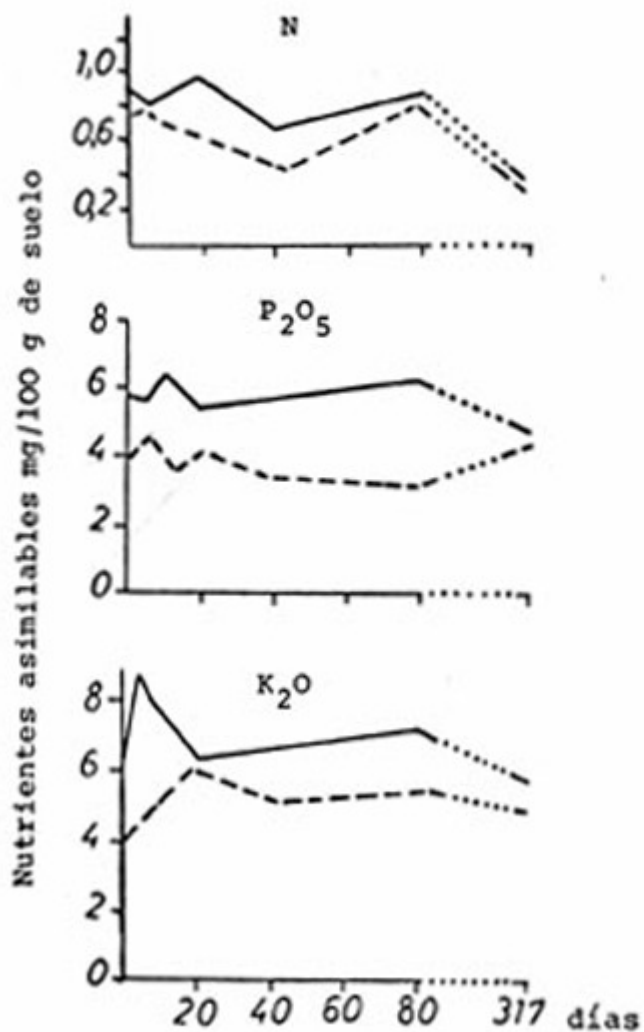


Figura 8: Efecto del abono verde de girasol sobre el contenido de N, P y K asimilables en un suelo arenoso



Fuente: Sallai, 1967.

Tabla 4 - Decomposición del vallico.(*Lolium perenne* L.) marcado, en el campo debajo de barbecho y de vegetación herbácea

Período de la decomposición	Carbono marcado que queda en el suelo por ciento		N.D.S. (P=0,05)
	debajo de barbecho	debajo de hierbas	
	6 meses	31,8	
12 meses	27,9	38,5	2,8

Suelo: pH 7,0, C 4,18%, CaCO₃ 0,03%, N 0,38%, Arcilla 19,4%

Fuente: Jenkinson, 1964.

Tabla 5 - Contenido de nutrientes en una tonelada de la parte no cosechada y no pastada de las plantas sobre la tierra que usualmente se devuelve al suelo

Cultivo	Nitrógeno	Fósforo (P ₂ O ₅) L i b r a s	Potasio (K ₂ O)
Cebada	12	5	29
Avena	12	4	30
Centeno	10	6	17
Trigo	14	3	23
Maíz	18	8	20
Algodón	22	7	35
Soja	12	9	25
Hierbas	40	4	43
Alfalfa	48	11	45
Trébol rojo	38	9	35
Trébol dulce	36	9	33
Chicharo de vaca	62	12	45
Arveja	62	14	46
Frijol	60	13	60
Lespedeza	42	10	20
Festuca ovina - Frijol	61	17	62
Centeno - Trébol rosado	60	13	61

Fuente: Larson y Beale, 1961.

Figura 9: El ritmo de la liberación de CO₂ en función del tiempo en un suelo en el clima subhúmedo

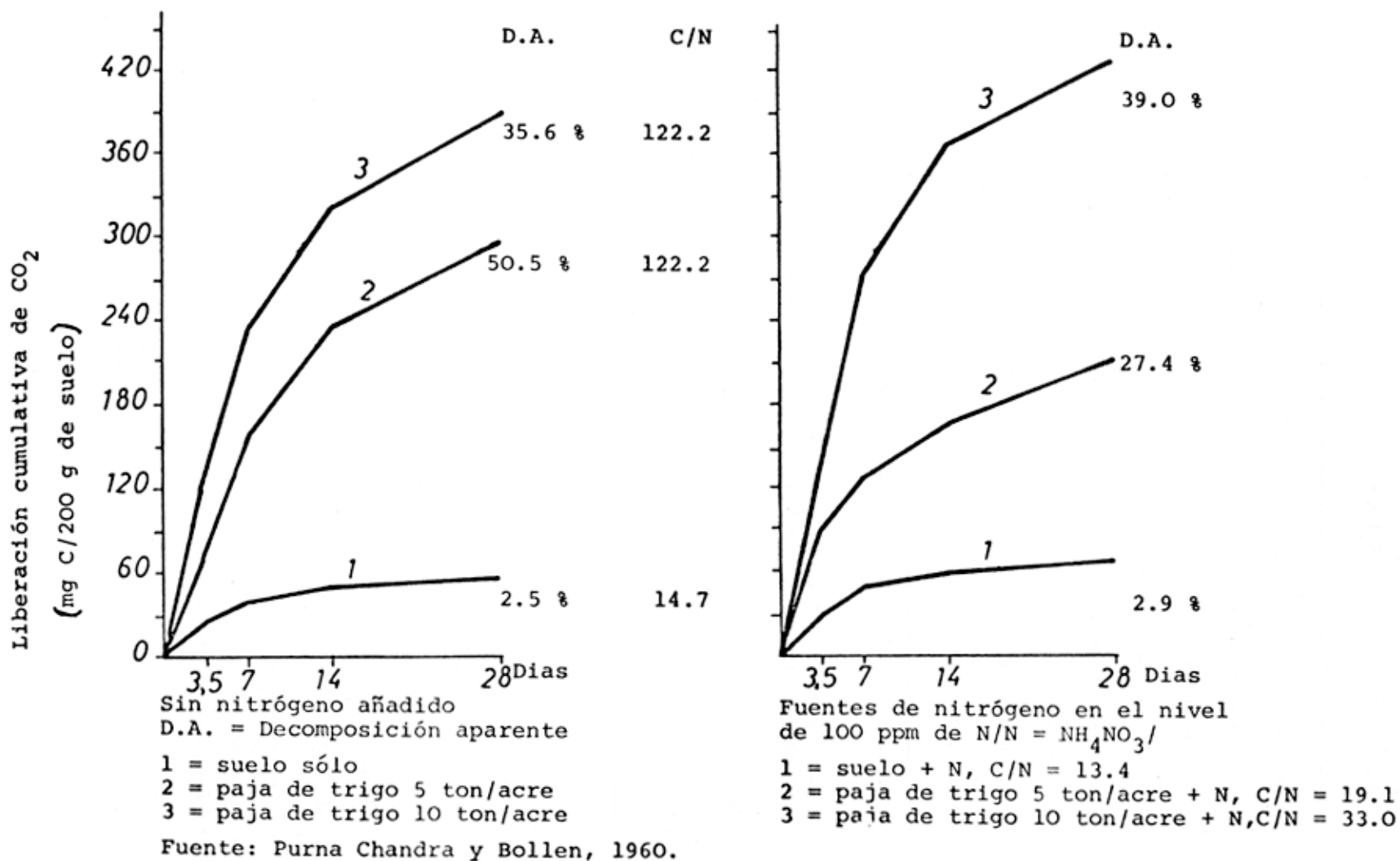


Tabla 6 - Análisis de la paja

Humedad, %	5,75
Capacidad al agua, %	573,00
Carbono total, %	45,23
Carbono soluble en agua, %	3,03
Nitrógeno total, %	0,37
Nitrógeno soluble en agua, %	-
Relación C/N	122,2
pH en agua (en susp. 1:20)	5,1

Fuente: Purna Chandra y Bollen, 1960.

Tabla 7 - Cambios en el contenido de carbón orgánico en un suelo de arena fina francosa, encalado, recibiendo 10% de materiales orgánicos

Material orgánico añadido	C/N	Por ciento detenido por el suelo del carbono añadido después de			
		105 días	328 días	580 días	833 días
Paja de avena	29 <u>1</u> /	31,4	16,0	13,8	12,4
Celulosa de la paja de avena	29 <u>1</u> /	18,3	13,2	11,6	7,4
Dextrosa	29 <u>1</u> /	4,0	2,5	2,5	2,8
Alfalfa	13	35,7	16,4	16,0	15,5
Tallos de soja	62	47,8	14,3	14,1	13,4
Tallos de soja	20 <u>1</u> /	57,2	14,7	15,6	13,4

1/ Nitrato de Amonio añadido

Fuente: Peevy y Norman, 1948.

3.1.3 Mulch

El mulch protege los suelos arenosos contra la erosión eólica; además, conserva la humedad en ellos. Para tal efecto se pueden emplear hojarascas, pajas, otras partes de plantas cortadas y también subproductos industriales como, por ejemplo, la escobina. En los últimos tiempos, la aplicación del mulch se combina con la labranza mínima (minimum tillage), lo que, sin disturbar la capa superficial, facilita la acumulación de la materia orgánica en el suelo (Egerszegi, 1972). El efecto beneficioso del mulch de paja con nitrógeno adicional ejercido sobre el aumento de las cosechas fue comprobado por Moody *et al* (1963), Tabla 8. En Cuba, Awan (1968) utilizó el mulch con éxito en las plantaciones de plátano para reducir la evaporación y la temperatura del suelo.

Tabla 8 - Rendimientos en grano dependiendo del método de aplicación de la paja y dos diferentes dosis de fertilizante nitrogenado

Modo de aplicación de la paja (3 ton/acre)	Nitrógeno (lb/acre)	Rendimientos en grano (Bushels/acre)			
		1958	1959	1960	Medio
Incorporado al suelo	75	81,5	52,9	54,6	63,0
Mulch superficial	75	109,3	121,6	94,2	108,4
Incorporado al suelo	175	82,3	48,9	50,1	60,4
Mulch superficial	175	101,0	126,6	72,6	100,1

Fuente: Moody *et al* 1963.

3.2 Estiércol y compostes

3.2.1 Colocación profunda del estiércol formando una "alfombra" en suelos arenosos

No cabe duda que el estiércol es el material orgánico más precioso para la mantención de la fertilidad del suelo, en el sentido más amplio de la palabra. Actualmente, en época de crisis energética, cuando los precios de los fertilizantes inorgánicos están continuamente aumentando, una vez más pasa a primer plano la cuestión del uso racional del estiércol. El estiércol, además de ser una excelente fuente de nutrientes vegetales y de fomentar la estabilidad de los agregados del suelo, incrementa su contenido en materia orgánica (Cooke, 1977). En la Tabla 9 (Org. manure, Ministry of Agriculture, Bulletin 210, 1976) se indica la composición química media de un estiércol. El pH del estiércol es en general alto (igual o superior a 8 debido al amoníaco que contiene). Tiene alto poder amortiguador y, por lo tanto, es capaz de modificar el pH del suelo, Tabla 10 (Primavesi, 1968). Luego, aumenta la actividad microbiana y, a consecuencia del suministro continuo de los nutrientes, facilita la producción de altas cosechas.

Tabla 9 - Composición química del estiércol (en tanto por ciento del material fresco)

Materia seca	Materia seca libre de ceniza	N	P ₂ O ₅	K ₂ O total	Mg	Ca
23	17	0,3	0,3	0,7	0,04	0,20

Nutriente	Contenido mg/kg de material fresco	Nutriente	Contenido mg/kg de material fresco
Sodio	1 000	Cobre	4
Cloruro	2 000	Boro	4
Hierro	180	Cobalto	0,3
Manganeso	45	Molibdeno	0,3
Zinc	20	Iodo	0,05

Fuente: Organic Manure, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, Bulletin N° 210, 1976.

Tabla 10 - Corrección del pH por estercolado

Estercolado	Suelo ácido	Suelo alcalino
	pH = 4,5	pH = 8,7
	pH	
0. Control	4,5	8,7
1. Estiércol	5,8	7,6
2. Piedra caliza	5,4	8,1
3. Estiércol + Piedra caliza	6,3	7,5
4. NPK	4,4	8,2
5. NPK + Piedra caliza	4,9	8,1
6. Estiércol + Piedra caliza + NPK	6,2	7,4
7. Estiércol + Piedra caliza + NPK + elementos menores	6,8	6,8

Fuente: Primavesi, 1968.

En relación con el estercolado de los suelos arenosos, vale la pena mencionar el método elaborado por Egerszegi (1953) y el estudio de las características del perfil de suelo después de la aplicación de éste método, realizado por Klimes-Szmik (1956). El método, que consiste en la colocación profunda del estiércol en forma de una capa delgada (aproximadamente 1 cm de espesor), también puede calificarse como un tipo de enmienda, porque:

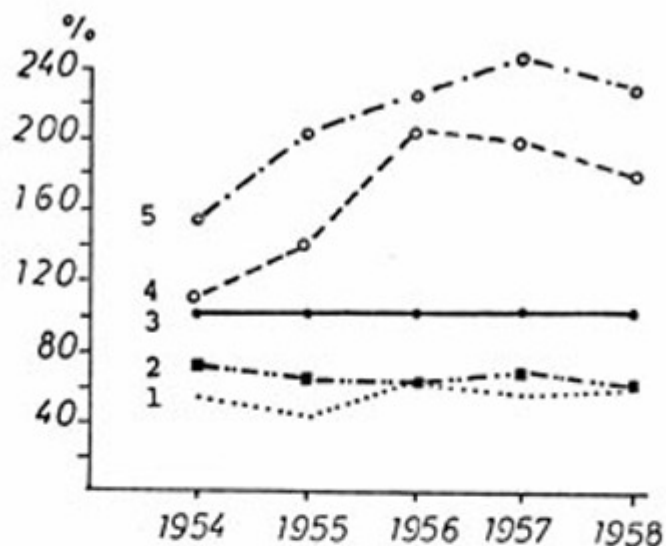
- i. mejora las propiedades físicas del suelo arenoso;
- ii. la capa de estiércol funciona como zona de acumulación local de agua y nutrientes para los cultivos;
- iii. las raíces que penetran en la capa están regenerando el material orgánico de la capa;
- iv. en condiciones anaerobias, la mineralización de la capa es retardada.

A consecuencia del uso de estiércol en forma de capas colocadas a diferentes profundidades (45-65 cm), los rendimientos resultan seguros también en regiones del clima árido, reteniendo la precipitación o el agua de riego, Tabla 11 (Egerszegi, 1957). El aumento de los rendimientos logrados es significativo, Figura 10 (Egerszegi, 1959). Makled (1967) experimentó con este método con mucho éxito en suelos tropicales de Egipto. La evaluación sinóptica del método la hicieron Balba (1975) y Massoud (,1975). El efecto beneficioso de las capas, además del mejoramiento del régimen de agua, se debe a que la materia orgánica colocada a diferentes profundidades en condiciones anaerobias se descompone lentamente (Egerszegi y Szabó, 1972). Entretanto se forman preciosas sustancias húmicas, Figura 11 (Egerszegi, 1959). Klimes-Szmik y Gáti (1969) examinaron el poder amortiguador del material orgánico de una capa colocada al fondo del perfil de suelo arenoso de reacción ácida (pH 5) y constataron que, a pesar de las condiciones de pH desfavorables, la capa de materia orgánica crea optimales condiciones para el desarrollo de la red radicular, lo que hace posible la adaptación de un gran número de plantas que de otra manera no toleran la demasiada acidez de algunos suelos arenosos. Las curvas de pH y de la valoración referentes al material orgánico, investigado por los autores mencionados, también destacan el alto poder amortiguador del mismo, Figura 12. Los mejores tabacos se obtienen en Cuba en la provincia occidental del país, la región de suelos arenosos. Los pequeños agricultores, al preparar la tierra para tabaco, suelen poner al Fondo del surco la dosis necesaria del estiércol.

3.2.2 Compostes, desechos industriales y urbanos los productos orgánicos de bioqas

En el período del desarrollo industrial, la lista de los compostes de diferente origen se amplía cada vez más. En los países desarrollados, la defensa del ambiente exige que las basuras urbanas y las de las grandes instalaciones industriales, etc., las aguas negras sean utilizadas en la agricultura (Parr *et al*, 3.978). Se presentan estas tendencias también en los países en desarrollo de América Latina, por ejemplo, en las zonas desiertas del litoral de Perú y se presentarán aún más en el próximo futuro. En América Latina, donde la caña de azúcar ocupa territorios muy extensos, la cachaza, un subproducto de la industria azucarera, es un material de enmienda de alto valor. Awan (1971) llevó a cabo en Cuba ensayos de repoblación forestal en los cuales obtuvo buenos resultados con la aplicación de la cachaza sola o con adición suplementaria de NPK fertilizantes, Figura 13.

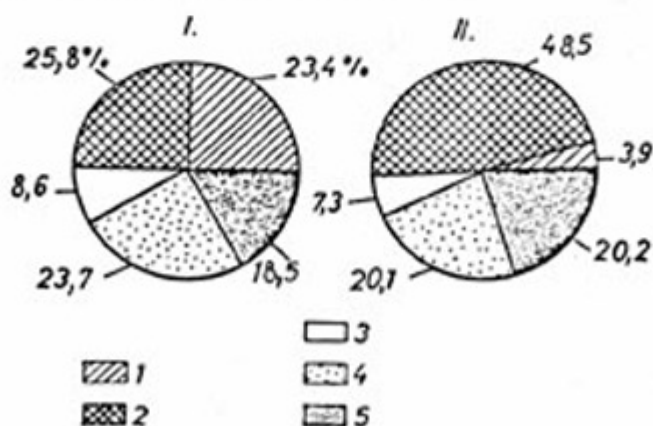
Figura 10: Rendimiento de masa verde de avena (*Arrhenatherum elatius* M. y Koch) en por ciento en el período 1954-1958



- 1 = cultivo tradicional de suelo arenoso (con fertilizantes)
- 2 = arada profunda
- 3 = cultivo tradicional (con estiércol)
- 4 = mejoramiento de suelo arenoso con una capa de estiércol
- 5 = mejoramiento de suelo arenoso con dos capas de estiércol

Fuente: Egerszegi, 1959.

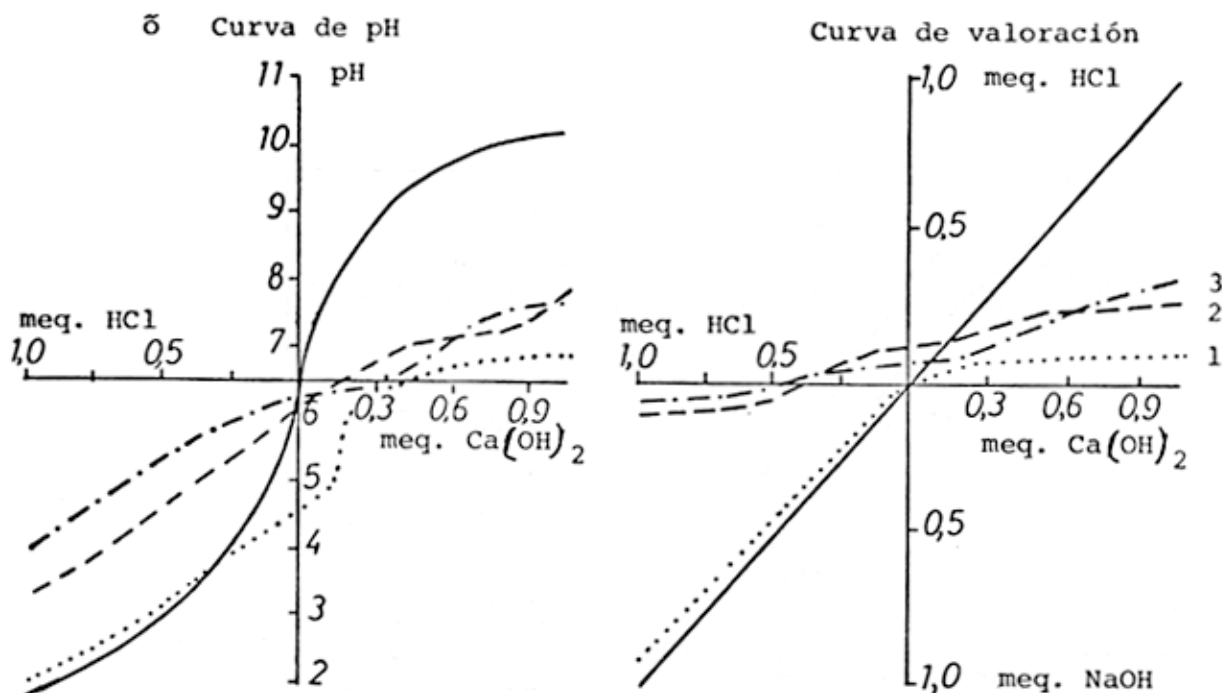
Figura 11: Composición de la parte orgánica del estiércol genuino (I) y de la capa formada del mismo después de 3 años de su aplicación (II)



- 1 = la fracción soluble en agua
- 2 = la fracción soluble en NaOH, 0,1 N
- 3 = la fracción hidrolisable con H₂SO₄ al 5%
- 4 = la fracción hidrolisable con H₂SO₄ al 80%
- 5 = sustancias orgánicas no solubles

Fuente: Egerszegi, 1959

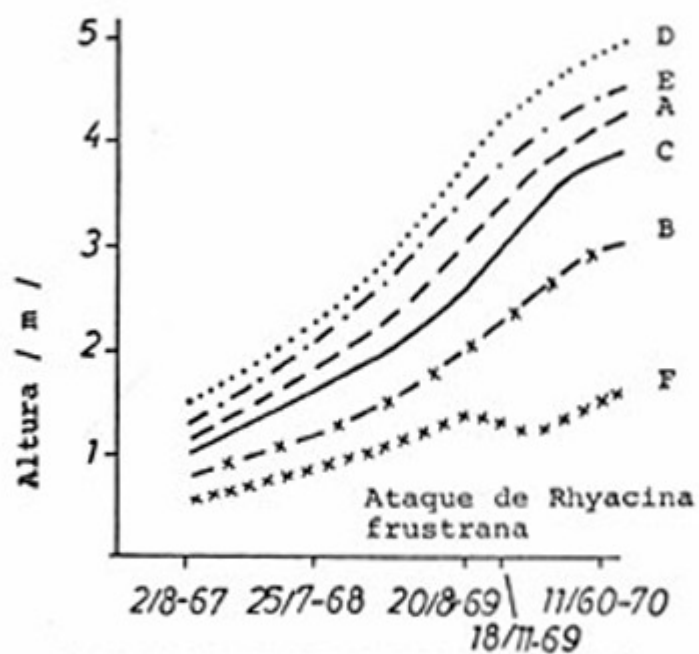
Figura 12: Poder amortiguador de capas de estiércol



- 1 = suelo arenoso
- 2 = estiércol seco al aire
- 3 = estiércol fresco

Fuente: Klimes-Szmik y Gáti, 1969.

Figura 13: Influencia de la fertilización sobre el crecimiento de *Pinus Caribaea* var. *Caribaea* Morelet



	Fertilizantes g/ planta	
	Abono completo 8 - 10 - 10	Cachaza
A	-	1000
B	120	-
C	240	-
D	120	1000
E	240	1000
F	-	-

Fuente: Awan, 1971.

Tabla 11 - Agua almacenada en parcelas mejoradas con capas de abono orgánico, debajo de cubierta vegetal (a) y sin vegetación alguna (b)

Horizonte, cm	Contenido de humedad en por ciento de suelo seco					
	(a)			(b)		
	12.V	28.VII	18.VIII	12.V	28.VII	18.VIII
0-20	7,39	2,70	1,13	7,93	3,96	3,70
20-40	8,94	2,60	1,58	7,72	7,05	6,45
40-60	8,27	2,87	1,52			
En la 2° capa (a los 48 cm)				145,37	125,12	120,16
Entre las capas				8,80	8,80	6,90
Encima de la 1° capa	8,56	3,07	2,41			
En la 1° capa (a los 65 cm)	84,44	62,90	50,76	131,24	128,0	122,13
70-80	4,08	2,68	1,20	4,60	4,40	4,32

Fuente: Egerszegi, 1957

Las granjas ganaderas producen grandes cantidades de estiércol sólido y líquido. La solución del problema de la utilización de estos materiales orgánicos se halla en elaborar métodos adecuados para la preparación de compostes; luego para la realización de planes relacionados al biogas. Esto último es de gran importancia en una época de crisis energética mundial. El subproducto de las tecnologías utilizadas en la producción del biogas, la biomasa, es un abono orgánico de alto valor. Las plantas productoras de biogas, en algunos países en desarrollo, por ejemplo en India y China se practican mucho a nivel de unidades caseras para la familia rural. Estas tecnologías se propagan también cada vez más en países desarrollados, por ejemplo, en Europa Occidental y en los Estados Unidos de América.

3.3 Materiales de origen orgánico para la enmienda de los suelos arenosos

En condiciones tropicales, puede justificarse la utilización de tales materiales orgánicos, los cuales, a pesar de las altas temperaturas y frecuentes lluvias, se descomponen lentamente y, además de eso, aumentan la capacidad de absorción del suelo arenoso. Tales son la turba, el lignito y los coproductos de éstos con polímeros sintéticos.

3.3.1 Turba

La turba es un material vegetal escasamente descompuesto que en condiciones climáticas, geomorfológicas y biológicas se forma en condiciones de humedad permanente. Se lo utiliza por su alto poder de retención de agua, compostada en general con NPK fertilizantes para la enmienda de los suelos arenosos. En la Tabla 12 se presentan algunos datos de Feustel y Byers (1936) referentes a turbas de diferente origen y las mezclas compostadas de las mismas.

Tabla 12 - Capacidad al agua y punto de marchitez de la turba y el suelo y de las mezclas preparadas de éstas

M a t e r i a l	Peso del material seco al aire g/100 cm ³	Capacidad al agua %	Punto de marchitez %	Agua disponible en por ciento de la capacidad al agua	Humedad necesaria para la saturación del material seco b/100 cm ³	Humedad determinada en el punto de marchitez g/100 cm ³
Turba (musgo)	11	1057	82,3	92,2	101	8,0
Turba (Carex común)	27	374	60,8	83,7	91	15,0
Turba (Carrizo común)	39	289	70,7	75,5	99	24,0
Franco arcilloso	109	44,3	7,1	84,0	48	7,7
Arena fina francosa	135	30,9	2,1	93,2	42	2,8
Mezcla de suelo arcilloso y turba (musgo)	60	114	14,5	87,3	67	8,5
Mezcla de suelo arcilloso y turba (carex común)	68	95,7	19,2	79,9	63	13,0
Mezcla de suelo arcilloso y turba (Carrizo común)	74	94,1	21,2	77,5	67	15,0
Mezcla de suelo arenoso y turba (musgo)	73	101	6,6	93,5	73	4,8
Mezcla de suelo arenoso y turba (Carex común)	81	80,8	13,5	83,3	64	11,0
Mezcla de suelo arenoso y turba (Carrizo común)	87	79,3	16,2	79,6	67	14,0

Fuente: Feustel y Byers, 1936.

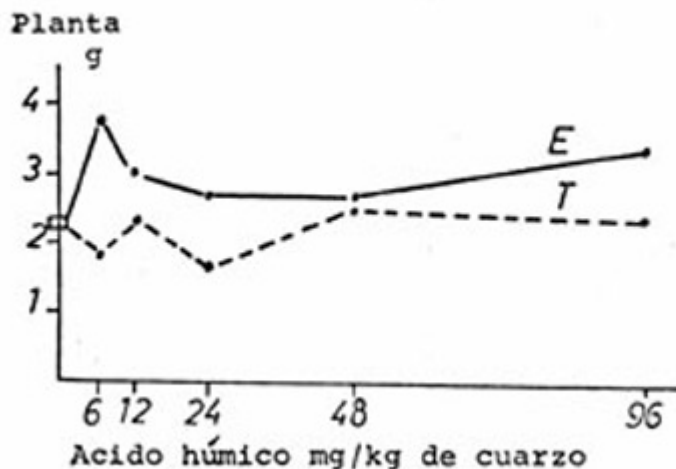
3.3.2 Lignito

El lignito es también un material de origen vegetal y se halla en el estado de carbonización avanzada. Lo caracteriza el contenido de ácidos húmicos. Es bien conocido el efecto estimulante de los ácidos húmicos aplicados solos o en forma de sales formadas con bases, por ejemplo, el humato de amonio. Los ácidos húmicos ejercen efecto positivo sobre el crecimiento de las plantas, Figura 14 (Hernando Fernandez, 1968). Jurkowska y Lytinski (1962) comprobaron el efecto positivo del lignito ejercido sobre un gran número de cultivos, Figura 15. Zein El Abadine y Hosny (1978) constataron que el lignito puede ser una fuente potencial de material orgánico en condiciones tropicales áridas. En Hungría se han preparado enmiendas orgánicas a base de lignito (desagregado o suspensión, compuestos con NPK respectivamente) especialmente para el mejoramiento de los suelos arenosos.

3.3.3 Substancias orgánico-minerales activadas con polimeros sintéticos

Desde el punto de vista de la formación de complejos órgano-minerales los polímeros sintéticos son semejantes a aquellos coloides lineares macromoleculares que ocurren en los suelos. Emerson (1956) comprobó el efecto positivo de polimeros macromoleculares ejercido sobre la coagulación de los minerales de arcilla. Bergman y Fiedler (1954-1955) hicieron ensayos con polimeros macromoleculares en calidad de materiales de enmienda de los suelos. Allison (1957) investigó la capacidad de absorción catiónica de los polímeros sintéticos estabilizadores de estructura del suelo. En este grupo de sintéticos, los más conocidos son el nitrilo poliacrílico hidrolisado (HPAN), el copolímero del acetato vinílico y ácido maleínico (VAMA), etc. Makled y Gáti (1968) hicieron ensayos con un polímero del tipo acrílico húngaro (Solacrol). Entre las propiedades de algunos minerales de arcilla se destaca, por su importancia, la de formar complejos. Con el fin de estudiar esta propiedad de la bentonita en relación con el Solacrol y la turba prepararon diferentes mezclas de estos materiales y, mediante un tratamiento especial, obtuvieron varios productos, Tabla 13. Ha sido comprobado que mediante el uso de bentonita y turba se pueden establecer ligas que facilitan la agregación de los suelos arenosos y aumentan la capacidad de absorción catiónica e aniónica de los mismos (Gáti y Kazó, 1965). Los minerales de la arcilla y/o materiales orgánicos activados con polielectrolitos también pueden ser utilizados como materiales de enmienda de los suelos arenosos (Gáti *et al*, 1965).

Figura 14: La acción en diferentes niveles del ácido húmico (E = extraído del estiércol) y la del ácido húmico (T = extraído de la turba) sobre el peso de la parte supraterrrestre del maíz (*Zea mays*)



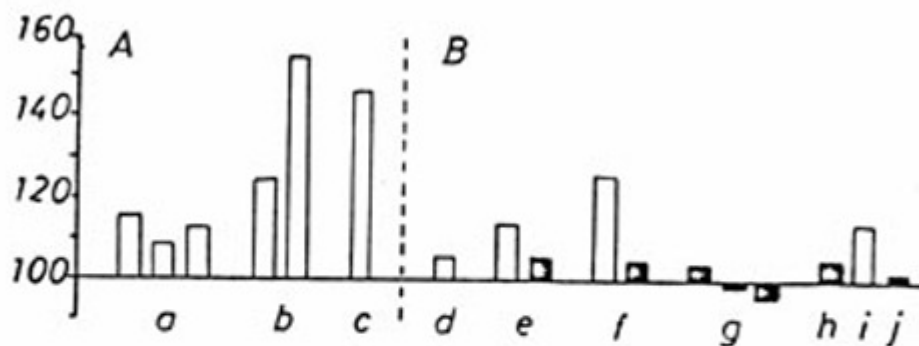
Fuente: Hernando Fernandez 1968

Tabla 13 - Capacidad de intercambio catiónico (CIC) y aniónico (CIA) de enmiendas del suelo elaboradas a base de complejos inorgánicos-orgánicos: arcilla (A)-polielectrolito (P), arcilla (A)-húmico (H), arcilla (A)-húmico (H)-polielectrolito (P)

Variante	CIC				CIA	
	K, meq/100 g de material		Cu, meq/100 g de material		PO ₄ , meq/100 g de material	
	original	saturado por Ca	original	saturado por Ca	original	saturado por Ca
A	17,02	29,79	40,03	60,02	25,27	31,59
AP	46,41	51,07	46,33	60,02	32,53	38,16
AH	15,92	32,97	123,70	121,56	21,10	20,25
AHP	30,87	44,69	140,01	149,82	25,49	34,78

Fuente: Makled y Gáti, 1968.

Figura 15: Rendimientos de cultivos fertilizados con lignito expresados por números relativos, en comparación con los rendimientos de los mismos sin lignito



A = experimentos en macetas

B = experimentos de campo

a = maíz b = mostaza c = mijo común

d = centeno e = avena f = forraje

g = papa h = remolacha i = pasto

j = tabaco

Fuente: Jurkowska y Litynski, 1962

LITERATURA CITADA

- Allison, L.E. Effect of soil-conditioner polymers on the cation-exchange capacity. 1957 Soil Sci. 83:381
- Allison, F.E. and Sterling, L.D. Nitrate formation from soil organic matter in relation to total nitrogen and cropping practices. 1949 Soil Sci. 67:239-252
- Awan, A.B. La fertilidad de los suelos en relación con la silvicultura en Cuba. 1971 Primer Seminario Latinoamericano FAO/PNUD sobre Evaluación Sistemática de Recursos de Tierras y Aguas, 8-14 noviembre 1971, México D.F.
- Awan, A.B. Condiciones del suelo que afectan el cultivo del plátano (*Musa Paradisiaca* Lin.) en Cuba. 1968 Revista de Agricultura II/1:35-42
- Balba, A.M. Organic and inorganic fertilization of sandy soils. 1975 Soils Bulletin 25, FAO, Rome.
- Bergman, W. and Fiedler, H.J. Synthetische Bodenverbesserungsmittel, ihre Wirkung und Anwendung. 1954-55 Wissensch, Z. Fr. Schiller University, Jena
- Bornemisza, E. Laroche, F.A. y Fassbender, H.W. Effects of Liming on some Chemical Characteristics of a Costa Rican Latosol. 1967 Soil and Crop Sci. Soc. of Florida Proc. 27:219-226
- Cooke, G.W. The roles of organic manures and organic matter in managing soils for higher crop yields - A review of the experimental evidence. 1977 Proc. Intern. Seminar on Soil Envir. and Fert. Manag. in Intensive Agriculture. Tokvo-Janán.

- Egerszegi, S. New method of improving sandy soils by deep placement of manure. Acta Agr. 1953 Acad. Sci. Hung. III/4:317-341
- Egerszegi, S. A laza homoktalaj mély termőrétegének kialakítása és tartós megjavítása 1959 La formación de capa productiva profunda en suelos arenosos ligeros y el mejoramiento perdurable de éstos. MTA Agrártud. Oszt. Köz. XIII/1-2:84-111
- Egerszegi, S. Economical and lasting utilisation of organic fertilizers in sandy soils. 1959 Acta Agron. Acad. Sci. Hung. IX/3-4:319-340
- Egerszegi, S. Die Rolle des Stallmistes in der Ausgestaltung der tiefen Nährschicht im Sandboden. Materialy z Konferencji Naukowej "Nawozy Organiczne" w Szczecinie 6-11 octubre 1959.
- Egerszegi, S. Die Konzeption der "Chemotechnik" und das Minimum-Tillage System. Zeszty 1972 Probl. Nauk. Roln. 137:301-308.
- Emerson, W.W. A comparison between the mode of action of organic matter and synthetic 1956 polymers in stabilizing soil crumby. J. Agric. Sci. 47:351.
- Feustel, I.C. and Byers, H.G. U.S. Dep. Agric. Techn. Bulletin. 532:1-25 1936
- Gáti, F. Use of Organic Materials as Soil Amendments. FAO/SIDA Workshop on Organic 1978 Materials and Soil Productivity in the Near East, Alexandria, Egypt, 9-18.1978.
- Gáti, F. y Kazó, B. Experiments on the use of fertilizer products of clay-humus-polymer, 1965 AHP, basins in sandy soils. Agrokémia és Talajtan, 14:17-32.
- Gáti, F., Kazó, B., Láng, I. y Mikes, J. Patente de invención húngara:151 300, 1965.
- Gokhale, N.G. Soil nitrogen status under continuous cropping and with manuring in the case 1959 of unshaded tea. Soil Sci. 87:331-333.
- Greenland, D.J. and Nye, P.H. Increases in carbon and nitrogen contents of tropical soils 1959 under natural fallows. J. Soil Sci. 9:284-299.
- Hauck, F.W. Organic recycling to improve soil productivity FAO/SIDA Workshop on Organic 1978 Materials and Soil Productivity in the Near East, Alexandria, Egypt, 9-18 October 1979.
- Hernando Fernandez, V. The action of humic acid of different sources on the development of 1968 plants and their effect on increasing concentration of the nutrient solution. Study week on Organic Matter and Soil Fertility, 22-27. April 1968. Pontificia Academia Scientiarum, 1968. North-Holland Publishing Company-Amsterdam.
- Igue, K., Fuentes, R. y Bornemisza, E. Mineralización de P-orgánicos en suelos ácidos de 1971 Costa Rica, Turrialba, 21/1:47-52.
- Jenkinson, D.S. The priming action. FAO/IAEA Technical Meeting International Soil Science 1963 Society, Brunswick-Vökenrode, 9-14 September, 1963.
- Jenkinson, D.S. The turnover of organic matter in soil. Ibid. 1963
- Jenkinson, D.S. Decomposition of labelled plant material in soil. Experimental Pedology. 1964

- Jurkowska, H. and Litynski, T. Investigations of the effect of Brown Coal on Plant Growth. 1961 Studies about Humus Symposium, Humus and Plant, Praha, 28 September-6 October, 1961.
- Klimes-Szmik, A. Effect exerted on the water economy of sandy soils by substances 1956 containing organic or inorganic colloids and applied in layers. VI^e Congres International de la Science du Sol, Paris, 1956 I/36:237-245.
- Klimes-Szmik, A. y Gáti, F. Investigación del efecto amortiguador de capas de material 1969 orgánico colocadas a diferentes profundidades en suelos arenosos. Manuscrito.
- Klimes-Szmik, A. y Nagy de Szebényi, E. Suelos de Cuba Tomo I. Dirección Nacional de 1975 Suelos y Fertilizantes INRA. Editorial Orbe Instituto Cubano del Libro, La Habana.
- Larson, W.E. and Beale, O.W. U.S. Dep. Agric. Farmer's Bulletin 2155:1-14. 1961
- Lugo-López, M.A. y Juárez Jr., J. Evaluación of the Effects of Organic Matter and Other 1959 Soil Characteristics Upon the Aggregate Stability of Some Tropical Soils. The J. of Agric. of Univ. of Puerto Rico XLIII/4:268-272.
- Makled, F.M.A. Effect of deep manuring of sandy soils on the yield of alfalfa in El Tharer. 1967 Agrokémia és Talajtan, 16:179-184.
- Makled, F.M.A. and Gáti, F. Examination of the Ion Adsorbing Properties of Model Materials 1968 with the Combinations Clay=Polymer, Clay-Humus and Clay-Humus-Polymer. Agrokémia és Talajtan, 17/1-2:47-54.
- Massoud, F.I. Physical properties of sandy soils in relation to cropping and soil 1975 conservation practices. Soils Bulletin 25. FAO, Rome.
- Mohr, E.C.J., van Baren, F.A. and van Schuylenborgh, J. Tropical Soils. Mouton-Ichtiar 1972 Baru-Van Hoeve. The Hague-Paris-Djakarta.
- Moody, J.E., Jones, Jr., I.N. and Lillard, I.H. Influence of Straw Mulch on Soil Moisture, 1963 Soil Temperature and the Growth of Corn. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27:700-703.
- Organic Manure, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, London, Bulletin N°210. 1976
- Ortega Sastriques, F. El contenido de materia orgánica y la relación carbono/nitrógeno de 1975 los principales suelos pardos tropicales de Cuba. Revista de Agricultura VIII/1:18-33.
- Parr, J.F., Willson, G.B. and Colacicco, D. Improving soil with organic wastes: municipal 1978 sludge composts. Contribution from the Biological Waste Management and Soil Nitrogen Laboratory, USDA, Beltsville, to the FAO/SIDA Workshop on Organic Materials and Soil Productivity in the Near East, Alexandria, Egypt, 9-18 October, 1978.
- Peevy, W.J. and Norman, A.G. Influence of composition of plant materials on properties of 1948 the decomposed residues Soil Sci. 65:209-226.

- Primavesi, A. Organic matter and soil productivity in the tropics and subtropics. Study
1968 Week on Organic Matter and Soil Fertility, 22-27 April 1968, Pontificia
Academia Scientiarum, North-Holland Publishing Company, Amsterdam.
- Purna Chandra and Bollen, W.B. Effect of Wheat Straw, Nitrogenous Fertilizers and Carbon-
1960 to-Nitrogen Ratio on Organic Decomposition in a Subhumid Soil. J. Agriculture
and Food Chem. 8:19-24.
- Sallai, M. Die Veränderung im löslichen Nährstoffgehalt des Sandbodens infolge der
1967 Gründüngung. Die Erhaltung der Fruchtbarkeit der Sandböden, Internationalen
Koordinierenden Arbeitstagung in Budapest, 1965.
- Sanchez Pedro, A. Properties and Management of Soils in the Tropics. A Wiley-Interscience
1976 Publication. John Wiley and Sons, New-York-London-Sydney-Toronto.
- Smith, R.M., Samuels, G. and Cernuda, C.F. Organic matter and nitrogen build-ups in some
1951 Puerto-Rican soil profiles Soil Sci. 72:409-427.
- Szabó, I. and Egerszegi, S. Micromorphological and microscopic biological investigation of
1972 a sandy soil improved by deep-layering of organic mulch. Third International
Working-Meeting on Soil Micromorphology, Wrocław, 1969 Zeszyty Problemowe
Postepow Nauk Rolniczych 123:97-109.
- Uhland, R.E. U.S. Dep. Agric. Publ. SCS-TP-75:1-27
1949
- Zein El Abedine, I.A. and Hosny, I. Lignite: a potential source of organic matter.
1978 FAO/SIDA Workshop on Organic Materials and Soil Productivity in the Near East,
Alexandria, Egypt, 9-18 October 1978.

2. Comportamiento y aprovechamiento del fósforo orgánico en suelos tropicales

por

E. Bornemisza 1/

El papel del fósforo orgánico en el balance global del suministro de este elemento en suelos ha sido estudiado, especialmente en condiciones de clima templado (4, 6, 14, 19, 20, 21). A pesar de las investigaciones antiguas y recientes, existen varios aspectos, donde la información es escasa.

En las últimas décadas se ha obtenido un volumen de conocimientos sobre el comportamiento del fósforo orgánico en suelos tropicales siendo importantes los estudios de Africa y, en menor grado, de Latinoamérica (12, 14, 16, 17, 25, 27, 29, 30, 33, 34, 36, 37). El fósforo orgánico es de importancia particular en suelos del trópico., por ser de movilidad reducida (21), no fijada y por contribuir en un número apreciable de experimentos en forma significativa a la nutrición de plantas, especialmente perennes (1, 33, 36). La rápida mineralización en muchas condiciones tropicales contribuye a ser mayor uso (1, 3).

En adición a su importancia agrícola, recientemente se ha visto que el P orgánico puede ser un contaminante importante del ambiente, llegando a aguas subterráneas a partir de empresas de ganadería intensiva (21).

Determinación del fósforo orgánico

Existen básicamente dos procedimientos para esta determinación: el método de ignición (24, 32) y el método de extracción con ácidos y bases (26). Se ha observado que en suelos poco ácidos, neutros o alcalinos, que no tienen cantidades fuertes de sesquióxidos activos, los métodos de ignición, menos laboriosos, son adecuados. Al contrario, para los suelos que tienen estos componentes, grupo en el cual se encuentran muchos de los trópicos húmedos,

la alta temperatura que se usa conduce a una combinación del fosfato que se libera de los compuestos orgánicos con el Al y Fe que resulta en la formación de fosfatos de aluminio o de hierro poco solubles (19). En estas condiciones, se ha obtenido resultados más confiables con la técnica de Mehta et al (26), especialmente si se introduce una corrección tendiente a eliminar el alto contenido de hierro que se disuelve y que interfiere con la determinación del fosfato (10).

La metodología mejorada ha contribuido a demostrar que el P orgánico frecuentemente contribuye con más de la mitad del total del elemento en suelos del trópico húmedo (1, 3, 7, 9, 14, 35, 36). Se han encontrado suelos donde el P orgánico alcanza hasta el 90% del P total, en praderas de Nueva Zelanda (32, 37).

Uso directo por plantas

En general se cree que esta categoría no es disponible directamente para las plantas (23) y tiene que ser mineralizado para su aprovechamiento. Sin embargo, se ha visto que esta categoría correlaciona en forma significativa con rendimientos, especialmente del cacao (33).

1/ Profesor de la Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica. Trabajo realizado con apoyo parcial del CONICIT.

Factores que influyen sobre el aprovechamiento del fósforo orgánico

Posiblemente existen tres grupos de factores que contribuyen al mayor o menor grado de este uso que son:

- i) las propiedades de los derivados organo-fosforados;
- ii) las propiedades del suelo y de su manejo;
- iii) las propiedades del medio ambiente.

En lo que se refiere a los compuestos fosforados su fracción principal son los fosfatos de inositol, los cuales frecuentemente contribuyen con más de la mitad del P orgánico presente (15, 23). Esta fracción puede ser descompuesta por enzimas que fueron identificadas en los suelos.

Los ácidos nucleicos pueden alcanzar de un 6 a un 7 % en algunos casos y forman casi la segunda fracción mientras que los fosfolípidos corrientemente no exceden un 2 % y los demás grupos contribuyen con menos (15).

Las propiedades del suelo tienen importantes influencias sobre su contenido de P orgánico y su aprovechamiento. Así suelos calcáreos, como los de Colorado, contienen solamente una fracción relativamente baja del P en la fracción orgánica (19), que disminuye con el cultivo por poca producción de materia orgánica.

Entre las fracciones de tamaño del suelo, es en las arcillas donde se acumula el P orgánico en forma paralela a la materia orgánica (19). Entre las arcillas, el alofán es un inmovilizador particularmente eficiente del P orgánico (22). En suelos arcillosos se cree que ocurre una inhibición de la fosfatasa por la fracción coloidal, lo que contribuye también a la acumulación del P orgánico (28).

Se han detectado también correlaciones entre el pH, contenido de fósforo total y de carbono orgánico con la cantidad de P orgánico (35). Entre los aspectos de manejo se vio, como es de esperar, que el uso de abonos orgánicos de origen animal o vegetal aumentan la fracción de P orgánico (19). Al mismo tiempo estas sustancias orgánicas reducen la fijación del fosfato inorgánico (5) en suelos ferruginosos, bajos en materia orgánica. Cuando los contenidos de materia orgánica natural son altos, no se detecta el efecto anterior.

El encalado favorece el aprovechamiento del fosfato orgánico, reduciendo la toxicidad de Al y favoreciendo la vida microbiana, como se vio en experimentos de campo en Honduras y Canadá (3, 20).

La aplicación de abonos fosfatados comúnmente disminuye la proporción en que contribuye el P orgánico, pero aumenta su cantidad absoluta (37).

Se observó que las prácticas de cultivo, aunque resultan en pérdidas apreciables de materia orgánica en los trópicos (11), no alteran fuertemente la relación C/P orgánico (29), lo que indica velocidades de mineralización similares para C y P.

Similarmente, como el contenido de materia orgánica, el P orgánico disminuye con la profundidad (4, 6, 23), como se vio en suelos de Costa Rica, por ejemplo (9).

Entre los factores ambientales, existe bastante información sobre el efecto de la temperatura que, sin duda, parece afectar favorablemente la mineralización del P orgánico y aumenta su importancia en contribuir a la fracción disponible del elemento (6, 13, 18).

La meteorización de los suelos hace decrecer la cantidad de P orgánico en ellos, pero frecuentemente aumenta la proporción en que esta fracción contribuye (30).

Se ha notado que el efecto de la vegetación bajo la cual se formó un suelo influye también sobre su contenido de P orgánico. Así, se conoce que suelos formados bajo bosques contienen más P orgánico (29, 34, 35). Por último se conoce que en suelos, relativamente ricos en fosfatos, hay también un buen contenido orgánico del elemento (17, 31, 38).

El fósforo orgánico en suelos altamente meteorizados Ultisoles Oxisoles

Para estos suelos, como ocurre en la región amazónica colombiana, es común el bajo contenido de P total (300 ppm promedio) con un alto porcentaje del mismo en la fracción orgánica (hasta un 80%) (7).

Para suelos lateríticos de la región amazónica de Brasil, Vicira y Bornemisza (36) informan sobre porcentajes fuertemente variables e inferiores a los datos de Colombia (8-61%), con una contribución decreciente en el perfil, paralelo en la disminución de la materia orgánica pero con apreciables variaciones en las relaciones C/P orgánica, probablemente por la variación de las muestras estudiadas, ya que para condiciones más homogéneas se han detectado correlaciones significativas entre C orgánico y P orgánico (35). En los suelos antiguos de la zona cacaotera del Ghana se observa una contribución mayor al 50% del fósforo orgánico al contenido total de este elemento (1). Se ha detectado, incluso, una correlación significativa entre esta fracción y la producción de las plantaciones de cacao (1, 33).

En forma similar para suelos del sureste de Nigeria, Enwezor ha informado sobre una contribución del 50 al 79% del P total por la forma orgánica del elemento y la existencia de una correlación significativa y positiva entre esta fracción y los rendimientos de maíz en los suelos estudiados (1, 33).

En algunos suelos viejos lateríticos de El Salvador, probablemente clasificados ahora como ultisoles, se detectó que el fósforo orgánico contribuye solamente con un porcentaje pequeño al total, probablemente debido al bajo contenido de materia orgánica de ellos, confirmando el hecho frecuentemente observado de una correlación estrecha entre el carbono y fósforo orgánico (12, 15).

Las observaciones antes indicadas coinciden con los datos de Westin y Brito (38) para suelos antiguos de regiones de moderada precipitación de Venezuela, donde indican que las cantidades de P orgánico disminuyen con el avance del desarrollo de los suelos, igual que su contenido de P total. Este de nuevo confirma una correlación detectada entre P total y orgánico (12, 15). La misma tendencia de una correlación estrecha entre la fracción total y orgánica del elemento observaron Pagel y colaboradores (30) para un grupo de suelos ferralíticos de Vietnam y Nigeria.

Se ha encontrado en los suelos bien desarrollados una influencia notable de la vegetación sobre el contenido del fósforo orgánico, probablemente por su contribución a la cantidad de materia orgánica, presente en parte, y por su influencia sobre las propiedades de esta fracción. Así, en un grupo de suelos representativos de las regiones principales de Nigeria, se notó que el fósforo orgánico contribuyó con más del 50% del total en suelos forestales (35) y que esta categoría correlacionaba significativamente con el contenido del carbono orgánico en los mismos suelos. Otros investigadores de Nigeria (34), observaron también un contenido más alto de P orgánico en suelos desarrollados bajo bosque que en las regiones de praderas tropicales, aunque el ámbito encontrado por ellos (10-20% del P total como P orgánico) es menor del notado por otros investigadores. En lo referente al manejo de estos suelos es importante anotar que la materia orgánica reduce la fijación del fósforo e, incluso, es capaz de salubrilizarlo parcialmente (5), como se observó en suelos del Senegal. Esto hace necesario reducir, hasta donde sea posible, la rápida descomposición de la materia orgánica, sobre la cual informa Brams (11), en las condiciones de suelos de Sierra Leona.

El fósforo orgánico en Andosoles

Los Andosoles comúnmente poseen altos contenidos de P orgánico (9, 22, 25, 37), fenómeno explicado hace décadas por Jackman (22), por el alto contenido de alofán, el cual reduce la mineralización de la materia orgánica por adsorción. Se cree que esta adsorción ocurre más que todo en las superficies externas y se nota que la materia orgánica adsorbe fosfatos inorgánicos immobilizándolos e incorporándolos en la fracción orgánica (2). En estos suelos, especialmente en pastos no mejorados, hasta un 90% del fósforo total puede encontrarse en la fracción orgánica (37). Aplicaciones adecuadas de abonos comúnmente reducen este porcentaje a valores del orden de 55-70%, como lo indica el trabajo antes mencionado de Nueva Zelanda.

Datos de El Salvador también indican contribuciones mayores en suelos volcánicos que para los otros de este país (12).

De la zona cafetalera de Colombia, se informa sobre una contribución de más del 70% del P total aportado en promedio como P orgánico (25). En suelos forestales de la Cordillera Central del mismo país sobre dystradepts el % de P orgánico es bastante inferior, con un promedio de 35% (16). Se estima que el bajo grado de humificación de esta materia orgánica como lo indica su relación C/N=32, es la explicación de la baja contribución del P orgánico. En Costa Rica los suelos volcánicos se caracterizan por una contribución apreciable del P orgánico al P total en el suelo superficial, con más del 50% y con una contribución menor en el subsuelo (9), en forma similar a los suelos cafetaleros de Colombia.

El fósforo orgánico en vertisoles

En vertisoles y suelos similares, Pagel y sus colaboradores (30) encontraron altas proporciones del P en forma orgánica (alrededor de 2/3 partes). Esta proporción relativamente alta coincide bien con la correlación positiva, significativa entre pH y P orgánico, ya que asigna altos valores a suelos con pH altos. Fares y colaboradores (15) informan también de una contribución muy alta (86%) del P orgánico en un vertisol de Uruguay. Información indirecta parece confirmar que los datos arriba mencionados son típicos para vertisoles.

El fósforo orgánico en suelos recientes

Como los suelos recientes frecuentemente tienen contenidos relativamente altos en P total, la fracción orgánica es comúnmente relativamente baja. En estos suelos también la mayor parte del P orgánico se encuentra asociada a la fracción de arcilla (17). La predominancia del P inorgánico sobre el orgánico en suelos recientes de la cuenca del río Choluteca en Honduras lo detectaron Morillo y Fassbender (27) y esta información es bastante típica para estos suelos.

En suelos aluviales recientes de la región amazónica de Colombia, Blasco confirma la presencia de mayores contenidos de fosfatos totales, pero encontró que, como en los suelos antiguos de la región, en los recientes también la fracción principal era el P orgánico (7). Para suelos aluviales de la región Atlántica de Costa Rica se observó la misma tendencia, con altos contenidos de P orgánico en la capa superficial y cantidades menores en la capa inmediatamente inferior con 1/3 a 2/3 del P total en la fracción orgánica (9). En suelos aluviales, gleyizados de la región de Manaus, Brasil, se informa de contenidos relativamente bajos de P total, P orgánico y una reducida contribución del P orgánico al P total, comúnmente alrededor de 1/3 del total (36).

La contribución del P orgánico en un suelo de la vertiente pacífica de Costa Rica de trópico más seco, era de un porcentaje menor, similar a los datos de Honduras y El Salvador (12, 27), con valores de 35 a 45%.

Los datos de Pagel y colaboradores (3) sobre Vietnam, confirman estas tendencias de bajas contribuciones, aparentemente típicas para material aluvial antiguo, que ha recibido un alto lavado y retienen poca materia orgánica.

RESUMEN

El fósforo orgánico tiene importancia en los trópicos por ser de movilidad reducida, no fijada y por contribuir en forma significativa a la nutrición de las plantas, especialmente perennes. Se ha encontrado una correlación significativa entre su contenido en el suelo y los rendimientos del cacao.

Los factores que influyen en el aprovechamiento del P orgánico son: propiedades de los derivados organo-fosforados, propiedades del suelo y de su manejo, y las propiedades del medio ambiente.

Las propiedades del suelo influyen grandemente en el contenido del P orgánico. El fósforo orgánico se acumula en las arcillas del suelo; entre ellas, el alofán se comporta como un eficiente inmovilizador. El encalado favorece el aprovechamiento del fosfato orgánico, reduciendo a su vez la toxicidad del Al. La aplicación de abonos fosfatados disminuye la proporción de la contribución del P orgánico, pero aumenta su cantidad absoluta. La temperatura parece afectar favorablemente la mineralización del P orgánico y su contribución a la fracción disponible de este elemento.

En los suelos altamente meteorizados, ultisoles y oxisoles, es común el bajo contenido de fósforo total con un alto porcentaje del mismo en la fracción orgánica (hasta un 80%). En los andosoles el alto porcentaje de P orgánico que presentan está ligado a su alto contenido en alofán, hasta un 90 % del fósforo total puede encontrarse en la fracción orgánica. En vertisoles y suelos similares una alta proporción del P total corresponde a la forma orgánica (2/3 partes). En los suelos recientes, la contribución de la forma orgánica del P es comunmente baja.

LITERATURA CITADA

- (1) Acquaye, D.K. Plant and Soil 19: 65-80 (1963).
- (2) Appet, H., Coleman, N.T. y Pratt, P.F. Soil Sci. Am. Proc. 39: 628-630 (1975).
- (3) Awan, A.B. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 28: 672 (.1964).
- (4) Barrow, N. J. Soils and Fertilizers 24: 169-173 (1961).
- (5) Bhat, K.K.S. y Bouyer, S. In: Isotopes and Radiation in Soils Org. PMat. Studies Proc. Symp. IAEA-FAO, Vienna p. 299-313 (1968).
- (6) Black, C.A. y Goring, C.A.I. In: Pierre, W.H. and Norman A.G. (eds). Soil and Fertilizer Phosphorus Academic Press p. 123-152 (1953).
- (7) Blasco, M. An. Edafol. Agrobil. 29: 643-650 (1970).
- (8) Bornemisza, E. Turrialba 16: 33-38 (1966).
- (9) Bornemisza, E. y Igue, K. Soil Sci. 103-344-353 (1967).
- (10) Bornemisza, E., Vieira, L.S. y Igue, K. Soil Sci. Soc. Ame. Proc. 31: 576-77 (1967).
- (11) Brams, E.A. Plant and Soil 35: 401-414 (1971).
- (12) Dahnke, W.C., Malcolm, J.L. y Menéndez, M.E. Soil Sci. 98: 33-38 (1964).

- (13) Eik, M.T., Black, C.A. y Kemptonorne, O. Soil Sci. 71: 361-370 (1951).
- (14) Enwezor, W.O. Soil Sci. 124: 27-33 (1977).
- (15) Fares, A., Fardeau, J.C. y Jacquin, F. Phosphorus in Agric. 28: (63) 25-40 (1974).
- (16) Fassbender, H.W. y Tschinkel, H. Turrialba 24: 141-149 (1974).
- (17) Goel, L.N. y Agarwall, R.R. I Ind. Soc. Soil Sci. 8: 17-22 (1960).
- (18) Goring, C.A. y Zoellner, J.A. Plant and Soil 6: 38-44 (1955).
- (19) Greb, B.W. y Olsen, S.R. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 31: 85-8g (1967).
- (20) Halstead, R.L., Lapensee, J.M. y Ivarson, K.C. Can, J. Soil Sci. 43: 97-106 (1963).
- (21) Hoffman, D.L. y Rolston, D.E. Soil Sci. Sc. Am. J. 44: 46-52 (1980).
- (22) Jackman, R.N. Soil Sci. 79: 293-299.
- (23) Jencks, S.M., Raese, J.T. y Reese, C.D. West. Virg. Agr. Exp. Sta. Bull. 489, pp. 16 (1964).
- (24) Legg, J.O. y Black, C.A. Soil. Soc. Am. Proc. 19: 443-449 (1955).
- (25) López, M. Cenicafé (Colombia), 20 (2) 55-67 (196g).
- (26) Mehta, N.C. et al. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 18: 443-449 (1954).
- (27) Morillo, M.R. y Fassbender, H.W. Turrialba 18: 26-33 (1968).
- (28) Mortland, M.M. y Giesecking, J.G. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 16: 10-13 (1952).
- (29) Nye, P.H. y Bertheux, M.H. J. Agr. Sci. 4g: 141-159 (1957).
- (30) Pagel, H., Unamba Oparah, I y Ramadan Albrecht-Thaer, H.A. Arch 11: 189-201 (1967).
- (31) Pinto, R. Trop. Agric. (Trinidad) 51: 179-18 (1974).
- (32) Saunders, W.M. y Williams, E.G. J. Soil Sci. 6; 254-267.
- (33) Smith, K.W. y Azquaye, D.K. Emp. J. Exp. Agr. 31 :115-123 (1963).
- (34) Udo, E.J. y Ogunwal, J.A. Soil Sci. Soc. Am. J.41: 1141-1146 (1967).
- (35) Vzu, F.O., Ju O.A. S.R. y Fagemí, A.A.A. Soil Sci. 120: 212-218 (1975).
- (36) Vieira, L.S. y Bornemisza, E. Turrialba 18: 242-248 (1968).
- (37) Walker, T.W., Thapa, B.K. y Adams, A.F.R. Soil Sci. 87: 135-140 (1959).
- (38) Westin, F.C. y de Brito J.G. Soil Sci. 107; 194-202 (1969).

IV. LA SITUACION ACTUAL CON RESPECTO AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS
EN PAISES DE AMERICA LATINA

A - INFORMES DE LOS PAISES PARTICIPANTES

1. El estado del reciclaje de materias orgánicas
en la agricultura en Bolivia

por

J. Pascuali 1/

Actualmente, los Departamentos de Investigaciones y Extensión del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (I.B.T.A.), interesados en el desarrollo económico y en la producción agrícola, están realizando estudios relacionados a la función que desempeñan los abonos químicos y orgánicos en el desarrollo agrícola.

El incremento que viene experimentando el consumo de los abonos en todo el mundo, constituye una prueba evidente del valor que se les reconoce internacionalmente como factor básico de la producción agrícola.

En el curso de este último tiempo los aumentos de los precios de las materias primas (petróleo, roca fosfática, potasa, etc.) han influido en los precios de los fertilizantes y en especial en el caso de Bolivia, en vista de que todos los abonos químicos son importados, no obstante de contar con buenas materias primas. A pesar de que ello ha provocado, en algunos países -como Bolivia- alteraciones en la evaluación del consumo a escala mundial, éste ha seguido creciendo intensamente y las perspectivas a largo plazo prevén el mantenimiento de la tendencia actual.

Se estima que el aumento anual de la producción agrícola en Bolivia, para un desarrollo económico razonable y satisfactorio, es en promedio del 4 por ciento anual, del cual el 0,8 % estaría producido por las materias orgánicas, que para ser un primer paso en el incremento de producción es considerado suficiente, sobre todo en el campo de los abonos orgánicos, lo cual estaría naturalmente sujeto en un principio a trabajos de experimentación, para que a partir de ello se pueda dar las características de recolección, elaboración, almacenamiento y aplicación, con todos los requerimientos técnico-científicos que el caso exige.

Si se mantiene la proporción del 4 por ciento anual, o más, los fertilizantes se usarán en grandes cantidades. Esto no es una cuestión de necesidad de fertilizantes, sino de la habilidad de convertir la necesidad de una demanda efectiva y, entonces, de abastecer el mercado.

El precio relativo de las cosechas y de los abonos, tiene una influencia grande sobre las demandas de fertilizantes y sobre el uso que de ellos hacen los agricultores. En Bolivia, el precio de las cosechas con mucha frecuencia es bajo e inestable y el costo de los fertilizantes es elevado. En las regiones del Altiplano, donde el agricultor, por razones de precios altos de los abonos químicos, utiliza relativamente los residuos orgánicos y obtiene rendimientos regulares con precios que, naturalmente, no alcanzan a cubrir los insumos empleados en su siembra y que sin duda esta situación cambiará en los próximos años, donde los precios de los fertilizantes serán más bajos. Un cambio de tal naturaleza será ciertamente un factor importante, basado en programas nacionales o regionales, para la promoción del uso de fertilizantes orgánicos y que, dadas las características del valle, trópico y subtropical, con materias primas ricas en nutrientes para los diferentes cultivos, permitirá al agricultor su utilización, no simplemente por sus características químicas, sino también por lo económico que representa y por su fácil implementación.

1/ Jefe Laboratorio Agroquímico de Següencoma. I.B.T.A. - Cajón Postal No 5783, La Paz, Bolivia.

El estado del reciclaje de materias orgánicas en la agricultura en Bolivia se podría calificar de simple comienzo. Desafortunadamente, los trabajos, sobre todo en la utilización de abonos verdes, fijación del nitrógeno y simbiosis del frijol, no han sido intensivos ni sistemáticos, siendo aspectos que requieren mayor investigación.

La utilización del "estiércol", por ejemplo, si bien presenta grandes ventajas para aumentar los rendimientos y mejorar el suelo (enriqueciéndolo en materia orgánica y nitrógeno, principalmente), el pequeño agricultor lo emplea de forma tradicional y empírica, tanto en valles, como en altiplanos, en cultivos de mayor rentabilidad como la papa.

A continuación se presentan algunos aspectos que caracterizan la agricultura en Bolivia, basada en la utilización de materias orgánicas.

Residuos de origen animal

En Bolivia, los abonos orgánicos de origen animal, como ser de las pequeñas granjas, han sido considerados, por los campesinos en el curso de mucho tiempo, como un subproducto de gran valor, siendo actualmente recogidos y usados con relativo éxito, principalmente en los valles del Departamento de Cochabamba, en algunas localidades del altiplano norte, del Departamento de La Paz y en el área de desarrollo agrícola del oriente boliviano, donde se encuentran concentradas grandes extensiones de ganadería y donde los residuos orgánicos son incorporados al suelo en forma espontánea en algunos casos y sistemática en otros.

Como se sabe, el valor de estos abonos (generalmente llamados "estiércoles") depende de su contenido en nutrientes para la planta y su efectividad como agentes conservadores y constructores del suelo. El contenido de materia orgánica, dado su efecto sobre los microorganismos del suelo y su estructura, puede tener un valor (sobre algunos suelos) equivalente al contenido de nutrientes. Los abonos de granjas son las mejores fuentes de alimentos para los microorganismos del suelo, especialmente donde no es práctico el uso de abonos verdes, como suele suceder en el altiplano norte del Departamento de La Paz. Allí, los agricultores sin conocimientos bien fundados sobre la composición química del abono, incorporan cantidades de alrededor de 1/2 t/ha, que por supuesto es considerada insuficiente.

De los abonos orgánicos de origen animal, más corrientemente empleados por los pequeños agricultores, tenemos en el altiplano: residuos de mula y asno, considerados de bajo contenido protéico, pero alto en celulosa y hemicelulosa, el abono de vaca cae entre los dos anteriores; de llama, vicuña y alpaca (camélidos), ricos en proteínas y bajos en celulosa; de oveja, casi similar al de la llama y alpaca y con sustancias orgánicas solubles en agua fría, ricas en cenizas y bajos en celulosa. En el valle: abonos de vaca, mula y caballo con las características anotadas anteriormente; luego, residuos de gallináceas y cerdos, ricos en minerales. En el oriente: excrementos de vaca y caballo, principalmente.

Recientemente, en las localidades de Quillacollo, Vinto, Punata y otras del Departamento de Cochabamba, con la ampliación de granjas de pollos y cerdos, se empiezan a utilizar los residuos orgánicos animales, que son muy ricos en fósforo, potasio y nitrógeno. Generalmente se aplican al suelo en cantidades no mayores a una tonelada por hectárea, al voleo y sin ninguna técnica que facilite al agricultor un mejor aprovechamiento de los residuos 1/.

Una comparación de la composición de nitrógeno y mineral realizada en el Laboratorio de Següencoma (La Paz) se resume en la Tabla 1, en la que se observa que los residuos de ganado caballar y vacuno contienen cantidades bajas en nutrientes, en comparación con el resto de los abonos.

1/ Observaciones realizadas por el autor.

Tabla 1 - Composición de los distintos abonos orgánicos

Abonos	Composición de la Materia Seca			
	Humedad %	Nitrógeno %	A.Fosfórico P ₂ O ₅ (%)	Potasio K ₂ O (%)
vaca	83,2	1,67	1,08	0,56
Caballo	74,0	2,31	1,15	1,30
Oveja	64,0	3,81	1,63	1,25
Llama	62,0	3,93	1,32	1,34
Vicuña	65,0	3,62	2,01	1,31
Alpaca	63,0	3,60	1,12	1,29
Cerdo	80,0	3,73	4,52	2,89
Gallina	53,0	6,11	5,21	3,20

La riqueza de las deyecciones de los distintos animales es sumamente variable, dependiendo en gran parte del régimen alimenticio, así como del estado del animal.

La aplicación del estiércol antes de sembrar papa es una práctica generalizada de los agricultores, fundamentalmente en la zona papera del Departamento de Cochabamba. Se piensa organizar cursos de capacitación que permitan al agricultor tener mayor y mejores conocimientos sobre el significado protéico que representa, no tan sólo el estiércol, sino, en general, todo abono orgánico, así como sobre su recolección, almacenamiento, distribución y aprovechamiento.

Mulching

Se denomina así al mantillo, cobertura, colchón o capa generalmente formada por desechos vegetales que se aplica uniformemente a la superficie de una plantación con el objeto de lograr, por diversos medios, mejorar y proteger la plantación y el suelo de la misma.

Se pueden distinguir tres clases de mulching, dependiendo de la fuente de obtención del material para su formación:

- a) El formado espontáneamente con desechos de la plantación y malezas que, al momento del desyerbe, se dejan esparcidas sobre el terreno.
- b) El artificial, logrado con material llevado a la plantación.
- c) Mulches vivos, plantas de cobertura, generalmente leguminosas, sembradas en la plantación, que forman un colchón viviente.

Bien se sabe que la formación completa de un mulch natural requiere de mucho tiempo y la del artificial presenta el inconveniente del traslado de materiales. Los mulches vivos, por ejemplo, en plantaciones de café, tienen la dificultad de adaptación a la sombra.

En las regiones subtropicales del Departamento de La Paz, los Yungas, actualmente se desarrollan ensayos, a nivel de agricultores, con especies de leguminosas:

- Frijol de arroz (*Rynchosia phaseoloides*)
- Lablab (*dolichos lablab*)
- Frijol de abono (*Canavalia ensiformis*)
- Kudzu (*Pueraria phaseoloides*).

De éstos, solamente el frijol de abono no presenta mayores inconvenientes de enredarse en el cafeto. La que mejor se adapta a la sombra es el kudzu, leguminosa que está siendo utilizada con buenos resultados como cobertura en los huertos de citricos. Con la misma finalidad, en el área de Santa Cruz, se utiliza soya perenne (*Glycine Estival*).

Los objetivos de los diferentes ensayos en ejecución e investigaciones son los efectos del mulch en el suelo, partiendo de la base de que la materia orgánica, una vez aplicada, a medida que se va descomponiendo produce humus, con los consiguientes resultados sobre diversos casos de suelos. Así, en suelos pesados y semipesados, los hará mas porosos y fáciles de trabajar al añadir aereación al suelo y favorecer, principalmente, la penetración de las raíces, como es el caso de las regiones del Chapare (Departamento de Cochabamba). En suelos livianos, mejorará la estructura física y aumentará la capacidad de retención de agua. Al proteger la capa del suelo, el mulch impedirá o disminuirá considerablemente los efectos de la erosión resultante de la acción del viento y del agua. Es el caso de los Yungas, donde las plantaciones de café tienen pendientes de aproximadamente 10-15%.

Otro de los objetivos de los ensayos en café es el de controlar la erosión hidrica. Para conocer este problema y el explicado anteriormente, el mulch fue aplicado en la proporción aproximada de 10 toneladas por hectárea, teniendo presente que debe renovarse el próximo año. Los terrenos tienen una pendiente de 15%, considerados de suave caída. Se estima que la pérdida de suelo por hectárea, en toneladas, va a llegar a 0,30, lo cual deberá disminuir el próximo año en aproximadamente 0,10 toneladas.

En la región del Chapare (Departamento de Cochabamba), en los años 1965-1967, se llevó a cabo un ensayo en plantaciones de cafeto con dos tratamientos: mulch de banana y malezas dejadas como mulch. En el primer caso, la cosecha de café como uva fresca fue de 30,3 quintales por hectárea. En el segundo, de 12,25 qq/ha. Resultados considerados regulares, por cuanto en literatura se conocen trabajos similares, pero con rendimientos muy superiores (45-53 qq/ha).

El trabajo hubiera teniendo mayor aplicación en la región, pero el desfase de períodos en la renovación del mulch y descuido de los agricultores ha hecho que la plantación de café, en la actualidad, esté cubierta, casi en su totalidad, por malezas, que impiden un buen desarrollo del cafeto.

Abono verde

El contenido de materia orgánica de una gran parte de los suelos de Bolivia es bajo; esto se debe principalmente a prácticas agrícolas deficientes y al mal manejo de los suelos. En estas condiciones se encuentran regiones de importancia agrícola como el valle alto de Cochabamba y principalmente la zona papera del norte de Potosí, que durante años consecutivos soportan la práctica del monocultivo (.cereales y papa, respectivamente), sin que se restituya fertilidad a los suelos.

Los suelos, al ir perdiendo su materia orgánica original, disminuyeron en su capacidad de absorción de los principales elementos nutritivos y de humedad, así como en su flora microbiana, convirtiéndose en suelos pobres, arenosos o pesados. Por lo tanto, se ha visto la necesidad de mejorarlos con materia orgánica y nitrógeno, ya que, inclusive, su falta de nitrógeno puede, en tiempo corto, ser factor limitante para la producción de futuras cosechas. Para tal propósito se tiene pensado recurrir a un cultivo de leguminosas para agregar materia orgánica y nitrógeno a los suelos de las regiones mencionadas anteriormente.

A pesar de no contarse en la actualidad, a nivel nacional, con proyectos del reciclaje de materias orgánicas, en el área de desarrollo agrícola de Santa Cruz se conducen ensayos en campos de agricultores como también en la Estación Experimental "Saavedra".

Los suelos que han sido explotados por cinco o más años con los cultivos predominantes ya mencionados cada vez rinden menos.

Las causas principales que ocasionan esta disminución en los rendimientos son:

- a) La disminución de materia orgánica del suelo y consiguiente deficiencia de los elementos nutritivos asimilables, principalmente nitrógeno.
- b) La invasión de malezas en terrenos habilitados por el sistema de chaqueo obliga al agricultor a abandonarlos después de tres o cuatro años de explotación. Los terrenos desmontados a máquina, donde no se ha seguido un programa eficiente de control de malezas, pronto se cubren de malas hierbas que dificultan la explotación.

Variedades de leguminosas aplicadas como abono verde:

- La mucuna negra, *Stizolobium aterrimum*, probablemente introducida del Brasil: incorpora abundante materia orgánica al suelo e impide el crecimiento de las malezas más persistentes e invasoras, como la bromura o pasto bermuda, *Cynodon dactylon*. Produce abundante semilla.
- Soya, *Glycine max*, varias especies del género *Crotalaria*, especies del género *Indigofera*, Kudzu tropical, *Pueraria phaseoloides*; frijol de puerco, *Conovalia ensiformis*, mucuna blanca, *Stesolobim niveam* y soya perenne (*Glycine Estival*).

La Estación Experimental Agrícola "Saavedra" recomienda la mucuna negra como leguminosa adecuada para abono verde, bajo condiciones de Santa Cruz, por su excelente adaptación y gran producción de materia vegetal y semilla. En el periodo de 1958-59 se iniciaron estudios de abonos verdes con el objeto de determinar las leguminosas que incorporan mayor cantidad de material vegetal al suelo, las leguminosas que después de su incorporación al suelo produzcan mayor incremento del cultivo subsiguiente y, por último, las leguminosas que ofrezcan mayores ventajas por su rápido desarrollo y que puedan cubrir las malezas.

En un experimento llevado a cabo por Angel Cordero (1959) sobre suelo de textura arcillosa que estuvo en explotación con arroz y caña de azúcar durante 6 años, se probaron 4 leguminosas: soya, mucuna negra, mucuna blanca y frijol de puerco. Después, además de la incorporación de leguminosas, se sembró maíz cubano amarillo como planta indicadora de los efectos de la incorporación de abonos verdes. Las raíces de las leguminosas presentaron abundante nodulación de bacterias nutritivas.

Los pesos secos de las leguminosas se muestran en la Tabla 2. Las mucunas incorporaron más cantidad de materia vegetal que las dos variedades de soya y el frijol de puerco. La mucuna blanca incorpora 1,56 t/ha más de materia seca que la mucuna negra, diferencia que es altamente significativa.

El efecto de la incorporación de los abonos verdes sobre el rendimiento del maíz cubano amarillo, sembrado a los tres meses después de volteo de las leguminosas más tardías, se puede observar en la Tabla 3.

La incorporación de mucuna blanca incrementa el rendimiento de maíz en 50,0%, la soya PI 205-912 incrementa en 34%. La soya fue incorporada una sola vez, mientras que las mucunas y el frijol de puerco dos veces.

Tabla 2 - Rendimiento en peso verde y seco de leguminosas empleadas para abono verde

Leguminosas	Invierno 1958-59		Primavera 1959-60		Incremento t/ha
	Peso verde t/ha	Peso seco t/ha	Peso verde t/ha	Peso seco t/ha	
Soya PI 205-912	-	-	28,95	7,09	-1,39++
Mucuna negra	16,70	5,45	26,29	8,48	-
Mucuna blanca	16,33	5,42	30,19	10,04	1,56++
Frijol de Fuerco	27,19	7,02	21,7	5,56	-2,92++

Tabla 3 - Efecto de la incorporación de abonos verdes sobre rendimientos del maíz cubano amarillo (siembra invernal 1960-61)

Tratazientos	Rendimiento de maíz en mazorca t/ha	Incremento t/ha	Porciento sobre testigo t/ha
Testigo	2,12	-	100
Soya PI 205-912	2,85	0,73+	134
Mucuna negra	2,66	0,54+	125
Mucuna blanca	3,19	0,07++	150
Frijol de puerco	2,21	0,09	104

De los ensayos realizados y que actualmente se cumplen en el área de desarrollo agrícola de Santa Cruz, se recomienda la mucuna blanca, *Stizolobium niveum*, para abono verde, sembrado al voleo en la cantidad de 40 a 60 kg/ha de semilla, sembrando convenientemente con las primeras lluvias de primavera con posibilidades de incorporar a mediados de otoño.

En terreno muy enmalezados se recomienda incorporar la mucuna blanca durante dos años agrícolas consecutivos. El primer año se deja que la leguminosa fortifique. La cosecha de semilla se efectúa a mano. Luego se incorpora con arado de disco la abundante materia vegetal acumulada. Al año siguiente se incorpora la mucuna cuando está en plena floración o sea, a mediados de otoño.

Otra leguminosa como abono verde, aunque de poca divulgación, es la soya en su variedad PI 205-912, sembrada al voleo en una cantidad de 60 kg/ha de semilla de óptima calidad. En resumen, el uso de abonos verdes como un medio de mantener y restaurar la fertilidad de un suelo es de considerable valor.

Compost (mezcla de desecho vegetal y estiércol)

En Bolivia, la fabricación del compost se observa rara vez.

Como se ha indicado, el compost es el producto de la mezcla de restos vegetales y estiércol (en pilas bien ordenadas y almacenadas) con el objeto de que sufran la descomposición microbiana mediante la fermentación, convirtiéndose (en tiempo prudencial) en lo que se conoce como "mantillo" o "humus", dependiendo esto del grado de descomposición. Este proceso tiene la gran ventaja de que todos los residuos de la finca se depositan en un solo lugar. Después de procesados se aplican a los cultivos, lo que ayuda a aumentar los rendimientos de las cosechas, modifican las propiedades físicas del suelo y contribuyen a hacer más asimilables los elementos minerales que se encuentran en el suelo.

En las regiones del área de desarrollo agrícola, en el Departamento de Santa Cruz, localidad de Mdontero, por ejemplo, en pequeñas construcciones sin ninguna técnica de cuidado, en el curso de los años 1973-74, se pretendió conservar pilas de compost. Aunque de mala fabricación, tuvo buenos resultados. La aplicación del compost en cultivos de maíz, en el curso de 2 años tuvo, un incremento de aproximadamente 2 t/ha, con relación a los años anteriores.

La cantidad de compost que aplicaban fluctuaba entre 8 y 15 toneladas métricas por hectárea.

Filación biológica del nitrógeno

Los trabajos de investigación sobre este aspecto son aún más escasos. Se cuenta con trabajos en el área de desarrollo de Santa Cruz. En la mayoría son investigaciones con frijol, pero muchas aún no se publican.

Partiendo de la importancia que representa la fijación biológica del nitrógeno como una alternativa al problema de la adquisición de fertilizantes nitrogenados, mediante la asociación leguminosa-Rhizobium, en la actualidad se cuenta con programas para el próximo año agrícola (septiembre 80-81), que reflejan las características e importancia de las leguminosas y no leguminosas, con cultivos para el área de Santa Cruz de frijol, soya y azolla: y para Cochabamba y La Paz, de haba, tarhi y alfalfa.

Conclusiones

1. Los residuos orgánicos animales son empleados en Bolivia de forma tradicional y empírica. Antes de sembrar diferentes cultivos, envale: residuos de vaca, gallináceas y cerdos, para papa y hortalizas. En el oriente: residuos de caballo y vaca, para pasturas. En altiplano: de oveja, llama y alpaca, para papa y hortalizas.
2. Los residuos de gallináceas; en el valle de Cochabamba, se han iniciado trabajos, con programas bases, que permitan en corto tiempo contar con estudios socio-económicos, ampliación de granjas y mejor aplicación de los mismos.
3. El mulch es poco utilizado en Bolivia, pero de los tres tipos, los relativamente empleados son el artificial, a pesar de que económicamente es poco rentable por el costo de traslado, y el mulch vivo para trópico y los Yungas que empieza a tener importancia con la utilización de soya perenne (*Flycine Estival*) y Kudzu (*Pueraria phaseoloides*) en huertos de cítricos, como medio para evitar la erosión hídrica y controlar las malezas.
4. Los suelos en Bolivia van perdiendo su fertilidad debido fundamentalmente al mal manejo de suelos y mala rotación de cultivos. Para trópicos y sub-trópicos, se cuenta con recomendaciones para uso de abonos verdes de 40-60 kg/ha de semilla de mucuna negra y de 60 a 70 kg/ha de semilla de soya en su variedad PI 205-912, con el objeto de incorporar al suelo materia orgánica y nitrógeno.

5. Los Departamentos de Investigación y Extensión del Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (I.B.T.A.) realizan estudios preliminares por zonas agrícolas para la intensificación y sistematización del reciclaje de materias orgánicas.

2. Reciclaje de la materia orgánica en la agricultura brasileña

por

C.A. Vaz, ^{1/} E. Lobato, ^{2/} G. Pereira, ^{1/} J. Pereira ^{2/}

INTRODUCCION

Es conocida la acción banéfica de los fertilizantes orgánicos en la restauración de la fertilidad de los suelos, su influencia principalmente en las características físicas, mejorando su estructura y favoreciendo la retención de humedad. Sin embargo, tal práctica debe ser considerada como complementaria de la fertilización química, que ya ha alcanzado un papel importante en la agricultura brasileña. Una consideración sobre la fertilización química en el Brasil aparece en el Anexo I.

El desarrollo tecnológico permitió que los fertilizantes químicos tuvieran hasta hace pocos años precios relativamente bajos, fueran fácilmente disponibles y aplicables, y con elevada concentración de nutrientes, desestimulando el aprovechamiento de la materia orgánica por los agricultores así como también el interés de los investigadores.

En el Brasil, debido a la elevación del precio de los fertilizantes, ha surgido una conciencia de la necesidad de un aprovechamiento racional de la materia orgánica. Hoy ya se encuentran en el mercado brasileño diversas empresas que comercializan varios productos orgánicos.

La legislación brasileña que controla el comercio de los fertilizantes no incluye el uso de los abonos orgánicos. Esta deficiencia deberá ser corregida en la nueva ley que está en fase final de estudio y debate.

Así; hasta el momento, el productor brasileño de fertilizantes orgánicos sufre una serie de problemas derivados de la falta de legislación sobre su producto, inclusive no existe crédito para su adquisición.

- 1/ Técnicos del Ministerio de la Agricultura, Secretaría Nacional de Producción Agropecuaria (SNAP), Secretaria de Producción Vegetal (SPV), Coordinación de Fertilizantes, Correctivos, Defensivos e Inoculantes, S.A.S. Q.5 Ed. CEPLAC lo Andar, Brasilia, Distrito Federal-Brasil CEP 70 070.
- 2/ Técnicos de la Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados (CPAC) - Planaltina, Distrito Federal, Brasil, Caixa Postal 700023, CEP 73 300.

1. PRACTICAS TRADICIONALES Y MODERNAS DE UTILIZACION DE LA MATERIA ORGANICA

1.1 Residuos animales

Fuente

En el Brasil, son utilizados, en orden de importancia, las deyecciones de bovinos, aves y porcinos. La importancia de este uso crece con el aumento de la densidad demográfica y, por consiguiente, con la intensidad de los cultivos agrícolas. Solamente en casos muy aislados son usados los residuos de otros animales. En las regiones de baja densidad poblacional estos residuos son totalmente despreciados. Sin embargo, con las recientes dificultades energéticas surgidas en el mundo, se espera que la demanda de estos materiales se eleve a niveles considerables en todo el país.

Procesamiento, almacenamiento, conservación y uso

Las deyecciones deben sufrir un procesamiento biológico para que sean aprovechables en la agricultura. La práctica de este procesamiento en el Brasil es muy variada de una región a otra, dependiendo principalmente del material disponible, de su cantidad, de la finalidad, del grado de instrucción y de las tradiciones de los agricultores. Los procesos más comunes son los del composte en sus tres fases diferentes (crudo, bioestabilizado y humidificado): el de la estexcolera y el de la "churumeira", que puede ser de dos formas: líquido, resultante de la estercolera, y la deposición del producto resultante del lavado de los establos lecheros.

Los residuos de aves son procesados con los mismos criterios del composte de bovino. Sin embargo, su uso más generalizado es en la forma cruda.

El almacenamiento y conservación de residuos en el Brasil es poco desarrollado debido al escaso conocimiento que los usuarios tienen sobre el efecto del acondicionamiento en el valor del material orgánico. Así, la mayoría procura usar el material lo más rápido posible después de su acumulación en montículos al aire libre, originando composte de mala calidad. Otros agricultores más organizados protegen el material acumulándolo después de un secado parcial alternando capas de material con restos vegetales para un posterior tratamiento sistemático del composte.

Los estiércoles bovinos y avícolas han sido utilizados en las tres etapas de humificación del composte. En el caso de plantación de frutales y cafetales se utiliza la mezcal suelo-estiércol-fertilizante que es aplicada por lo menos un mes antes. En las etapas de bioestabilizado y humificado, el uso es inmediato y variado. Este último tiene gran aplicación en horticultura y "capineiras". Las deyecciones de origen humano han sido poco aprovechadas en el Brasil.

1.2 Residuos de cultivos

El principal uso de los residuos de cultivos en el Brasil ha sido en la alimentación de los animales. Sin embargo, existen casos en que esta operación es desaconsejable y a veces imposible. Como ejemplo se puede citar el caso de los agricultores que no poseen actividad mixta y también aquellos que cultivan plantas que no se prestan al aprovechamiento de sus residuos mediante la práctica de enterrarlos. Las Tablas 1 y 2 se refieren a la importancia de los residuos culturales.

Los restos culturales, para ser incorporados, dependen del condicionamiento sanitario que se debe dar al próximo cultivo. Con todo se trata de una práctica recomendable en la mayoría de los casos, no sólo como forma de restitución de gran parte de los nutrientes retirados a través del cultivo anterior, sino también como importante elemento mejorador de muchas propiedades del suelo (BAVER, 1930 citado en BAVER 1966; BLACK, 1968; MIYASAKA et al., 1966; FREIRE et al., 1968). Se ha dado poca importancia a esta fuente de material orgánico. Sin embargo, está surgiendo un mayor interés por el aprovechamiento de estos restos, aunque su uso esté lejos de ser el deseado. Tal interés puede ser consecuencia del desarrollo de la población y de los elevados precios de los insumos.

Tabla 1 - Producción de materia seca del abono verde y de los restos culturales (1º y 2º año) y de granos de maíz (3º y 4º año) en kg/ha

Fecha de plantío	Nivel de encalado (t/ha)	Materia seca (a 60° C)							
		Soya		Clotalaria juncea		Arroz		Cobertura natural	
		1 <u>1/</u>	0 <u>2/</u>	1	0	1	0	1	2 <u>3/</u>
1976	1	4733	4733	4775	4775	3496	3496	4825	488
		2771	2947	2636	2409	3813	3067	3743	0
1977	Promedio	3752	3840	3706	3592	3655	3282	4284	244
1976	4	5240	5240	5151	5151	3760	3164	5735	450
		3135	2843	3073	2897	3476	3165	3409	13
1977	Promedio	4188	4042	4112	4024	3618	3165	4572	231
		Granos de maíz (a 60° C)							
1978	1	3499	2073	2997	2109	3375	2482	2106	0
		2267	1772	2108	1840	2354	1801	1702	0
1979	Promedio	2883	1923	2553	1975	2865	2142	1904	0
1978	4	5347	4118	4086	3477	5010	4029	4828	0
		3182	2495	2799	2353	3069	2462	3270	0
1979	Promedio	4265	3307	3443	2915	4040	3246	4049	0

1/ Material incorporado al suelo (sin granos)

2/ Parte aérea de las plantas sacadas de la parcela

3/ Testigo.

Tabla 2 - Niveles de potasio en las hojas, producciones de semillas y respectivas masas vegetales de frejol, correspondientes a los diferentes tratamientos (MIYASAKA et al., 1966)

Tratamiento	Nivel de potasio en las hojas	Producción de		Número promedio de nódulos
		masa vegetal	semillas	
	%	kg/ha	kg/ha	
A - Testigo	0,90	4 050	154	11,5
B - Estiércol	1,12	4 150	250	10,1
Gramíneas				
B - Pasto gordura seco	1,24	4 500	321	11,4
E - Pasto gordura verde	1,83	4 700	379	9,6
D - Paja de arroz seca	2,03	5 050	242	13,3
G - Paja de arroz verde	2,20	5 670	333	13,2
J - Mulche de pasto gordura seco	1,96	6 400	438	13,0
Gramínea y leguminosa				
H - Pasto gordura seco + soya perenne seca	2,32	5 600	450	11,5
I - Pasto gordura seco + soya perenne seca (1/2 dosis)	2,21	5 350	400	17,6
Leguminosas				
K - Mulche de soya perenne seca	2,40	6 650	633	14,7
C - Soya perenne seca	2,98	6 070	625	7,7
F - Soya perenne verde	2,43	7 520	608	10,4
(Tukey 5%)	0,76	2 572	350	5,6
D.M.S. (Duncan 5%)	0,56	1 920	261	-
(Scheffé) <u>1/</u>	*	-	*	-

1/ La prueba de Scheffé fué aplicada en la incorporación entre los grupos de tratamiento con gramíneas y con leguminosas.

Gran número de agricultores están abandonando la práctica de quemar los residuos al comprender que esto les trae pérdidas. Es probable que grandes pérdidas de N_2 (MILLER, 1955; FASBENDER, 1975) y SO_2 por volatilización se produzcan con la quema.

1.3 Cobertura muerta

El uso de cubiertas muertas o inertes es una práctica cultural que, cuando es realizada racionalmente, resulta en grandes beneficios.

En el Brasil, donde la mayor parte del territorio presenta un período de lluvias y otro seco durante el año, la cobertura muerta tiene grandes ventajas: mejora la calidad de los productos, como ocurre en el caso de la producción de frutilla, zapallo y sandía; mejora la productividad del suelo (PACHECO, 1973); prolonga la disponibilidad de agua en el suelo, principalmente en el inicio del periodo seco (BRASIL SOBRINHO, et al., 1959); reduce las variaciones de temperatura del suelo (CERVELLINI y SALATI, 1971); mejora la estructura del suelo (RALVZANI et al., 1971); elimina la posibilidad de aparición de malezas, aumentando la rentabilidad de los cultivos anuales; aumenta la fertilidad de los suelos, mediante la adición de nutrientes de la propia cobertura (MEDCALF, 1956; PACHECO, 1973) y reduce o elimina la posibilidad de erosión (PACHECO, 1973) por el bloqueo del impacto directo de las gotas de lluvia y de la formación de "escorrentias" (Tabla 3).

Sin embargo, esta práctica es de difícil utilización en regiones brasileras con poca mano de obra disponible por tratarse de material distribuido manualmente. El gran volumen de material exigido por superficie puede limitar su propio uso y también perjudicar ciertos cultivos que, al recibir el "mulch", emiten gran cantidad de radículas entre la cubierta muerta y el suelo y que al final del periodo seco son afectadas por la falta de agua, lo que trae grandes perjuicios. Las principales fuentes de cubiertas muertas para cultivos de gran tamaño (caña de azúcar, frutales, café, etc.) han sido las gramíneas (*Melinis minutiflora* Beauv., *Pennisetum purpureum* Schumack, etc.), restos de cultivos Tabla 1 y leguminosas arbustivas (Tabla 4) que son cortadas en la época de la floración (*Crotalaria striata*, L., *Crotalaria paulina* Schrank., *Crotalaria juncea*, L. y *Cajanus cajan*, L.). Estas leguminosas son preferidas debido a que se descomponen más rápidamente y presentan una relación C/N (10-20) compatible con el crecimiento del próximo cultivo.

De cualquier forma la práctica está muy difundida en el Brasil, principalmente en el caso de los cultivos de gran altura. Su uso se concentra más en los estados de San Pablo y Paraná. En el caso de los cultivos de pequeño tamaño (hortalizas) que exigen menores cantidades del material, las fuentes son muy variadas y la difusión de esa práctica es también bastante grande (MENESES SOBRINHO et al., 1974). Para ciertas hortalizas, esta práctica llega a ser una obligación, puesto que su ausencia afecta la calidad del producto.

1.4 Abono verde

Es una práctica agrícola reciente y escasa en el Brasil. Su uso pasó a ser mayor debido a la crisis del petróleo de 1974, cuando los precios de los fertilizantes químicos comenzaron a aumentar en forma exagerada.

La fertilización verde (Tablas 5 y 6 y Figura 1) es realizada preferentemente a través del cultivo de leguminosas apropiadas que, en la época de floración, son cortadas e incorporadas al suelo (Tabla 6). Sus principales beneficios son la producción de materia orgánica, fijación del N atmosférico y activación biológica y química de los nutrientes. Otras ventajas observadas en el Brasil, afirmadas por KAGE (1976) y citadas por PEREIRA y KAGE (1980) son: economía en la adquisición de enmiendas y fertilizantes químicos, en virtud del mejoramiento en las condiciones de aprovechamiento de los nutrientes del suelo (VERDADE, 1956); mejoramiento en la

Tabla 3 - Pérdidas de suelo y agua en el grupo I-DS-57 - Efecto de la cubierta (MORAIS y MELLO NETO, 1976)

Tratamientos		Años						Medias anuales	% de escurrimiento en relación a la lluvia
		1969	1970	1971	1972	1973	1974		
1 - Maíz	T <u>1/</u>	0,037	1,636	0,155	32,590	1,027	6,090	7,443	6,64
	A <u>1/</u>	2,776	38,193	12,923	126,470	12,335	50,623	43,606	
2 - Algodón herbáceo	T	0,127	11,820	8,292	54,355	1,426	8,770	15,195	11,09
	A	8,072	58,650	72,780	157,106	28,879	81,073	72,860	
3 - Mamona	T	0,091	2,421	2,410	6,623	0,003	6,186	3,178	5,70
	A	7,786	32,120	28,524	95,854	0,883	43,066	37,464	
4 - Maíz + Frijol	T	0,052	2,260	1,200	8,643	0,192	5,927	3,275	5,51
	A	3,842	34,591	6,116	109,444	3,790	44,066	36,174	
5 - Soya	T	0,074	1,886	0,930	1,142	0,167	4,468	1,553	3,02
	A	4,054	20,808	8,783	31,577	5,392	39,963	19,817	
6 - Palma	T	0,101	3,394	3,907	8,733	0,002	1,319	3,128	5,08
	A	6,242	50,986	57,898	68,955	0,252	1,721	33,343	
7 - Maíz, Mamona y Vegetación nativa en rotación	T	0,087	7,457	6,388	0,009	0,141	1,139	2,728	5,34
	A	5,595	56,314	59,967	2,304	4,021	30,949	28,521	
8 - Labe-Labe	T	0,084	4,646	0,594	6,935	0,010	2,848	2,709	5,05
	A	5,318	25,325	17,810	81,095	2,502	53,028	33,168	
9 - Capim siempre verde	T	0,069	0,016	0,002	0,002	0,000	0,000	0,017	0,88
	A	4,639	6,740	18,214	2,772	0,000	0,000	5,800	
10 - Capim pangola	T	0,046	0,013	0,000	0,005	0,000	0,000	0,011	0,30
	A	4,738	4,818	0,000	1,442	0,000	0,000	1,971	
Lluvia total		362,6	647,3	565,0	640,9	600,7	849,1	656,9	

1/ T = Suelo en t/ha y A = agua en mm.

Tabla 4 - Producción de materia seca de 15 leguminosas utilizadas como abonos verdes - EMBRAPA/CPAC - (1978)

Leguminosas	Producción (kg/ha)
Crotalaria juncea	10533 a
Canavalia ensiforme	7700 b
Stylobium aterrimum	6858 bc
Crotalaria paulina	6758 bc
Stylobium deeringianum	6392 bc
Crotalaria spectabilis	2250 bcd
Cajanus cajan	5627 cd
Dolichos lab-lab	4667 de
Indigofera tinctoria	2525 ef
Sesbania aculeata	2192 f
Tephrosia candida	1875 f
Stylobium niveum	1358 f
C amopsis psoraloides	604 f
Clitoria fernatea	583 f
Crotalaria grationa	477 f

Tabla 5 - Producciones medias de Maní y de Maíz después de abonos verde con mucuna en kg/ha

Tratamientos	Mani 1945	Maiz 1946	Mani 1947
A - testigo	430	506	436
B - suelo cultivado	633	253	316
C - mucuna	749	316	466
D - mucuna + cal	1.965	1.512	1.262
E - mucuna + harina de huesos	926	310	456
F - mucuna + cal y harina de huesos	1.808	1.562	1.508

Tabla 6 - Abonos verdes para el frijol de secano 1/

	Localidad			
	Botucatu	Jaú	Rib. Preto	Sáo Simáo
Materia verde, t/ha				
Lablabe	9,7	33,0	42,2	43,1
Guandu	14,6	16,7	36,6	23,9
Tefrósia	7,1	2,6	18,8	15,7
Crotalaria	45,5	55,9	68,7	59,2
Sorgo	21,1	66,7	75,0	74,6
Frijol, kg/ha				
Lablabe	375	385	756	611
Guandu	470	325	876	564
TeFrósia	412	302	734	683
Crotalaria	737	367	840	419
Testigo (sin abono verde)	283	240	628	344

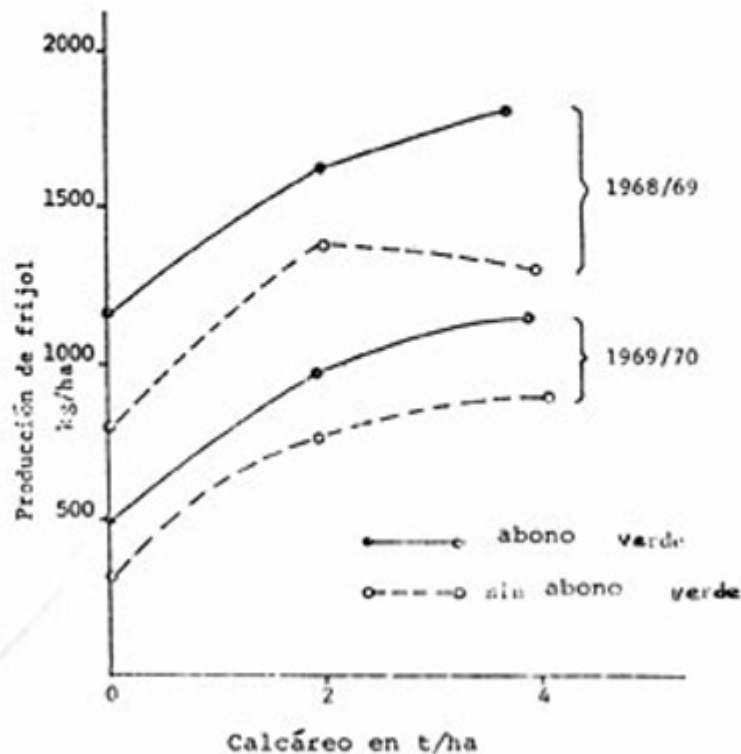
1/ Producciones de materia verde recién cosechada (t/ha) y de semillas de frijol secadas al aire (kg/ha), obtenidas en las experiencias conducidas en las localidades indicadas. Los abonos verdes fueron sembrados en octubre de 1964 y cosechados a los 2,5 a 3 meses de edad. El frijol fue sembrado entre el 12 de febrero y el 4 de marzo de 1965 (MIYASAKA et al., 1966).

Tabla 7 - Efecto del abono verde en el control de nematodos (cedido por KIROFUME KAGE)

Tratamientos	No de pies de algodón atacados	
	Sin Nematicida	Con Nematicida
Sin abono testigo	23	19
Con N.P.K.	21	18,5
Con N.P.K. - Torta	19	19
Con N.P.K. - Mucuna	14	11

Obs. - Número medio de pies de algodón atacados en área de 0,5 m².

Figura 1: Efecto del abono verde en la presencia o no de calage en Goiás (ENGOPA, relación de la EEA 1966/67)



producción y calidad de los productos, lo que permite obtener mejores precios; en los suelos infectados de nematodos se reduce la población de los mismos consiguiéndose gran avance en los rendimientos de los cultivos sucesivos evitándose gastos de nematicidas (Tabla 7); permite el control de la erosión causada por los vientos y lluvias; asegura mejor absorción y retención de agua, disminuyendo los efectos de las sequías; economiza servicios de cultivos y uso de herbicidas, gracias al fuerte sombreado que reduce o impide la proliferación de hierbas dañinas.

La elección del abono verde necesita ser investigada intensamente debido a que las leguminosas, en su gran mayoría, sufren mucha influencia bioclimática (Tablas 8 y 9) y son exigentes en nutrientes. Por lo tanto, es fuertemente dependiente de la región y de cada sistema de manejo en uso. Las leguminosas utilizadas como abono verde deben presentar relación C/N entre 10 y 20 en la etapa de floración para facilitar la acción de los microorganismos en su descomposición, haciéndola más rápida sin originar competencia en la utilización del N por la planta o suelo (MIYASAKA et al., 1965, 1966, 1966a, 1967); deben presentar capacidad de simbiosis con bacterias del género *Rhizobium*; asimilar N atmosférico, reduciendo así la necesidad de fertilización química; permitir colecta y plantío mecanizados, debiendo alcanzar de 1000 a 5000 semillas por kilogramo (KIEHL, 1960); presentar una buena producción de masa vegetal; ser tolerantes a plagas y enfermedades; fácil incorporación al suelo, etc.

En función de la exigencia nutricional de los abonos verdes es necesario que durante el plantío, el suelo presente por lo menos fertilidad media, para que se produzca una buena cantidad de masa verde (VIEGAS et al., 1960; MIYASAKA et al., 1965). Cuando son cultivados en suelos muy pobres, se recomienda que ello ocurra siempre después de un cultivo que haya recibido buen abono químico, para que el residuo lo beneficie.

CAVALERE et al., (1963; MIYASAKA et al. (1965) y muchos otros autores muestran que, en diferentes regiones del Brasil, los cultivos de algodón, maíz, frijol, arroz y soya responden en productividad de modo altamente significativo a los abonos verdes (Tabla 1). Trabajos de FAGUNDES (1953) los llevarán a concluir que, aunque el abonamiento verde no tenga efecto directo sobre la fertilidad del suelo, representa una compensación para el probable desgaste de la materia orgánica en los suelos debido al cultivo continuado.

Otros trabajos como los de NEME (1959); EMBRAPA/CPAC (1978); KAGE (1976), permitieron a los autores PEREIRA y KAGE (1980) elegir los abonos verdes más indicados para la región Central del Brasil (principalmente cerrados): "mucuna preta" (*Stylobolus atterrimus*, Piper y Tracy, *Crotalaria juncea*, L.; *Crotalaria paulina*, Schrank.; frijol de puerco (*Canavalia ensiformis*, D.C.); frijol guandú (*Cajanus cajan*, L.) y Dolichos labe-labe (*Dolichos Lab-lab*, L.).

1.5 Residuos Industriales y urbanos

Residuos industriales

Normalmente los residuos industriales representan graves problemas de contaminación y grandes gastos para evitar dicha contaminación. La transformación de algunos de estos residuos en abonos orgánicos puede ser una solución.

En el Brasil, existen una serie de residuos industriales que son aptos para ser transformados en abonos orgánicos, además de otros que son aprovechados en la fabricación de fertilizantes químicos, como el azufre contenido en la pirita carbonata (subproducto de la mineralización del carbón).

Entre los residuos industriales que pueden ser transformados en abono orgánico se destaca el resultante de la producción del alcohol etílico, conocido como "vinhoto", "vinhaça", "restilo", etc.

Tabla 8 - Epoca de siembra, floración, altura de planta y producción de semillas de guandú en un suelo Podzolizado de Lins e Marilia, var. Lins, de la Estación Experimental de Pindorama (LOVADINI y MASCARENHA, 1974)

Fecha de siembra	Fecha del inicio de la floración	Días para la floración	Altura de las plantas m	Producción de semillas		Total <u>1/</u> kg/ha
				1a. cosecha 29.7.78 kg/ha	2a. cosecha 10.10.68 kg/ha	
15.10.1967	10.04.1968	177	3,26	2547	1743	4290 a
14.11.1967	16.04.1968	153	2,58	2407	1250	3657 ab
14.12.1967	16.04.1968	123	2,35	1433	620	2053 bc
15.01.1968	26.04.1968	101	1,69	2377	840	3217 ab
15.02.1968	10.05.1968	84	1,30	883	587	1470 bc
08.03.1968	07.06.1968	91	1,11	412	147	559 c

1/ Letras no comunes expresan diferencias significativas, por la prueba de Tukey al 5%

Tabla 9 - Resultados de una experiencia de época de siembra para *Crotalaria juncea* L.,
conducida en Campinas (LOVADINI et al., 1970)

Epoca de siembra	Materia Verde	Semillas	Altura media de las plantas
	t/ha	kg/ha	m
1º de noviembre de 1966	39	1250	3,30
1º de diciembre de 1966	29	1270	2,80
1º de enero de 1967	9	650	2,00
1º de febrero de 1967	4	420	1,50
1º de marzo de 1967	2	90	1,00
1º de abril de 1967	3	60	0,70

Otros residuos industri'ales producidos en gran cantidad en el Brasil son:

- a) Residuos de la industria del café soluble para la producción de "compost".
- b) Torta de mamona. Es ampliamente usado en diversos cultivos.
- c) Residuos de preindustrialización de algunos productos agrícolas como paja de café, arroz, etc. En el Brasil, la cáscara de café tiene un aprovechamiento precario. En todo caso, es mayor que el de la cáscara de arroz debido a la dificultad de descomposición de este producto.

Hay una gran cantidad de industrias con subproductos que podrían ser aprovechados: industrias de jugos, dulces, conservas, carnes, pescado, etc. Sin embargo, el precio de mercado de los abonos orgánicos es tan bajo que raramente atrae a los industriales para esta actividad.

Residuos urbanos

Lodo sanitario o de alcantarillado:

El lodo sanitario constituye, en todo el mundo, un Problema de salud.

En el Brasil surgió una mayor conciencia del problema a partir del 1970. Ciudades como Brasilia, San Pablo, Niteroi y Recife ya hacen tratamiento de los lodos. La ciudad de Franca-SP está instalando su sistema de tratamiento que deberá estar concluido en 1982.

Al hacerse el tratamiento de los lodos de una comunidad se obtiene un excelente abono orgánico, como lo demuestran varios autores:

MALAVOTA y ROMERO (1975) dan la siguiente composición para el lodo tratado:

Agua	5 - 10%
Materia orgánica	40 - 60%

N	5 - 6%
P ₂ O ₅	2 - 3%
K ₂ O	0,3 - 0,6%

NETTO y HESS (1970) presentan a continuación la siguiente comparación en cuanto a la composición de diversos lodos:

Fuente	N total (mg/l)	P ₂ O ₅ total (mg/l)	K ₂ O total (mg/l)
Lodo fresco	4.500	2.200	500
Lodo activado	6.200	2.500	700
Lodo digerido	2.200	1.500	500

AMORIN et al. (1979) dan los siguientes resultados de análisis de lodo de las aguas negras de Brasilia:

Fuente	N-NH ₃ (mg/l)	N total (mg/l)	P-PO ₄ (mg/l)	M.O. (mg/l)
Lodo digerido seco	2,0	26,0	1980,0	23.220,0
Lodo digerido líquido	812,0	2.140,0	1330,0	2.100,0

Muchos estudiosos afirman que el nitrógeno contenido en el lodo de las aguas negras es liberado lentamente. En función de esta liberación lenta y en relación a los otros elementos que el lodo contiene, es que las respuestas en los ensayos agronómicos en comparación a los fertilizantes químicos son mejores.

Cuando hay una mezcla de residuos industriales con residuos residenciales, el lodo no siempre puede ser usado en la agricultura. Análisis del material proveniente de la estación de tratamiento de San Pablo indicaron la presencia de metales pesados que lo hacen inapropiado para el uso agrícola. Actualmente, el lodo sanitario de la ciudad se destina a la elaboración de láminas metálicas de tipo liviano para la construcción civil.

El subproducto obtenido de los residuos de las aguas negras de Brasilia, aunque no esterilizado, es aprovechado en los jardines de la ciudad. Hoy se está pensando en la esterilización y secado rápido del producto.

La estación de tratamiento de Franca-SP, con una capacidad de procesamiento de 840 t/día de material seco fue calculada a un costo de Cr\$ 800 millones, aproximadamente 15,5 millones de dólares. Debido a la existencia de grandes industrias de calzados en esa ciudad, será posible usar todo el lodo en la agricultura.

Desperdicios urbanos

El problema del aseo de una ciudad es también un problema sanitario. En el Brasil son pocas las ciudades que poseen plantas de tratamiento de basuras: Belo Horizonte, Río de Janeiro, San Pablo y Brasilia. Las demás ciudades usan el sistema de disponer de las basuras en terrenos baldíos lejos de los centros urbanos.

Este material puede ser transformado en abono compuesto (compost), lo que acontece en las ciudades que disponen de plantas de tratamiento. Sin embargo, resulta un material pobre en macronutrientes. Según MALAVOLTA y ROMERO (1975), su composición media es la siguiente: Materia orgánica = 10 a 30%; N = 0,4 a 0,7%; P_2O_5 = 0,4 a 0,8%; K_2O = 0,8 a 1,6%. La COMLURB (1977) afirma: "El compost, no siendo realmente un fertilizante (contiene aproximadamente 2,5% de NPK y pequeñas cantidades de otros nutrientes), posee un elevado contenido de materia orgánica, razón por la cual ha despertado interés como elemento mejorador de la calidad del suelo".

La composición de los residuos urbanos varía de una ciudad a otra y también entre los barrios de una ciudad. La Tabla 10 muestra la composición física de la basura del Plano Piloto en Brasilia y sus ciudades satélites, y la Tabla 11 muestra la comparación de estos en diversos días de la semana en Brasilia.

Hay varios tipos de tratamiento de basura de una ciudad. Sin embargo, los procesos siguen normalmente la misma rutina:

- a) Separación del papel, cartón y madera y vidrios.
- b) Separación de plásticos (duros y blandos).
- c) Separación de metales.
- d) Separación en cedazos.
- e) Bioestabilizador.
- f) Separación en cedazos.

En Brasilia el producto es empleado en los jardines públicos y por agricultores que compran el producto a Cr\$ 300,00/t (US\$ 6,00). Debido al crecimiento de la población de Brasilia, el gobierno del Distrito Federal estudia la implantación de una nueva planta de procesamiento.

2. FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO

2.1 Leguminosas

La fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico es responsable del suministro de N para ecosistemas en equilibrio, así como también para gran parte de áreas agrícolas.

Gracias a este proceso, en Brasil, en 1979, solamente con el cultivo de soya se dejó de aplicar cerca de 1 millón de toneladas de N en forma de fertilizante, en comparación con otros cultivos en los que se utilizaron aproximadamente 700.000 t de N.

Sin embargo, en la mayor parte de los casos, inclusive en las leguminosas, el potencial para la fijación del N es bastante mayor de aquél que es realmente fijado. Contrariamente a lo que muchos piensan, la simple inoculación de las leguminosas no es suficiente para grandes aumentos de producción, especialmente en las regiones tropicales donde la falta de especificidad simbiótica entre Rhizobium y leguminosas

Tabla 10 - Composición física en porcentaje de la basura en Brasilia durante los días de la semana - (AMORIM, V.P. de AGUIAR, M.I. de 0. (1978)

Composición de la basura	Plano Piloto	Ciudades satélites	Distrito Federal
Papel	25,77	18,73	23,04
Papeles de cartón	3,67	4,80	4,13
Madera	2,65	2,27	2,50
Géneros y estopa	3,40	3,99	3,61
Cuero	0,23	0,55	0,35
Gomas	0,20	0,30	0,24
Plástico duro	0,57	0,32	0,48
Plástico blando	1,89	1,93	1,89
Latas	3,27	2,35	2,89
Hierro	0,26	0,06	0,18
Vidrio	2,91	2,68	2,83
Loza	0,32	0,11	0,24
Aluminio	0,01	0,02	0,01
Otros metales	0,09	0,19	0,12
Huesos	0,61	0,32	0,50
Verduras y frutas	16,06	12,52	14,57
Hojas y flores	2,09	7,12	4,19
Resto de alimentos	1,14	0,74	0,98
Otros materiales	0,13	0,01	0,09
Diversos y tierra	30,12	38,49	33,37
Pérdidas por evaporación y fermentación	4,61	2,50	3,70
Total	100,00	100,00	100,00

Tabla 11 - Composición física en porcentaje de la basura del Plano Piloto y de las ciudades satélites - AMORIM, V.P. de y AGUIAR, M.I. de 0. (1978)

Componentes	Lunes (colecta)	Otros días útiles (colecta)	Días útiles (barrido)	Media semanal
Papel	28,26	21,52	12,97	21,58
Papel cartón	6,58	6,96	7,17	6,99
Madera	1,29	2,00	6,89	3,39
Géneros	2,89	3,02	5,01	3,64
Cuero	0,77	1,15	1,49	1,14
Gomas	0,37	0,31	1,49	0,72
Plástico blando	3,78	4,13	5,46	4,46
Plástico duro	2,43	2,73	4,01	3,06
Latas	4,87	5,37	5,43	5,23
Metal ferroso	0,32	0,57	-	0,30
Metal no ferroso	0,16	0,16	0,51	0,28
Vidrio	3,14	2,62	2,49	2,75
Loza	0,92	0,93	1,49	1,11
Huesos	1,00	1,03	1,49	1,17
Verduras y frutas	21,19	21,71	8,02	16,97
Hojas y flores	4,52	5,42	9,02	6,32
Resto de alimentos	2,09	1,70	1,49	1,76
Agregado fino	8,88	11,33	16,52	12,24
Agregado grueso	6,27	7,34	7,05	6,89

es mucho más común que en las regiones templadas (DOBEREINER, 1978). El manejo adecuado del sistema suelo-planta-bacteria determina aumentos extraordinarios en la eficiencia de la fijación de N. Sin embargo, en especies donde se presenta la falta de especificidad mencionada ha sido prácticamente imposible la introducción de cepas más eficientes de Rhizobium, como por ejemplo, en los casos de siratro (Macroptilium purpureum, P. (Urbi)), Kudzu (Pueraria phaseoloides), Roxb. Benth. var. Javanica (Benth.), Cowpea (Vigna sinensis, L.) y soya perenne (Glycine wightii (R. Grah. ex Wight y Arm.)). Además, en especies que exhiben mayor especificidad como soya (Glycine max (Merrill) L.), Stylosanthes guianensis (Aubl.) SW. y Centrosema pubescens Benth. se puede conseguir mayor eficiencia (DOBEREINER, 1978).

Una vez establecida en un área, difícilmente se podrá substituir una cepa. De ahí la gran importancia en definir adecuadamente la cepa usada por la soya. En áreas nuevas, como la de los cerrados brasileños, esto podrá determinar el éxito o el fracaso del cultivo. Felizmente, la investigación agrícola ha obtenido cepas bastante eficientes para estos casos.

La neutralización de la acidez del suelo y las deficiencias de fósforo y de molibdeno contribuyen a la eficiencia del proceso (SOUTO y DOBEREINER, 1969; FRANCA y CARVALHO, 1970).

Muchas de las leguminosas son capaces de satisfacer sus necesidades de N y también pueden contribuir a satisfacer parte de las necesidades de otros cultivos asociados o que las suceden (MI YASAKA, et al., 1966, 1967).

Segundo DOBEREINER (1967)•, la posibilidad de reforestación con leguminosas ha sido descuidada. Existen varias especies que se prestan para ello y entre ellas se puede mencionar las acacias y otras plantas de la familia Mimosoidae que presentan especificidad de Rhizobium, pudiendo por lo tanto ser inoculadas en los viveros.

2.2 No leguminosas

La mayor parte de las investigaciones en fijación de N en arroz ha sido realizada en Asia, a pesar de que este cultivo es cultivado en toda América Latina. Según las informaciones que tenemos, en Brasil no se ha investigado con "azolla" y algas "verde-azul".

Es útil mencionar aquí la fijación del N atmosférico por gramíneas gracias a su asociación con Azospirillum. Este proceso ha sido constatado en condiciones naturales. Aunque todavía no ha sido posible su utilización en sistemas agrícolas, sus perspectivas de uso son amplias.

3. ASPECTOS ECONOMICOS Y SOCIALES

La composición de la materia orgánica presenta gran variación, en función de su origen y del tratamiento a que ha sido sometida. La Tabla 12 presenta el resultado de algunos análisis de materia orgánica de diversos orígenes, demostrando la variación mencionada.

El valor monetario de la materia orgánica calculado en función de los macronutrientes, en comparación con los precios vigentes en Brasil para fertilizantes minerales, representa un estímulo para su aprovechamiento. La Tabla 13 muestra este valor, considerándose los tenores medios de algunos residuos, que pueden alcanzar hasta Cr\$ 2.255 (US\$ 63,20).

El uso asociado de materia orgánica con fertilizantes minerales podrá representar una reducción sensible del costo de fertilización. La aplicación de 60 kg de N, 120 kg de P₀₅ y 84 kg de K₂₀, serían empleados 3,400 kg de estiércol de corral con tenores de 1,8% N, 1,3% P₂₀₅ y 2,6% K₂₀, suplementados con 76kg de P₂₀₅ bajo la forma de superfosfato, cuesta Cr\$ 4.892,00 (US\$,95,00). Las mismas cantidades de nutrientes, en forma de fertilizantes minerales, tendrían un valor de Cr\$ 10.233,00 (US\$ 198,50).

Tabla 12 - Nutrientes en algunos residuos orgánicos

Nutrientes %	Estiércol de corral seco		Estiércol de aves		Basura urbana		Res. destilería <u>1</u> / lg/hl		Torta filtro de la industria azucarera
N	1,13	- 3,34	1,37	- 5,46	0,40	- 0,69	0,06	- 0,95	0,55
P ₂ O ₅	0,57	- 3,02	0,33	- 6,87	0,62	- 0,73	0,02	- 0,04	0,21
K ₂ O	0,70	- 5,17	0,22	- 2,84	0,75	- 1,59	0,58	- 0,78	0,19
CaO	0,76	- 5,32	1,07	- 9,08	0,70	- 1,00	0,36	- 0,52	3,5
MgO	0,33	- 2,16	0,48	- 1,55			0,10	- 0,16	3,8

Fuente: Mello F.A.F., in: Curso de Nutrição de Plantas, Fertilidade do Solo, Adubos e Adubação
ESALQ/USP/MA - Piracicaba/SP, 1976

1/ Kg de nutrientes por hl.

Tabla 13 - Valor de la materia orgánica por los contenidos de Nutrientes considerando los precios vigentes en el Brasil

M a t e r i a l	Contenido de nutrientes			Cantidad y valor por toneladas							
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		Total	
	%			Kg	Cr\$	Kg	Cr\$	Kg	Cr\$	Cr\$	US\$ <u>1/</u>
Estiércol de corral	1,8	1,3	2,6	18,0	745	13,0	546	26,0	582	1 873	36,36
Estiércol de gallina	3,4	3,6	1,5	34,0	1 407	36,0	1 512	15,0	336	3 255	63,20
Torta filtro caña de azúcar	0,5	0,2	0,2	5,0	207	2,0	84	2,0	45	336	6,52
Res. destilería (kg/m ³)	0,5	0,03	0,68	5,0	207	0,3	13	6,8	152	372 <u>2/</u>	7,22 <u>2/</u>

1/ Valor por m³

2/ Cambio de junio de 1980 CR\$ 51,5 = 1 US\$

Es conveniente mencionar que los precios de los fertilizantes minerales se ven aumentados por el costo de transporte, lo que es de mucha importancia en Brasil debido a las grandes dimensiones del país. La materia orgánica, en cambio, es de producción local.

Las investigaciones sobre utilización de materia orgánica en agricultura no han recibido la importancia que merecen posiblemente por la mayor facilidad de manejo que ofrecen los fertilizantes minerales concentrados. La coyuntura actual de elevación de los precios de los productos, asociado a las necesidades de importación de petróleo por los países que no son autosuficientes y tienen problemas de balanza de pago, ha despertado la conciencia de los investigadores y agricultores sobre la necesidad del reciclaje de la materia orgánica para su aprovechamiento racional, tanto como fertilizante, como para la producción de energía por la biodigestión.

El uso de materia orgánica en piscicultura también merece atención por el gran potencial que representa en la lucha contra el hambre en el mundo. Restos de alimentos, residuos animales y vegetales presentan resultados valiosos en la alimentación de peces directa o indirectamente, por la fertilización del agua para desarrollo de algas alimenticias. Productos de biodigestores han demostrado alta eficiencia en el desarrollo de peces en tanques y pequeños embalses.

En trabajos iniciales en la región de Brasil Central, peces en crecimiento que pesaban de 20 a 50 g en enero, capturados en junio presentaban un peso de 230 a 600 g, alimentados con algas fertilizadas con aproximadamente 10 l/día de productos procesados en biodigestores, en tanques simples con 400 m² de área y profundidad de 1 metro, pudiendo mantener de 600 a 800 peces a razón de 1,5 a 2,0 por m².

Desde un punto de vista social, es fácil percibir la importancia del reciclaje de las materias orgánicas como fuente de empleo, principalmente en países en desarrollo con abundancia de mano de obra no calificada en las zonas rurales. La colecta del material, el procesamiento por el sistema de "compost" y distribución en el campo de cultivo demandan trabajo humano que podrá ser realizado por hombres sin calificación profesional que, por falta de oportunidad de trabajo en áreas rurales, migran a los centros urbanos y pasan a constituir las poblaciones marginales que tanto sufren y provocan sufrimiento en las grandes ciudades. Además, la materia orgánica, después de la fermentación, disminuye su poder de polución, representado por la reducción de la demanda biológica de oxígeno (DBO).

El reciclaje de la materia orgánica en Brasil, hasta hace poco era realizado casi en su totalidad por fermentación aeróbica, acumulándose en depósitos, generalmente al aire libre o en menor escala, para su compostaje.

La escasez de energía de origen fósil ha despertado la atención en el uso de biogas obtenido de la fermentación aeróbica de materia orgánica, que permite usar el producto final como fertilizante. Esta materia será tocada en el capítulo 5.

4. PLANES DE DESARROLLO EN RECICLAJE DE MATERIA ORGANICA EN EL PAIS

Investigación

a. Uso eficiente de fertilizantes orgánicos y minerales para la producción agrícola.

Hasta hace poco tiempo, la mayor concentración de la investigación agropecuaria residió en la adecuación del suelo a las exigencias de los cultivos. Con los costos cada vez más elevados de los fertilizantes, ha habido un mayor énfasis en la búsqueda de plantas más adaptadas a condiciones de más baja fertilidad de suelo y más eficientes en la utilización de los nutrientes, así como también en la utilización de prácticas culturales y microorganismos (ex: micorriza thiobacillus) que permitan un mejor uso de los nutrientes.

- b. Uso de la fijación biológica de nitrógeno para la rotación de cultivos o para áreas nuevas.

La Empresa Brasileña de Pesquisa Agropecuária y otras instituciones de investigación del país vienen desarrollando investigaciones sobre esta materia desde hace varios años, buscando mayor eficiencia de los sistemas ya conocidos como asociaciones de microorganismos fijadores de nitrógeno con planta de interés económico. Tal esfuerzo de investigación llevó a una situación tal que el nitrógeno ya no preocupa tanto como el fósforo, en términos de limitaciones para la producción agrícola. Gracias a la fijación simbiótica del nitrógeno atmosférico, especies como la soya han sido autosuficientes en términos de nutrición nitrogenada y, en varios casos, las leguminosas no solamente fijan el nitrógeno para sí, sino también cantidades suficientes para beneficiar otros cultivos asociados o posteriores. En el caso reciente de expansión de la soya para áreas de cerrado, la investigación ha vencido el problema de la mala nodulación inicial a través de la identificación de razas de *Rhizobium* específicas para las variedades indicadas para el primer año y aumentando la relación inoculante por semillas (1 kg: 40 kg en vez de 0,2 kg: 40 kg).

5. CASOS ESPECIALES

La elevación de los precios de petróleo, a partir de 1973, evidenció la necesidad de diversificación de las fuentes de energía en los países que no producen el precioso líquido. En este sentido, la biomasa se presenta como una de las alternativas para reducir la dependencia de las importaciones por parte de algunos países.

La producción de gas metano por biodigestión y de residuos de destilería de alcohol etílico, son los asuntos que merecen atención especial.

5.1 Biodigestores

Investigaciones en este sentido están siendo conducidas en Brasil (ZETTL et al., 1978), destacándose las que lleva a cabo la Marina del Brasil que ha desarrollado biodigestores utilizando material plástico de bajo costo y fácil transporte, con resultados positivos, usando como materia prima, además de estiércol de corral, plantas acuáticas que normalmente constituyen un problema en los lagos y cursos de agua, *Eichhornia crassipes* conocida como baronesa o aguapé, planta ésta que puede duplicar su peso en 8 días en condiciones favorables.

La materia orgánica, al ser introducida en el biodigestor, conduce un poco de oxígeno, lo que inhibe la acción de las bacterias metanogénicas. Así, inicialmente, ocurre una acción de microorganismos aeróbicos con desprendimiento de CO_2 y reducción del pH del material hasta un valor de 6, para enseguida elevarse hasta 8 cuando la digestión se estabiliza y el proceso funciona de manera continua, adicionándose regularmente materia orgánica al digestor, manteniéndose entonces el pH en torno de 7,5.

El proceso puede ser resumido a tres fases: la primera, por hidrólisis enzimática, los microorganismos actúan sobre el substrato orgánico transformando los polímeros en monómeros solubles. La segunda fase consiste en la acción de otros microorganismos sobre los monómeros convirtiéndolos en ácidos orgánicos volátiles con predominancia de ácido acético, que puede ser responsable de cerca el 70% del metano producido en la fase final, esto es, la descomposición de los ácidos por bacterias metanogénicas.

La temperatura ideal para la producción de biogas se sitúa entre 30 y 40°C, pudiendo realizarse hasta 60°C con acción de bacterias termófilas.

Varios son los residuos orgánicos en uso en la producción de biogas (Tabla 14).

El gas metano producido es de uso doméstico e industrial teniendo de 6.500 a 9.000 calorías/m³.

Tabla 14 - Producción de biogas obtenido de algunas materias primas

Material	Producción de gas l/kg
Estiércol de aves	49
Estiércol de porcinos	76
Estiércol de bovinos	40
Vinaza	20
Plantas acuáticas	18

Tabla 15 - Análisis de la vinaza "in natura", CAMHI, J.D., 1979

Componentes	Porcentaje	
Sólidos totales	4,60	- 8,50
Sólidos orgánicos	3,70	- 6,50
Minerales	0,90	- 2,00
Azúcares reductores (ART)	0,66	- 0,95
Nitrógeno (Keldhal)	0,06	- 0,95
Proteína bruta (N x 6,25)	0,38	- 0,63
Cenizas	1,16	- 1,46
Glicerol	1,58	- 2,62
Gomas	0,08	- 1,00
Fibras	0,03	- 0,05
Grasas	0,50	- 0,12
Ceras	0,01	- 0,03
Sílice (SiO ₂)	0,005	- 0,009
Hierro (Fe ₂ O ₃)	0,01	- 0,05
Aluminio (AL ₂ O ₃)	0,01	- 0,03
Calcio (CaO)	0,36	- 0,52
Magnesio (MgO)	0,10	- 0,16
Fósforo (P ₂ O ₅)	0,02	- 0,04
Sodio (Na ₂ O)	0,004	- 0,007
Potasio (N ₂ O)	0,58	- 0,78
Sulfato (SO ₄)	0,37	- 0,81
Magnesio (MnO)		trazas
Yodo		trazas
Cobre		trazas
PH	4,5	- 5,0

Un m³ de biogas equivale a 1,5 kg de carbón vegetal, 3,5 kg de leña, 0,5 l de aceite diesel y 0,6 l de querosene.

Es importante destacar que el producto de descarga de los biodigestores es usado como fertilizante presentando baja relación C/N, además de macro y micro nutrientes, con tenores en la materia seca semejantes a los materiales introducidos en el biodigestor.

5.2 Residuos de destilería de alcohol

La tecnología actual que ofrece la posibilidad de uso de residuos de destilería de alcohol para la producción de biogas representa para el Brasil una actividad complementaria al programa gubernamental de substitución del uso de combustible líquido de orígenes fósil por alcohol etílico.

El país se encuentra entre los grandes productores de azúcar, que tiene como subproducto el alcohol etílico. Con la elevación de precio del petróleo, producto importado en gran cantidad -cerca de un millón de barriles por día- el gobierno determinó la adición de un 20% de alcohol a la gasolina para uso de vehículos automotores e instituyó el programa nacional de alcohol (PROALCOOL) orientado a substituir al máximo el uso de derivados del petróleo, estimulando el desarrollo de motores para uso de alcohol hidratado y conversión de los motores a gasolina para uso con combustible de origen vegetal.

Como subproducto de la destilación de alcohol resulta la vinaza, cuya media puede ser calculada a razón de 13 litros para cada litro de alcohol.

La meta del PROALCOOL para 1985 es de que sean producidos 10,7 billones de litros por año, lo que producirá, a su vez, cerca de 140 billones de litros de vinaza.

La vinaza es un producto altamente contaminante con demanda biológica de oxígeno (DBO) situada entre 15 a 20g/litro. La carga de contaminación de la red de saneamiento urbano es estimada en cerca de 50 g/habitante/día de DBO. De este modo se puede estimar que una destilería con producción de 240.000 litros/día de vinaza, provocaría polución equivalente a una ciudad con 80.000 habitantes cuyos residuos fuesen lanzados en un curso de agua.

En contrapartida, existe el potencial económico de aprovechamiento, que constituye un desafío para el hombre.

La composición de la vinaza varia en función de la materia prima, tipo de fermentación y tipo de destilación. La tabla 15 muestra resultados de análisis de vinaza resultantes de una destilería que utiliza melaza como materia prima.

Las posibilidades de utilización económica son amplias pudiéndose destacar:

- fertilización de suelos;
- alimentación de animales;
- producción del gas combustible.

La vinaza tiene gran importancia como ración animal y producto orgánico complementario de la fertilización química.

El uso de la vinaza como fertilizante complementario ya es practicado en escala razonable. Se aplica en forma natural en cantidades que varían entre 50 a 200 m³/ha.

La aplicación ha sido hecha a través de canales de irrigación, uso de aspersores (con la vinaza diluida) y más recientemente con camiones provistos de tanques, equipados con bombas para imprimir mayor presión.

Actualmente, se desarrollan estudios orientados a la concentración de la vinaza por evaporación del agua con aprovechamiento de energía solar que hará posible el transporte a mayores distancias.

Como alimento para animales ha sido empleada con gran resultado. Bovinos alimentados con raciones complementadas con 1 a 1,5 kg de vinaza concentrada presentan una ganancia de peso de 750 a 940 g/día (CAMPOS, 1979).

La fermentación de vinaza por diversas levaduras, destacándose *Torula utilis* produce concentrado protéico cuyos análisis demuestran tener 45 a 50% de proteína, con 8 a 10% de humedad, conforme a CAMHI, 1979.

Al ser alcanzada la meta del PROALCOOL serán producidas cerca de 140 billones de litros/año de vinaza, de los cuales cerca del 20% serán de melaza y 80% de caldo de caña. Se estima que la composición media y la capacidad de producción de biogas sea:

Residuos	N%	P ₂ O ₅	K ₂ O%	biogas 1/kg
Vinaza de melaza	0,120	0,020	0,70	27,0
Vinaza de caldo	0,030	0,012	0,130	9,0

Podrían ser producidos:

Residuos	cantidad (producida)	N (t)	P ₂ O ₅ (t)	K ₂ O (t)	biogas 10 ⁶ m ³
Vinaza de melaza	28 x 10 ⁹ l	34.000	6.000	196.000	756.000
Vinaza de caldo	112 x 10 ⁹ l	34.000	13.000	146.000	1.008.000
Total		68.000	19.000	342.000	1.764.000

LITERATURA CITADA

- Amorin, V.P. de y Aguiar, M.I. de.0. As características físicas e químicas do lixo do Distrito Federal. Brasília, Serviço Autônomo de Limpeza Urbana, 1978. 31p.
- Amorin, J.C.G.C.; Silva, F.C. da; Ghagas, J.M. y Alvim, D.R.F. O Lodo digerido como fonte de matéria orgânica e fertilização dos solos. Brasília, CAESB, s.d. 25p. (Trabalho apresentado no 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Manaus 21 a 26 de janeiro de 1979).
- Baver, L.D. Physical Properties of soils and tillage. In: Soil Physic. 3rd ed. New York, J. Wiley, 1966.
- Black, C.A. Soil Plant Relationships. 2 ed. New York, J. Wiley y Sons, 1968. 792 p.
- Brasil Sobrinho, MM. de O.G.; Mello, F. de A.F. y Coury, T. Efeitos da cobertura morta sobre algumas características de um solo plantado com café. In: Congresso Brasileiro de Ciencia do solo, 7. Piracicaba, 1959. Anais ..., Campinas, SBCS., 1971, p.61.
- Camhi, J.D. Tratamento do vinhoto subproduto da destilação de Alcool Brasil Açucareiro, 94 (1): 18-24-, 1979.
- Campos, M.P. de. A situação de campos com relação ao, vinhoto. A utilização deste afluente de destilaria na obtenção de gás metano; impressões de viagem á Austrália. Brasil Açucareiro, 93 (6): 40-2, 1979.
- Cavaleri, P.A.; Fuzzato, M.G. y Freire, E.S. Adubação algodoeira XIV Experiências com mucuna e adubos minerais. Bragantia, Campinas, 22:331-50, 1963.
- Cervellini, A. y Salati, E. Influência da cobertura morta na temperatura do solo (Resumo). In: Congresso Brasileiro de Ciencia do Solo, 7., Piracicaba, 1959. Anais...., Campinas, SBCS, 1971. p.19.
- COMLURB - Companhia Municipal de Limpeza Urbana - Rio de Janeiro-Estudo do Composto produzido nas Usinas de Bangu e Irajá. Rio de Janeiro (Trabalho apresentado no 9º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Belo Horizonte, 1977) 91 p. il.
- Dantas, B. Contribuição do setor agropecuário para a solução da crise energética; 2o parte Brasil Açucareiro, 95 (4): 39-53, 1980.
- Dobereiner, J. y Arruda, J.B. Interrelações entre variedades e nutrição na nodulação e simbiose da soja (Glycine max (L.) Merrill). Pesq. Agropec. Bras. 1967 - 2:475-85.
- Dobereiner, J.; Burris, R.H.; Hollander, A.; Franco, A.A.; Neyra, C.A.; Scott, D.B. Limitations and Potentials for Biological Nitrogen Fixation in the Tropics. New York and London, Plenum Press, c. 1978. v. 10. 398 p.
- EMGOPA - Empresa Goiana de Pesquisa Agropecuária. Estação Experimental de Anápolis-GO (E.E.A.). Arquivos Experimentais do Feijão. (Relatórios abrangendo os anos de 1966-1967).
- EMBRAPA/CPAC - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. Brasilia, DF., Relatório Técnico Anual, 1977/78. Brasilia, 1978. Relatório Técnico Anual, 1978/79. Brasília, 1979. Relatório Técnico Anual, 1979/80. Brasilia, 1980.

- Fagundes, A.B. Adubação e calagem de terras de cerrado. In: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo, 1953. P. 295-304.
- Fassbender, H.W. Experimentos de laboratório para o estudo do efeito do fungo da queima de restos vegetais sobre as propriedades do solo. Turrialba, 25:249-54, 1975.
- França, G.E. de y Carvalho, M.M. Ensaio Exploratório de fertilização de cinco leguminosas tropicais em um solo de cerrado. Pesq. Agropec. Bras., 5: 147-53, 1970.
- Freire, O.; Camargo, O.A.; Toledo, F.F. y Ranzani, G. Estudo da Formação e ruptura de agregados. 1ª série Luiz de Queiroz. Revista de Agricultura, Piracicaba, 43:119-24, 1968.
- Kage, H. Pesquisas Agrícolas em Guaira, SP (.2ª FAIEG): Guaira, SP, Prefeitura Municipal, 1976. p. 26.
- Kiehl, E. Contribuição para o estudo da poda e da decomposição de adubos verdes. Piracicaba. 1960. 113p. (Tese de livre docencia a 13ª cadeira de agricultura geral - ESALQ-USP).
- Lombardi Neto, F.; Bertoni, J. y Benatti Jr., R. Efeito de algumas práticas conservacionistas vegetativas na produção de café. In: Congresso Brasileiro de Ciências do solo, 15., Campinas, São Paulo, 1975. Anais ..., Campinas, 1976. p. 547-50.
- Lovadini, L.A.C. y Mascarenhas, H.A.A. Estudos para definição da melhor época de plantio do Guandú. Bragantia, Campinas, 33:V - VII. 1974.
- Lovadini, L.A.C.; Salgado, A.L.B.. y Miyasaka, E. Efeito de época de plantio e da poda na produção de massa verde e sementes de *Crotalaria juncea* L. Bragantia, Campinas, 29: XXV-XXIV. 1970.
- Malavolta, E. O papel dos nitrofosfatos na agricultura brasileira. Rio de Janeiro, Norsk Hydro, 1980. 37p. (Palestra proferida no Seminário de Tecnologia de Fertilizantes da Norsk Hydro em São Paulo, Brasília e Porto Alegre, em março de 1980).
- Malavolta, E y Romero, J.P. Manual de adubação. 2. ed. São Paulo ANDA, 1975. 346p. il.
- MEDCALF, J.C. Estudos preliminares sobre aplicação de cobertura morta em cafeeiros novos no Brasil. IBEC Research Institute. 1956. (Boletim No. 12).
- MENEZES SOBRINHO, J.A.; Couto, F.A.A.; Medina, P.V.L. y Regina, S.M. Efeito da densidade de plantio de pequenos bulbilhos e do tipo de cobertura sobre o rendimento de alho-plata, em três cultivares de alho (*Allium sativum* L.). Revista Ceres, Viçosa, XXI (117) 349-57. 1974.
- Miller, R.B. Biological and chemical changes following scrub burning on New Zeland Hill Soil. New Zeland Science and Technology, 37B: 290-313, 1955.
- Niyasaka, S.; Camargo, A.P. de.; Inforzato, R. y Igue, T. Efeito da cobertura e da incorporação ao solo, imediatamente antes do plantio de diferentes formas de matéria orgânica não decomposta na cultura do feijoeiro. Bragantia, Campinas, 25:349-363, 1966.
- Miyasaka, S.; Freire, E.S. y Mascarenhas, H.A.A. Efeito da matéria orgânica sobre a produção do feijoeiro. Bragantia, Campinas, 24: LIX-LXI, 1965.
- Miyasaka, S.; Freire, E.S.; Mascarenhas, H.A.A. y Igue, T. Adubação verde, calagem e adubação mineral do feijoeiro em solo com vegetação de cerrado. Bragantia, Campinas, 24:321 a 338. 1965a.

- Miyasaka, S.; Mascarenhas, H.A.A.; Nery, C.; Cazanpana, M. y De Sordi, G. Efeito da adubação verde com uma gramínea e quatro leguminosas sobre a produção do feijoeiro da "seca, em terra roxa misturada. *Bragantia*, Campinas, 25:277-288, 1966a.
- Miyasaka, S.; Freire, E.S.; Igue, T.; Sobrinho, J.T. y Almeida, L.D. Respostas do feijoeiro à aplicação de diversos tipos de matéria orgânica não decomposta na presença de adubos minerais com P, PK, NP, ou NPK. *Bragantia*, Campinas, 26:335-344, 1967.
- Morais, E. y Mello Netto, A.V. Observações gerais sobre as perdas por erosão na zona do agreste de Pernambuco. In: Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, 15., Campinas, São Paulo, 1975. *Anais*. Campinas, 1976. p. 563-9.
- Neme, N.A. Leguminosas para adubos verdes e forragens. Campinas, IAC, 1959, 28p. (IAC. Boletim, 109).
- Netto, A.J.M. de y Hess, M.L. Tratamento das águas residuais *Revista DAE*, São Paulo, Brasil. 1970 p.80.
- Pacheco E.B. Efeito do manejo de um latossolo vermelho amarelo fase cerrado sobre o crescimento e rotação da laraneira (*Citrus sinensis* Osbeck cv "Baianinha"). Viçosa, UFV, 1973. 52p. (tese MS).
- Pereira, G. Análise da situação dos fertilizantes e previsões para 1985.- CPRI - SUPLAN/MA; mimeog. 83 pag- Brasília 1979.
- Pereira, J. y Kage, H. Manejo da matéria orgânica em solos de cerrado. In: Simpósio sobre o cerrado, 5., Brasília, 1979. Cerrado: uso e manejo, Brasília, Editerra, 1980. p. 581-91.
- Ranzani, G.; Freire, O.; Kiehl, E.J.; Cesar, C.M. y Silva, J.V.C. Influência da cobertura morta sobre a estrutura do solo (Resumo). In: Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 7., Piracicaba, 1959. *Anais...*, Campinas, SBCS, 1971. p.16.
- Souto, S.M. y Dobereiner, J. Fixação de nitrogênio e estabelecimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica* L.) com três níveis de fósforo e de cálcio, em solo com toxidez de manganês. *Pesq. Agropec. Brasileira*, 4:59-66, 1969.
- SLUPLAN/MA - Ministério da Agricultura. Secretaria Geral. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola. Perspectivas da Agricultura Brasileira para 1978-79. Brasília, 1978. 121p.
- Verdade, F. da C. Influência da matéria orgânica na capacidade de troca de cátions do solo. *Bragantia*, Campinas, 35:35-42, 1956.
- Viegas, G.P.; Gargantini, H. y Freire, E.S. Adubação do milho XII Efeito de mucana, do calcário e de outros adubos sobre as propriedades químicas do solo. *Bragantia*, 19:91-100, 1960.
- Zettl, B.J.E.; Bastos Netto, D.; Ramos, A.M. y Muniz, A.C. Dióxido de carbono e ulares de metano. Rio de Janeiro, Instituto de Pesquisa da Marinha, 1978.. 8p. Instituto de Pesquisas da Marinha, 124).

CONSIDERACIONES SOBRE ABONOS QUIMICOS EN BRASIL

La importancia de los fertilizantes en la actual circunstancia y en el futuro de la agricultura brasileña es innegable debido a una serie de factores tales como: suelos para agricultura de baja fertilidad, en general; grandes áreas cultivadas (culturas extensivas); grandes distancias para transitar; mayor conocimientos del uso de abonos químicos que del uso de abonos orgánicos, etc.

El consumo de fertilizantes con relación a nutrientes (N; P_2O_5 ; y K_2O) aumentó grandemente en las últimas dos décadas pasando de 260.000 t en 1960 a 998.600 t en 1970 y a 3.547.700 t en 1979. La cantidad de nutrientes usada por unidad de área cosechada creció de aproximadamente 10 kg/ha en 1960 a 27.8 kg/ha en 1970 y cerca de 73 kg/ha en 1979. Sin embargo es necesario resaltar que las necesidades reales de fertilizantes son bien superiores al consumo actual. Según estima Malavolta (1980), las necesidades reales de fertilizantes en el país (área cultivada por recomendación media de abono por cultura) en 1979 sería de 7 a 8 millones de toneladas de nutrientes.

El SUPPLAN/MA (1978) estima que el cincuenta por ciento (50%) del consumo de fertilizantes en Brasil se concentra en tres cultivos: café, soya y caña de azúcar. Si a éstos se agrega el consumo de fertilizantes en trigo, arroz y maíz, la cantidad representaría cerca del 72% del consumo total. Todos estos cultivos son de gran importancia para la política actual del gobierno, dado que los dos primeros producen los principales granos para exportación y él tercero garantiza la producción de azúcar y también constituirá el soporte básico para el PROALCOOL, cuya meta es alcanzar una producción de 10.7 billones de litros de alcohol en 1985. Los tres últimos son básicos para el abastecimiento interno.

El uso de los fertilizantes químicos en aquellos cultivos, aumenta, por un lado, su rendimiento por área cultivada y, por otro, aumenta la dependencia externa en la importación de fertilizantes, por lo menos hasta cuando los complejos industriales en implantación se consoliden.

En 1979, Brasil importó el 57% de los fertilizantes consumidos en la fabricación de abonos comerciales. Se espera, según Pereira (1979), que en 1982 tales importaciones no pasarán la cifra del 30% del total estimado para el consumo de ese año (4,8 a 5,0 millones de toneladas de nutrientes), importando prácticamente fertilizantes Potásicos. En relación a cada uno de los nutrientes, las importaciones brasileñas de fertilizantes, en 1979, alcanzaron la totalidad de los potásicos, 63% de los nitrogenados y 24% de los fosfatados. Estas importaciones totalizaron 1.959.000 toneladas de nutrientes en 1979, con un costo (FOB) para cada país de aproximadamente 422,4 millones de dólares (sin incluir el costo de transporte y seguros).

A pesar del gran esfuerzo promovido por Brasil, la dependencia de materias primas para fertilizantes es aún muy grande. Así, en 1979, produjo 322 mil toneladas de amoníaco, pero importó 157 mil toneladas por un valor (FOB) de cerca de 20 millones de dólares.

La producción de ácido fosfórico (100% P_2O_5) fue de 174 mil toneladas, pero la importación fue de 616 mil toneladas, lo que representa un gasto de divisas (FOB) de 186 millones de dólares. La producción interna de fosfato de roca alcanzó 668 mil toneladas de P_2O . Las importaciones llegaron a 291 mil toneladas de P_2O_5 , lo cual costó (FOB) cerca de 38 millones de dólares.

El azufre es casi en su totalidad importado. El gasto de divisas (FOB) para esta materia prima alcanzó, en 1979, 26 millones de dólares. Se estima que Brasil necesitará cerca de 1.000.000 de toneladas de azufre en 1983. Se espera para entonces contar con una considerable producción interna de esta materia prima, considerados los trabajos que se desarrollan en tal sentido:

- a) Investigaciones en el área de producción de azufre elemental;
- b) Aprovechamiento del azufre contenido en la pirita carbonosa o en el betún;
- c) Producción de ácido sul.fúrico a partir de residuos industriales (SO₂).

El proyecto de potasio de la Petrobras Mineração sólo entrará en funcionamiento en 1983 con la producción de aproximadamente 310.000 t/año de K₂O, al paso que el consumo nacional actual es del orden de un millón de t/año.

Debido a la variación de precios durante el año de 1979 y a algunas adquisiciones realizadas por debajo del precio máximo estipulado por el gobierno, es difícil estimar con exactitud los gastos de los agricultores brasileños en fertilizantes. Sin embargo, para dar una idea aproximada de tal valor, tomemos como hipótesis la consideración de que todos los fertilizantes consumidos en 1979 en Brasil fueron comprados y pagados a precios vigentes en septiembre de ese año. De acuerdo con esta suposición, los agricultores brasileños gastaron en fertilizantes químicos 70,7 billones de "cruzeiros", o sea, cerca de 1,4 billones de dólares al cambio actual. 1/

3. Reciclaje de materias orgánicas en la agricultura colombiana por

R. Lora Silva 2/

1. INTRODUCCION

Como ocurre en la mayoría de los países latinoamericanos, la agricultura colombiana afronta actualmente problemas con respecto a la disponibilidad de algunos fertilizantes, principalmente nitrogenados, debido a que este nutrimento limita la producción de alimentos en vastas áreas del país. Los investigadores han dirigido la atención hacia la disponibilidad del nitrógeno y hacia los medios más económicos para proveerlo y suplir la necesidad de los cultivos.

Los trabajos sobre fertilización llevados a cabo en Colombia indican que las respuestas al nitrógeno se presentan principalmente en las regiones más cálidas del país. Las zonas de clima cálido son las más importantes, debido a que ocupan la mayor parte del territorio nacional y a que en ellas se explota una diversidad de cultivos de gran importancia para la economía colombiana (3).

En las regiones frías del país, a pesar de que los suelos tienen un contenido elevado de materia orgánica, también se presentan respuestas al nitrógeno, lo cual probablemente es causado por una baja cuota de mineralización o a problemas de erosión (7).

Por su parte, la agricultura tecnificada y las nuevas variedades e híbridos de mayor rendimiento están demandando mayores requerimientos de nutrición, las cuales rara vez son suministradas por los suelos no fertilizados, especialmente si se han cultivado durante varios años sin manejo adecuado.

1/ Cálculo - 785.301 t de N, a Cr\$ 22,662/kg; 1.567.394 t de P₂O₅ a Cr\$ 22,755/kg; 108.017 t de K₂O, a Cr\$ 10,915/kg y 8.594.280 t de la mezcla, a Cr\$ 625,30/t.
Cambio: US\$/Cr\$ 51,645.

2/ Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario.

Es de anotar igualmente que para el año de 1980 los denominados fertilizantes químicos tanto primarios como compuestos sufrieron un aumento del 40%, lo cual seguramente incidirá sobre el empleo de este insumo en la agricultura del país, principalmente en aquéllos cultivos de bajo valor.

Lo anterior demuestra la necesidad de utilizar técnicamente otros materiales capaces de suministrar nutriciones esenciales como los estiércoles, residuos de cosecha, residuos de albañal, la utilización de la fijación simbiótica y asimbiótica de nitrógeno, etc.

2. FERTILIZANTES ORGANICOS NATURALES

2.1 Los abonos verdes

El empleo de los abonos verdes consiste en incorporar al suelo material verde no descompuesto con el fin de mejorar algunas de sus propiedades físicas, aumentar el contenido de materia orgánica y suministrar algunos nutrimentos. Cualquier planta puede servir como abono verde, pero las más apropiadas son las leguminosas por su alto contenido de nitrógeno. En algunos casos el abono verde sirve como cultivo de cobertura para prevenir la erosión del suelo.

El cultivo de plantas para abono verde, debe considerar siempre el aspecto económico, especialmente donde el precio de la tierra es elevado. En muchos casos la substracción de terreno que podría dedicarse a otros cultivos que dieran beneficios económicos durante una parte del año es una dificultad seria.

En Colombia, el empleo de abonos verdes es relativamente bajo. Algunas de las leguminosas que han sido utilizadas son la *Crotalaria juncea*, *Centrocema púbcens*, *Desmodium triflorum*, *Dolichos biflorus*, *Pueraria phaseoloides*, *Glycine max* y *Vigna sinensis*.

En suelos aluviales del Departamento de Antioquia, el maíz en rotación con soya para incorporar como abono verde mantuvo rendimientos de 5 a 6,5 t/ha de grano sin aplicación de nitrógeno. Los rendimientos sin aplicación de nitrógeno fueron de 2-3 t/ha. Debe recordarse que con el maíz en rotación solo puede obtenerse una cosecha al año. La aplicación de 80 kg de N/ha reemplazó en el maíz los efectos del abono verde (11). Por su parte, en la estación experimental de Nataima se ha encontrado que los abonos verdes pueden disminuir las aplicaciones de nitrógeno en cultivos de arroz del Valle del Tolima. Actualmente, en zonas de clima cálido, de altitudes por debajo de 1000 m s.n.m., el Instituto Colombiano Agropecuario está investigando el empleo del Cowpea (*Vigna sinensis*) como abono verde. La ventaja de esta leguminosa es su rápido crecimiento y la alta producción de material para incorporar, lo cual no interfiere con las dos cosechas de cultivos agrícolas anuales, ya que solamente se requieren de 40-45 días después de la germinación para que la leguminosa esté lista para incorporar.

2.2 Estiércol animal

En Colombia grandes cantidades de estiércol se están utilizando principalmente en el cultivo de ciertas hortalizas.

En el país se siembran alrededor de 60.000 hectáreas por año a las cuales se les aplica un promedio de 5 t/ha de estiércol. Si se cuentan otros cultivos, el consumo anual de estiércol animal es alrededor de 350.000 toneladas métricas.

2.1.1 Recolección

Cuando el abono procede de la industria avícola, al producto se le denomina gallinaza, y es recolectado directamente en los galpones con un contenido

de humedad relativamente.bajo. Es de anotar que la composición es heterogénea, pero en general, el contenido promedio de nutrimentos en base seca es:

N: 2,86%
P: 1,29%
K: 1,29%
Ca: 0,39%
Mg: 0,073%
CN: 18,6

El estiércol de ganado vacuno procede de los establos o es recolectado directamente en los protreros y llevado a las zonas de consumo. Por lo general, el manejo que el agricultor da al abono orgánico desde el punto de vista de recolección y almacenamiento no es el más adecuado, pues, por ejemplo, en muchos casos el material permanece en montones expuestos al sol y a la lluvia con.las consecuencias que ésto puede ocasionar.

2.2.2 Aplicación

En la mayoría de los casos el abono es aplicado en el momento de la siembra. En otros casos se incorpora al suelo algunos días antes de la siembra. Actualmente, en algunas zonas del país, como el Valle del Cauca, es práctica común para pastos aplicar por medio de máquina, una aspersión de abono, principalmente después del corte o pastoreo, con resultados bastante buenos.

2.3 Estiércol artificial

En Colombia una buena parte de la explotación agrícola se realiza en unidades bastante pequeñas. Los residuos de las cosechas son utilizados para obtener composte, que es un abono orgánico que ha dado buenos resultados. En la ciudad de Medellín existe una planta de tratamiento de basuras que permite obtener un producto final con la apariencia de un buen composte, y el cual está siendo utilizado principalmente en cultivos hortícolas. Posiblemente en Bogotá y algunas ciudades intermedias se ejecutarán proyectos similares a los de Medellín, con lo cual se solucionará el grave problema de las basuras y se producirá abono para agricultura.

2.4 Resultados obtenidos con estiércoles y composte

Investigaciones llevadas a cabo en Colombia sobre el empleo de estiércoles y composte han mostrado resultados variables. Chung (1), en suelos aluviales del río Cauca, encontró que la orina de vacas en pastoreo continuo es inefectiva para mantener la fertilidad de la pastura, a no ser que se modifique el sistema de pastoreo, de tal manera que la distribución de las micciones sea uniforme. Higueta (4), en un inseptisol de Cundinamarca, encontró respuestas elevadas a la aplicación de abono de establo a cebolla, coliflor y remolacha, tal como se observa en la Tabla 1.

Rodríguez y Lobo (12) investigaron la influencia de la gallinaza en la producción de hortalizas en suelos volcánicos de Antioquia y Caldas. La aplicación de gallinaza y fertilizante químico aumentó significativamente la producción. Es de anotar que los suelos son bajos en bases y fósforo, muy ácidos y con alto contenido de materia orgánica.

En suelos volcánicos de Antioquia, Rodríguez (13) encontró respuesta altamente significativa a la aplicación de 10 t/ha de gallinaza, con resultados superiores a los obtenidos con la aplicación de una t/ha del fertilizante 10-30-10 en el cultivo de la papa.

Tabla 1 - Efecto del abono de establo en el rendimiento de varias hortalizas en un suelo de la serie Tibaitatá (Higuita, 1973)

Abono de establo t/ha <u>1</u> /	Cebolla	Coliflor Rendimiento en kg/ha	Remolacha
0	20.440	15.000	35.110
8	20.920	30.120	37.040
10	26.500	36.700	41.600

1/ Se aplicaron 50, 150 y 60 kg/ha de N, P₂O₅ y K₂O respectivamente.

Quintero (10), en suelos cebolleros del Norte de Santander, caracterizados por bajo contenido de materia orgánica, textura arcillo-arenosa y alto contenido de P y K, encontró que un nivel de 10 t/ha de estiércol de vacuno es adecuado para este cultivo, junto con 75 y 50 kg/ha de P₂O₅ y K₂O respectivamente.

3. FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO

Hasta hace pocos años en Colombia era muy poca la práctica de inoculación de leguminosas para promover la fijación del nitrógeno. Actualmente se está incrementando esta práctica y se llevan a cabo investigaciones por parte de Entidades como el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) y el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). Morales y colaboradores (6) estudiaron el efecto de la inoculación y el revestimiento de la semilla con CaCO₃, roca fosfórica y escorias Thomas, en la nodulación de varias leguminosas en un oxisol de los Llanos Orientales: Las leguminosas fueron frijón, estilosantes, caupí y acacia forrajera. Los resultados mostraron una buena respuesta a la inoculación de todas las leguminosas investigadas; el revestimiento de la semilla mejoró la nodulación en el frijón y la acacia; y en estilosantes. y caupí a bajos niveles de enclamiento.

El ICA (5) ha medido la efectividad de varios inoculantes comerciales en la formación de nódulos y en el rendimiento de la soya. Es de anotar que muchos de los inoculantes comerciales no han funcionado. Varela y Munevar (14) estudiaron bajo invernadero el comportamiento de nueve cepas de *Rhizobium Japonicum* asociados con variedades de soya (*Glycine max*) seleccionadas para el Departamento del Tolima. Los resultados permitieron comprobar que existe una alta especialidad entre las cepas de *Rhizobium* y las variedades de soya. Las cepas CIAT 1 y 51 fueron las menos afectadas en su comportamiento por el genotipo de planta; dieron los más altos porcentajes de nitrógeno en el tejido aéreo y el mejor peso de nódulos y materia seca; por lo cual son recomendables para la preparación de inoculantes para las variedades y suelos incluidos en el estudio.

Las asociaciones de gramíneas y leguminosas es una práctica común e importante entre los ganaderos del país. En zonas de clima frío la leguminosa utilizada es el trébol, el cual es inoculado con la cepa CIAT-61 con buenos resultados junto con la aplicación de 50 kg/ha de azufre.

En relación a la fijación no simbiótica del nitrógeno actualmente casi no se tiene información al respecto.

4. CAPACITACION Y RECOMENDACIONES

El ICA y otras entidades, en sus cursos sobre empleo de fertilizantes, toca los aspectos relacionados con abonos orgánicos y fijación de nitrógeno. Se anota, sin embargo, que es necesaria más investigación, más capacitación para el pequeño y grande usuario del sector agropecuario, el establecimiento de un buen laboratorio para la evaluación y control de los inoculantes y la preparación de más profesionales en aspectos relacionados con fertilizantes químicos y orgánicos, microbiología de suelos, etc., que permitan un empleo más eficiente de las fuentes orgánicas de nutrición en la agricultura, especialmente en los tiempos actuales en que el fertilizante químico está adquiriendo costos elevados día tras día.

LITERATURA CITADA

1. Chung, G.M., 1972. Efecto de la orina depositada por vacas de pastoreo sobre la fertilidad del suelo. Tesis de M.S. Bogotá, Universidad Nacional - Instituto Colombiano Agropecuario.
2. Galiano, F. y Rodriguez, E., 1963. El abono orgánico de basuras urbanas en los cultivos de hortalizas. Bogotá, Tecnología V (24) 15-23.
3. Gomez, J., 1972. El nitrógeno en cultivos de climas cálidos. Suelos Ecuatoriales (Colombia) IV (2): 241-265.
4. Higueta, F., 1973. Respuesta de la coliflor, la cebolla y la remolacha al abonamiento químico y orgánico. Tesis de M.S. Bogotá, Universidad Nacional - Instituto Colombiano Agropecuario.
5. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Leguminosas de grano, 197G. Efectividad de inoculantes en soya. Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Nataima y Turipaná.
6. Morales, V.M., Graham, P.H. y Cavallo, R., 1973. Influencia del método de inoculación y encalamiento del suelo de Carimagua en la nodulación de leguminosas. Turrialba 23 (1): 52-56.
7. Navas, J., 1972. El nitrógeno en cultivos de clima frio. Suelos Ecuatoriales IV (2): 277-300.
8. Osorio, J., 1977. Respuesta de dos variedades de repollo (*Brassica Oleracea* var. capitata L.) a la fertilización química y orgánica. Tesis de M.S. Bogotá, Universidad Nacional - Instituto Colombiano Agropecuario.
9. Parra, H.J., 1962. Fabricación del composte a partir de basuras urbanas. Cenicafé, 13: 55-68.
10. Quintero, R., 1978. Respuesta de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.) a la fertilización química y orgánica, en la zona de Ocaña, Norte de Santander. En: Programa Nacional de Suelos. Informe de Progreso, 1978.
11. Rodriguez, M., 1972. Algunos aspectos del cultivo del maíz (*zea mays*) I. Rotación y uso de abonos verdes en el cultivo del maiz en suelo aluvial. Revista ICA-VII (2): 89-103.
12. Rodriguez, M. y Lobo, M., 1972. Fertilización de hortalizas en suelos volcánicos en Antioquía y Caldas. Revista ICA VII (3): 219-232.

13. Rodríguez, M., 1973. Fertilización de la papa en Antioquía. Instituto Colombiano Agropecuario. Programa de Suelos, Medellín.
14. Varela, D. y Munevar, F., 1978. Comportamiento de cepas de Rhizobium Japonicum, asociados con variedades de soya (Glycine max) seleccionadas para el departamento del Tolima. Revista ICA XIII (2) 249-255.

4. Compostaje y uso de residuos orgánicos en Costa Rica

por

G. Ramirez 1/

1. COMPOSTAJE

En realidad, el compostaje no ha sido práctica corriente en las explotaciones agrícolas de Costa Rica. Por lo general, sólo un bajo número de agricultores realizan el compostaje en pequeñas fincas, especialmente las dedicadas tanto a la agricultura como a la ganadería, especialmente ganado de leche. El bajo precio de los fertilizantes en los años cincuenta y sesenta, contribuyeron a desalentar a los agricultores respecto del empleo sistemático de los abonos orgánicos, pues este demanda mano de obra.

Sin embargo, el rápido ascenso experimentado en los precios de los fertilizantes y una mayor conciencia sobre el agotamiento de las materias primas de fertilizantes en el mundo, han revivido el interés por el uso racional de los residuos orgánicos y ésto debe ser impulsado por los gobiernos locales y nacionales.

2. USO DE LOS RESIDUOS ORGANICOS

Los residuos orgánicos geñerados por las actividades agrícolas y ganaderas los podemos clasificar en vegetales y animales. Ellos se producen in situ o bien en lugares donde los productos son elaborados, como por ejemplo: beneficios de café e ingenios de azúcar. En general, se calcula que los residuos de cosecha (parte aérea sistema radical) alcanzan de 1 a 2 t/ha para los cereales y de 2 a 5 t/ha para las leguminosas. Esta última clase de cultivos supera en gran medida a los cereales en la cantidad de residuos del sistema radical.

Por lo general, los residuos de cosecha se incorporan al suelo mediante maquinaria. En el caso del arroz, buena parte de la paja se utiliza en la alimentación del ganado, mientras que con el maíz, especialmente en explotaciones pequeñas, los residuos son quemados.

En las explotaciones ganaderas, el estiércol es depositado en toda la extensión de los campos, pues no se acostumbra mantener los animales en establos. De esta manera, no se presentan acumulaciones grandes de estiércol. Los excrementos que se acumulan en las lecherías durante el ordeño, son lavados diariamente y, mediante un desagüe, van a dar a los pastizales. En las explotaciones de cerdos los excrementos se lavan también diariamente y son conducidos a una acequia o río cercano, contribuyendo así a la contaminación de ellos. Por cada litro de leche y kg de carne, se producen 1,5 kg y de 1,5 a 6 kg de estiércol húmedo respectivamente (8).

1/ Unidad de Suelos, Ministerio de Agricultura y Ganadería, San José, Costa Rica.

3. LA PULPA O BROZA DEL CAFE

La pulpa de café representa el epicarpio o pslicula roja exterior y la casi totalidad del mesocarpio o capa de tejido blando, hialino que rodea el endocarpio o pergamino. La pulpa de café se desprende en la primera etapa del beneficiado y a ella corresponde alrededor del 43% del peso fresco del fruto del café, equivalente al 28% en base seca (1). En la Tabla 1 se presenta la composición química de la pulpa de café y se puede apreciar que gran parte del contenido mineral corresponde a potasio.

Tabla 1 - Composición de la pulpa de café (de acuerdo con Bressani, 1, 5)

Humedad	79,5%
Materia orgánica	86,5-88,5
(hallada por diferencia)	86,5-88,5
Cenizas	8,3-10,5
P	0,10%
Ca	3,03%
Mg	0,05%
Fe	100-200 ppm
Silice	0,27%
N (menos N de la cafeína)	1,25-1,68%
Proteína	8-16%
Cafeína	0,7%
Taninos	1,85%
Acido clorogénico	0,60%
Acido cafeico	0,24%

Según informes de la Oficina del Café (2) la producción 1979-1980 alcanzó aproximadamente 90.000 toneladas métricas de café oro. De esto se desprende que la producción de pulpa (80% de humedad) en ese periodo fue de 232.200 tm, lo cual corresponde a 46.440 tm de pulpa seca. En la Tabla 2 se muestran las cantidades de elementos nutritivos contenidas en la pulpa. Como se puede observar las cantidades son considerables y llaman a la meditación sobre lo conveniente de su reciclaje.

Experiencias realizadas por algunos agricultores indican que la pulpa descompuesta es un excelente abono y se puede usar de 5 a 10 kg por arbusto de cafeto. También experimentos realizados en nutrición animal han demostrado que la pulpa de café puede usarse de 25 a 40% del total de la ración sin ningún problema (4). Sin embargo, el uso de la pulpa de café en Costa Rica es aún más bajo, pero ya se tienen proyectos serios para utilizar este producto especialmente en la alimentación animal (4). Lo tradicional ha sido lanzar la pulpa a acequias y ríos, produciéndose así una gran contaminación del ambiente.

Tabla 2 - Cantidades totales de elementos nutritivos contenidas en la pulpa de café del período 1979-1980

Elemento	Cantidad en kg
P	46.400 (112,752 P ₂ O ₅)
K	1.405.920 (1.689.100 k ₂ O)
C ₂	116.000
Mg	23.333
Fe	4.640-9.280
Sílice	12.638
N (no se incluye N de la cafeína)	580.500-780.192

4. GALLINAZA

La gallinaza se compone de las deyecciones de las aves de corral, del material usado como cama que, por lo general, son desechos de madera, y la cal que en pequeña proporción se coloca en el piso. El excremento diario de cada ave representa alrededor del 5% de su peso corporal (8). Se estima en 15.000 tm por año la gallinaza producida en las explotaciones avícolas de Costa Rica. Este material tiene una alta demanda de parte de los agricultores y se utiliza como abono en los más diversos cultivos, especialmente en café y hortalizas. En las Tablas 3 y 4 se muestran algunas características de una gallinaza típica madura, obtenida en una granja avícola de Costa Rica. Se observan las adecuadas relaciones C/N y C/P, lo cual permite su uso directo en el campo.

Prácticamente toda la gallinaza producida es utilizada y ella constituye un ejemplo de reciclaje en las explotaciones agropecuarias.

5. DESECHOS DE LA INDUSTRIA AZUCARERA

En los últimos años el cultivo de la caña de azúcar ha aumentado notablemente su volumen. La zafra 1978/1979 correspondió a una producción de 2.307.041 toneladas de caña (3).

A continuación se describen los principales subproductos obtenidos actualmente en la industria azucarera (3).

Tabla 3 - Características generales de una gallinaza típica madura

Materia seca	79,5%
Peso específico	0,50
pH (H ₂ O)	8,0
Cama	32,4%
Materia orgánica	80,0%
N	3,00%
C/N	15,5
P total	1,82%
C/P	25,5

Tabla 4 - Contenido y solubilidad de algunos elementos nutritivos de una gallinaza típica madura

Elemento	Contenido	Solubilidad <u>1</u> / % del total
N	3,00%	30,34
K	1,27%	31,50
Ca	1,55%	5,17
Mg	0,57%	5,12
Fe	2830 ppm	0,006
Mn	196 ppm	11,23
Cu	32 ppm	12,50
Zn	135 ppm	11,11
P	1,82%	20,3

1/ N = solubilidad en agua

P, K, Fe, Mn, Cu, Zn = solubilidad en NaHCO₃ 0,5 N + EDTA 0,01 N

Ca, Mg = solubilidad en KCl N

5.1 Bagazo

Por cada tm de caña molida se obtiene un promedio de 13 por ciento de exceso de bagazo, el cual permite que las actividades azucarera y alcoholera sean autosuficientes en energía. Su poder calórico es de 550 kg de vapor por tm de caña. Por no tener costo de producción, es el combustible ideal para la industrialización de la caña.

5.2 Cachaza

Este subproducto tiene alrededor de 81,7 por ciento de materia orgánica y algunos elementos nutritivos, como N, P, K, Mg y S. De ahí su posibilidad de servir como fertilizante. La producción de cachaza es de 20-30 kg/tonelada de caña. En Costa Rica se le utiliza poco como abono orgánico.

5.3 Melaza

En su producción intervienen algunos factores como el contenido de sacarosa en la caña, el período de molienda, tipo de azúcar que se desea elaborar, eficiencia de la planta y otras. Se le utiliza en la alimentación animal como fuente energética en forma directa o en concentrados. Por ser una excelente materia prima para la producción de alcohol, desde el punto de vista económico resulta polémico justificar su uso en la alimentación del ganado.

6. DESECHOS DE PLANTACIONES BANANERAS

En el año 1979 se desecharon aproximadamente 110.000 toneladas métricas de banano por no reunir los requisitos de calidad para exportación. Por otra parte, se produjeron 161.000 toneladas métricas de raquiz "pinzotes", lo cual totaliza 271.000 toneladas métricas de desechos (7). Sólo un pequeño porcentaje de la fruta desechada es utilizado en el país, mientras que el resto se pierde, sin que sea utilizada como abono orgánico. Los "pinzotes" son dejados en las plantaciones libres de la enfermedad Moko, donde se descomponen lentamente. El empleo en la alimentación humana y animal de fruta no apta para exportación ha ido en aumento y se tienen proyectos que persiguen su total utilización.

7. DESECHOS DOMESTICOS URBANOS

El aumento de los ingresos de la población en las últimas décadas ha repercutido enormemente en el tipo de basura de las ciudades. Antes predominaban los materiales orgánicos, mientras que ahora han aumentado en gran proporción las botellas de vidrio, latas y otros materiales no orgánicos, lo cual dificulta su procesamiento para una ulterior utilización como abonos orgánicos. La Municipalidad de San José ha estudiado en varias oportunidades la posibilidad de la instalación de una planta procesadora de la basura de la Ciudad de San José, pero por problemas financieros no se ha llevado aún a cabo este proyecto.

En resumen, las basuras de ciudades no se utilizan en Costa Rica. La manera usual de eliminar las basuras urbanas es mediante rellenos o depósitos sanitarios.

8. EXCREMENTO HUMANO

Hace alrededor de 25 años en la ciudad de Heredia se aprovechaba el excremento humano como abono en los cafetales. Sin embargo, años después se discontinuó el aprovechamiento de tales desechos. Actualmente no se utiliza en Costa Rica el excremento humano como abono.

ABONOS VERDES

Las circunstancias actuales de la agricultura en los trópicos no permiten el cultivo exclusivo de especies como abonos verdes. Sin embargo, lo que sí es posible y conveniente es el empleo de rotaciones con leguminosas, lo mismo que siembra simultánea de varios cultivos dentro de los cuales esté presente una leguminosa. En Costa Rica, aparte de pequeñas explotaciones agrícolas, las rotaciones de cultivos son poco usadas. En explotaciones grandes de arroz, algodón, etc, donde lo tradicional es el monocultivo, el empleo de rotaciones con leguminosas traería grandes beneficios a los suelos.

De acuerdo con la tendencia que están experimentando los precios de los fertilizantes, puede llegar el momento en que sea factible el empleo de abonos verdes para enriquecer el suelo de nitrógeno y materia orgánica. Entre las especies más apropiadas para este propósito tenemos *Cajanus*, *Canavalia*, *Crotalaria*, *Desmodium*, *Erythrina*; *Lablab*, *Leucaena*, *Lupinus*, *Mucuna*, *Pueraria*, *Sesbania* y *Tephrosia* (11).

LITERATURA CITADA

1. Bressani, R. Composición química de los subproductos del café. In: CATIE, IICA, CODESA, OFICAFE. Primera reunión internacional sobre la utilización de subproductos del café en la alimentación animal y otras aplicaciones agrícolas e industriales. Costa Rica, 1974. pp. 13-14.
2. Costa Rica. Oficina del Café. El café en cifras, 1980. 17 p.
3. Costa Rica. SEPSA. Programa de mejoramiento de la producción e industrialización de la caña de azúcar, 1980. 157 p.
4. Costa Rica. Subproductos del Café, S.A. Estudios de factibilidad para la deshidratación de la pulpa del café, 1977. 87 p.
5. Colombia. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Centro Nacional de Investigaciones del Café. Subproductos de café, 1977. 84 p.
6. Fuller, W.H., Nielsen, D.R. y Miller, R.W. Some factors influencing the utilization of phosphorus from crop residues. Soil Science Society of America Proceedings 20 (2): 218-224-1956.
7. Jaramillo, R. Comunicación personal, 1980.
8. Loehr, R.C. Agricultural waste management. New York, Academic Press, 1974. 576 p.
9. Revelle, R. The resources available for agriculture. Scientific American 235 (3): 165-178, 1976.
10. Russell, E.W. Soil conditions and plant growth. Londres, Longman, 1973. 849 p.
11. USA. National Academy of Sciences. Tropical legumes: resources for the future. Washington, D.C., 1979. 331 p.

5. Algunos datos sobre el reciclaje de materias orgánicas en Guatemala

por

C.E. Gutierrez 1/

1. LEGUMINOSAS

En Guatemala se cultivan frijol, haba y maní; estos cultivos se presentan en forma asociada con el cultivo básico y tradicional, como el maíz, o en monocultivos.

Los agricultores son conscientes de los efectos de estas leguminosas en los cultivos asociados (o en los que los siguen) y es por esta razón que los utilizan. Además, son cultivos que les dan un ingreso económico y alimenticio adicional.

2. BASURAS DE CIUDADES Y AGUAS CLOACALES

En cuanto a las basuras de ciudades y aguas negras, no hay ningún programa en desarrollo.

3. RESIDUOS DE COSECHAS

Es muy común el uso de residuos de las cosechas anteriores, como maíz, paja de trigo, residuos de hortalizas, etc., ya sea procesados (en aboneras) o no, es decir, incorporados directamente en el mismo suelo del que proceden. En aboneras es muy generalizado mezclar estos productos con estiércoles de ganado vacuno o caballar y con basuras de las pequeñas fincas de los agricultores. Luego, el compuesto es aplicado al terreno en forma mateada o a toda el área, según la cantidad de material orgánico con que se cuente, aunque generalmente no alcanza para todo el terreno que los agricultores cultivan.

Los efectos beneficiosos del bagazo de citronela y té de limón como cobertura y abono en algunos cultivos (café, frutales, citronela, té de limón, etc.) han sido observados en varios lugares del país. Estos materiales tienen que aplicarse en grandes cantidades, por lo que se restringe su uso a fincas con facilidades de acarreo y que puedan obtenerlos en cantidades suficientes, sin incurrir en muchos gastos.

Los bagazos de citronela y té de limón como cobertura tienen efectos importantes en la conservación de la humedad del suelo durante el verano, el control de malas hierbas y el mejoramiento de ciertas condiciones deseables en el suelo (físicas, químicas y biológicas). Las cantidades aplicadas no deben bajar de 10 libras/cafeto.

El uso de la pulpa de café como composte o abono orgánico es tradicional en nuestro medio, tanto en tierras para almácigos, como cobertura y abono para cafetales.

El abono orgánico hecho simplemente a partir de pulpa de café es excepcionalmente bueno, ya que su contenido de nitrógeno es relativamente alto, aunque no se ha pretendido que sea una fuente de dicho elemento. Entre los minerales que aporta tiene especial interés el potasio y lo que más importa, desde luego, es su acción sobre el suelo, que permite reducir la proporción de abono químico necesario.

1/ Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA), Guatemala

Análisis de una muestra de bagazo de citronela, procedente de la finca
Santa Anita, Flores Costa Cuca

	%	Contenido en 10 lbs. de bagazo (g)
Humedad	10,20	
Material insoluble	25,00	
Nitrógeno	2,55	117,30
Fósforo	0,019	0,87
Potasio	0,24	11,04
Calcio	2,77	127,42
Magnesio	0,089	4,09
Hierro	0,11	5,06
Cobre	0,001	0,05
Zinc	0,0035	0,16
Manganeso	0,011	0,51

La Asociación Nacional del Café (ANACAFE) realiza trabajos sobre la descomposición aeróbica acelerada para el manejo de la pulpa en dos volúmenes: uno pequeño, adecuado para pequeños beneficios, y otro intermedio, para beneficios con una capacidad de 100 a 300 quintales de fruta por día.

Se pretende adaptar sistemas utilizados para el tratamiento de otros materiales, cuya meta es la producción eficiente de un buen abono orgánico.

En cuanto al ensilaje de la pulpa de café, utilizada en alimentación animal, éste ofrece las siguientes ventajas:

- a) Puede ser aplicado con relativa facilidad y a bajo costo por beneficiadores de café y ganaderos.
- b) Es una buena alternativa para resolver los problemas de contaminación ambiental que produce la pulpa.
- c) Permite almacenar la pulpa durante la época de beneficiado del café para utilizarla posteriormente en alimentación animal, ya sea en forma fresca o deshidratada. En este último caso, la deshidratación puede hacerse al sol, utilizando los patios de secado.

- d) Constituye un medio adecuado no sólo para preservar el valor nutritivo de la pulpa, sino también para tratar de mejorarlo mediante el agregado de aditivos o mezclas con otro Forrajes.
- e) Su uso en alimentación animal en forma fresca contribuye a integrar la producción animal a los beneficios del café, que son utilizados solamente durante 2 a 3 meses del año.

Durante el ensilaje, la pulpa de café sufre cambios químicos que disminuyen su contenido de materia seca, carbohidratos solubles y cafeína y aumentan el de proteína.

En rumiantes, la digestibilidad de la materia orgánica, energía gruesa y proteínas de la pulpa ensilada es superior a la deshidratada. La pulpa ensilada produce mejores rendimientos que la deshidratada cuando es empleada en raciones para crecimiento y engorde de novillos a niveles de 20 a 30% de la materia seca. Se han obtenido resultados satisfactorios con vacas lecheras alimentadas con raciones que contienen 20% de pulpa de café en base seca.

La pulpa de café ensilada y luego deshidratada ha sido empleada con buenos resultados en alimentación de cerdos a un nivel de 16% de la ración.

En el ganado bovino, las raciones son de 20 a 30% de pulpa de café en base seca, con 1 a 2% más de proteína cruda sobre la recomendada cuando se raciona sin pulpa de café y con un 20% de melaza y 15% de otro forraje, por lo menos.

De estudios realizados sobre el valor alimenticio de la pulpa de café deshidratada se derivan las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- 3.1 La pulpa de café tiene un valor nutritivo potencial similar al de un forraje de buena calidad, pues contiene 55% de nutrientes digeribles totales y de 3 a 4 % de proteína digerible en base seca.
- 3.2 Este material puede ser empleado con buenos resultados en alimentación de ganado bovino, ya sea entero o molido, a niveles de 20 a 30% de la ración total.
- 3.3 Para obtener mejores resultados, las raciones con pulpa de café deben ser balanceadas, de tal manera que contengan de 1 a 2% más de proteínas cruda que la recomendada para raciones sin pulpa de café. Además, las raciones deben contener por lo menos 20% de melaza de caña y 20% de otro forraje.
- 3.4 Los animales tienden a adaptarse a la pulpa de café, mejorando su rendimiento después de 3 a 4 semanas de que la consumen. La respuesta de los animales durante y después de este período de adaptación depende posiblemente del contenido de cafeína y taninos de la pulpa.
- 3.5 Por lo antedicho, se recomienda agregar gradualmente la pulpa de café a la ración, hasta alcanzar el nivel recomendado.

Con referencia a las aguas utilizadas en el beneficiado del café y sus desechos, se han promulgado disposiciones que regulen la posible retención de estos desechos para evitar que vayan a dar a los ríos, como desagües naturales.

Dichas disposiciones dictadas por el gobierno de Guatemala son:

- a. La carnasa o pulpa se debe recolectar integralmente en depósitos o trampas para su recuperación.
- b. Las aguas que conducen la pulpa y aguas de lavado saturadas de mucílago deben ser introducidas en fosas sépticas para su sedimentación.

Esta pulpa recolectada y descompuesta., que puede contener adiciones de otros materiales (cal, estiércoles, basuras, etc.) es utilizada como material fertilizante en las mismas plantaciones de café.

Los sistemas que pueden usarse para el tratamiento de las aguas del beneficiado llevan generalmente una primera etapa de sedimentación, para eliminar los sólidos gruesos en suspensión, seguida de una etapa de descomposición biológica de los sólidos solubles y material fino en suspensión. Esta descomposición va acompañada de una fuerte aereación, para proveer a los microorganismos de descomposición el oxígeno necesario para su desarrollo.

La contaminación de las aguas con ésta clase de desechos se mide generalmente por la llamada Demanda Biológica de Oxígeno (D.B.O.), o bien por la Demanda Química de Oxígeno (D.Q.O.), las cuales se basan en la determinación de la cantidad de oxígeno necesaria para que tales aguas resulten inofensivas para la vida vegetal acuática y los peces.

En lo que se refiere a la producción de gas metano (CH_4) a partir de desechos orgánicos, el Instituto Centro Americano de Investigaciones y Tecnología Industrial (ICAITI) ha realizado pruebas en diferentes partes del país, utilizando diferentes substratos, a diferentes temperaturas, con diferentes tiempos de descomposición y variados materiales en la construcción de los digestores (metal, concreto, plástico).

Según informaciones de uno de los técnicos encargados de estas investigaciones, se han efectuado pruebas con estiércoles de cerdos, caballos, vacas y diferentes mezclas de los mismos, así como también con los desechos de café (pulpa), el jugo de la pulpa y agua de lavado de café purificada, bagazos de caña y otros materiales.

Existen otras instituciones, como el IEMAT y el ICADA que hacen investigaciones a nivel de pequeños agricultores y con los materiales con que estos cuentan, según la región.

Los tipos de digestores investigados hasta el momento son:

- 1) Batch: de alimentación cada cierto tiempo.
- 2) Continuo: de alimentación diaria.

Dependiendo del material usado, varía la cantidad (%) de metano, y este porcentaje puede aumentar haciendo pasar el gas (CH_4 CO_2) por un purificador de agua de cal. En base a pruebas, si el gas emanado del digestor sale (por ejemplo) con un 30-45% de metano, al pasar por el purificador de cal puede aumentar hasta un 70-80% de CH_4 .

6. Experiencias con el uso de residuos orgánicos en la agricultura de México

por

B. Figueroa 1/

INTRODUCCION

El efecto benéfico de la aplicación de residuos orgánicos a las áreas de cultivo se conoce desde hace mucho tiempo (Allison, 1973). Es bien conocido que los romanos recomendaban en sus escritos sobre agricultura el uso de los abonos verdes como mejoradores del suelo. En la actualidad todavía se usan extensivamente los materiales orgánicos como fertilizantes, pero espectaculares respuestas de los cultivos a los fertilizantes inorgánicos y las altas concentraciones en elementos nutritivos N, P y K de dichos fertilizantes han provocado una dependencia marcada en el uso de fertilizantes minerales en los sistemas agrícolas actuales.

La adición de materiales orgánicos al suelo produce cambios físicos, químicos y biológicos en éste. Aunque tradicionalmente se ha visto la bondad de los materiales orgánicos en función de su aporte a la fertilidad de los suelos y de los cambios en características químicas de los suelos, se sabe que la adición de materiales orgánicos produce cambios importantes en las propiedades físicas de los suelos que influyen sobre la cantidad, distribución y movimiento del aire y del agua en el perfil. Estas propiedades influyen, a su vez, sobre el crecimiento de las raíces, la formación de costras, la porosidad del suelo, la infiltración del agua, la capacidad de retención de humedad, la temperatura y la facilidad de laboreo.

Por otro lado, los efectos indirectos de la materia orgánica y la cobertura de rastrojos sobre la erosión hídrica y eólica no deben ser olvidados. Figueroa (1975) encontró que para los suelos de la zona del altiplano Mexicano la cantidad total de suelo erosionado estaba en función de la cobertura vegetal y el contenido de MO del suelo, de tal manera que en suelos con una cobertura vegetal del 70% y con contenidos de MO bajos (< 1,0%) las pérdidas de suelo eran mayores que para suelos con 50% de cobertura vegetal pero con un contenido alto de MO (> 3%).

Los materiales orgánicos que se añaden al suelo en México son, entre otros, estiércoles, residuos vegetales, abonos verdes, aguas negras y desperdicios domésticos e industriales.

En este trabajo se intenta resumir las experiencias en el uso de materiales orgánicos en algunas áreas de México. Con el fin de hacer este análisis más objetiva, cada material orgánico se ha tratado teniendo en cuenta su uso en las zonas (i) áridos y semiáridos del país, (ii) templados y (iii) tropicales del país.

1. EL USO DE ESTIERCOLES EN MEXICO

Es conveniente mencionar que los tipos de ganadería desarrollados en México difieren grandemente. En el Norte del país (Zonas áridas), la ganadería se realiza principalmente en agostadero y es extensiva. En el Centro (zonas templadas) ésta es estabulada, principalmente. En el Sur (zona tropical), se localiza principalmente en praderas.

1/ Profesor-Investigador, Sección de Física de Suelos, CEDAF, Colegio de Post-Graduados; Chapingo, México.

En las zonas Norte y Sur del país no se realizan recolecciones sistemáticas de estiércoles, permaneciendo éste en las áreas de pastoreo o en los puntos de reunión del ganado durante la noche. Con respecto a las zonas norte, este material (principalmente ovino y caprino) no es colectado y constituye un material orgánico que merece estudio. La razón dada por los agricultores para no realizar esta práctica se basa en el tipo de agricultura prevaleciente en estas áreas: agricultura basada en la cosecha de agua, principalmente a través de sistemas de desviación de avenidas de los ríos, ya que dichas avenidas frecuentemente transportan muchos de los desechos orgánicos de los animales depositados en las áreas de pastoreo.

En el altiplano mexicano las explotaciones ganaderas existentes, en su mayoría estabuladas, utilizan en forma tradicional el estiércol procedente de dicha explotación en los terrenos agrícolas de la granja, como es el caso de los establos del Valle de México, o comercializan dichos residuos, como es el caso de la gallinaza proveniente de granjas avícolas. Puede decirse que en el centro del país, aunque en ocasiones no se están utilizando eficientemente estos estiércoles (se estima que se pierde un 50%), las posibles mejoras en su uso ya están siendo estudiadas, como sería el caso del programa de construcción de estercoleros de FERTIMEX para evitar mermas en la recolección y aplicación del estiércol animal.

2. EL USO DE ABONOS VERDES EN AMEXICO

Uno de los sistemas de cultivo más importante en México lo constituyen las siembras de cultivos de escarda en época de lluvias. Sistemas de cultivo en donde solo se produce una cosecha al año, en los cuales durante siglos se ha practicado el monocultivo y en los que además se practica el uso de los residuos de cosechas para fines de alimentación del ganado. Estos sistemas conducen a la existencia de suelos bajos en MO y Nitrógeno, los cuales están desprovistos de cobertura vegetal al inicio de la temporada de lluvias y presentan, entonces, fuertes problemas de fertilidad y erosión. Esto es más dramático si se considera que estos suelos están localizados en los lomeríos y por lo tanto son más susceptibles a la erosión hídrica.

Aunque las rotaciones de cultivos ofrecen una alternativa excelente para el mejoramiento de los suelos, éstas no se han usado en el centro del país debido a las características del sistema de agricultura de subsistencia que se practica tradicionalmente.

Entre las alternativas exploradas en México se encuentra el uso de siembras asociadas de maíz con leguminosas en la segunda escarda, la cual tiene la ventaja de proporcionarnos el producto tradicional grano de maíz, a la vez que proporciona un material orgánico que puede ser utilizado como forraje o como abono verde y que asimismo protege al suelo del efecto erosivo del agua y el aire. Las experiencias con leguminosas asociadas incluyen: cebada y veza (González, 1966); maíz + veza, maíz + frijol y maíz + lupino (Valle, 1949); maíz + trébol Hubam en surcos alternos (Laird et al, 1957); maíz + trébol hubam y maíz + veza (Pitner et al, 1955). En general se observó en todos estos ensayos una respuesta favorable a la incorporación de la leguminosa con incrementos hasta de 2 ton. en el rendimiento de grano del maíz cuando se incorporó la leguminosa comparado con el manejo tradicional.

En el caso de los abonos verdes Baruco (1970) reporta incremento hasta de 1 t en el rendimiento de grano de maíz sembrado después de incorporar trébol Hubam. Zamudio (1974) encontró aumento de 0,9 y 0,67 t/ha en el rendimiento de maíz en grano después de incorporar trébol hubam y alfalfa respectivamente.

Sánchez (1960) recomienda que en zonas templadas se usen como abonos verdes la alfalfa, el trébol hubam, la veza y el trébol blanco; en las zonas cálidas él recomienda usar sesbania y para las zonas del trópico se señalan la sesbania, el gandul el frijol terciopelo y la crotolaria juncea.

El autor considera que en este campo es que se pueden lograr mayores respuestas de los agricultores de bajos recursos al uso de las leguminosas como abonos verdes y, con este fin, el CP ha iniciado desde 1975 estudios sobre la selección de especies de leguminosas apropiadas para diferentes áreas ecológicas de México y el manejo de dichas leguminosas con fines de manejo y conservación de suelos.

3. EL USO DE LOS RESIDUOS VEGETALES

En México, en general, se dan dos usos a los residuos de las cosechas. En el caso del maíz en la Meseta Central y la parte Norte del país, los residuos vegetales son utilizados completamente para alimentación del ganado y usos en el hogar. En estas áreas existe un uso completo de todos los residuos vegetales, aunque, en general, ninguno de estos usos involucra el compostaje de los mismos para su uso posterior. En las zonas tropicales no se hace ningún uso de los residuos vegetales y estos generalmente son quemados. De la misma manera no hay intentos de hacer compostajes con las malas hierbas de los cultivos tropicales. Asimismo, en las zonas de riegolos residuos del trigo son, generalmente, quemados al final de la cosecha.

También merecen ser mencionados los sistemas agrícolas de rozo, tumba y quema que son utilizados extensivamente en el Sur del país (zonas tropicales), en los cuales la quema del material acumulado durante el periodo de descanso de los terrenos constituye un desperdicio grande de materiales orgánicos susceptibles de utilización.

Las experiencias en México con respecto al uso de residuos se concentran casi en su totalidad en el uso de los residuos como coberteras vegetales. En especial, se ha estudiado el sistema de cero-labranza. Combinado con el desmenuzamiento de los residuos vegetales y su uso como cobertura vegetal produce el mismo rendimiento de maíz en grano que en el caso de sistemas tradicionales (quema de residuos, fertilización y deshierbe manual), pero resulta más económico y permite la siembra de un área más grande, ya que se disminuyen las horas hombre/ha con el sistema de cero labranza. Asimismo, en el estado de Morelos se han obtenido hasta tres cosechas al año (maíz-frijol-maíz), bajo condiciones de riego, y hasta dos cosechas al año (maíz-frijol), bajo condiciones de temporal usando cero-labranza y cobertores de residuos vegetales.

Otros usos de las coberteras ha sido en sistemas para captación de agua. En estos experimentos se ha observado que las coberteras ayudan a aumentar el contenido de humedad del suelo y, por lo tanto, las posibilidades de éxito de los cultivos en zonas de humedad deficiente.

4. EL USO DE AGUAS NEGRAS

Con excepción de las aguas negras de la ciudad de México, no hay prácticamente utilización de las aguas negras en México. En el caso de las aguas negras de la ciudad de México, éstas se utilizan para riego, ya sea en forma directa o mezclada con agua de riego blancas principalmente para la producción de forrajes y hortalizas. Debido a que no se da tratamiento previo a estas aguas, existe en México un problema grande de parasitismo debido al consumo de las verduras producidas con aguas negras,

5. EL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Varios cultivos industriales en México producen residuos industriales que son utilizados parcialmente.

Entre estos está:

- (i) El bagazo de la caña de azúcar: tradicionalmente se usa como combustible. En la actualidad hay estudios de Fertinex para producir compostes que aerian utilizados en las áreas cañeras. De hecho ya se tienen sistemas microbiológicos para producir la composta y se está intentando hacerlo a nivel comercial.

- (ii) La broza de café. No se ha utilizado.
- (iii) El henequen: los jugos han sido usados para producir esteroides.
- (iv) El coquito de aceite: se ha utilizado la cáscara como combustible.

Aunque el lirio acuático no es residuo agrícola, en México su presencia se ha incrementado en los ríos y lagos del país como consecuencia del fenómeno de carbonificación, hasta llegar a convertirse en una plaga.

Con el fin de utilizar este recurso se ha estudiado con éxito el uso de esta planta para la producción de forrajes para animales.

6. EL USO DE BASURAS

Existe en varias ciudades de México (México, Guadalajara, Monterrey y Toluca) sistemas de compostaje de la basura urbana. Estos compostes, aunque de muy buena calidad, no son utilizados en su totalidad debido al alto costo del producto que lo limita al uso hortícola, en cultivos muy remunerativos. Además, solamente se procesa aproximadamente el 10% de la basura total producida. El resto, previa selección manual de materiales de reciclaje (latas, vidrio, papel), es quemado, acumulado en depresiones o enterrado en rellenos sanitarios.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de la situación actual en el uso de materiales orgánicos en la agricultura de México lleva a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- (i) En las zonas templadas de México con agricultura tradicional los estiércoles de animal han sido usados intensivamente aunque todavía es posible mejorar su utilización, ya que existen pérdidas hasta del 50% de los nutrientes del estiércol durante las prácticas de colección, transporte y aplicación.
- (ii) Debido al sistema tradicional de agricultura de subsistencia en las áreas templadas del país, donde solamente se obtiene un cultivo al año, no es posible implementar sistemas de rotación de cultivos que involucren el uso de periodos con pastos: leguminosas perennes. En estas áreas el uso de leguminosas en relevo para incorporarlas como abonos verdes ha probado ser una alternativa excelente.
- (iii) En las zonas tropicales de México no se están utilizando los residuos vegetales de cosechas. Asimismo, el método tradicional de rozo, tumba y quema practicado en estas áreas involucra la quema de los residuos vegetales acumulados durante el período de descanso del cultivo. Un uso más racional de estos residuos a través del compostaje significaría para estos agricultores un avance considerable en su metodología agrícola.
- (iv) Otro uso para los residuos vegetales de cosechas lo constituye el uso de coberturas vegetales combinado con métodos de labranza mínima, a fin de conservar e incrementar el contenido de MO del suelo y la humedad del suelo.
- (v) En general no se usan las aguas negras en México y, donde se hace, no se tratan previamente provocando serios problemas de sanidad.
- (vi) Aunque se están usando algunos residuos industriales de cosechas para producir subproductos, esta fuente de residuos orgánicos puede ser utilizada más eficientemente.

- (vii) Existen en México varias plantas procesadoras de basura, pero el volumen procesado es bajo (aproximadamente 10%) y su precio como producto elaborado elimina la posibilidad de uso por agricultores de bajos recursos.
- (viii) Un campo que no se ha explotado en México es el uso de residuos para la producción de Biogás a nivel familiar o comunal. En este campo hay áreas en México en las que sería muy factible y benéfico utilizar un sistema sencillo de producción de biogás a partir de excrementos humanos y animales combinados con residuos vegetales.

LITERATURA CITADA

1. Allison, F.E., 1973. Soil organic matter and its role in crop production Elsevier Scientific Publication Co. N.Y.
2. Baruco, C.R., 1970. Efecto de diferentes leguminosas como abono verde en la producción de maíz tardío para grano en la región de General Escobedo, Nueva León.
3. Figueroa, S.B., 1975. Relaciones entre el uso del suelo y la pérdida de suelo y nutrientes en la cuenca del río Texcoco. Tesis mc. Rama de suelos, C.P. Chapingo, México.
4. González, S.L., 1966. Effect of barley vetch association on forage and grain yield. Ann Edafol. Agnobiol.
5. Laird, R.J. et al, 1957. Maíz de temporal con trébol hubam. Agric. Tec. en México.
6. Pitner, A.J. Duron, A. y Peregrina, J., 1955. Aumento en la producción de maíz y trigo mediante abonos verdes. Folleto técnico No 17. O.E.E.. S.A.G. México.
7. Sánchez, D.N., 1960. Abono verde fuente de nitrógeno. Dirección de Estudios especiales. Boletín Técnico N° 318. SAG.
8. Valle, M.P., 1949. Las deficiencias del suelo de Tepatitlán, Jal. en plantas de maíz, sudán dulce y trébol hubam. Tesis profesional Chapingo, México.
9. Zamudio, G.B., 1974. Pruebas de cuatro leguminosas de invierno como abono verde en el ejido de San Isidro Linares, Nueva León, Tesis profesional, U.A.N.L.

7. Utilización de la materia orgánica en el Paraguay por

A. Fatecha 1/

1. SITUACION ACTUAL

En los suelos de uso agrícola, principalmente en áreas minifundiarias, el estiércol es la fuente exclusiva de fertilizantes, ya que el agricultor hace uso de él para la fertilización de sus tierras, usando principalmente los producidos por los animales de tracción y los corrales ubicados en las periferias de los centros urbanos.

Por otro lado, la búsqueda de tierras nuevas, por un proceso de colonización a expensas del bosque, ha sufrido una intensificación significativa en el último decenio.

Luego del desmonte, se obtienen cosechas abundantes, las que van disminuyendo progresivamente con su uso, hasta alcanzar determinado límite, donde prácticamente se estaciona, por la pérdida de gran parte de la fertilidad del suelo y de su inicialmente óptimo contenido de materia orgánica. En este estado permanecen por un plazo variable, pudiendo ser corto, es decir, de 5 a 7 años de uso; otros de 20 años o más. En último caso es por poseer una productividad razonablemente alta, ya que prácticamente se opera sin ninguna restitución, siendo suelo de buen origen, constitución óptima y de muy alta erodibilidad.

La variación del contenido de materia orgánica es muy amplia. Está en función al grado de técnicas conservacionistas empleadas.

En las explotaciones agrícolas es normal la no restitución de la materia orgánica por medios artificiales, excepto en las mecanizadas. Inclusive la utilización de abonos verdes es de proporción deficiente, constituyendo el principal parámetro determinante de los límites de la explotación económica.

Entre estos límites tenemos una serie de valores intermedios, dependientes de la especie cultivada y del método de cultivo, representados por la calidad y cantidad de residuos dejados en el suelo, pudiendo constituir en mayor o menor cantidad de materia orgánica, según la naturaleza del cultivo.

2. FUENTES DE LA MATERIA ORGANICA

A continuación daremos información de las fuentes de materia orgánica, usualmente las más utilizadas, con ciertos detalles de su producción y aplicación.

2.1 Estiércol

El estiércol, a través del comportamiento de sus componentes, adquiere propiedades específicas de alto valor pedológico. Tales valores no serían necesarios mencionar en este caso.

1/ Departamento de Suelos, Instituto Agronómico Nacional, Ministerio de Agricultura y Alimentación, Paraguay.

Los agricultores comprueban que con la utilización del estiércol de corral se obtienen cultivos (intensivos) más sanos que los fertilizados solamente con sales minerales.

Los mismos comprueban que la cantidad y calidad del estiércol, es decir, su valor como abono, varían según el régimen alimenticio, edad y finalidad de uso del animal.

Los excrementos de equinos son más sólidos y mucho menos acuosos que los de los bovinos. Tienen una estructura más blanda, permitiendo una fuerte aireación y, por esa razón, de más rápida fermentación, con mucho de desenvolvimiento de calor, al contrario de los bovinos que son pastosos y de fermentación lenta.

La mayor parte de los estiércoles usados están compuestos por carbohidratos tales como restos de paja, pastos, maderas, etc. los cuales se juntan con los excrementos sólidos y líquidos que les son incorporados por mezcla.

La pérdida más importante es la de la orina como resultado de una cama insuficiente o nula, de la permeabilidad de suelo, que tiene un efecto capilar sobre la misma, todo lo que redundará en un producto final de baja calidad.

Otra importante causa de pérdida es la lluvia, que remueve por lixiviación gran parte del material soluble, empobreciendo considerablemente al estiércol.

La mayoría del curado y el almacenado es hecho al aire libre. Para evitar los males antes mencionados, principalmente el causado por la lluvia, se recurre a lo siguiente:

- a) piso de arcilla lo más impermeabilizado;
- b) piso con una inclinación al centro de 2-3%, terminado en un hoyo capaz de retener cualquier líquido (Purin) escurrido;
- c) formar una pila lo menos ancha posible para mantener la humedad y evitar el lavado excesivo;
- d) cubrir las pilas con telas de plástico.

El agricultor, para obtener un buen producto, sabe que debe controlar la circulación del aire en la masa y el contenido de la humedad.

La cantidad media de estiércol aplicada por hectárea oscila entre las 20 a 40 toneladas, siendo la época más corriente de aplicación inmediatamente antes de la plantación. Su forma de aplicación más corriente consiste en esparcirlo sobre toda la superficie del terreno e incorporarlo levemente. En pocos casos se realizan aplicaciones en surcos o localizadas.

2.2 Prácticas de abono verde

El problema actual de esta práctica de muy poco uso es determinar la edad de la planta en el momento del entierro, ya que son consideradas dos tendencias: (a) considerando que el 90% del nitrógeno fijado ocurre en la primera mitad del ciclo evolutivo de la planta y (b) tratándose del mayor aprovechamiento de la materia orgánica, el entierro deberá ser hecho poco antes de la floración o a más tardar cuando inicien la formación de las vainas.

Para obtener la finalidad principal, que es la de mejorar las condiciones físicas del suelo, previamente a la incorporación se realiza una rastreada pesada para triturar lo más posible las ramas y partes de la planta, con el fin de uniformar su distribución sobre el suelo y apresurar la fermentación. La arada a seguir no se realiza en forma profunda, considerando adecuado una media de profundidad de 15 cm.

Las especies más utilizadas son la:

Mucuna:	Stylobium cinereum
Delichos:	Lab Lab
Lupines:	Lupinus albus
Caropi:	Vigna sinensis

2.3 Abonos orgánicos comerciales

Los residuos industriales extractivos utilizados son:

- a - Torta de algodón: residuo del prensado del algodón, muy rico en proteínas. Como abono es muy bueno por su elevado contenido en nutrientes químicos y, más aún, por la presencia de materia orgánica que desenvuelve una intensa actividad microbiana. Posee el 5-6% N, 2-3% P₂O₅ y 1,5-2% de K₂O.
- b - Torta de tartago: residuo de la extracción del aceite. También del alto contenido en nutrientes químicos y en materia orgánica. Contiene 5-7% N, 1,5-2% de P₂O₅ y 1% de K₂O.
- c - Existen otros que son poco usados como abono, debido a su alto valor en la alimentación animal, y son: Torta de soja, maní, coco y las harinas de hueso y sangre.

Los residuos municipales hasta la fecha no han sido aprovechadas en absoluto a pesar de ser de un volumen ya bastante representativo.

2.4 Compost

Es una práctica muy común entre los agricultores dedicados a cultivos hortícolas, principalmente. Su obtención la realizan de la forma siguiente:

Construyen un hoyo de 80-100 cm de profundidad, 3 metros de ancho y largo indeterminado, de manera que permita su fácil manipuleo. Este hoyo debe contar con el fondo apisonado.

Los materiales utilizados incluyen cualquier tipo de vegetal, preferentemente residuos de cultivos. Se forma una pila entre camadas de suelos impregnadas de líquido purín y carbonato de calcio o cal agrícola. Luego se humedece con agua hasta alcanzar una altura máxima de 1,50 metros. Esta masa es atravesada por tubos de madera que permitan su aireación. Cuando hay un desprendimiento de calor, se procede a su remoción, que es aproximadamente cada semana, hasta obtener una masa descompuesta en 3-5 meses, según el caso.

Para su mejor protección se utilizan también las telas de plástico.

3. FIJACION BIOLOGICA

La fijación biológica del nitrógeno con leguminosas y rizobiáceas, no con fines de abonos verdes, es utilizada en el mono cultivo de soja.

El estado de las leguminosas desarrolladas en el lugar confrontado con aquellas que poseen nódulos mediante inoculaciones en las raíces, permite evaluar la contribución positiva de este sistema a la economía del nitrógeno.

Esta confrontación normalmente se basa en la proporción de plantas noduladas, abundancia o escasez de nódulos, ubicación de los nódulos en el sistema radicular y en el tamaño y apariencia de los mismos.

Este se considera uno de los métodos más rápidos y baratos para el mejoramiento del suelo y el aumento de la materia orgánica, porque es práctica usual cubrir el suelo con los rastrojos de este mismo cultivo.

Otros tipos de vegetales no leguminosas no son usados para la fijación biológica del nitrógeno.

4. CONCLUSIONES

1. Debido a la poca importancia dada, resaltar su carácter insustituible en el suelo.
2. Destacar su importancia para el equilibrio en la fertilidad activa del suelo.
3. Concientizar al agricultor respecto de su uso efectivo para el aumento de la productividad.
4. Incentivar su reciclaje, actualmente muy deficiente.
5. Orientar y aumentar la práctica de fijación biológica del nitrógeno con el empleo de leguminosas y rizobiáceas, como también las no leguminosas.

8. Reciclaje de la materia orgánica en la agricultura de la República Dominicana

por
A.J. Reynoso 1/

INTRODUCCION

En la República Dominicana se ha investigado muy poco sobre el reciclaje de materias orgánicas con fines agrícolas.

Tradicionalmente, el uso de residuos animales (estiércoles) es una práctica usada por muy pocos agricultores, debido al desconocimiento de la importancia en el mantenimiento de las condiciones fisico-químicas y biológicas de nuestros suelos agrícolas. Con respecto a residuos de cultivos, composte, abonos verdes, etc., es todavía mucho más limitado que los estiércoles.

Entre los residuos animales tenemos la gallinaza, que es el estiércol más usado; la murcielaguina (estiércol de murciélago); vacuno (estiércol de vaca); estiércol de caballo y de chivos.

Un residuo industrial usado en la actualidad, especialmente en las zonas cañeras, es la cachaza, que es un subproducto obtenido en la fabricación del azúcar de caña.

Hay varias instituciones que están trabajando o tienen proyectos de relación a la elaboración de abonos orgánicos a partir de la basura (composte), de residuos de origen animal (específicamente estiércol vacuno), así como de residuos de cultivos y residuos industriales (cachaza).

1/ Departamento de Suelos, CESDA, San Cristóbal, República Dominicana.

Tenemos la esperanza de que al regreso de esta Reunión Taller se coordine entre el Departamento de Suelos, al cual pertenezco, y los Departamentos de Capacitación y Extensión Agropecuarias de la Secretaria de Estado de Agricultura, un Programa de Extensión y Capacitación sobre el uso y la importancia de abonos orgánicos para ser utilizados en los suelos agrícolas por los agricultores de nuestro país.

A - PROGEDIMIENTOS TRADICIONALES y MODERNOS PARA LA UTILIZACION DE LAS MATERIAS ORGANICAS EN LA AGRICULTURA

1. RESIDUOS DE ORIGEN ANIMAL

Recolección, almacenamiento, elaboración, conservación y aplicación.

1.1 Gallinaza (estiércol de aves)

La gallinaza es un abono orgánico de excelente calidad. Se considera el mejor abono orgánico de que disponemos; debido a su composición química, con una gama completa de nutrientes necesarios para la mayoría de los cultivos de interés comercial de nuestro medio.

De acuerdo a las últimas cifras estadísticas, la producción nacional de pollos es de alrededor de 3 000 000 unidades 1/ mensuales, lo que daría un total de 36 millones de pollos anuales. Se podría estimar la cantidad total de gallinaza producida por estos 36 millones en 750 toneladas de abono orgánico.

Análisis químico de la gallinaza.

%N	%P	%K	%S	%Mg	%Ca	%Mn	%B
5	3	6	0,5	2	5	30-50	4

Fuente: Laboratorio de Alimentos de UASD.

El sistema de recolección de este estiércol consiste en poner paja de arroz como base de la cama de los pollitos para que se deposite el estiércol. Después de 2 meses, más o menos, se recoge esta cama y se almacena en sacos de polipropileno de 125 lbs de capacidad (contiene aproximadamente 78 libras de gallinaza).

En muchos casos se almacena al aire libre hasta que seque y se vuelva oscura. El traslado de la gallinaza al campo se hace en camiones. Se la deposita en pilas en el suelo.

En el sitio donde se apila el estiércol la hierba o el cultivo no crecen ya que son quemados, porque se trata de un estiércol "caliente".

Los ganaderos y granjeros son los que mayor uso le están dando a este estiércol aplicándolo al pasto de corte y pastoreo (pangola, Estrella Africana y Merck).

En visita a una finca ubicada en Villa Mella, Distrito Nacional, pudimos observar como almacenan al aire libre el estiércol y aplican 20 sacos por tarea (1 hectárea = 16 tareas) por medio de palas.

1/ Declaración de la Comisión Avícola Nacional, publicadas en el periódico Listín Diario, 1977.

Antes el estiércol era regalado a los agricultores por los dueños de las granjas avícolas, pero ahora al aumentar la demanda le han puesto precio por saco (RD\$1,35) o por tonelada (RD\$34,0).

Fuente: Cesar A. Peña. Encargado de personal Granja Mora CxA.

1.2 Estiércol vacuno

Este tipo de abono orgánico es el más común en el país; aunque el menos utilizado, debido fundamentalmente a que se desconocen sus cualidades y sus múltiples usos en la agricultura.

De acuerdo al último censo agropecuario (1971), la cantidad de vacunos en nuestro país ascendía a 1 694 846 cabezas, distribuidas en pequeñas y grandes explotaciones; lo cual haría bien difícil conseguir un punto de concentración del estiércol con el fin de preparar compuestos que a nivel comercial pueda ser rentable. Algunos dueños de grandes explotaciones habilitan sus propios estercoleros para preparar el compuesto a partir del estiércol, generado por sus hatos, para que luego dicho estiércol sea usado en la fertilización de sus parcelas.

Análisis químico del estiércol vacuno

%N	%P	%K	%S	%Mg	%Mn	%B	Sustancias
3,4	1,3	3,5	0,8	0,6	24,3	0,1 a 0,5	Antibióticos
							Trazas

Fuente: Los Abonos. Guía práctica de la fertilización. Andres Gross. Pag. Nº 126.

Existen varias formas de recolección de este estiércol.

- a - Se pone el ganado en los establos, Estos se lavan con agua cada día. El agua arrastra el estiércol y el orin del ganado por canales que lo conducen hasta el estercolero, que en el caso de la finca del señor Milton Suberbi, tiene una capacidad de 90 000 galones. En esta granja, una bomba impulsora lleva el estiércol por medio de tubos para su aplicación mediante riego por aspersión, con 2 pistones por 1 hora, si el suelo está muy seco; o por 1/2 hora si no lo está. Este riego se hace cada 2 meses más o menos para pastos (Merck, Estrella Africana y Pangola).
- b - Otro sistema similar a éste es el que utilizan en la División de Ganadería del Consejo Estatal del Azúcar (CEAGANA), pero con la variante que ellos utilizan un digestor con una campana encima para que la fermentación y descomposición del estiércol sea anaeróbica. En el digestor también hay una bomba que impulsa al estiércol por medio de tubos y dos pistones y, por otro lado, tiene unos tubos para sacar gas metano, el cual va a unos tanques y a un laboratorio cerca del estercolero.

Según datos suministrados por el Dr. Barry Pound y la bióloga Amarilis Santana, el riego se hace diario, porque el depósito tiene una capacidad muy pequeña (90 000 litros) y la cantidad de estiércol que entra diariamente llena el depósito. El tiempo para la producción de gas metano es de 25-30 días. El estiércol digerido que sale se utiliza como abono para los cultivos y como alimento de algas y peces.

En los cuatro años de utilización de este sistema, todavía no se han tenido problemas de toxicidad, ya que no se aplica el estiércol fresco. El riego se hace por campo cada dos meses. La bomba impulsora de estiércol tiene un alcance de 1,5 km de distancia. La cantidad de N que este estiércol tiene es de 2-1,5%.

Los inconvenientes de la aplicación del estiércol, entre otras, son:

- Daños a las plantas por el golpeo de las gotas.
 - Si no está digerido y está fresco, quema las plantas.
 - Si no se digiere anaeróbicamente, contiene parásitos.
 - Afecta el sabor del alimento (pasto, forraje, etc.), para el ganado.
 - Si provoca un desbalance nutritivo, la planta se torna muy verde y la pueden atacar los insectos.
 - Por exceso de humedad la planta puede ser atacada por plagas y enfermedades.
 - Su uso indiscriminado puede ocasionar una acumulación de metales pesados, como Fe, Cu, Zn, etc.
 - El uso de agua de mala calidad (muy pesada) ocasiona la formación de sales, específicamente NaCl.
 - Es muy corrosivo. Al ser trasladado puede dañar los tractores, carretones, etc.
- c - Una práctica diferente es recoger el estiércol del lugar de ordeño. Se recolecta por una semana hasta que se seque. Luego se lleva al campo para ser esparcido en el terreno donde se va a sembrar la hierba Merck. En tiempo de sequía no sirve esta práctica por limitación de agua.

Este sistema lo pudimos observar en la finca del Ing. Arturo Parada.

1.3 Murciela uina (estiércol de Múrcielago)

Es un abono orgánico producto de los excrementos de los murciélagos, los cuales han sido acumulados por cientos de años en grandes cuevas y cavernas, localizadas fundamentalmente en la parte, este del país. De acuerdo a estudios realizados en nuestro país., se considera en 3 millones de toneladas la cantidad de murcielaguina depositada desde hace alrededor de 400 años.

Pruebas hechas por el Consejo Estatal del Azúcar (CEA) con este abono orgánico en caña de azúcar no dieron respuesta, pues los rendimientos obtenidos en las parcelas experimentadas no fueron significativos, por lo que se descartó su uso como mejorador de suelos en las tierras de los ingenios del Estado.

Composición química de la murcielaguina

%N	%P	%K	%Mg	%Ca	%Fe	%Zn	%S	%Al ⁺⁺⁺	pH
0,94	24,85	1,45	0,14	3,37	1,50	0,10	0,30	1,22	4,5

Fuente: Secretaría de Estado de Agricultura, CENDA.

Como puede verse en el análisis, la murcielagulna tendria dos factores limitantes:

1. Su total pobreza de N.
2. Su pH muy ácido, lo aue haria necesario que su uso fuera acompañado con cierta cantidad de cal para evitar la acidificación futura de los suelos en los cuales se emplee. Esta acidez es debida, posiblemente, a su alto contenido de aluminio.

El uso de los otros estiércoles, chivo, caballo, etc., es muy limitado.

2. RESIDUOS DE CULTIVOS: PAJAS, RASTROJOS

La práctica de empleo de rastrojos la pudimos ver en la Central Romana (Gulf.+ Western Americans Corp.). Esta Central procesa 12 mil toneladas de rastrojos de caña al año. El barbojo de la caña es la parte aérea, compuesta por las hojas de la caña sin contar el tallo.

Se calcula que en todo el país se procesan 12 millones de toneladas de caña de las cuales 2,6 millones se quedarían en el campo en forma de rastrojos (Barbojo).

En experimentos llevados a cabo por el Ing. Luis Alcántara del Departamento de Investigaciones Agrícolas de la Central Romana sobre la incorporación o la quema del barbojo al suelo en la renovación del campo de caña, se obtuvo lo siguiente:

Variedad: CR - 6302 CR (Central Romana)

Siembra: Julio 1978

Tipo de suelo: Franco arcilla gravoso

Tratamientos	Rendimiento Promedio
1. Barbojo incorporado:	52,6 TC/acre = 130 TC/ha
2. Barbojo quemado:	47,0 TC/acre = 116 TC/ha

Estadísticamente, no hubo diferencias significativas, aunque se observa que el barbojo incorporado determinó un rendimiento mayor que cuando fue quemado.

Para mayor orientación, la composición promedio del barbojo es:

%N	%P	%K
0,52	0,07	0,28

Fuente: Laboratorio Suelos Central Romana.

En el Departamento de ganadería, en Higueral, de la Central Romana, usan el barbojo para alimentar al ganado junto con gallinaza, cachaza y melaza.

3. COBERTURA DEL SUELO CON RESTOS VEGETALES "MULCHING"

Después del cultivo de la caña, la producción de café y cacao es la de mayor importancia en nuestro país.

El suelo se cubre con las hojas que caen de éstos cultivos formando lo que se llama un "colchón".

4. ABONO VERDE

Especies vegetales que se utilizan, inclusive en las rotaciones, etc.

Sobre este particular no tenemos ninguna referencia e información de que se esté llevando a cabo esta práctica en nuestro país.

5. RESIDUOS MUNICIPALES E INDUSTRIALES

La organización de la recolección y la distribución, elaboración, preparación de composte con diversos residuos.

Hay un proyecto realizado bajo la dirección del Secretariado Técnico de la Presidencia titulado "Disposición final de la basura dominicana en la ciudad de Santo Domingo".

El objetivo principal de este proyecto es la producción de abono orgánico (composte), utilizando como materia prima principal los residuos sólidos generados por los habitantes de la ciudad de Santo Domingo. Tiene una duración de 17 años.

Según un estudio elaborado por la Oficina Sanitaria Panamericana en la República Dominicana, el 80% de la basura de la ciudad de Santo Domingo está constituido por: 47% de desechos de alimentos y 33% de desechos de hojas, ramas y desechos de tejidos, etc. Como se puede apreciar, existe una materia Prima de excelentes condiciones para preparar un buen composte.

Este producto ya elaborado se piensa utilizar para zonas cañeras, principalmente.

La superficie total de tierras cultivadas de caña actualmente es de 3,0 millones de hectáreas. Asignando un consumo promedio de abono orgánico por hectáreas de 25TM/año, tendremos una demanda total de 75,0 millones de toneladas/año.

Este proyecto sobre composte está aún en proyecto y no se ha llevado a la práctica.

Sobre residuos industriales podemos considerar la cachaza, que es un subproducto obtenido en la fabricación del azúcar de caña. Es un material orgánico, de color pardo oscuro, constituido principalmente de fibras de caña, sacarosa, coloides, coagulados, albuminoides y fosfatos de calcio, además de tierra. La cal es añadida en el proceso de neutralización y clarificación del jugo de caña y la tierra entra como materia extraña adherida a la caña. Fisicamente es blanda, esponjosa, liviana y amorfa.

La composición química promedio de la cachaza es:

%N	%P	%K	%Ca	%Mg	%Ceniza	%Humedad	%Materia seca	pH fresca	pH seca
1,65	1,36	0,02	2,53	0,26	11,96	81	19	8,0	5,5 - 6,0

Fuente: Tesis para optar por el título de Ing. Agrón. de Ubaldo Fleming y Miguel Herrera. UASD, 1980.

El proceso de incorporación de cachaza se realiza del siguiente modo: se descarga en el terreno o potrero, se deja en pilas y, luego de terminada la zafra (12 meses después, aproximadamente), se procede a esparcir (regar con Bulldozer) y, posteriormente, se incorpora. El traslado se realiza en camiones con capacidad de 6-7 toneladas y se aplican 15 pilas/tarea o sea 90 t/tarea de cachaza. Otro procedimiento es aplicarla directamente al pasto, en caliente, sin descomponer, especialmente a la Estrella Africana.

Al aplicar la cachaza debe hacerse con un ordenamiento lógico para no ocasionar problemas de mecanización.

En la Central Romana, el uso de la cachaza es muy intensivo. Se aplican en cultivos de caña, pastos, hortalizas, campo de golf, plantas ornamentales y para alimentar al ganado.

La aplicación de la cachaza se hace en una proporción de 7:2:1 (arena, tierra roja de baja fertilidad y cachaza).

Cuando hay necesidad de usarla fresca para la grama del campo de golf o para el jardín., se deja sólo 3-4 días, se rocía con agua hasta que se comience a descomponer y, luego, se aplica.

Los beneficios de la aplicación de cachaza son:

- mejora la estructura del suelo;
- al aplicarla fresca, para el pasto, ayuda a eliminar la maleza;
- el jugo de la cachaza ayuda a romper las piedras calizas que hay en el terreno, ayudando a la mecanización;
- agrega nutrientes al suelo.

Uno de los problemas de la cachaza es que al cabo de 1 ó 2 meses se descompone totalmente.

Ensayo conducido por Luis Alcántara de la Central Romana con la finalidad de ver la respuesta a aplicaciones de cachaza en un suelo gris con 2 clases de caña:

1.-	Variedad:	B-42231	B = Barbados
	Clase de caña:	Plantilla.	
	a) Con cachaza	(20 t/acre = 50 t/ha).	
	Rendimiento	105,47 t caña/ha	
	b) Sin cachaza:		
	Rendimiento	89,87 t caña/ha.	
2.-	Variedad:	CR-6101	
	Clase de caña:	Primer retoño	
	a) Con cachaza	(50 t/ha)	
	Rendimiento	108,68 t caña/ha	
	b) Sin cachaza:		
	Rendimiento	108,68 t caña/ha	

No existe diferencia significativa estadísticamente, aunque se observa que en el primer caso la aplicación de cachaza incrementó el rendimiento de la caña.

En los Ingenios del Consejo Estatal del Azúcar.(CEA),se ha utilizado muy pocas veces este subproducto, aunque en el futuro tienen planes de usarlo intensamente. No se tienen informes del uso de la cachaza en los ingenios privados, propiedad de los Vicini. Generalmente este material se desecha.

6. FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO

Sobre este tópicó no se tienen conocimientos en el país de investigaciones con el empleo de leguminosas y rizobiáceas como abono verde, ni con no leguminosas.

7. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS DEL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS

En este aspecto se consideran los efectos perjudiciales que puede causar la aplicación de abonos orgánicos, especialmente de residuos de origen animal, a la comunidad:

Contaminación ambiental

Afecciones en la piel

Infestaciones por parásitos, hongos, bacterias, etc.

8. PLANES DE DESARROLLO RELATIVOS AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS EN EL PAIS

Investigación

Uso eficaz de fertilizantes orgánicos y minerales en la producción agrícola.

En el Departamento de Suelos, la División de Fertilidad lleva a cabo investigaciones sobre dosis óptimas económicas de fertilizantes minerales. Para ello se realizan 25 experimentos de campo en frijol, aji, cebolla, tomate industrial, cítricos, berengena, lechosa (papaya) guandul, maíz, y mani y se tiene planes de montar 25 ensayos de campo más para lo que falta del año, incluyendo papas y sorgo.

En el caso de fertilizantes orgánicos, no se ha experimentado. Tenemos conocimiento de la formación de un centro sobre materia orgánica en la parte Sur del país (San Juan de la Maguana).

B - METODOS ECONOMICOS DE ELABORACION DE MATERIAS ORGANICAS PARA SU UTILIZACION COMO FERTILIZANTES

Se está haciendo un gran esfuerzo para reducir los costos de elaboración de materias orgánicas, especialmente los estiércoles vacunos, con el sistema de digestión anaeróbica utilizada en CEAGANA para producción de gas metano y de estiércol digerido para utilizarlo como abono orgánico.

Además; se están aprovechando todos los recursos y materiales para la elaboración de este material orgánico.

C - EMPLEO DE LA FIJACION BIOLOGICA DEL NITROGENO PARA LA ROTACION ADECUADA O PARA SU APLICACION A ZONAS NUEVAS

Sobre este particular no se ha investigado y no se tienen planes inmediatos.

D - EXTENSION X CAPACITACION

Estamos muy de acuerdo respecto de la necesidad de desarrollar un programa de extensión y capacitación bien elaborada y coordinado para que los agricultores sepan la importancia que tiene la aplicación y uso de materias orgánicas en sus cultivos.

En la actualidad, en nuestro país, no hay planes relacionados con este programa de extensión y capacitación.

LITERATURA CITADA

1. Alcántara, Luis. Experimentos con aplicaciones de cachaza y barbojo. Investigaciones Agrícolas, Central Romana, R.D., 1978.
2. División de Ganadería. Central Romana. 1978. Programa Cachaza.
3. División Fertilidad de Suelos, CESDA, San Cristóbal. Datos sobre uso de fertilizantes minerales en investigaciones sobre dosis óptima económica. 1980.
4. Fermín. Experimentos con aplicaciones de cachaza para pastos. División de Ganadería, Central Romana. 1978.
5. Fleming, U. y Herrera, M. Tesis para obtener el grado de Ing. Agrónomo en la Universidad Autónoma de Santo Domingo. "Efectos de la cachaza sobre las condiciones fisico-químicas de los suelos grises de Baigua", 1980.
6. Garcia, M. Datos sobre empleo y aplicación de estiércol vacuno y gallinaza en pastos. 1980.
7. Nuñez, Malena. Aplicación de cachaza a campos de golf y jardines. Romana, R.D. 1980.
8. Pound, B. y Santana, A. Datos sobre digestor de estiércol vacuno y abonamiento a cultivos de doble propósito y producción de gas metano. CEAGANA. 1980.
9. Peña, C. Gerente personal Granja Mora. Datos sobre comercialización con gallinaza. 1980.
10. Secretariado Técnico de la Presidencia. "Disposición final de la basura Dominicana de la ciudad de Santo Domingo. 1977.

9. Informe de la situación en Uruguay

por

D. Gómez 1/

El presente trabajo pretende resumir la información proveniente de experimentos de rotaciones de pasturas y cultivos que se realizan en la Estación Experimental "La Estanzuela" del Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger (CIAAB) desde hace 17 años, así como aspectos relacionados con la Carta Interpretativa de Rotaciones de Cultivos y Pasturas, elaborada a nivel de la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Agricultura y Pesca (MAP), en el marco de los estudios básicos de suelos para uso, manejo y conservación.

Para la mejor comprensión de los datos que a continuación se expondrán, referentes a los resultados físicos y económicos obtenidos en siete sistemas de rotación experimentales diferentes durante 17 años, es necesario efectuar algunas consideraciones de carácter general.

1. ROL DE LAS PASTURAS EN LAS ROTACIONES

Las praderas que incluyen leguminosas, sean perennes o anuales, cumplen en una rotación agrícola una doble finalidad: son el fundamento obvio de la nutrición animal, pero, además, desempeñan el no menos importante rol de restaurar la fertilidad del suelo. El mecanismo principal mediante el cual las pasturas afectan las propiedades del suelo, en resumen, su fertilidad, es a través de la incorporación de materia orgánica y compuestos ricos en nitrógeno. El deterioro físico-químico que se produce como consecuencia del laboreo y siembra de cultivos anuales obedece a la destrucción de esa materia orgánica.

Así pues, el análisis económico de la rentabilidad de una pastura, además del producto animal que resulta de usar el forraje, debe considerar los efectos de la pastura en cultivos posteriores, afectando rendimientos y reduciendo el uso de un insumo costoso como es el fertilizante nitrogenado, cuyo costo alcanza promedialmente un 25 a 30% del presupuesto de instalación de los cultivos. Trigo y sorgo son los que tienen más altas necesidades de nitrógeno y, por ende, donde mayor incidencia presenta el alto costo de este insumo.

El plan nacional de rotación maximiza el aprovechamiento del nitrógeno fijado por las leguminosas y, por lo tanto, aumenta la rentabilidad.

Los principales mecanismos biológicos que gobiernan esa fijación y su residualidad para los cultivos, se resumen en:

1.1 Especies

El por ciento de leguminosas en la pradera, especies usadas y su potencial productivo, son factores claves. Del cuadro se concluye que la cantidad de nitrógeno incorporada al suelo está estrechamente relacionada al nivel de producción de la pastura: las diferencias entre el trébol blanco y lotus no se deben a la especie en sí, sino a que el trébol blanco produjo en esas experiencias mucho más forraje y la fijación nitrogenada resultó proporcional a esto.

La cantidad de nitrógeno que nos dejará una pastura para los cultivos que sembraremos a continuación estará en relación directa con el estado que haya tenido esa pastura.

1/ Facultad de Agronomía, Universidad de la República, Uruguay.

1.2 Persistencia

Con los años, las pasturas permanentes decrecen su producción debido a la invasión de malezas y la drástica disminución del porcentaje de leguminosas en la mezcla. En Uruguay, el envejecimiento de las pasturas permanentes, el menor aporte de nitrógeno al suelo y la invasión de gramilla siempre se acompañan, determinando una menor calidad y consumo del forraje por el ganado y, además, un pasaje del nitrógeno del suelo hacia formas de muy lenta descomposición (tejidos de la gramilla), no mostrando la pastura al ser arada una residualidad para los cultivos.

1.3 Residualidad

Una experiencia instalada en "La Estanzuela", hace ocho años, permitió cuantificar la disminución del nitrógeno disponible residual.

Se evaluó ese efecto a lo largo de cuatro años sobre rendimientos de trigo, sorgo, lino y girasol. Si bien una primavera resultó muy lluviosa, con la consiguiente baja eficiencia en la utilización de nitrógeno, se concluyó que la caída de rendimientos por la disminución de nitrógeno disponible al aumentar la edad de la chacra es más abrupta de lo que se supone habitualmente. Esto valora aún más las ventajas de las rotaciones de corta duración, especialmente en suelos degradados por muchos años de agricultura.

1.4 Cabezas de rotación

Inmediatamente después de arar una pastura el contenido de nitrógeno es normalmente muy alto, por lo que los cultivos que harán un uso más eficiente serán aquellos que presentan alta respuesta al nutriente (maíz, sorgo y trigo), debiéndose postergar los demás para etapas tardías de la rotación (girasol, lino y soja).

2. RASTROJOS

Respecto al efecto residual de los rastrojos sobre los cultivos subsiguientes y su relación con la fertilización nitrogenada, se arribó a estas conclusiones:

2.1 Sorgo

En promedio, los trigos siguiendo al sorgo rindieron un 28% menos que luego de girasol; y la fertilización nitrogenada no corrigió este problema.

2.2 Remolacha

En la Facultad de Agronomía se demostró el año pasado que la alta fertilidad residual de rastrojos de remolacha se debe al nitrógeno de los descartes (coronas, hojas, etc.), siendo despreciables los residuos de la fertilización.

2.3 Soja

En "La Estanzuela" se demostró recientemente que rastrojos de soja inoculada no son superiores en residuos de nitrógeno a otros cultivos estivales, confirmándose que la soja usa prácticamente todo el nitrógeno que fija en la producción de grano; lo que contradice el concepto vastamente difundido de que los rastrojos de soja aportan mucho nitrógeno y por ello es posible disminuir la fertilización del cultivo que le sigue.

En definitiva, estas consideraciones de carácter general llevan a destacar que el costo creciente de los fertilizantes nitrogenados obliga en Uruguay a incluir pasturas, con leguminosas, para asegurar la rentabilidad. Si se pretende hacer un uso máximo del nitrógeno fijado por las leguminosas, la pastura deberá ararse antes

de que invadan las gramíneas improductivas. Al cuarto año de ararse la pastura, los niveles de nitrógeno disponibles son prácticamente los que había antes de instalar la pastura. Las rotaciones serán cortas (a lo sumo de 3 ó 4 años) y la cabeza de rotación se caracterizará por un uso exhaustivo de los altos niveles de nitrógeno existentes, siendo los cultivos cerealeros los que presentan mayores respuestas y dentro de ellos los de verano (maíz y sorgo) más que los de invierno (trigo y cebada). Cuando las rotaciones son cortas, un cultivo de verano debe ser cabeza de rotación postergándose así 3 ó 4 meses el inicio de la preparación del suelo aprovechando la pastura hasta principios de otoño, y además de esta forma el suelo no permanece improductivo como sucedería si se decidiera comenzar con uno de invierno, siguiéndolo por otro también invernal. El remate de la rotación habrá que realizarlo con una siembra consociada, reduciendo así costos de implantación y los lapsos improductivos, como es el caso del año de implantación de las pasturas que no da pastoreo.

CARTA INTERPRETATIVA

En la tarea de interpretación de estudios básicos de suelos para su uso, manejo y conservación, la Dirección de Suelos y Fertilizantes del Ministerio de Agricultura y Pesca, ha publicado recientemente la Carta Interpretativa de Rotaciones de Cultivos y Pasturas, cuyo fin esencial es el de orientar en la definición de sistemas de producción adecuados a las distintas tierras agrícolas. Han sido establecidas cuatro rotaciones tipo: 1) muy intensiva (no más de 5 años continuos de cultivo; 2) intensiva (no más de 4 años); 3) moderada (no más de 3 años); y 4) restringida (no más de dos años).

Deberá haber un mínimo de dos años de pasturas bien implantadas y con buen desarrollo de leguminosas, antes de iniciar un nuevo ciclo agrícola. Es muy oportuno recordar aquí que una de las medidas más efectivas para controlar la erosión de los suelos -problema que preocupa hondamente en Uruguay- es practicar una adecuada rotación de cultivos y pasturas de manera tal que los deterioros inevitables de la agricultura sean compensados con periodos de autoregeneración y recuperación inducida por las pasturas que se instalen.

En el mencionado mapa, las superficies aproximadas en miles de hectáreas son de 3 700 rotaciones "muy intensivas", 1 225 para "intensivas", 1 180 para "moderadas" y 704 para "restringidas", lo que representa los porcentajes de 21,8; 6,9; 6,7 y respectivamente.

Se ha apreciado en esa Carta que las tierras que permiten una explotación "muy intensiva" se corresponden con unidades de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay, donde la asociación dominante está compuesta fundamentalmente por Brunosoles Eutríticos Típicos y Vertisoles. La rotación "intensiva" agrupa tierras de fertilidad media a alta, con buenos tenores de materia orgánica, pero presenta una estabilidad estructural menor que en el caso de los muy intensivos, lo que muchas veces se acompaña por una diferenciación textural mayor que, sumada a otras limitantes, exige mayores cuidados de manejo y menor número de años de cultivo continuo.

La rotación "moderada" agrupa tierras que corresponden a asociaciones de suelos dominantes representadas fundamentalmente por Brunosoles Subéutríticos Típicos o Lúvicos de texturas livianas, con mayor susceptibilidad a la erosión que los anteriores. Son fácilmente laborables, pero si no se toman las medidas adecuadas, su productividad baja muy rápidamente.

Las tierras agrícolas que exigen mayor cuidado se corresponden con asociaciones de suelos dominantes donde predominan los Argisoles de texturas medias a livianas, o Luvisoles o Acrisoles. En estos últimos, si se practica agricultura continua, sin precauciones especiales, en pocos años se transformarán en algo muy similar a dunas arenosas.

Las deficiencias más importantes son su baja fertilidad natural y su alta susceptibilidad a la erosión. Son suelos aptos para cultivos de verano y en la actualidad el auge de la soja puede ser vía introductoria para la erosión de estos suelos, si no se respetan las normas mínimas de manejo y conservación.

ANALISIS FISICO Y ECONOMICO

La experiencia realizada en "La Estanzuela" en 1963 con siete sistemas de rotaciones generó valiosa información durante 17 años, permitiendo el análisis físico y económico de estos sistemas, y proporcionando datos sobre rendimientos de cultivos y pasturas. Los sistemas se caracterizan por estas secuencias: 1) rotación continua de cultivos sin fertilizar; 2) rotación continua de cultivos con fertilización convencional; 3) rotación con alfalfa cosechada para heno; 4) rotación corta con pasturas anuales de leguminosas y gramíneas; 5) rotación con pradera bajo pastoreo; 6) rotación corta con gramíneas anuales; 7) rotación continua de cultivos fertilizados, con los cultivos de trigo consociados con trébol rojo.

Los diferentes sistemas afectaron en forma similar los rendimientos de los cuatro cultivos usados, o sea, trigo, lino, girasol y sorgo.

Las que incluyen pasturas permanentes (3 y 5) mostraron los mayores rendimientos en todos los cultivos; el de menor producción fue el de rotación continua sin fertilizar, situándose en posiciones intermedias los sistemas 2, 7, 4 y 6.

Los rendimientos totales de grano son similares entre sistemas siendo sólo sensiblemente inferiores en el sistema uno (cultivos continuos sin fertilización).

El consumo de fertilizantes fue sensiblemente menor en los sistemas que incluyen praderas permanentes: los sistemas 3 y 5 usaron 40 a 60% menos de fertilizantes nitrogenados que el resto de las rotaciones.

Evidentemente, por un lado la mitad del tiempo el suelo estuvo bajo praderas permanentes y, por otro, la fijación de nitrógeno de las pasturas hizo que luego se necesitara menos fertilización nitrogenada. Las diferencias en el consumo de fertilizante fosfatado fueron apreciablemente menores, pero de todos modos el 3 y el 5 presentaron los más altos valores, lo que se tradujo en un ahorro más que proporcional en el consumo de fertilizante nitrogenado debido a que la cantidad de nitrógeno fijado por las pasturas depende en gran medida del nivel de fósforo disponible en el suelo.

La producción anual de granos fue máxima en los sistemas que incluyeron pasturas permanentes y la acción restauradora de éstas sobre la fertilidad del suelo no pudo ser sustituida únicamente con el agregado de fertilizante. Además, el aumento de la productividad por hectárea de las rotaciones con pasturas permanentes se debe principalmente a tres factores, que son: a) fijación de nitrógeno por las leguminosas; b) efectos beneficiosos de las pasturas sobre las condiciones físicas del suelo y c) el uso más eficiente del suelo al reducirse los periodos improductivos (un 45% en los sistemas 1 y 2; 60% en los 4 y 6; y 75% en los 3 y 5).

5. ENFOQUE ECONOMICO

Al momento del análisis económico surgieron diferencias importantes con los resultados físicos en el caso de algunos sistemas. Así la agricultura continua sin fertilizantes resultó más rentable que la fertilizada (sistemas 1 y 2, respectivamente). Los sistemas con pasturas anuales (4 y 6) con rendimientos físicos similares a aquellos con praderas permanentes, revelaron una rentabilidad apreciablemente menor. Presentan ingresos brutos altos los con praderas permanentes (3 y 5), pero sus gastos anuales son tan altos que determinan un margen bruto menor. De igual modo, los altos gastos totales del sistema 2 determinan un margen bruto menor que el sistema 1, a pesar de que el ingreso bruto de aquel resultó mayor.

Es importante destacar que para todos los sistemas, el gasto en fertilizantes resultó ser aproximadamente un 50% de los gastos totales. Por el contrario, los costos de laboreos mostraron gran variación siendo marcadamente inferiores en los sistemas con pasturas permanentes. La excepción la constituyó el sistema 7, que con igual secuencia de cultivos que el sistema 2, requiere un menor número de horas de laboreo, debido a la sustitución de periodos de barbecho por trébol rojo.

Una característica deseable de los sistemas de producción son los márgenes brutos altos y muy estables. En el sistema uno, son bajos y muy estables; los sistemas de pasturas anuales poseen marcada inestabilidad y picos negativos importantes; la mejor evolución la posee el sistema 5 (pasturas permanentes).

6. CONCLUSIONES

De acuerdo a lo expresado, pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- a. En primer lugar, es importante subrayar las ventajas de un estudio de este tipo que analiza la rentabilidad a largo plazo de diferentes sistemas de producción, ya que por un lado permite estudiar la estabilidad económica de las distintas rotaciones y, por otro, suministrar una valiosa información sobre los flujos de capitales, destino de inversiones, etc., fundamental en la toma de decisiones a nivel de los establecimientos agropecuarios.
- b. En segundo término aparece claramente la importancia de la planificación de la producción a mediano y largo plazo, buscando sistemas que presenten una mayor elasticidad y evitando la producción de rubros únicamente en función de una expectativa inmediata de precios favorables, ya que en el largo plazo esto puede traer como consecuencia una rentabilidad menor.
- c. Por otro lado, de este análisis surge la necesidad de intentar reducir los costos de laboreo que, como se puede observar, tienden a intervenir cada vez con más importancia en los costos totales de producción.
- d. Finalmente, una vez más, se comprueba lo imperioso que significa en estos momentos aprender a capitalizar y manejar la residualidad de las pasturas permanentes como uno de los mecanismos económicamente más viables de aumentar la rentabilidad de la empresa agropecuaria.

6.1 Posibilidades de la producción de biogas

Desde 1978, el Instituto de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería lleva a cabo un estudio bibliográfico sobre el tema "Obtención de biogas de residuos animales o industriales".

En 1979, se firmó un convenio entre el Comando General del Ejército y el Instituto de Ingeniería Química para el desarrollo de una planta de biogas. La materia a utilizar será la cama de los caballos de los distintos regimientos de caballería.

Hace algunos meses se iniciaron trabajos a nivel de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de obtención del biogas, y actualmente se está montando una planta a escala piloto capaz de procesar unos dos mil litros de residuos.

6.2 Residuos municipales

Por otra parte, la Dirección Nacional de Energía inició estudios sobre fermentación anaeróbica de los residuos urbanos sólidos y líquidos. Los primeros resultados indican que los residuos sólidos de esa fermentación tienen valor sólo como acondicionadores del suelo, ya que los valores de N-P-K no permiten afirmar que se trate de un importante aporte de nutrientes. En las próximas semanas se podrán conocer valores más concretos, solamente a escala de laboratorio.

El aporte de residuos por la ciudad de Montevideo está estimado en poco menos de 200 toneladas por día.

Se proyecta realizar ensayos sobre la calidad de estos residuos desde el punto de vista agrícola.

Obras Sanitarias del Estado (OSE) analiza un proyecto destinado al aprovechamiento de los residuos de las aguas servidas por fermentación anaeróbica (biogas) con la finalidad de mejorar la disposición de los residuos cloacales en algunas ciudades del interior del país. El proyecto aportaría un doble beneficio, ya que, además de impedir la contaminación de aguas, brindaría la posibilidad de utilizar el gas resultante para calefaccionar zonas aledañas o bien accionar generadores eléctricos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) está interesada en dicho proyecto.

El sistema se implantaría en base a los tanques "Imhoff", concentradores de desperdicios, grandes receptáculos que se ubicarían en los desagües. Así se proyecta producir gas y aprovechar los residuos como fertilizantes.

B - CUADROS DE LA DISPONIBILIDAD DE RESIDUOS ORGANICOS Y SU UTILIZACION
EN LA AGRICULTURA EN AMERICA LATINA

BOLIVIA

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Residuos sólidos Aguas negras				SAMAPA estudia el problema
<u>Agro industriales</u> Pulpa de café		Como pulpa (sultana) después de secado; mulch		
<u>Pecuarios</u> Estiércoles de bovino Gallinaza		Como abono, 1/2 T/ha Como abono	Biogas no contemplado	
<u>Residuos de cosecha</u> Mazorcas de maíz		Como mulch cafetales, citrus		
<u>Abonos verdes</u>		Kutzu y Canavalia como mulch en plantaciones de citrus	A desarrollar	Para evitar la erosión hídrica
<u>Factores limitantes</u>	Falta el conocimiento sobre el reciclaje de la materia orgánica y sus beneficios			
<u>Programa de acción</u>	Necesario en investigación y extensión, particularmente en el uso de abonos verdes y residuos de cosecha			

COSTA RICA

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Residuos sólidos Aguas negras		Eliminados en los ríos		
<u>Agro industriales</u> Pulpa de café Bananos Bananos averiados Rachis Caña, bagazo Cachaza Melaza	232 110 161 300 58	En parte restituida sin compostaje Sin uso Sin uso Combustible Sin uso Alimentación de ganado	Compostaje y biogas y alimentación de ganado Alimentación de ganado Alimentación de ganado Compostaje Alcohol	La mayor parte es eliminada en los ríos. Aplicación 5-10 kg/árbol en superficie. Corresponde a los bananos rechazados a la exportación. 20-30 kg producida/Tn caña con 81,7 % de M.O.
<u>Pecuarios</u> Estiércoles de vacunos Gallinaza	15	Generalizado en fincas chicas Abonos en cafetales y en horticultura		Compostaje en lecherías 1/3 corresponde a residuos de madera
<u>Residuos de cosecha</u> Arroz		Alimentación de ganado e incorporación		
<u>Abonos verdes</u>		Sólo en pequeñas fincas	Desarrollar empleo de Cajanus, crotalaria, lupinus, etc.	Cultivos asociados en que esté involucrada una leguminosa como <u>Phaseolus</u> , <u>Vigna</u> , etc.
Factores limitantes	Altos costos de procesamiento			
Programa de acción	Campañas para aprovechar las basuras de ciudades y los residuos orgánicos mediante compostaje en explotaciones que tengan a la vez agricultura y ganadería			

ECUADOR

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Residuos sólidos Aguas negras		Utilización como abono en ciudades de población significativa, parcialmente rellenos sanitarios No se usan	Puede ser utilizado como abono, para hortalizas, jardinería, previo convenio con municipios e instituciones de Desarrollo Agropecuario.	Todas las provincias recolectan basura, pero, a excepción de 3, no las tratan. 3 provincias hacen recolección de basuras (tratan con maquinarias). Se tiran a los ríos (contaminación alta)
<u>Agro Industriales</u> Pulpa de café Caña bagazo Cachaza Cacao		Abono sin tratar (directo al campo) Combustible (parte se aplica al cultivo) Tabla aglomerada Abono sin tratar	Se plantea como alternativa para minorar el uso de fertilizantes químicos y abaratar los costos de producción.	Puede haber dificultad de traslado de materiales a la finca, sobre todo en donde se lleva café o caña a grandes industrias.
<u>Agropecuarios</u> Estiércoles vacuno Gallinaza Porcinos Otros		Uso generalizado Abono de hortalizas, después de compostaje. Uso como abono en diferentes cultivos	Es factible su uso a nivel de grandes y pequeños agricultores, median acuerdos. Sistemas de promoción.	En forma general se usa como abono orgánico de aplicación al suelo.
<u>Residuos de cosechas</u> Paja de trigo, cebada, maíz		En general, reincorporados.		
<u>Factores limitantes</u>		Falta de concientización a los agricultores como prioridad (demostración y promoción del uso). Además, falta de fondos necesarios para adquisición de maquinaria adecuada para tratamiento.		
<u>Programa de acción</u>		Que dentro del programa de las instituciones de desarrollo agropecuario y control de la contaminación ambiental sean incluidos programas y proyectos que utilicen los residuos orgánicos anotados.		

EL SALVADOR

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Residuos municipales Aguas negras		No se utilizan No se utilizan		Se tiran a los ríos
<u>Agro industriales</u> Henequen (Agave) Pulpa de café Caña-bagazo Cachaza		Compostaje para relleno Compostaje para café Combustible	Abono en las parcelas de maíz. Abono en las planta- ciones de café	ISIC investiga su uso Se tira Se tira
<u>Pecuarios</u> Estiércol vacuno		Abono	Biogas	Investigaciones sobre pro- ducción de biogas en curso. En este campo la FAO debería ayudar en el aspecto técnico dando a conocer los métodos diferentes de producción de biogas
<u>Residuos de cosechas</u> Maíz		Mulch	Conservador del suelo en laderas	Experimentación con la labranza mínima.
<u>Abonos verdes</u>				
<u>Factores limitantes</u>	Falta de conocimientos del uso del reciclaje de materias orgánicas por parte del agricultor debido a la poca difusión al respecto			
<u>Programa de acción</u>	Hacer un inventario de cantidad y calidad de los materiales y su utilización en los cultivos de El Salvador. Difundir la importancia por medio de las agencias de extensión agrícola del MAG. En El Salvador es necesario y factible un programa de esta índole, ya que se cuenta con potencial humano y residuos suficientes para su utilización como materia orgánica en la agricultura.			

GUATEMALA

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Residuos urbanos Aguas negras	Existen en buenas cantidades, pero no han sido cuantificados	No se utilizan No se utilizan	Aboneras Compostaje, etc.	
<u>Agro industriales</u> Residuos de caña Pulpa de café	idem	Combustible Reincorporado como abono	Biogas, formación de un mejor composte.	
<u>Pecuarios</u> Estiércol vacuno Ovino Caballar Gallinaza	idem	Incorporado en compostaje en pequeñas fincas en extensiones grandes. Se puede aplicar sin compostaje directamente. Compostaje Abono	Formación de un mejor abono orgánico, biogas, etc.	Aplicación variable, composición muy despareja. Fosfato caro.
<u>Residuos de cosechas</u>	idem	a) Incorporación al suelo directamente (sin compostaje) b) Incorporación al suelo en compostes.		Tipo de materia orgánica más comúnmente utilizada.
<u>Abonos verdes</u>	No cuantificado	Cultivos asociativos de leguminosas con maíz choreque para incorporación en maíz	Uso de residuos como abonos para competir con su uso para alimentación del ganado.	Hay integración entre el uso de los residuos y el uso de abonos verdes en rotaciones, en pequeñas fincas. La cantidad incorporada es insuficiente.
<u>Factores limitantes</u>	Falta de tecnología; falta de terreno por agricultor (minifundio); falta de apoyo económico, cantidades de M.O. insuficientes para las áreas cultivadas; por el gran volumen que se necesita, algunos prefieren utilizar fertilizantes químicos.			

MEXICO

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u>				
Sólidos	1 500	Compostaje para horticultura y agricultura-rellenos sanitarios (20%)		Plantas procesadoras en México, Guadalajara, Monterrey, Toluca. Costo alto. Subproducto no es utilizado en campo por su alto precio. Uso en jardinería 220 000 ha regadas p/año en distritos de riego.
Aguas negras	2 200 000 (m ³)	Riego en parte y en crudo		
<u>Agro industriales</u>				
Caña bagazo	10 000	50% papel y combustible 50% disponible	Compostaje	Se está llevando a cabo un programa. Se produce COMPOMEX (composta) utilizando inoculantes a base de microorganismos celulolíticos
Cachaza	1 000	Compostaje		
Pulpa de café	125	Se acumula o se quema	Compostaje	
Orujo de vid	7	No se utiliza	Compostaje	
Residuos de enlatadores y empacadoras	50	No procesados	Compostaje	
<u>Pecuarios</u>				
Estiércoles de bovinos	36 600	Utilizados como abono o sin compostaje		49,2 millones de Tn de estiércoles disponibles por año producen 260 000 Tn de N; 191 000 Tn P ₂ O ₅ y 338 000 Tn K ₂ O/año. Abonan tierras una vez al año. Pérdida del 50% de los nutrientes por mal manejo y mala aplicación provocando contaminación ambiental
equinos	4 800			
porcinos	3 900			
caprinos	1 800			
ovinos	1 000			
Gallinaza	1 100	Abonos	Alimentación de ganado	
<u>Residuos de cosecha</u>				
		Se queman		
<u>Abonos verdes</u>				
		Cultivos en relevo de Vicia villosa (Roth)	Intensificación del uso de cultivos en relevo	Aportan 150 kg de N al maíz; estudios en curso.
<u>Factores limitantes</u>				
Altos costos de compostaje de residuos urbanos e industriales. Falta de concientización. Alto costo de los inoculantes celulolíticos.				
<u>Programa de acción</u>				
Tratar de fomentar el compostaje (FERMITEX) y el desarrollo de estercoleras para pequeños agricultores, con fijación de amonio por agregado de superfosfato simple de Calcio. Experimentación para definir la factibilidad técnica y económica del uso de abonos or-				

NICARAGUA

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Sólidos Aguas negras		Eliminadas en los ríos, lagos	Producción de abono orgánico a través de compostaje.	
<u>Agro industriales</u> Pulpa de café Cáscara de algodón Bagazo de caña Cachaza Melaza		En crudo como abono compo- staje en el norte del país. Alimentación de ganado. Combustible. Eliminada en cursos de agua Mieles para alimentación humana y animal	Producción de alcohol	25-30 kg/pie estudios de compostaje en marcha. Planta piloto a establecerse
<u>Pecuarios</u> Estiércol de vacunos Hueso, carne y sangre de vacunos		Alimentación animal Abonos	Producción de metano	Algunos ensayos en marcha
<u>Residuos de cosecha</u> Rastrojo de algodón Semolina de arroz Rastrojo de maíz Afrecho de arroz		Pastoreo Alimentación animal Combustible	Labranza mínima para frijoles y otras legu- minosas	Problemas de contaminación animal por insecticidas (DDT). Buenos resultados usando herbicidas.
<u>Abonos verdes</u> Cultivos asociados Leucaena Café			Sombra en cafetales Sistemas de cultivo	Estudios de cultivo de rele- vo maíz-frijol y sorgo-frijol en colaboración con CATIE
<u>Factores limitantes</u>	Falta de inventario, personal capacitado e información al respecto.			
<u>Programa de acción</u>	Investigar la existencia de cepas de Rhizobium, su eficiencia y persistencia. Producción de inóculos, adaptación del uso de Azolla-Anabaena en la producción de arroz. Formación de compostaje con pulpa de café. Producción de biogas a partir de estiércol y desechos de cosechas. Producción de alcohol.			

PARAGUAY

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Sólidos Aguas negras		Quemados y rellenos sanitarios se descargan en ríos y arroyos	Para todos los residuos está dada	Legislación nueva para combatir la contaminación (no vigente)
<u>Agro industriales</u> Torta algodón Torta tártago Torta soya, maní, coco Desechos frigoríficos Caña: bagazo		Abonos y alimentación del ganado Abonos Alimentación del ganado Abonos Compostaje con agregantes de origen enzimático % bajo	Altas posibilidades de uso, limitada hasta la fecha por el precio más o menos alto con que son lanzadas al mercado, considerando que son productos controlados en calidad excepto industriales.	Contenidos de tortas en N-P ₂ O ₅ -K ₂ O: Algodón 5-6; 2-3; 1,5-2 Tártago 5-7; 1,5-2; 0,5-1
<u>Pecuarios</u> Estiércol bovino Gallinaza		Fertilización tambor y cultivos hortícolas después de compostaje Cultivos hortícolas después de compostaje en cascarillas de arroz		Contenidos no son conocidos Procesados solamente los producidos por los tambos de la cuenca lechera.
<u>Residuos de cosecha</u> Rastrojo algodón Residuos diversos		Quemados Compostaje % bajo. Resto, mulch e incorporados al suelo		Por razones fitosanitarias
<u>Abonos verdes</u>		Mucuna (labla), caupí y lupino en poco porcentaje		Usados en las colonias alemanas y japonesas
<u>Factores limitantes</u>	Falta de conocimiento real de las ventajas de su utilización			
<u>Programa de acción</u>	Investigación más intensiva sobre el tema y su posterior extensión.			

PERU

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Sólidos		No se utilizan (rellenos sanitarios)	Proyecto de compostaje No operacional	
<u>Agro industriales</u> Algodón Frutas Bagazo de caña Pulpa de café	(Referido a material seco, excepto pulpa de café) 560 400 1 575 260	Sin uso Sin uso Para producción de papel y como combustible Sin mayor uso	En estudio	
<u>Pecuarios</u> Estiércoles: Vacunos Ovinos Porcinos Equinos Camellidos Aves	(Referido a material fresco) 15 000 5 625 3 600 2 600 2 145 400	En la mayoría de los casos usados en forma deficiente		Falta de transferencia tecnológica a nivel de campo
<u>Residuos de cosechas</u> Maiz Arroz Trigo	(Referido a material seco) 1 140 260 260	Ganadería		
<u>Abonos verdes</u>		Empiezan a usarse. Introducción de lupino en la sierra y de soya en la costa y selva para producción de aceite y torta		Estudios de sistemas con bajo uso de insumos. Incorporación de M.O. y abonos en Yurimaguas. Cultivos múltiples con kutzu
<u>Factores limitantes</u>	Falta de trabajos de investigación. Los subproductos se utilizan en forma muy limitada por falta de conocimientos a nivel de campo, en cuanto a la forma de recolectar, conservar, procesar y usar M.O., así como respecto a sus ventajas			
<u>Programa de acción</u>	Elaborar programas integrales para la utilización racional de M.O. (Investigación, fomento y extensión).			

REPUBLICA DOMINICANA

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Sólidos Aguas negras	178	Compostaje		80% de la basura de Santo Domingo está compuesta de: 47% residuos alimenticios, 33% desechos jardines.
<u>Agro industriales</u> Caña: bagazo Cachaza Murcielaguina	2 600 175 3 000	Cartón, papel, combustible y furfural Abono Abonos	Alimento ganado	Existencias calculadas. Problemas de aplicación por su acidez alta
<u>Pecuarios</u> Estiércoles vacunos Gallinaza	275 9	Abonos después de compostaje Abonos después de compostaje y alimentación de ganado.	Biogas	Unidades experimentales de biogas en funcionamiento
<u>Residuos de cosechas</u> Barbojo	2 600	Abono Alimento ganado		
<u>Abonos verdes</u>		Quemados o incorporados al suelo por agricultores sin ninguna investigación		
<u>Factores limitantes</u>	Falta de concientización de la importancia del abono orgánico			
<u>Programa de acción</u>	Programa de extensión y capacitación sobre importancia del uso de los residuos orgánicos y, además, uso del biogas.			

URUGUAY

Sub productos	Cantidad Tn x 10 ³	Uso actual	Uso potencial	Observaciones
<u>Municipales</u> Sólidos Aguas negras	200 Tn por día en Monte- video	No se utilizan	Altamente interesante su utilización para la ela- boración de composte. Proyectos en estudio.	La necesidad de instrumen- tar procesos de elaboración eficientes y rentables y adecuadas vías de comercia- lización, para lo cual es esencial conseguir la buena disposición de las autorida- des uruguayas.
<u>Agro industriales</u> Alcohol		Se han iniciado investi- gaciones a nivel de la facultad de agronomía	Posibilidades interesan- tes, aunque las tareas se hallan en etapas primarias	Investigaciones sobre obten- ción de alcohol a partir de sorgo.
<u>Pecuarios</u> Estiércoles		Poco usados	Su uso potencial es parti- cularmente alto en la zo- na sur del país.	La necesidad de intensifi- car su uso, con criterios más racionales, impulsando investigación y análisis y tornando más ágiles los ca- nales de transferencia tec- nológica. Se investiga en la Facultad de Agronomía.
<u>Residuos de cosechas</u>		Bastante reducido y lo- calizado en las explota- ciones frutícolas	Utilización como mulch.	
<u>Abonos verdes</u>		Utilización de pastura de leguminosas en las rotaciones con cultivos anuales. Intensidad de las rotaciones en fun- ción de la calidad de los suelos	Incremento para disminuir el uso de fertilizantes nitrogenados	Investigación en curso basado en más de 17 años de estudios en la Estanzuela
<u>Factores limitantes</u>	Problemas de erosión severos. Necesidad de divulgación y concientización del público sobre una mayor utilización de los residuos orgánicos.			
<u>Programa de acción</u>	Utilización de los residuos municipales. Obtener el apoyo de las autoridades uruguayas; luego, aportar la tecnología adecuada y aplicar procedimientos de extensión.			

C - UTILIZACION DE LA FIJACION DE NITROGENO (SIMBIOTICA) EN LA AGRICULTURA EN AMERICA LATINA

País	Investigaciones	Usos	Factores limitantes	Programa de acción
Argentina	En curso en varios centros	Alfalfa, soja y otros	Calidad transporte métodos de aplicación	Selección de cepas autóctonas
Bolivia	Empezando	Soja	Calidad del inoculante	Producción de inoculantes locales
Brasil	En curso en diferentes centros	Inoculación en uso	Almacenamiento, transporte y métodos de aplicación	Extensión y educación para el uso correcto. Selección de cepas y variedades con alto potencial de fijación
Costa Rica	Universidad de Costa Rica empieza un programa			
Ecuador	INIAP-Varios años en pastos tropicales	Pastoreo		
El Salvador	Dpto. de Investigación introduce cepas			
Guatemala				
México	En curso en diferentes centros	Inoculación en uso	Difusión control de calidad	Selección de cepas nativas y producción a nivel industrial
Nicaragua				
Paraguay	No existe	Inoculación de la soja		Producción local de inoculante
Perú	Experimentación de campo			
República Dominicana				
Uruguay	Realizadas extensamente en la década del 60	Inoculación ya generalizada		

PROGRAMA

Lunes 7 de julio

09.30 - 12.30

Inauguración de la Reunión-Taller

TEMA I: INTRODUCCION AL RECICLAJE DE MATERIAS ORGANICAS
La importancia actual del reciclaje de los residuos orgánicos para la agricultura.

P.L. Arens

15.30 - 20.00

Utilización de los desperdicios orgánicos como fuente de mejoramiento de la productividad de los suelos.

J. Parr

Discusión general sobre el estado actual del reciclaje de materias orgánicas en América Latina: disponibilidad y utilización de los diversos residuos y desechos orgánicos en los países. Discusión por país participante.

Martes 8 de julio

08.30 - 12.30

TEMA II: LA UTILIZACION DE LA FIJACION SIMBIOTICA DEL NITROGENO
Y EL USO DE ABONOS VERDES

La contribución de la fijación simbiótica en el abastecimiento del nitrógeno en los cultivos.

Y. Hamdi

La fijación biológica del nitrógeno como fuente adicional de energía en la agricultura tropical.

A.P. Ruschel

La fijación biológica del nitrógeno en pastizales y pasturas sembradas en Argentina y Chile.

J. Ph. Culot

14.30 - 18.00

Experiencias prácticas con la fijación simbiótica del nitrógeno en Bolivia.

J. Iporre

Proyección de una filmina sobre leguminosas tropicales.

N. Gonzalez

Mesa redonda sobre el potencial de las leguminosas para la provisión de nitrógeno en los cultivos de América Latina.

Miercoles y de julio

TEMA III: EL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS Y LA UTILIZACION
DEL COMPOSTE EN LA AGRICULTURA

08.30 - 12.30

Experiencias con composte en países en via de desarrollo.

J. Parr

El uso de pulpa del café como abono orgánico.

F. Suárez de Castro

Adaptación del método Pila aireada de Beltsville para la preparación del composte para su uso en los países en vía de desarrollo.

J. Parr

14.30 - 20.00

Proyección de una filmina sobre el compostaje de residuos orgánicos.

N. Gonzáles

TEMA IV: LA UTILIZACION DE LA FIJACION DEL NITROGENO POR EL
COMPLEJO AZOLLA-ANABAENA PARA LA PROVISION DEL
NITROGENO DE LOS ARROZALES

Fijación del nitrógeno por el complejo azolla - algas verde-azuladas y la utilización de la azolla en los arrozales irrigados.

Y. Hamdi

Algunas experiencias con azolla en arrozales en China.

P.L. Arens

El desarrollo de recursos marinos para el reciclaje de materias orgánicas.

E. Werner

Mesa redonda sobre la utilización de las basuras de las ciudades en América Latina.

Jueves 10 de julio

Excursión a cafetales y a la Estación Experimental del OFICAFE en la Meseta Central de Costa Rica.

Viernes 11 de julio

TEMA V: EL BIOGAS, SU PRODUCCION, UTILIZACION Y EL USO
DE LOS RESIDUOS

08.30 - 12.30

El biogas como fuente alternativa de energia en el ambiente rural.

E. Werner

La producción de biogas y la utilización de los efluentes y de los residuos de digestión en China.

P.L. Arens

Filmina sobre la construcción de un digestor familiar en China y sobre el uso de los residuos para la agricultura.

N. Gonzalez

TEMA VI: LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO, SU IMPORTANCIA
Y FORMAS DE MANTENERLA

14.30 - 18.00

Mantenición del contenido de materia orgánica en los suelos,
en particular en suelos arenosos.

F. Gati

El comportamiento y aprovechamiento del fósforo orgánico
en suelos tropicales.

E. Bornemisza

La importancia del fósforo orgánico en los suelos en Argentina.

J. Ph. Culot

La posible contribución de la fijación biológica del
nitrógeno en los cultivos.

C. Ramirez

Mesa redonda sobre las posibilidades de la producción y utilización
del biogas y de los residuos de los digestores en América Latina.

Lunes 14 de julio

08.30 - 12.30

Fijación de nitrógeno por las algas verde-azuladas y su
utilización en agricultura.

TEMA VII: LA SITUACION ACTUAL CON RESPECTO AL RECICLAJE DE
MATERIAS ORGANICAS EN PAISES DE AMERICA LATINA

Informaciones de los países participantes, en orden alfabético:

Bolivia	:	J. Pascuali
Brasil	:	A.P. Ruschel
Costa Rica	:	G. Ramirez
Ecuador	:	G. Loaiza
El Salvador	:	N.R. Florez

14.30 - 18.00

Guatemala	:	C.E. Gutierrez
México	:	S. Cruz y A.T. Santos
Nicaragua	:	E.A. Terán
Paraguay	:	A. Fatecha
Perú	:	R. Rodriguez
República Dominicana	:	A.J. Reynoso
Uruguay	:	D. Gomez

Discusión y conclusiones.

Proyección de una película sobre la provisión con materia
orgánica de suelos arenosos en Hungría.

F. Gati

Martes 15 de julio

Excursión al CATIE en Turrialba. Visita a las instalaciones.

Miércoles 16 de julio

08.30 - 12.30

El reciclaje de materias orgánicas como parte integral del manejo y conservación de los suelos.

P.L. Arens

Posibilidades de un proyecto regional para América Latina sobre el fomento del reciclaje de materias orgánicas para la agricultura.

J. Castellanos y J.F. Culot

Discusión sobre la acción de la FAO en este campo

MESA REDONDA SOBRE EL TEMA II: Fijación biológica del Nitrógeno. Formulación de conclusiones y recomendaciones.

14.30 - 18.00

MESA REDONDA SOBRE EL TEMA III: Compostaje y utilización de compostes. Formulación de conclusiones y recomendaciones.

MESA REDONDA SOBRE EL TEMA IV: Posibilidades de utilización de Azolla y Algas. Formulación de conclusiones y recomendaciones.

MESA REDONDA SOBRE EL TEMA V: Posibilidades del biogas. Formulación de conclusiones y recomendaciones.

MESA REDONDA SOBRE EL TEMA VI: Formas de mantener e incrementar el contenido de materia orgánica de los suelos. Formulación de conclusiones y recomendaciones.

Jueves 17 de julio

08.30 - 12.30

Consideraciones de las conclusiones y recomendaciones en reunión plenaria y formulación de un plan de acción.

Adopción de las conclusiones y recomendaciones de la Reunión-Taller, por el plenario.

17.00

Sesión de clausura de la Reunión-Taller.

2. LISTA DE PARTICIPANTES

BOLIVIA

Ing. Agr. Msc. José Iporre Bellido
Corporación de Proyecto Abapo-Izozog. Casilla Correo 4048
Dirección personal: Casilla 2038 - Teléfono 3-318 Santa Cruz

Ing. Agr. Jorge Pascuali Cabrera
Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria (IBTA)
Cajón Postal 5783 - La Paz
Dirección personal: Casilla correo 5712 - La Paz

BRASIL

Ing. Agr. Alaidés Puppín Ruschel
Centro de Energía Nuclear en Agricultura - Universidad de São Paulo
Avenida Centenario Piracicaba
Dirección personal: Avenida Martins Francisco 119 - São Paulo

COSTA RICA

Dr. Elemer Bornemisza Steiner
Catedrático Química de Suelos
Universidad de Costa Rica - Facultad de Agronomía
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
Dirección personal: Apartado Postal 1166 - San José

Dr. Alvaro Cordero Vásquez
Director Unidad de Suelos -
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección personal: 200 m Oeste y 150 Norte de la
Delegación Cantonal de Tibás - San José

Dr. Gerardo Ramírez Martínez
Unidad de Suelos - Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección personal: Calle 8 Avenida 5 - Heredia

Dr. Carlos Ramírez Martínez
Microbiólogo de Suelos - Universidad de Costa Rica
Dirección personal: Calle 8 Avenida 5 - Heredia

Observadores:

Ing. Agr. Lázaro Vargas Picado
Director de Operaciones -
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Apartado 10094 - San José

Ing. Agr. Rocío Oviedo Navas
Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agropecuaria (SEPSA)
Ministerio de Agricultura y Ganadería - Apartado Postal 10094 - San José
Dirección personal: Avenida 14 Calle 11 y 13 - Casa 1160 - San José

Ing. Agr. Msc. Antonio Zumbado Rojas
Centro Agrícola Regional de Cartago
Ministerio de Agricultura y Ganadería
Dirección personal: Apartado 398 - Guadalupe - Goicoechea

Ing. Agr. Msc. Fernando Mojica Betancur
Director Escuela de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional - Heredia
Dirección personal: Apartado 335 - San Vicente de Moravia.

Ing. Agr. Paulina Montes de Oca
Escuela de Ciencias Agrarias. - Universidad Nacional -Heredia
Dirección personal: De Tejidos Saprissa 300 m al Este -
Apartamentos Universidad 4 - Heredia

ECUADOR

Ing. Agr. George Loaiza Riofrio
Centro de Reconversión de Azuay, Cañar y Morona - Santiago (CREA)
Bolivar y Mariano Cueva, Cuenca
Dirección personal: Calicuchima 6-58- Cuenca

EGIPTO

Dr. Yousef A.M. Hamdi
Dept. of Microbiology Institute of Soil y Water Res. Agric.
Res. Center, Giza
Dirección personal: 1 - El Moraghi H.; Dokki, Giza

EL SALVADOR

Sr. Nelson Roberto Flores Blandón
Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria
km 33 11/2 Carretera Santa Ana
Dirección personal: Avenida Maquilishuat 131, Col. Vista Hermosa

ESTADOS UNIDOS DE NORTE AMERICA

Dr. James F. Parr
Chief, Biological Waste Management Laboratory
U.S. Department of Agriculture
Beltsville, Maryland

Dr. Edgar Werner
Biólogo Coordinador de Energía Alternativa Oficina de Energía
de Puerto Rico, Santurce 00940
Dirección personal: 213 calle Himalaya, Monterrey,
Río Piedras, Puerto Rico 00926

GUATEMALA

Ing. Agr. Carlos Enrique Gutiérrez Loarca
Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA)
Centro de Producción Labor Ovallé Apartado 7,
Olintepeque-Quezaltenango
Dirección personal: Sexta calle "D" 12-17, Zona 1, Quezaltenango

Agr. José Teodoro López Yos
Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA),
Edificio El Cortéz, Zona 9, Guatemala
Dirección personal: Grupo Suizo, Santiago Sacatepéquez

HUNGRIA

Dr. Ferenc Ga'ti
Vice-Jefe Departamento de Suelos Arenosos
Instituto de Investigaciones de Suelos y
Química Agrícola de la Academia Ciencia de Hungría
1022 Budapest II. Herman Otto 15
Dirección personal: 1035 Budapest III. Miklós U 9

MEXICO

Ing. Agr. Sergio Cruz Medrano
Fertilizantes Mexicanos.S.A.
Anaxágoras 250, Narxarte, México 12, D.F.
Dirección personal: Paseo de la Reforma 716-1203,
Tlaltelolco, México D.F.

QBP. María Evangelina Cuautle Fabián
Centro de Edafología Colegio de Post-graduados, Chapingo Estado de México
Dirección personal: Primera Industria N^o 2, Metepec, Atlixco Puebla.

Ph. D. Benjamín Figueroa Sandoval
Colegio de Post-graduados de Chapingo, México
Dirección personal: Rama de Suelos, CP, Chapingo, México

Ph. D. Antonio Trinidad Santos
Centro de Edafología, Colegio de Post-graduados de Chapingo, México

NICARAGUA

Agr. Justo Pastor Espinoza Cáceres
Procampo-INRA
Ocotal, Nueva Segovia, teléfono.466
Dirección personal: Contiguo Teatro Carmen,
Ocotal Nueva Segovia

Agr. José Felipe Hernández Siles
Procampo-INRA, Jinotega, teléfono 315
Dirección personal: De la Bomba Chevron 350 varas al Norte,
Jinotega

Ing. Agr. Ernesto Antonio Terán Hernández
Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA)
Km 12 1/2 carretera Norte, Managua
Dirección personal: Bolonia 320, Managua

PARAGUAY

Ing. Agr. M.S. Augusto Fatecha Acosta
Instituto Agronómico Nacional, Ministerio de Agricultura y Ganadería
Caacupe km 48, Paraguay
Dirección personal: 8 de diciembre 760 Caacupe

PERU

Ing. Agr. Ricardo Rodriguez Flores
Dirección de Agricultura, Ministerio de Agricultura y Alimentación
Ministerio del Trabajo 10º piso, Av. Salaverry, Lima
Dirección personal: José Granda 475-10, San Isidro, Lima

REPUBLICA DOMINICANA

Lic.Q.Msc. Ana Julia Reynoso Romero
Departamento de Suelos, CESDA, San Cristóbal
Dirección personal: Santome Nº 20, San Cristóbal

URUGUAY

Ing. Agr. Bach. Daniel Gómez Bono
Facultad de Agronomía, Universidad de la República,
Av. Garzón 780 Montevideo
Dirección personal: General Flores 3348, Ap. 401, Montevideo

I.I.C.A.

Dr. Fernando Suárez de Castro
San Isidro de Coronado, Costa Rica

DELEGACION DE LA FAO

Dr. P.L. Arens
Senior Officer, Soil Management and Conservation Land and Water
Development Division
FAO 00100 Roma-Italia
Dirección personal: Heidepark 5, Wageningen, Holanda

Dr. Julio Castellanos
Oficial Regional de Recursos Naturales y Medio Ambiente
Oficina Regional de la FAO en Chile
Dirección personal: Providencia 871, Santiago de Chile

Dr. Jean Felipe Culot
Oficial Regional en Conservación y Drenaje
de Suelos para América Latina
c/o Oficina Regional de la FAO para América Latina,
Santiago de Chile

Sr. Nelson González
Periodista Experto en Comunicación Audiovisual
FAO, Roma, Italia