



## **Sistema Integrado de Manejo de Residuos:**

### **Tecnología apropiada para el medio rural en el trópico húmedo de Costa Rica!**



Raúl Botero Botero, Carlos E. Hernández, Shuichi Okumoto y Jane Yeomans  
Facilitadores del Aprendizaje, Investigadores y Consultores Internacionales  
Universidad EARTH, San José, Costa Rica

## **Introducción**

Los modelos tradicionales de crecimiento rural han causado graves problemas de contaminación del suelo, aire y agua. Como resultado, la agricultura, la agroindustria y la actividad humana que las acompaña, contribuyen en parte a la crisis de salud ambiental que estamos viviendo actualmente en Costa Rica. Durante las últimas tres décadas del siglo veinte, Costa Rica ha adoptado el paradigma del crecimiento económico, conocido comúnmente como la “revolución verde”. Como tal, se hizo énfasis en resultados económicos a corto plazo y en la productividad sobre la integridad del ecosistema y sobre el uso racional y eficiente de los recursos. Los deseos y las necesidades del mercado prevalecieron y los recursos naturales fueron considerados como inagotables, por ende, su explotación fue ilimitada. Aun más grave, la distribución de los beneficios generados por el uso de los recursos naturales no fue siempre justa, y algunos sectores de la sociedad no mejoraron su calidad de vida. Por lo tanto, no se hicieron las previsiones necesarias para garantizar que las futuras generaciones mantengan la calidad de vida actual.

Debido a la fragilidad del ecosistema del trópico húmedo y sus bosques lluviosos, la necesidad de un cambio es aún más crítica. La degradación del ambiente en esta región es provocada por la pobreza, el crecimiento acelerado de la población, las oportunidades limitadas e insuficiencia de conocimientos apropiados y de medios para explotar el ecosistema del trópico húmedo, de una forma sostenible (Lieth y Werner, 1989). Harwood *et al.* (1993) sugieren la necesidad de asumir una nueva actitud de administración y desarrollo sostenible, para conservar y al mismo tiempo mantener la productividad de nuestros recursos, y de generar cambios positivos en las políticas de crecimiento, para terminar con el patrón actual de deterioro ambiental.

En la Universidad EARTH, profesamos la filosofía de la sostenibilidad. Promovemos la ecoeficiencia, que considera la producción y la protección ambiental como complementos sinérgicos. Enfatizamos la agricultura y los recursos naturales, pero reconocemos la íntima relación que existe entre la comunidad, el individuo y el medio ambiente, formando un solo sistema. Consideramos que el desarrollo exige un incremento en la calidad de vida de las generaciones actuales y futuras.

Nos dedicamos a generar conocimientos prácticos, aplicables al trópico húmedo. Procuramos establecer un puente de flujo de información en dos sentidos: adquirimos conocimientos de las comunidades, los conceptualizamos y los sintetizamos en tecnología apropiada, que difundimos por medio de una participación activa de nuestros vecinos en los programas de la Universidad. En EARTH, creemos, y compartimos el criterio, de que solo por medio de la práctica se puede verificar la tecnología apropiada para el desarrollo sostenible de nuestra región. Solamente el ejemplo nos da la autoridad moral para promulgar nuestros conocimientos.

## **Universidad EARTH**

EARTH es una universidad privada, internacional y sin fines de lucro, dedicada a la educación en ciencias agrícolas y en recursos naturales, para contribuir al desarrollo sostenible de la región tropical húmeda. Su misión es:

- Ser una universidad líder, comprometida con la formación de profesionales de vanguardia, con valores éticos y humanos, conciencia ambiental y social, mentalidad empresarial y compromiso de servicio hacia los demás.
- Generar conocimientos con un espíritu de servicio analítico e innovador, que promueva el bienestar de los habitantes y el desarrollo de las comunidades de las regiones del trópico húmedo.
- Promover el intercambio, análisis, síntesis y disseminación del conocimiento sobre la agricultura, recursos naturales y medio ambiente de las regiones del trópico húmedo.

EARTH está localizada en la cuenca del Caribe en Costa Rica, cantón de Guácimo, provincia de Limón. Su campus académico está ubicado en una propiedad de 3300 ha, dentro de la cual, también se encuentra una reserva forestal de 600 hectáreas, una finca académica y una finca comercial. La finca comercial tiene fines de lucro y sus utilidades se emplean para la sustentabilidad económica de la Institución. En esta finca se produce banano, plátano, palmito, se engorda ganado y se están desarrollando 400 hectáreas de forestales.

Antes de que comenzaran las clases en 1990, se realizó un estudio de impacto ambiental sobre las operaciones que la universidad realizaría. Este estudio determinó que la Universidad EARTH generaría varios tipos de desechos sólidos y líquidos, ambos de origen agroindustrial o doméstico (ordinarios, especiales y peligrosos), y que estos desechos necesitaban ser manejados de una manera más congruente con los principios de desarrollo sostenible. Como una respuesta a esta necesidad, la Universidad EARTH propuso el Programa de Manejo Integrado de Desechos (MID). El objetivo de este proyecto era buscar una solución innovadora, económicamente viable y sostenible, aplicable y adaptable a pequeños centros urbanos de la región tropical húmeda. Este artículo se limita en presentar el Programa de Manejo Integrado de Desechos (MID) únicamente para el uso de desechos sólidos domésticos, incluyendo los desechos ordinarios, especiales y peligrosos. En este programa hemos usado extensivamente el EM (microorganismos efectivos) como una herramienta para el manejo de los desechos.

## **Descripción del Entorno**

El trópico húmedo cubre el 7% de la superficie terrestre y posee entre el 50% al 80% de las especies nativas de plantas y fauna silvestre del mundo (Lovejoy, 1986; Newman, 1990). Cerca de 60 países, con una población actual de dos mil millones de habitantes, se localizan total o parcialmente en el trópico húmedo (NRC, 1993).

De su extensión total mundial de 1500 millones de hectáreas, el 45% se sitúan en Latinoamérica, 30% en África y 25% en Asia. De los 670 millones de hectáreas de extensión del trópico húmedo Latinoamericano el 50% son suelos oxisoles y el 32% son suelos ultisoles (NRC, 1993). Estos 550 millones de hectáreas son suelos ácidos (pH 3.8 a 5.5), que poseen una alta saturación de aluminio (> 60%), niveles tóxicos de manganeso (> 50%), alta fijación de fósforo y deficiencias severas de N, P, K, Ca, Mg, S y de algunos microelementos (Sánchez e Isbell, 1979).

Su climatología se caracteriza por una consistentemente alta temperatura (> de 23.5°C), precipitación abundante (1500 a 2500 mm, aunque precipitaciones anuales de 6000 mm o mayores son comunes) y estacional en la mayoría de los casos. La evapotranspiración potencial anual durante la estación lluviosa es mayor de 1300 mm.

La mayoría de las áreas del trópico húmedo presentan no más de tres a cuatro meses anuales con precipitaciones menores de 200 mm/mes. En general la estacionalidad en el trópico húmedo está determinada por variaciones en la cantidad de lluvia, mas no por la temperatura (CIAT, 1982; NRC, 1993).

Los bosques sobre tierras bajas tropicales corresponden al 80% de la vegetación del trópico húmedo y son importantes desde el punto de vista de las actividades económicas humanas, presión de población, impacto ambiental por su alta fragilidad, potencial de desarrollo e interés científico. Los bosques tropicales premontanos, que ocupan el 10% del área del trópico húmedo, en la actualidad están siendo severamente modificados y afectados por la actividad humana, debido a sus apropiadas condiciones para la producción comercial de cultivos agrícolas. El área restante corresponde a bosques montano, montano bajo y a ecosistemas acuáticos (NRC, 1993).

Es prioritario entonces formar profesionales agrícolas como empresarios de excelencia para desarrollar, innovar y administrar sistemas de producción integrados, viables y ambientalmente amigables, logrando una agricultura eficiente, rentable y de mercado, que posibilite balancear las necesidades humanas de alimentos y fibra y, a la vez, permita conservar los recursos naturales del trópico húmedo, para beneficio de las futuras generaciones.

## **Descripción del Problema Específico**

Las instalaciones físicas de la Universidad EARTH poseen infraestructura de tipo agroindustrial, comercial, residencial, académica y eco-turística. El conjunto de instalaciones que proveen el apoyo logístico, conforman una pequeña comunidad urbana con un ritmo acelerado de actividad humana y una generación moderada de desechos sólidos domésticos ordinarios, especiales y peligrosos.

Dentro de las instalaciones de EARTH, generan desechos sólidos domésticos, aproximadamente 1125 personas, que se constituyen en los usuarios y beneficiarios del sistema de manejo correspondiente. Del total de usuarios, 621 residen permanentemente dentro del campus, y el resto trabajan, pero no residen dentro de estas instalaciones. Adicionalmente, se cuenta con un hotel con 32 cuartos dobles, complementado con salas de reuniones y aulas. Si se toma en cuenta la población estudiantil, 88% de los usuarios son costarricenses y el resto lo conforman ciudadanos de 22 naciones y 5 continentes.

En EARTH se genera un promedio compensado de desechos sólidos domésticos de 0.65 kilogramos por persona y por día. Esta tasa de generación es similar a la de San José, capital de Costa Rica, pero es superior a la tasa de generación de desechos de zonas urbanas rurales, cuya tasa es cercana a 0.30 kilogramos por persona y por día. El peso promedio de desechos sólidos ordinarios domésticos que se generan en EARTH es de aproximadamente 730 kilogramos por día. Más del 60% de los desechos generados en EARTH son de carácter biodegradables, típico de la caracterización del caudal de desechos, de países en desarrollo.

Para asegurar la salud de la comunidad se cuenta con una clínica, la cual genera desechos de tipo peligroso. Para su manejo se cuenta con un programa de clasificación y disposición final a base de autoclavado, contenedores especiales y celdas especiales de almacenamiento.

El componente agroindustrial de la EARTH es importante. Se compone de plantaciones de banano, plátano, palmito, frutas varias y una finca pecuaria. Para el manejo de las cosechas se cuenta con empacadoras y una planta procesadora de alimentos donde se procesan algunos vegetales y la leche y se generan productos como queso, yogurt y mermeladas. Se cuenta con instalaciones para madurar banano. También se cuenta con una planta para la producción de papel a base de fibra de pinzote del banano y otras fibras de desecho, una planta de producción de ácidos húmicos y una planta para la producción de Microorganismos Eficaces (EM). Todas estas instalaciones generan residuos líquidos y sólidos que deben ser manejados apropiadamente. Afortunadamente, los residuos orgánicos degradables representan más del 60% del total generado y se consideran un recurso para suplementar las deficiencias de nutrientes presentes en los suelos del trópico húmedo.

Nuestra finca pecuaria opera bajo un sistema integrado de producción con subsistemas de ganado bovino de doble propósito y de carne, búfalos de agua, equinos, cerdos, cobayos, aves, peces y lombrices.

Este subsistema se opera bajo una filosofía de minimización de impacto y control estricto de entradas y salidas, con metas de cerrar el sistema al máximo.

El principal objetivo de este sistema es de tipo académico, pero se pretende que el sistema cubra en gran medida sus propios costos. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Cambiar la imagen ecológica negativa que poseen actualmente los sistemas agropecuarios tropicales,
- Integrar empresas rurales entre agricultura, producción animal y forestal, agroindustria, ecoturismo y comercialización,
- Intensificar la producción con base en recursos propios del medio tropical y minimizar la dependencia de insumos comprados e importados,
- Aprovechar los residuos del sistema primario para alimentar los sistemas secundarios y contener los recursos invertidos dentro del subsistema,
- Utilizar infraestructura y tecnologías funcionales y apropiadas, con especies vegetales y animales, razas, cruzamientos y líneas nativas o adaptadas al trópico,
- Aumentar los productos agropecuarios obtenidos y darles valor agregado,
- Generar empleo justificado,
- Lograr seguridad alimentaria,
- Lograr el abastecimiento de agua limpia y de fuentes de energía renovables,
- Recuperar suelos degradados, descontaminar el aire y las aguas servidas y mejorar el entorno y
- Mejorar el nivel de vida de los habitantes de las comunidades.

Nuestra meta es rescatar, validar, adaptar y generar tecnologías innovadoras y apropiadas para nuestra región, que coadyuven en el cumplimiento de los objetivos planteados. El esfuerzo se centra en la utilización de insumos, herramientas, equipos, especies animales, sistemas de manejo animal, manejo de residuos y producción de alimentos para consumo humano y animal que sean de bajo costo e inversión y de bajo riesgo biológico, económico y ambiental.

Estos permiten reciclar materiales usados, demandan bajo consumo de insumos comprados, son de fácil manejo, reducen la contaminación ambiental, tienen bajo contenido de residuos tóxicos, son rentables y son obtenidos en condiciones amigables con el ambiente. Entre estas tecnologías apropiadas y relacionadas con el manejo de residuos están las siguientes:

- Producción artesanal e industrial de abonos orgánicos (bokashi, compost, lombricompost, biol, biosol y abonos verdes)
- Biodigestores plásticos de bajo costo para la producción de biogás como fuente de combustible para cocción, refrigeración, calefacción, iluminación y combustión en motores y de abono orgánico líquido, a partir de excretas animales y humanas.
- Captación de aguas lluvias en techos y lagunas, utilización racional, descontaminación productiva de aguas servidas, reutilización de aguas, una vez descontaminadas, en la producción acuícola y en el lavado de los pisos de las instalaciones para el alojamiento y manejo de animales domésticos y de animales silvestres en zootecnia y potabilización de aguas para uso humano.
- Utilización de plantas acuáticas para la descontaminación productiva de aguas servidas y su utilización como forraje, abono verde, sustrato para la producción de champiñones, briquetas para combustión, aglomerados para formaletas de muebles, materia prima para papel y obtención de estimulantes naturales para el crecimiento de algunas especies vegetales.
- Utilización de bombas tipo ariete para reutilizar el agua para lavado de instalaciones y para oxigenar el agua de lagunas de captación y descontaminación.
- Validación y adaptación de filtros potabilizadores de agua de bajo costo.
- Construcción de corrales para manejo y alojamiento de animales, utilizando llantas usadas.
- Amamantamiento restringido y destete temporal como estrategias de manejo para incrementar la eficiencia reproductiva en ganado bovino de doble propósito.

La utilización de estas tecnologías apropiadas, de muy baja adopción actual por parte de los productores rurales, permite, no solo capacitar a los estudiantes, sino demostrar a los productores que visitan la Universidad EARTH las ventajas que ellas poseen, lo cual permite difundirlas mediante su observación y funcionamiento real y no como hasta ahora, por la información teórica y poco apropiada, escrita en publicaciones de muy escasa difusión en el medio rural de América Latina.

## **Materiales y Métodos**

Nuestra estrategia para el manejo de los residuos se basa en los siguientes cuatro pasos jerárquicos para la administración de los residuos:

1. Prevención y reducción
2. Clasificación y segregación
3. Reciclaje
4. Tratamiento final con sistemas de bajo impacto

Siguiendo esta estrategia, los residuos orgánicos degradables se separan en sus fases sólida y líquida. Los sólidos son convertidos en abono orgánico utilizando los Microorganismos Eficaces (EM<sup>1</sup>) y la lombricultura. Los líquidos son procesados en Biodigestores de polietileno de bajo costo, para la generación de biogas, biosólidos y biolíquidos. El biogás se utiliza para la generación de energía. Los biosólidos son utilizados en la fertilización de los bancos de proteína para la alimentación animal. Los biolíquidos son reciclados en humedales para la producción de plantas acuáticas flotantes tropicales utilizadas en la descontaminación productiva de aguas servidas, producción de fibra para papel, producción de briquetas para cocinar, aglomerados para molduras de muebles, extractos de las raíces que estimulan el crecimiento de plántulas en vivero, sustrato para el cultivo de champiñones, abonos orgánicos y en la alimentación de rumiantes, cerdos, aves y peces. Los sólidos no degradables son enterrados en un relleno sanitario. Nuestro sistema ha sido ampliamente difundido e implementado en fincas integradas en toda nuestra área de influencia a través de nuestro programa de desarrollo comunitario y de nuestros graduados.

Todas las instalaciones de la Universidad EARTH manejan las aguas negras desde sus instalaciones sanitarias en tanques sépticos. Un programa utiliza EM en tanques sépticos para incrementar el grado de descomposición del material orgánico y para reducir los malos olores. El proyecto piloto de este programa, que comenzó hace un año con el tanque

séptico de la cafetería, resultó muy exitoso. Los malos olores que emanaban del tanque han sido reducidos significativamente. Asimismo, el problema de obstrucción en los filtros fue eliminado. Actualmente se está trabajando en un experimento para el tratamiento y utilización de los lodos sépticos como suplemento orgánico para la agricultura. Durante el segundo trimestre del año 2003 se iniciará, por primera vez, un módulo de experiencia de trabajo de campo por parte de los estudiantes, que tendrá un fuerte componente de manejo de desechos orgánicos degradables incluyendo lodos sépticos.

Para que el programa de manejo integrado de residuos funcione eficientemente, ha sido necesario implementar un programa de entrenamiento muy agresivo e innovador para los empleados, residentes y estudiantes. Este programa tiene un laboratorio para usuarios, en donde participan activamente en la clasificación de desechos y es aquí donde ellos empiezan a apreciar la magnitud e importancia del problema. Adicionalmente el currículo académico integra el manejo de residuos en todos los cursos de producción e incluye un curso específico de manejo de residuos a nivel del último (cuarto) año de su carrera universitaria.

Con la ayuda de estudiantes de cuarto año se tiene un programa de monitoreo periódico del sistema de manejo integrado de residuos institucionales. Por lo menos dos veces por semana se hace una inspección del nivel de eficiencia del programa, basado en cuatro indicadores básicos: Eficiencia de clasificación o segregación, calidad del servicio, satisfacción del usuario y costo del sistema. Mensualmente se emite un informe para cada sector de la Universidad, para el Rector y con copia a las áreas de interés para los usuarios, con los resultados de la evaluación. De esta manera, es posible reconocer y estimular a los usuarios que colaboran, y pedir la ayuda a quienes no están haciendo un buen uso del sistema. Cabe destacar que la responsabilidad de operar el sistema es de la Unidad de Ingeniería; sin embargo la responsabilidad de la auditoría y monitoreo es de la Unidad de Proyectos Especiales, que se reporta directamente al Rector de la Institución.

## Resultados

### Manejo de excretas animales en la Finca Pecuaria Integrada de EARTH

En enero de 1998 se inició, con estudiantes, un proyecto sencillo para el manejo racional del agua y de las excretas bovinas (heces y orina) en el establo de EARTH. La orientación ha sido la de lograr que la descontaminación no sea un costo adicional del sistema de producción y que por el contrario se puedan obtener de ella productos que sean utilizables, vendibles y rentables. Hasta el momento se ha logrado:

- Reducir en 4.000 litros diarios el consumo de agua requerida para el lavado del piso del establo.
- Reducir de cuatro a media hora diaria el uso de mano de obra requerida en la limpieza de los corrales.
- Evitar los malos olores y la proliferación de insectos que causa la acumulación de excretas sobre el piso del corral.
- Eliminar insectos molestos y picadores.
- Eliminar los riesgos de daño a la leche ordeñada y almacenada en un tanque de enfriamiento en el mismo establo.
- Reducir cojeras en el ganado en ordeño.
- Reducir aún más la baja incidencia de mastitis en las vacas ordeñadas con ternero

Se tuvo una experiencia negativa durante los meses más lluviosos del año 1998 (julio a octubre), que fue una alta incidencia de diarrea de sangre en los terneros del ordeño. Este problema sanitario se superó al adicionar Flor de Azufre al 5% a la sal mineralizada consumida por los terneros del ordeño. Este producto se continúa utilizando exitosamente como preventivo de la diarrea de sangre causada por *Coccidia*.

El sistema de producción de abono orgánico fermentado, tipo *bokashi*, consiste en que las excretas bovinas (heces y orina) captadas diariamente, después de cada ordeño, sobre una cama de fibra seca colocada en capa uniforme sobre los 200 m<sup>2</sup> del piso firme de uno de los corrales techados de la lechería de EARTH, es asperjada diariamente, mediante una bomba de espalda, con una solución de microorganismos eficaces (E.M.) activados, disueltos al 8% en agua (320 ml de E.M. activado, disueltos en 4 litros de agua). Este sistema de manejo de excretas permite obtener cada cuatro a cinco semanas y continuamente abono orgánico tipo *bokashi*, cuyo costo de producción es actualmente de dos centavos de dólar por kilogramo y cuyo precio de venta es actualmente de doce centavos de dólar por kilogramo. Este abono se puede utilizar en cultivos agrícolas intensivos o en pasturas. Cada vaca, además de la leche y del ternero, produce durante la lactancia US\$ 100 en *bokashi*, los cuales equivalen a 400 litros adicionales de leche o a 100 kilogramos más

de peso de su ternero al momento del destete. Después de 60 meses de duración de este proyecto, se han producido 50 toneladas anuales de *bokashi*, cuya utilidad de venta equivale a producir 20 mil litros más de leche por año.

## **Descontaminación productiva de las aguas servidas en la Finca Pecuaria Integrada de EARTH**

Erróneamente, se cree que el agua está disponible en abundancia en el trópico húmedo. Esto solo es cierto si se capta y almacena, de lo contrario se pierde por escorrentía y puede ser muy escasa durante los meses de menor precipitación (febrero a mayo).

El agua utilizada en las labores de limpieza de la sala de ordeño, del piso de los corrales sin techo, del tanque de enfriamiento de la leche y del lavado del equipo de ordeño se vierte a una fosa estercolera de cemento. Actualmente esa fosa estercolera se está utilizando como depósito de captación inicial y como sedimentador o filtro inicial de sólidos de un sistema de descontaminación productiva de aguas servidas.

El sistema está compuesto por seis excavaciones de diferente tamaño (3300 m<sup>2</sup> de espejo de agua en total, con una capacidad de almacenamiento de un volumen de 5500 m<sup>3</sup> de agua), con paredes y piso en tierra, que gracias a la topografía y pendiente de un humedal natural, permiten que el agua fluya por gravedad de una a otra fosa y vaya avanzando lenta pero progresivamente. Luego de la fosa estercolera de cemento, se inicia el proceso de descontaminación natural y progresiva del agua, que consiste en:

### **Primera fosa en tierra**

Al reducirse la velocidad de flujo del agua sucia, se permite la sedimentación de los sólidos más pesados que están en suspensión y se permite también que flote la abundante fibra contenida en las excretas y que es menos densa que el agua. Los sólidos son extraídos como lodos cada cierto tiempo y son utilizados como abono orgánico. La fibra se extrae y se utiliza en la producción de lombricompost, o también para la producción de compost. El agua, ya con un menor contenido de sólidos en suspensión, fluye entubada por gravedad y al llegar al nivel, hacia la siguiente fosa en tierra.

### **Segunda, tercera y cuarta fosas en tierra**

Aquí se incorporan las plantas acuáticas flotantes y nativas al sistema de descontaminación. Estas plantas acuáticas tienen una multiplicación activa y eficiente, que demanda una alta cantidad y calidad de nutrientes, que, en este caso, están actuando como contaminantes orgánicos en el agua. Sus raíces filtran los sólidos en suspensión, sirven de soporte a bacterias descontaminantes y liberan oxígeno dentro del agua. La alta producción y calidad forrajera de las plantas acuáticas permite utilizarlas en la suplementación de rumiantes y de monogástricos domésticos y silvestres.

### **Quinta fosa en tierra**

Según los resultados obtenidos en el monitoreo de la calidad del agua descontaminada, esta agua ya permite la crianza comercial de peces, sin limitaciones por toxicidad, baja concentración de oxígeno o calidad del agua. En este caso, este estanque será utilizado para la fase de cría de peces.

### **Sexta fosa en tierra**

En esta fosa se espera hacer el engorde de peces en jaulas flotantes, para la realización de proyectos de los cursos y de proyectos empresariales de los estudiantes. La utilización de jaulas flotantes evitará el tener que destruir la fauna silvestre de aves pescadoras, nutrias, lagartos, tortugas, serpientes, etc. Parte del beneficio intangible del sistema es la conservación de la fauna silvestre y la recuperación del paisaje natural.

### **Recirculación del agua**

Se está aprovechando la altura de la pared o tapa de la última fosa para dar caída a la columna de agua e introducirla dentro de arietes que permiten bombearla, sin gasto de combustible o de energía eléctrica, de nuevo hacia el establo, en donde una pequeña cantidad ingresa a un filtro de arena y grava para potabilizarse.

El agua restante, al igual que el agua lluvia captada de los techos, sin potabilizarse, se está almacenando en un tanque elevado y se reutiliza por gravedad en el lavado del piso de los corrales.

Aunque, según el monitoreo de calidad de agua ya mencionado, el agua de la última fosa se puede verter directamente a la fuente natural de agua corriente existente al final de este humedal, sin riesgo de contaminarla. Este sistema permite cerrar el ciclo, al usar de nuevo el agua descontaminada y captar las aguas servidas y el agua lluvia recogida por la microcuenca y almacenarla en las fosas.

### **Biodigestores de bajo costo**

Otra de las tecnologías bajo validación desde 1994 en la Finca Pecuaria Integrada de EARTH y que está siendo utilizada en la enseñanza y para la difusión de sistemas de descontaminación productiva de aguas de lavado mezcladas con mieles de café, lavado poscosecha de frutos, suero de quesería, excretas, etc. y de su utilización como pozo séptico para excretas humanas en fincas, es el Biodigestor de polietileno de tipo Taiwan.

Esta tecnología sencilla, de bajo costo de instalación, de bajo riesgo y de manejo simple, está siendo implementada actualmente en las comunidades aledañas a EARTH, en las que se desarrollan las actividades curriculares estudiantiles de los cursos de Desarrollo Comunitario, Convivencia con el Agricultor y Prácticas de Agricultura Sostenible. Hasta el momento se han instalado alrededor de 100 biodigestores en todo el país, con un costo unitario total de 150 dólares por concepto de materiales y mano de obra, que deben ser cubiertos por cada productor, en cuya finca se haga la instalación con estudiantes.

El tamaño de los biodigestores de difusión actual, requiere diariamente de 50 kilogramos de excretas frescas, mezcladas con 200 litros de agua no clorada. Estos digestores producen hasta 16 horas de llama por día. Este combustible está siendo utilizado actualmente en la cocción de alimentos y en el calentamiento de animales pequeños (cerdos y aves), pero a futuro se espera utilizarlo en iluminación con lámparas incandescentes, calentadores de agua, refrigeradores y motores de explosión para generación de electricidad. El efluente líquido, producido diariamente y en igual cantidad al volumen utilizado para alimentar diariamente el biodigestor, se puede utilizar directamente como abono orgánico, para fertilizar estanques de acuicultura o bien en cultivos agrícolas o en canales con plantas acuáticas, como parte del sistema de descontaminación mencionado anteriormente.

### **Manejo de Excretas en la Granja Porcina**

El subsistema de producción porcina también utiliza un sistema de descontaminación de aguas, similar al de la lechería. El agua de lluvia (3600 mm/año) se captura en el techo del galerón y se divide en partes iguales. La primera mitad se vierte en las piscinas de baño para los cerdos dentro de cada uno de los corrales. Esta agua se cambia todos los días. La segunda mitad del agua de lluvia se almacena en tanques plásticos y se trata con EM (1 parte de EM activado en 2000 partes de agua de lluvia) para ser utilizada como agua de bebida de los animales. El piso se asperja todos los días con EM en solución con agua al 8% para prevenir malos olores e insectos.

El agua del lavado de los pisos de la porqueriza se vierte dentro de dos biodigestores tipo Taiwán que producen biogás para el calentamiento de los cerditos. Este año se está montando un proyecto de investigación para utilizar este biogás en la producción de electricidad. Aun cuando el agua contiene EM, que compite con bacterias metanogénicas, no se ha notado interferencia con la producción de gas dentro del Biodigestor. El biolíquido residual del biodigestor es vertido a una serie de canales con plantas acuáticas y luego a las lagunas de descontaminación de la lechería. Después de pasar por cuatro lagunas, el agua es devuelta para la limpieza del corral. Las plantas acuáticas son cosechadas periódicamente y utilizadas para alimentar todas las especies de animales dentro de la FPI.

## **Resultados y Conclusiones**

El programa de Manejo Integrado de Residuos (MIR), como proyecto, se transformó en un programa de operación rutinaria de la Universidad, desde 1991, y hasta la fecha ha estado dando un servicio satisfactorio y eficiente. El MIR se ha empleado frecuentemente para mostrar a visitantes y donantes un ejemplo exitoso de la utilización de tecnologías apropiadas viables y sencillas para la solución de problemas de la región. Además, el MIR ha demostrado a las comunidades vecinas que tecnologías importadas consumidoras de equipos costosos y gran cantidad de insumos, no son esenciales en la solución de los problemas de los residuos sólidos y líquidos.

Debido a la actualidad del problema de los residuos sólidos y líquidos, el MIR ha atraído considerable publicidad para la Institución. Todos los canales de televisión nacional y CNN han transmitido documentales del proyecto. Varios artículos han sido publicados en los periódicos nacionales. Muchas comunidades han visitado y observado el proyecto en

operación. Como resultado de esta exposición positiva en los medios masivos de comunicación, la EARTH se ha favorecido y se proyecta como una fuerza sustancial, que promueve el desarrollo sostenible de la región.

Finalmente, el MIR ha influenciado positivamente a los estudiantes. Hay un número considerable de graduados que están actualmente trabajando con programas de manejo de residuos en Honduras, Costa Rica, Colombia, México y Ecuador.

El análisis del MIR demuestra que el programa fue técnicamente bien diseñado, que es económicamente viable y que cuenta con una eficiente organización operativa. Sin embargo, el MIR enfrenta problemas frecuentes de aceptación y colaboración por parte de los usuarios y requiere de una constante campaña de educación, entrenamiento y promoción. También se han experimentado problemas de carácter técnico, los cuales han sido solucionados por medio del sistema de la prueba y el error.

Se ha tratado de aprovechar la oportunidad que ofrece el hecho de que una gran cantidad de trabajadores de la universidad viven en las comunidades vecinas. Es de esperar que si el programa funciona bien dentro de la Universidad EARTH, los trabajadores lleven la idea a sus comunidades y fomenten el establecimiento de un sistema similar.

En conclusión, el manejo de desechos no es un problema exclusivamente administrativo, técnico o financiero, conlleva un fuerte elemento de cultura que solo puede superarse por medio de un proceso lento pero constante de educación. La misión de EARTH encaja perfectamente con este proceso y ofrece una oportunidad de ser una herramienta para un cambio sustancial, en el bienestar de las comunidades de la región.

## Referencias

Harwood, R., Carter, M., Gómez, R., Gliessman, S., Gómez-Pompa, A., Hardin, L., Hill, W., Lal, R., Levin, G., Lugo, A., Power, A., Ruttan, V., Sánchez, P., Serrao, E. y Wright, P., Committee on Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. 1993. Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. p. 7. National Research Council. Washington, D. C.: National Academy .

Lieth, H. y Werger, M. J. A. 1989. Introduction. Ecosystems of the World 14B, Tropical Rain Forest Ecosystems. Ed. Lieth, H. and Werger, M. J. A. Amsterdam: Elsevier Science Publisher, pp. 1-6.

Centro Internacional de Agricultura Tropical. 1982. Manual para la Evaluación Agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales. Editor técnico: José M. Toledo. Cali, Colombia. 170 p.

Lovejoy, T.E. 1986. Species live the ark. in B.G. Norton (ed.), The preservation of species. Princeton University Press, Princeton , N.J.

National Research Council. 1993. Sustainable Agriculture and the Environment in the Humid Tropics. National Academy Press, Washington , D.C.

Newman, A. 1990. Tropical rainforest. Facts on file, New York , NY .

Sánchez, P.A. y R.F. Isbell. 1979. Comparación entre los suelos de los trópicos de América Latina y Australia. En: L.E. Tergas y P.A. Sánchez (Eds.). Producción de Pastos en Suelos Acidos de los Trópicos. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia. pp. 29-58.

## Bibliografía consultada

Altieri, M. 1987. Agroecology: The Scientific Basis of Alternative Agriculture. Boulder : Westview Press.

Brokensha, D., Warren D. y Werner, O. 1980. Indigenous Knowledge Systems and Development. Laham , MD : University Press.

Brown, Lester R. 1993. "The New Era Unfolds" State of the World 1993. Ed. Starke, Linda. New York : W. W. Norton & Company..

Colby, M. 1990. Environmental Management in Development: The Evolution of Paradigms. Worl Bank Discussion Paper.

Daly, H. y Cobb, J. 1989. For the Common Good. Beacon Press.

Esman, Milton J. 1991. Societal Differentiation, Bureaucratic Pluralism, and Third World States, Ch. 2, p. 26, Management Dimensions of Development -- Perspectives and Strategies, West Hartford, Conn.: Kumarian Press.

Flavin, C. y Young, J. 1993. "Shaping the Next Industrial Revolution". State of the World 1993. Ed. Starke, Linda. New York : W. W. Norton & Company.

Meadows, D., Meadows, D. y Randers, J. 1992. Beyond The Limits. Post Mills, Vermont : Chelsea Green Publishing Company.

Nebel, B. y Wright, R., 1993, "Environmental Science", The Way the World Works, Fourth Edition, Prentice Hall, New Jersey .

Valdes, T. y Gamariz, E. 1993. Mujeres Latinoamericans en Cifras - Costa Rica.

Madrid: Instituto de la Mujer, Ministerio de Asuntos Sociales de España y Facultad de Ciencias Sociales, FLASCO.

French, J.B. 2001. Experiential education at EARTH University : The example of effective microorganisms. EM FESTA 2001. Okinawa, Japan. 8 p.

