



El Colegio de la Frontera Norte
Centro de Investigación Científica
y de Educación Superior de Ensenada

Tesis

EL LOMBRICOMPOSTAJE DE BIOSÓLIDOS.
UNA BIOTECNOLOGÍA ALTERNATIVA
PARA LA OBTENCIÓN DE BIENES Y
SERVICIOS AMBIENTALES

Que presenta Gerardo Rodríguez Quiroz
para obtener el Grado de
Maestro en Administración Integral del Ambiente

Director de tesis: Dr. Jesús Paniagua Michel
Lector Interno: Mtro. Juan Manuel Rodríguez Esteves
Lector Externo: M.C. Alejandro Plascencia Jorquera

Tijuana B.C. 1998

AGRADECIMIENTOS

A Dios,

A Ecoparque y al Arq. Oscar Romo por permitirme y colaborar en el proyecto de lombricompostaje, ya que sin su confianza no hubiera podido realizar el experimento, pero en especial a la Ing. Xiomara Delgado, que por su interés y empeño el experimento fue todo un éxito, Xiomara gracias.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el soporte económico que me brindó.

Al Dr. Jesús Paniagua Michel por su acertada dirección en la realización de éste trabajo, sobre todo por su interés y confianza en el proyecto.

Al Mtro. Juan Manuel Rodríguez por todas sus correcciones y por el apoyo brindado con sus acertados comentarios.

Al MC. Alejandro Plascencia y al Dr. Rolando Torres, que con sus atinados comentarios y aportaciones al trabajo, éste, que enriquecieron de manera importante el contenido del mismo.

Al SIGEF del proyecto OSTROM-COLEF por la realización y digitalización de la información adquirida, sobre todo al Dr. Michel Lepage y a Carlos.

Al Dr. Carlos Montoya, al Mtro. Eduardo Corral y a todos aquellos de que alguna forma participaron en la realización de este proyecto, a todos ellos, muchas gracias.

Al Colegio de la Frontera Norte y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada por todas las facilidades otorgadas en mi estancia, sobre todo por ser instituciones que buscan la verdad y contribuyen con su trabajo y esfuerzo al engrandecimiento de la Ciencia en México.

Pero de manera en especial a mis padres por su apoyo y cariño, los amo.

INDICE

Resumen

Introducción

a)	Planteamiento del problema	1
b)	Pregunta problema	5
c)	Justificación	5
d)	Objetivos	5
e)	Alcance del trabajo	6
f)	Hipótesis	6
g)	Materiales y métodos	7
	A) El Efecto de los biosólidos	7
	1.- Interpretación fotográfica de los depósitos de biosólidos en el área de estudio	7
	1.1.- Localización de las variables a identificar en las fotografías aéreas	8
	1.2.- Digitalización de la información obtenida	8
	1.3.- Integración de la información	8
	2.- Diseño del estudio	9
	2.1.- Reconocimientos de los sitios	9
	2.2.- Entrevistas a la población	9
	B) Validación de la técnica del lombricompostaje	10
	C) Método de análisis para la composta	12
	D) Como Interpretar la información	13

Capítulo 1

Problemática ambiental

a)	Caracterización de la zona de estudio	14
b)	Sociedad: Su visión en el cuidado del ambiente	20
c)	Legislación ambiental y los biosólidos	23

Capítulo 2

El lombricompostaje como una biotecnología alternativa

a)	Sustentabilidad en el manejo de los biosólidos	28
b)	Compatibilidad de la tecnología con el medio natural	30
c)	Lombricompostaje	37
	1.- Antecedentes	40

Capítulo 3

Resultados

a)	Interpretación de los datos en campo	43
b)	Análisis del lombricompostaje	51

Capítulo 4

Conclusiones y propuestas

59

Bibliografía

66

Anexos

Tablas

1	Listado de personas y organismos entrevistados	48
2	Promedio mensual del potencial hidrógeno	54
3	Análisis químico y bacteriológico de la composta de los biosólidos	56
4	Comparación de las propiedades de proteínas entre los diferentes tratamientos de la lombriz <i>Eisenia foetida</i>	57
5	Producción de abono y lombriz al final del experimento	58

Fotografías

1	Cañón del Padre: Comunidad, establos y el medio ambiente	45
2	Cambio del paisaje	45
3	Quema de estiércol en el Florido	47
4	Lombricompostaje. Ecoparque Tijuana	47

Gráficas

1	El lombricompostaje como un bien y servicio	33
2	Inferencia de los biosólidos en la actividad económica	46
3	Inversión en el retiro de los biosólidos	49
4	Aplicación de los biosólidos	49
5	Conocimiento de la normatividad ambiental	50
6	Aplicación tecnológica en los biosólidos	51
7	Existe conocimiento del lombricompostaje	51
8	Incremento poblacional por cama a lo largo del experimento	52
9	Peso promedio de las lombrices a lo largo del experimento	53
10	Comportamiento del pH a lo largo del experimento	54
11	Calidad del agua tratada aplicada a lo largo del experimento	55
12	Modelo para la integración de la técnica del lombricompostaje	64

Cuadros

1	Distribución del tratamiento de la prueba de validación de la técnica de lombricompostaje.	11
2	Crecimiento poblacional de las principales ciudades fronterizas a partir de 1970.	15
3	Tasa de crecimiento promedio anual (%) de las principales ciudades fronterizas y las cuatro mayores zonas metropolitanas del país.	16
4	Porcentaje de la población de nacidos y no-nacidos en Tijuana, y el resto del Estado, en el período 1960-1995.	17
5	Producción de lodos, leche y estiércol desde 1991.	18
6	Comparación de la calidad del lodo residual de la planta internacional y las normas vigentes para su posible uso	61

RESUMEN de la Tesis de Gerardo Rodríguez Quiroz presentada como requisito para la obtención del grado de MAESTRO EN ADMINISTRACION INTEGRAL DEL AMBIENTE. Tijuana, B.C., México. Septiembre, 1998.

El Lombricompostaje de Biosólidos. Una Biotecnología Alternativa para la Obtención de Bienes y Servicios Ambientales

Resumen aprobado por: _____

Dr. Jesús Paniagua Michel
Director de Tesis

En este trabajo se investigo la situación ambiental existente dentro de la zona urbana de Tijuana, B.C. en relación a la acumulación de los principales sólidos orgánicos (lodos residuales y estiércol de ganado bovino) producto del tratamiento de aguas residuales así como de la industria láctea respectivamente. Igualmente se propuso al lombricompostaje como una biotecnología adecuada para la producción de bienes y servicios ambientales útiles a la sociedad.

La investigación comprendió los siguientes aspectos: la participación de la comunidad de los sitios estudiados mediante su opinión en relación a la situación de las actividades generadoras de biosólidos, y su relación con la ecología del lugar, la factibilidad del lombricompostaje como una biotecnología alternativa para la producción de bienes y servicios para la comunidad involucrada así como el estudio del estado actual de la legislación ambiental mexicana en relación a los biosólidos. Los resultados obtenidos indicaron que la comunidad asociada a los sitios de acumulación de los biosólidos en las zonas estudiadas desconocen tanto las consecuencias de la acumulación de los mismos como también de la existencia del lombricompostaje como una alternativa para su aprovechamiento y beneficio comunitario y económico.

La legislación ambiental mexicana actual en relación a los biosólidos mencionados en general no considera su reuso y aplicación en otras actividades productivas.

Los resultados de los análisis realizados a los experimentos de lombricompostaje mediante el uso de la lombriz *Eisenia foetida* indicaron que con el riego con agua tratada se obtienen niveles mayores de biomasa, número de organismos y una calidad nutricional del abono orgánico producido.

De acuerdo con estos resultados se puede proponer al lombricompostaje como una alternativa factible para el aprovechamiento integral de los biosólidos como parte de una actividad económica. La condición necesaria para la factibilidad de esta propuesta requiere de una armonía entre los diferentes sectores de la sociedad para evaluar la diversificación de la actividad económica así como de la protección al ambiente. Un aspecto necesario para su integración en las actividades de la sociedad sería el avanzar en la legislación sobre el manejo y utilización de estos biosólidos.

Abstract of the Thesis of Gerardo Rodríguez Quiroz presented as partial requirement to obtain the Master Degree in Integral Administration of the Environment.

ABSTRACT

The existing environmental situation in the urban zone of Tijuana BC in relation to the accumulation of the main organic solids (sludges and cow manure) from the wastewater treatment and the milk industry respectively was investigated. Concomitantly a suitable biotechnology based on vermicomposting was proposed for the production of good and services. The investigation comprised the following aspects: participation of the community of the studied sites by means of their opinion on the situation site, the feasible use of vermicomposting as an alternative biotechnology for the production of good and services for the community as well as the legislation in relation to the biosolids. The obtained results indicated that the consequences of such accumulation and the existence of vermicomposting as an alternative of commodity for the community.

The present Mexican environmental legislation related to the biosolids do not consider the reuse of biosolids but encourages their proper use and recycling in other productive activities.

The results of the undertaken experiments of vermicomposting by the worm *Eisenia foetida* indicated that the use of treated water improved the biomass, worm quantity and nutritional facts of the humus production.

According to this study, the vermicomposting can be proposed as a feasible alternative for the integral use of the biosolids as an economic activity. To make this proposal feasible harmony among the different sectors of the society must be achieved assessing the diversification of the economy activity as well as the environmental protection. The integration of these actualness of the Mexican legislation on the handling and uses of the biosolids.

Introducción

a) Planteamiento del problema

La problemática ambiental que surgió a causa de un desarrollo económico acelerado desde finales de la Segunda Guerra Mundial, creó la necesidad de buscar nuevas formas, bases y estrategias para alcanzar un crecimiento económico armónico y sustentable. Los primeros intentos para lograr dichos objetivos se dio en Estocolmo en el año de 1972 a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano.¹

En 1987 con el Protocolo de Helsinki, se comenzó a tomar conciencia del futuro de la humanidad y de nuestro planeta a partir del uso adecuado de los recursos naturales, así como de sus implicaciones ecológicas, económicas y sociales. La visión de un equilibrio entre el crecimiento poblacional y el manejo ambiental es considerado bajo el concepto del *desarrollo sustentable*.² La concientización ambiental a nivel mundial de este concepto, comenzó con mayor énfasis desde la reunión de 1992 en Río de Janeiro³, e igualmente el término "tecnología ambiental" ha despertado mayor interés en todos los ámbitos.

Lo anterior, aunado a la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte, entre otros convenios internacionales, retomó importancia para el desarrollo económico en el que se observa un cambio en las formas de generar y difundir la tecnología en México. Esta nueva concepción modifica los criterios y procesos transformadores de todas las actividades productivas para proteger el ambiente, observando un desarrollo rural real y cumpliendo con los estándares del mercado ambiental y sostenible.⁴

¹ Enrique Leff, Julia Carabias, Ana Irene Batis. 1990. *Prólogo*.

² Víctor L. Urquidi. 1994. *Pobreza Rural y Manejo Sustentable: una Perspectiva Mexicana*.

³ Gabriel Quadri. 1993. *El Medio Ambiente en la Política Internacional*. pag. 13

⁴ José Luis Solleiro y Alma Rocha Lackiz. 1996. *Cambio Técnico e Innovación en la Agricultura Mexicana*

De acuerdo con lo expuesto, se puede definir que los problemas ambientales influyen de alguna manera en el desarrollo tecnológico e inducen a un nuevo concepto que va de acuerdo con el desarrollo sustentable.⁵

Es la razón por la que los paradigmas tecnológicos que derivan del complejo avance de las biociencias tienen gran influencia basada en estudios realizados dentro de los centros de investigación relacionado con los procesos de desarrollo, el bienestar humano y la protección del ambiente como condiciones de crecimiento.⁶ Estos términos y métodos elegidos para minimizar el impacto de las actividades humanas se genera a través de grupos interdisciplinarios que desarrollan opciones para toda la cadena de valor, y así aprovechar de manera total los recursos que conlleva un crecimiento sostenido.⁷

Entre tales tecnologías se incluyen métodos avanzados para prevenir la contaminación - mediante el incremento de la eficiencia de la energía o la transformación y reconversión de los procesos de producción - y nuevos métodos para el reciclado efectivo de los desechos concebidos como recursos orgánicos. De esta manera los países en desarrollo consideran estas tecnologías como parte de todo proceso productivo para satisfacer las necesidades de la sociedad de manera armónica.⁸

Existen muchas tecnologías ambientalmente compatibles e innovadoras dentro de la categoría de *Bioteología*, definida ésta como cualquier técnica que utiliza organismos vivos (o parte de los organismos) para hacer o modificar productos, que sirven para el mejoramiento de los organismos para la producción de bienes y servicios útiles al hombre.

⁵ Carlos M. Correa. 1994. *El Nuevo escenario para la Transferencia de Tecnología: Repercusiones en los Países en Desarrollo*

⁶ Aldo Ferrer. 1993. *Nuevos Paradigmas Tecnológicos y Desarrollo Sostenible: Perspectiva Latinoamericana*. pag. 807

⁷ José Luis Solleiro, et. al. 1993. *La Innovación Tecnológica en la Agricultura Mexicana*.

⁸ Carlos de la Parra. 1994. *Manejo Integral de los Recursos Naturales: un Plan para la Ciudad de Tijuana*.

La biotecnología representa una faceta de las tendencias internacionales del avance de la tecnología, de la economía y de la política.⁹ El cambio tecnológico es parte de las transformaciones económicas mundiales que ocurren y la biotecnología destaca por su influencia en aspectos como alimentación, salud, reproducción humana y el medio ambiente.¹⁰ Es así que, la aplicación de este tipo de tecnología puede convertirse en un instrumento para reducir la presión de los sistemas económicos sobre los ambientales.¹¹

En el contexto de evaluación de los recursos o residuos generados como producto de la actividad antropogénica e industrial son varios los residuos susceptibles a tratamiento biológico como los propios que se desarrollan en la ganadería, agricultura y en el tratamiento de aguas negras, que producen una gran cantidad de desechos orgánicos o biosólidos¹² (estiércol vacuno, vegetales descompuestos y lodos activados). Estos son acumulados en grandes volúmenes y depositados o marginados en carreteras, barrancos, lechos de ríos, etc, que en cantidad elevada, llegan a provocar deterioro ambiental,¹³ además de los procesos químicos que ocurren en ellos (fermentación, que produce lixiviación de ácidos) los cuales contaminan y alteran las zonas donde se tiran.

En varios países se están buscando posibles soluciones para el aprovechamiento de estos biosólidos a través del uso de tecnologías ambientalmente compatibles y de bajo costo. Entre los métodos existentes, se encuentra el *lombricompostaje* definido como uno de los métodos eficientes en el contexto de las ecotecnologías. Se podría esperar que la aplicación de esta

⁹ UNCTAD. 1990. *Technology, Trade Policy and the Uruguay Round*.

¹⁰ Walter R. Jaffé y Eduardo J. Trigo. 1994. *La Agrobiotecnología en América Latina y el Caribe: Elementos para Estrategias Nacionales*.

¹¹ Roberto M. Constantino. 1996. *Ambiente, Tecnología e Instituciones: el Reto de un Nuevo Orden Competitivo*.

¹² Término que se utilizará de aquí en adelante para definir cualquier tipo de desecho orgánico.

¹³ Victoriano Garrido N. 1985. *Lombrices y Cadenas Alimentarias*.

tecnología tenga un beneficio social, ambiental y económico para la ciudad de Tijuana.

En el presente trabajo se realizó un diagnóstico de los cambios ambientales, la opinión social que hay sobre los lodos residuales de las plantas tratadoras de aguas negras de la ciudad y el estiércol del ganado lechero de los establos, así como de los posibles efectos ambientales y sociales que pueden generar, que por su naturaleza de producción u origen, no son depositados en el relleno sanitario municipal de la ciudad de Tijuana.

Para cumplir con lo anterior, la identificación visual del impacto ambiental actual es una manera de poder comprobar lo que sucede en las zonas donde se depositan los biosólidos de los establos lecheros y de la planta tratadora de aguas negras de la ciudad. La combinación del método de observación fotográfica como de campo, facilitará reconocer el cambio ambiental de dichas zonas, además de establecer si existe algún centro de población colindante con estos depósitos, cuerpos y pozos de agua, entre otros. Por otra parte, se apoyó con una serie de encuestas entre los habitantes donde se identificaron los principales problemas o efectos existentes de la contaminación y deterioro ambiental provocado por los biosólidos.

De acuerdo con uno de los objetivos del trabajo, se propone la validación de la técnica del lombricompostaje para que pueda ser promovida como una alternativa de producción de un bien o servicio al tratar dichos biosólidos, al demostrar su factibilidad de producción de biomasa proteica y composta en la Unidad Básica de Tratamiento de Ecoparque, en Tijuana, B.C. Esta ecotecnología podrá generar posibles beneficios tanto sociales como ambientales al aplicarse la técnica por parte de la población que reside junto a los biosólidos y/o por parte de los mismos productores.

Se pretende que esta expansión en la producción de bienes y servicios alcance a la mayoría de la población y su demanda desarrolle esta actividad para la utilización de biosólidos a pequeña escala, coadyuvando a prevenir y restaurar, más que a deteriorar el ambiente,¹⁴ además de otros beneficios para la población tijuanaense.

b) *Pregunta problema.*

¿Es posible la aplicación de tecnologías ambientales como una alternativa para mejorar la calidad de vida de la sociedad de una manera sustentable?

c) *Justificación.*

La aplicación de técnicas ecológicas o ambientalmente compatibles dentro de los procesos productivos, así como el uso de los biosólidos dentro de dichos procesos, ha sido escasa para encontrar un beneficio directo que evite el deterioro ecológico y que produzca un bien o servicio a la comunidad de Tijuana. El lombricompostaje se considera una alternativa potencial económica y ambientalmente compatible para aquellos que de una u otra forma tienen una relación directa con los biosólidos.

d) *Objetivos.*

General.

Evaluar la factibilidad del lombricompostaje para minimizar los efectos, tanto ambientales como sociales, de los biosólidos susceptibles a biotratamiento en el área de Tijuana, y destacar su potencial aprovechamiento como una alternativa de producción de bienes y servicios.

¹⁴ Antonio Azuela, Julia Carabias, Enrique Provencio y Gabriel Quadri. 1993. *Desarrollo Sustentable. Hacia una*

Específicos.

- 1) Localizar las zonas donde se producen y tiran los lodos residuales y el estiércol en el área de Tijuana.
- 2) Registrar los principales cambios ambientales actuales en las zonas donde se depositan los biosólidos.
- 3) Validar a nivel experimental el potencial de la técnica del lombricompostaje para el reciclaje y/o biotransformación de biosólidos.

e) Alcance del trabajo.

Identificar los lugares o centros donde se generan los biosólidos en el área de Tijuana, su disposición y registrar los cambios que se presentan sobre el ambiente que circunda dichos lugares, además de investigar la factibilidad del uso de la técnica del lombricompostaje dentro de las instalaciones de Ecoparque.

f) Hipótesis.

1. Los biosólidos afectan al medio ambiente de forma tal que inciden en la calidad de vida de una parte de la población tijuanaense.
2. El lombricompostaje puede ser una alternativa viable, potencialmente benéfica, para la transformación de los biosólidos.

g) Materiales y métodos.

A) Efecto de los biosólidos

1.- Interpretación fotográfica de los depósitos de biosólidos en el área de estudio.

Por medio del uso de fotografías aéreas utilizadas como una herramienta de interpretación para obtener la información espacial, se realizó un diagnóstico de la problemática ambiental, como social, alrededor de los centros de producción lechera en el Florido, Cañón del Padre, la Gloria y San Antonio del Mar, ya que los biosólidos son depositados cerca de dichos centros.

Estas áreas tienden a una marcada demanda del suelo para urbanización por parte de la población, propiciando un cambio en su uso, el cual afecta de manera directa las tierras de agostadero. Además, el estiércol que se acumula dentro de los corrales de engorda en las granjas lecheras es vertido a los pocos canales de riego y cañadas cercanas a los centros de producción. En promedio un bovino produce diariamente 4.5 kilogramos de estiércol en base seca,¹⁵ así considerando el total de ganado en el tiempo se espera un deterioro grave del suelo cultivable y de los afluentes de agua que llegan a las norias para el consumo por parte del ganado, con una gran cantidad de toxinas disueltas en el agua y afectando la productividad del suelo debido a la acidez del estiércol.

En la mayoría de los casos, considerando a las plantas tratadoras de aguas negras de Tijuana, la depositación de los biosólidos se realiza dentro de las mismas instalaciones. Pero el exceso del material acumulado crea la necesidad de implementar alternativas que permitan sus utilización, en vez de vertir estos biosólidos en lugares cercanos a los centros de población.

¹⁵ Alejandro Plascencia y R.A. Zinn. 1996. *Influence of Flake Density on the Feeding Value of Steam-processed Corn in Diets for Lactating Cows*. Journal of Animals Science. 74:310-316

La aplicación del Sistema de Información Geográfica en esta parte de la investigación se dividió en tres etapas:


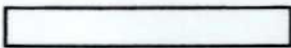
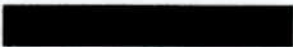
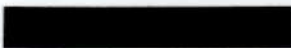

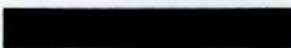
1.1.- *Localización de las variables a identificar en las fotografías aéreas.*- A través de fotografías a color tomada en el año de 1994 de la ciudad de Tijuana en que se ubican las zonas de estudio, a una escala de 1:40000 aproximadamente, se procedió a ubicar en una primera instancia las variables más representativas para entender la problemática y su situación con respecto a otras actividades del sector agropecuario. En un principio cada una de las variables se aplicó por igual a cada zona señalando su ubicación en una hoja de acetato sobre la fotografía aérea, donde se escogieron las siguientes:

- Zonas agrícolas
- Areas naturales
- Establos lecheros y planta tratadora de aguas negras
- Granjas avícolas
- Zonas donde se depositan el estiércol y los lodos residuales
- Ríos, lagunas, arroyos, mares

1.2.- *Digitalización de la información obtenida.*- En el paquete llamado "Modulo Digit" de SAVANE®, versión 1.4, se capturó la información obtenida de los mapas de cada uno de las áreas establecidas, sobre una imagen del satélite SPOT pancromático georeferenciado con una resolución en el suelo de 10 metros, donde se dibujaron polígonos de cada variable.

1.3.- *Integración de la Información.*- En el Sistema de georeferencia "Mapinfo" se integró toda la información, para su posterior identificación con un color distinto para cada una de las variables del estudio, que explican de alguna manera el comportamiento o distribución de cada una de las variables en las regiones

para su estudio dentro de la zona urbana de Tijuana. Los colores seleccionados para cada variable son los siguientes:

Variable	Color	Variable	Color
Los establos		Biosólidos	
Áreas naturales		Zonas agrícolas	
Cuerpos de agua		Granjas avícolas	

2.- Diseño del estudio.

2.1.- Reconocimiento de sitios.

Una vez hecha la identificación, a través del método por fotografía de las zonas donde se depositan los biosólidos, se realizó una visita a cada lugar para comparar e identificar con exactitud las variables escogidas o en su defecto agregar otras dependiendo de su importancia ambiental como social en el lugar. Se eligieron pozos de agua cercanos, proximidad a los centros urbanos, áreas de depósito de los biosólidos, incluyendo granjas avícolas, viveros, entre otros, para así emitir recomendaciones de posibles beneficios en el manejo de los biosólidos.

Se hizo una interpretación de los daños, extensión, ubicación de los lugares donde se depositan los biosólidos, así como las características visuales en que se encuentran esos lugares y sus alrededores actualmente.

2.2.- Entrevistas a la población.

En los lugares identificados, se hizo una entrevista a los encargados de los establos lecheros en relación a la problemática de los biosólidos y, de las alternativas biotecnológicas para su reuso.

El diseño de las entrevistas se hizo conforme a criterios establecidos en el número de preguntas básicas elaboradas exprofeso como guía, y de la evaluación de la misma.

El diseño de las entrevistas se hizo conforme a criterios establecidos en el número de preguntas básicas elaboradas expreso como guía, y de la evaluación de la misma. Se eligió un mínimo de personas a entrevistar dependiendo del número de establos en cada lugar o por su tamaño, ya que hay zonas donde hay una baja densidad de establos y otros con una gran concentración de ellos.

Las preguntas de la guía tuvieron la intención de identificar cual es la opinión de los habitantes directamente relacionados con la producción de biosólidos:

1. ¿Considera usted al estiércol o los lodos residuales como un residuo con efectos negativos o positivos para su negocio?
2. ¿Realiza usted un gasto especial para eliminar de su establo o de la planta, el estiércol o lodos respectivamente?
3. ¿Sabe usted que sus desperdicios le pueden generar un bien y servicio económicamente redituable?
4. ¿Qué uso conoce que se le da a los biosólidos?
5. ¿Tiene alguna idea de un posible uso para los biosólidos?
6. ¿Si se le ofrece una alternativa tecnológica ambientalmente compatible para el manejo de sus biosólidos, la aplicaría en su establo o planta?
7. ¿Cuál es el estado de normatividad ambiental de su negocio/ocupación/industria?
8. ¿Sabe usted que es el lombricompostaje?
9. ¿Conoce sus beneficios?
10. ¿Considera a las lombrices un recurso explotable?

B) Validación de la técnica del lombricompostaje

Una prueba de validación de la técnica del lombricompostaje fue llevada a cabo en el periodo enero-abril de 1998 dentro de las instalaciones de la Unidad Básica de Tratamiento de Aguas Negras de Ecoparque, Tijuana. La idea original fue evaluar la influencia de dos tipos de biosólidos (estiércol bovino y lodos residuales) y dos tipos de agua (potable y tratada) sobre la tasa de crecimiento de lombriz y los componentes químicos y bacteriológicos del humus producido durante la composta en cuatro camas diseñadas para tal propósito (cuadro 1).

Cada cama consistió en una superficie de 2m² (1 x 2mts) por 0.5mts de profundidad. El material de construcción fue tabique de concreto comprimido, con el piso de arena con cal, para su fácil drenaje. Dos camas se llenaron con estiércol y dos con lodos residuales a una altura de 0.40 m. La estabilización del medio de cultivo se logró añadiendo agua durante seis días consecutivos.¹⁶ La siembra de 3800 lombrices por metro cuadrado se realizó al séptimo día, humedeciendo cada dos días durante cinco meses.

Cuadro 1. Distribución del tratamiento de la prueba de validación de la técnica de lombricompostaje.

Cama	Biosólido	Tipo de agua
1 (EP)	Estiércol	Potable
2 (LRP)	Lodo residual	Potable
3 (ET)	Estiércol	Tratada
4 (LRT)	Lodo residual	Tratada

¹⁶ Carlo Ferruzzi, 1986. *op. cit*

El tiempo mencionado anteriormente se requiere para estabilizar la población de lombrices en 40,000 organismos por metro cuadrado.¹⁷ La cosecha de lombrices y humus se realizó al inicio del sexto mes en forma diaria con una producción potencial de 15,000 lombrices y 500 kilogramos de humus. Durante éste período se midió el pH de forma diaria, por medio de un indicador de pH de papel de la marca Hydrion® con un rango de 0 a 13. El conteo de organismos se realizó mensualmente a través del método de cuadrantes,¹⁸ cuatro por cama con cuadrantes de 10 x 10 centímetros. La separación de las lombrices del humus se realizó de manera manual por medio de un tamiz del 6 x 6 cm de luz de malla.

El experimento se terminó después de cinco meses de producción o según se indique al momento de obtener una densidad de 40,000 individuos por metro cuadrado en cada cama. También es importante mencionar que, durante el período del experimento se midieron tres variables representativas de la calidad del agua tratada, sólidos suspendidos totales, detergentes así como grasas y aceites para observar su efecto directo sobre el desarrollo de las lombrices *versus* aquellas que son regadas con agua potable como una nueva variable durante el experimento.

C) Análisis químicos.

Se analizaron los componentes químicos y bacteriológicos de cada uno de los biosólidos antes de introducir las lombrices de la especie *Eisenia foetida*. Al final del experimento se tomaron muestras de cada una de las camas para así determinar la calidad del abono orgánico producido, analizando lo siguiente según lo recomendado.¹⁹

17 Luigui, Campagnoni, 1989. *op. cit*

18 Steel, R.G.D. y J. H. Torrie. 1988. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*.

19 Claudia Martínez Cerdas. 1996. *Potencial de la Lombricultura*.

El análisis químico y bacteriológico se realizó con los siguientes métodos:

Variable	Método
Nitrógeno*	Kjeldahl-Nessler
Fósforo*	Acido vanadomolibdofosfórico colorimétrico
Potasio*	Absorción atómica
pH*	Indicador de potenciometría
Materia orgánica*	Reflujo abierto
Bacterias	NOM-092-SSA1-1994
Hongos y levaduras	NOM-111-SSA1-1994
Sólidos totales*	Symons
Sólidos volátiles*	Symons
Proteínas*	Kjeldahl-Nessler
Grasas*	Sofhlet

*Tomado del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1995. APHA

D) Interpretación de la información.

Mediante el apoyo de gráficas, mapas y tablas se hizo una interpretación de los resultados obtenidos tanto de la información del Sistema de Información Geográfica (SIG), las encuestas como del experimento en Ecoparque, con el fin de obtener la mejor interpretación de los resultados.

Capítulo I: Problemática ambiental.

a) Caracterización de la zona de estudio

Las ciudades de la frontera norte de México tienen en general un crecimiento poblacional acelerado (cuadro 2).²⁰ Este fenómeno de crecimiento se debe a que estas ciudades presentan oportunidades de desarrollo muy especiales, gracias a su situación geográfica, que al ubicarse en frontera con los Estados Unidos de América, se generan oportunidades de intercambio comercial. Esta situación demanda una gran cantidad de mano de obra especializada sobre todo para las actividades como la industria maquiladora, comercios, servicios públicos, transporte, agricultura, técnicos y turismo. Además ofrecen una gran cantidad de servicios como educación, vivienda, transporte, servicios médicos, comunicaciones, entre los principales.²¹

Esta situación causa en muchas ocasiones que la demanda de servicios supere la oferta que cada administración local puede programar durante su período para dar solución a necesidades tan básicas como el abastecimiento de agua potable, colecta de basura, drenaje, pavimentación, entre otros. Por otra parte, siendo mayor la cantidad de personas que nacen y que llegan con respecto a las que mueren y migran de la ciudad, esto rebasa la capacidad de cobertura de la infraestructura urbana como de servicios.

Paralelo a esto, el ramo de la industria alimentaria de lácteos y hortalizas, tiende a un aumento de la capacidad de producción para abastecer a las ciudades fronterizas. Esto provoca el hacer un mayor esfuerzo para incrementar la productividad de todas las actividades agropecuarias que, en muchas ocasiones, llega a producir de manera alarmante residuos orgánicos los cuales al no aprovecharse, tienen un impacto negativo e importante sobre el ambiente.

²⁰ Rodolfo Cruz P. 1992. *La Fuerza de Trabajo en los Mercados Urbanos de la Frontera Norte.*

²¹ *Idem*

Cuadro 2. Crecimiento poblacional de las principales ciudades fronterizas a partir de 1970.

Ciudad	1970	1980	1990	1995
Ciudad Juárez	407,370	544,496	789,522	1,010,533
Tijuana	340,583	461,257	721,285	991,592
Mexicali	263,498	341,559	601,938	696,034
Matamoros	103,895	148,354	271,887	363,236
Reynosa	176,401	249,929	332,755	336,732
Nuevo Laredo	148,867	201,731	218,413	274,913
Nogales	52,108	65,603	105,873	133,359
Piedras Negras	41,033	67,455	96,178	116,097

Fuente: Consejo Nacional de Población. La Población de los Municipios de México 1950-1990. 1994. Censo 95. Perfil Sociodemográfico. 1997

Tal aumento al esfuerzo de producción, se debe a que la tasa de crecimiento promedio anual de estas ciudades fronterizas medias es mucho mayor que el de las zonas metropolitanas con una tradición receptora de población; como la Ciudad de México, Monterrey, Guadalajara y Puebla, durante la últimas décadas²² (cuadro 3). Esta situación se presenta cuando el crecimiento y desarrollo económico excede el promedio nacional con respecto a las otras ciudades importantes del interior. Este impulso que se inició a partir de 1965 con el Programa Nacional Fronterizo, dando un apoyo especial al auge de la industria maquiladora en esta región del país, para poder dar empleo a la gran cantidad de mano de obra local y migrante a esas ciudades fronterizas.²³

Dicho aumento poblacional y ocupacional genera en las ciudades nuevos problemas como es el manejo de los desperdicios orgánicos y los lodos de las plantas tratadoras de aguas negras. El estiércol de los establos que se encuentran dentro de los perímetros de las ciudades; la basura de mercados, residencias y negocios de alimentos. La carencia de iniciativas de aprovechamiento de las mismas tienden a ser un problema de contaminación y alteración de los ecosistemas de la región.

²² CONAPO. 1994. *Evolución de las Ciudades de México 1900-1990.*

²³ Ernesto Quintanilla. 1991. *Tendencias Recientes de la Localización en la Industria Maquiladora.*

Cuadro 3. Tasa de crecimiento promedio anual (%) de la principales ciudades fronterizas y las cuatro mayores zonas metropolitanas del país.

Ciudad	1950-1960	1960-1970	1970-1980	1980-1990
Tijuana	9.7	6.4	4.3	5.1
Nogales	4.4	3.4	2.3	5.0
Ciudad Juárez	7.5	5.1	2.8	3.9
Piedras Negras	5.0	-1.0	4.9	3.7
Matamoros	7.3	4.2	3.1	3.6
Reynosa	8.1	9.4	3.4	3.0
Mexicali	10.4	4.4	2.5	2.6
Nuevo Laredo	4.8	5.0	3.0	0.8
ZMPuebla	3.2	8.6	5.3	3.2
ZMGuadalajara	7.5	5.9	4.1	3.0
ZMMonterrey	7.4	6.2	4.9	2.8
ZMCiudad Mexico	6.5	5.3	4.4	0.8

Fuente: Consejo Nacional de Población. *Evolución de las Ciudades en México. 1994*

Tijuana se ha caracterizado por ser entre las ciudades fronterizas la de más rápido crecimiento y desarrollo en los últimos tiempos. El constante crecimiento y desarrollo económico, cultural y comercial que se da en la ciudad, la hace muy atractiva para establecerse. Su posición geográfica, al ubicarse en frontera con California, uno de los estados más ricos de la unión americana, la sitúa en una posición privilegiada para el establecimiento de nuevas empresas, tanto nacionales como transnacionales, donde encuentran la oportunidad de exportar sus mercancías a dicho país. Esto destaca el comportamiento de la ciudad como la de mayor dinamismo, ya que en un lapso de 6 décadas multiplicó su población 66 veces.²⁴

Esta situación ha provocado la constante migración de individuos provenientes de los diferentes estados de la república en busca de oportunidades de trabajo en la región, así como la de migrar al estado de California en los E.E.U.U, lo que aunado a su tasa de crecimiento natural (cuadro 4) requiere incrementar en número los bienes y servicios, como también, el de la oferta de alimentos año tras año.

²⁴ Roberto Ham Chande. 1993. *Prólogo*.

Cuadro 4. Porcentaje de la población de nacidos y no-nacidos en Tijuana, y el resto del Estado, en el período 1960-1995.

		1960	1970	1980	1990	1995
Tijuana	Pob Total	165,690	333,394	447,262	747,381	991,592
	%Nacidos	N.D.	51.42	47.30	50.12	50.48
	%No-nacidos	N.D.	48.58	52.70	49.88	49.52
Resto del estado	Pob Total	520,165	870,421	1,177,886	1,660,855	2,112,140
	%Nacidos	40.5	50.3	55.3	52.9	50.1
	%No-nacidos	59.5	49.7	44.7	47.1	49.9

Fuente: Consejo Nacional de Población, *La Población de los Municipios de México 1950-1990*, 1994; *La Situación Demográfica de México*, 1997. N.D. No hay datos.

Entre los servicios de mayor demanda que hay en la ciudad de Tijuana se encuentran el de drenaje y tratamiento de aguas negras, así como además, el alto consumo de alimentos en la zona. Lo anterior representa los dos puntos de interés para el desarrollo de la problemática ambiental y su solución en la producción de bienes y servicios para la comunidad de Tijuana, a través de una técnica limpia, ambientalmente compatible y sustentable como el lombricompostaje.

El aumento de la capacidad de infraestructura hidráulica en el servicio de drenaje ha propiciado un supuesto incremento de la producción de lodos residuales sobre las plantas de tratamiento de la ciudad. Este incremento en el volumen de lodos producidos son acumulados en mayor medida dentro de las mismas instalaciones de la planta o en un lugar alrededor del perímetro de las instalaciones,²⁵ para la cual no existen programas alternos para su aprovechamiento, manejo o uso *in situ* de estos desechos.

Además, es importante señalar que la existencia de un mercado dinámico de consumo de carne, huevos y sobre todo leche en la zona urbana ha provocado una fuerte perturbación en la adquisición de estos básicos, que se comportaba con un patrón

²⁵ Actualmente la Planta de Punta Banderas Funciona con el sistema de lagunas de oxidación, por la cual sólo se ha hecho una colecta de lodos residuales en el año del 93 para el mantenimiento de la planta. A finales de éste año se cambiara el proceso por uno de lodos activados facultativos que tendrá una producción aproximada de 80 m³ al día.

tradicional²⁶ de crecimiento, teniendo que igualar la oferta de este producto incrementando cada año el hato de ganado lechero para poder mantener la producción necesaria que la ciudad de Tijuana requiere. Esto tiene por consecuencia que también haya un aumento en el volumen del estiércol producido, ya que cada vaca por lo general produce o excreta unos 4.5 kilos de estiércol seco al día (cuadro 5).

Cuadro 5. Producción de lodos, leche y estiércol desde 1991.

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Volumen de lodos residuales ^a	N.D.	N.D.	47,000*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Producción de leche (mill de litros) ^b	110.45	122.24	114.40	118.24	117.04	127.24	135.24
Hato ganadero ^b	35,139	26,482	26,482	30,006	22,732	23,327	21,358
Estiércol (ton.) ^b	158.23	119.17	119.17	135.03	102.29	104.97	96.11*

Fuente: a) CESPT y b) Secretaría de Fomento Agropecuario de B.C. 1998. N.D. No hay datos.

* Total de abono producido en un día, y suponiendo que cada animal defeca un promedio de 3 kilos de estiércol. ° La mitad está compuesta por arenas.

Desgraciadamente no existe un programa o actividad alterna para darle un uso adecuado a este estiércol, lo que trae consigo que se disponga de manera inadecuada, tirándolo en espacios abiertos cercanos a los establos, afectando de cierta manera el medio natural de la región, la estética así como aspectos de salud pública.

Es por eso que se debe encontrar una solución técnica a este problema de los biosólidos en Tijuana, que encuentre la sustentabilidad que se requiere para llegar a un equilibrio entre las actividades antropogénicas y los recursos naturales. Es decir, debe tener un impacto mínimo sobre el mismo medio, de bajo costo y que sea adecuada para la zona donde se va a aplicar, tanto con el tipo de recurso a transformar como con los grupos de personas o comunidad que se beneficiarán.

La complejidad con que se debe entender el uso de los biosólidos para llegar a un bien o servicio compatible con el ambiente reside en su valor ecológico potencial, su

²⁶ Gustavo Viniestra G. 1981. *Consideraciones Económicas sobre el Aprovechamiento de los Desperdicios Agrícolas, Ganaderos y Agroindustriales.*

compatibilidad ambiental, factibilidad de transformación y aprovechamiento con técnicas ambientales o ecotécnicas.

El uso o aprovechamiento de los biosólidos trae consigo el cuidado del ambiente, además de cerrar un círculo productivo, ya que conjuga la creación de nuevos empleos, el incremento de la productividad del campo, un ambiente sano y una mayor cantidad de alimentos que satisfacen las necesidades de la población en general. Pero todo esto no se puede lograr si no hay un entendimiento social de la problemática que hay al generar gran cantidad de materia orgánica en todas las actividades productivas sin tratar de encontrarles un bien o servicio último, al buscar la manera de incorporar nuevos procesos para crear nuevos productos con este tipo de material.²⁷ Esto deberá complementar el esfuerzo principal de las actividades donde se producen estos biosólidos.

Dado lo anterior, es fundamental encontrar un equilibrio entre las actividades productivas y de servicio con el medio ambiente en un ámbito que alcance la sostenibilidad de un crecimiento y desarrollo armónico de la población, con la protección de los recursos naturales, necesarios para que toda actividad humana continúe sin riesgo a perder su productividad.

Es importante entender la función que envuelve el incorporar nuevas técnicas con nuevos procesos en cualquier actividad, en que se contemple la idea de llegar a un equilibrio con nuestro ambiente, bajo el concepto del desarrollo sostenible, que involucra tres variables: ambiente, ecotecnología y participación social. De esta manera, se alcanzan los objetivos que se buscan en cada actividad; de durabilidad, bajo costo y compatible con el medio natural.

²⁷ Alejandro Nadal Egea. 1977. *Instrumentos de Políticas Científicas y Tecnológicas en México*.

b) *Sociedad: Su visión en el cuidado del ambiente*

El crecimiento de la ciudad de Tijuana ha afectado de cierta manera el comportamiento y desarrollo de las actividades agropecuarias y de servicios que existen a su alrededor o que forman parte del mismo círculo urbano, teniendo un efecto sobre una serie de factores de carácter social, económico, político y ecológico.²⁸ Esto influye sobre el comportamiento de los individuos en sus actividades que de alguna manera alteran el medio natural, haciendo necesario entender este comportamiento como base de una ecología humana que se adapta colectivamente al medio ambiente, a su medio físico, a su medio económico y productivo al contrario de su proceso individual que ejerce una influencia mínima sobre estos medios.²⁹

Los grupos sociales en la actualidad son personas organizadas en asociaciones o comunidades que buscan de alguna manera una forma de mejorar su calidad de vida.³⁰ Esto entre un medio ambiente sano y una economía sólida. Existen algunas organizaciones no gubernamentales, ejidos, comunidades, grupos agrícolas, entre otros, que buscan en un futuro cercano un complemento ecológico diversificado, sinérgico, incorporando técnicas limpias con recursos de la zona y que sean compatibles con el lugar de producción o lugar de influencia.³¹ En ocasiones estas acciones trae consigo el cambio de procesos ya inmersos en su forma de actuar pero de alguna u otra manera no tienen una equidad con el medio ambiente.

Estos grupos en muchas ocasiones se organizan de manera tal, que el manejo o el uso que ejercen sobre el medio biofísico en donde se establecen para realizar sus actividades productivas como de servicios son aprovechadas para obtener el mayor beneficio económico. Una situación tal impera en los establos lecheros que se

²⁸ Claudia Martínez Cerdas. 1997. *¿Por que la Lombricultura en el Desarrollo Rural?*.

²⁹ Amos H. Hawley. 1986. *Human Ecology. A Theoretical Essay*.

³⁰ Se entiende por calidad de vida, la posibilidad de que toda persona viva en un medio no contaminado, con agua limpia, suelo fértil, y con lo mínimo de productos y servicios que se requieren para tener una vida plena y sin carencias materiales, económicas y ambientales.

³¹ Jesús Arias. 1992. *Producción de alimentos orgánicos naturales*.

encuentran en la periferia de la ciudad de Tijuana, que es una ciudad que cuenta con excelentes vías de comunicación, sistemas de distribución y sobre todo la accesibilidad a equipo y servicios urbanos. En tanto la mayoría de las veces, el establecimiento de las plantas tratadoras de aguas negras son ubicadas en zonas donde el impacto sobre el medio biofísico es el mínimo, de fácil acceso y que exista un bajo gasto de energía en la transportación del agua a tratar, el agua tratada y de los biosólidos. Además se busca que no haya un efecto directo sobre la población de la ciudad, como es el caso de la planta tratadora de aguas negras de Punta Banderas, ubicada a 17 kilómetros de la ciudad de Tijuana.

Al igual que en otras partes del mundo, la relación sociedad-naturaleza no se puede dar en forma equilibrada o compatible ambientalmente hablando, si no se rompe con los intereses individuales y las ganancias a corto plazo que predominan sobre el interés social y las estrategias de desarrollo.³² Para esto hace falta integrar una interdependencia entre los sistemas sociales y naturales en la planeación de las actividades productivas como de servicios,³³ ya que determinan el comportamiento de los sistemas y procesos sociales humanos.³⁴

Las políticas establecidas en el sistema agropecuario tienen un criterio ambiental de *aprovechamiento racional y sostenido de los recursos naturales*, pero dejan de lado la protección al ambiente, apoyando el crecimiento económico al promover la incorporación de tecnologías y procesos de alto costo económico en obras de *infraestructura e inversiones para aprovechar el potencial y aptitud de las tierras*.³⁵ Esta situación trae consigo el que estos grupos sociales tratan de encontrar formas para contrarrestar sus presiones económicas más que de buscar alternativas ecológicas con tecnología de bajo costo ambientalmente amigables que ayudan a un crecimiento armónico de su actividad productiva a la vez de que hay una protección al ambiente.

32 Carlos Cortéz. 1993. *El Sector Forestal Mexicano: ¿Entre la Economía y la Ecología?*

33 Allan Schnaiberg y Kenneth A. Gould. 1994. *Environment and Society: The Enduring Conflict*.

34 Donald R. Field y William Burch Jr. 1988. *Rural Sociology and the Environment*.

35 Art. 5 de la Ley Agraria, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 05 de enero 1993.

En el caso de la planta tratadora de aguas negras, existe la preocupación por cumplir con un requisito normativo para arrojar el agua tratada con los mínimos establecidos en las normas oficiales mexicanas en la materia hacia los cuerpos receptores de agua, pero no hay un real criterio para el aprovechamiento del agua tratada como de los lodos residuales.

La falta de conocimiento sobre el manejo de los biosólidos por parte de estos grupos de personas, entre autoridades, ambientalistas, dirigentes de asociaciones, académicos y otros más, hace que exista una mayor inversión en el manejo del estiércol tanto para su depositación fuera de los establos, como en los rellenos sanitarios violando los criterios establecidos en la normatividad existente al respecto.

Por esto, se debe buscar una relación diferente entre ambiente y población que empiece desde una nueva forma de organizarse, de educación, cultura, tecnología, conceptualización y manejo de los problemas ambientales, el cual forme un sistema único, en que su efectividad se va a medir a partir de su productividad, eficiencia y durabilidad.³⁶ Para alcanzar dichos fines debe existir un cambio de cultura, pensamiento y de actitud en la forma de concebir al medio natural como biofísico que son parte de nuestra vida cotidiana, y en donde la población, mejor organizada, pueda definir y explotar racionalmente los recursos naturales.³⁷

El manejo que haga cualquier grupo social, de educación y gubernamentales en actividades productivas tanto primarias, secundarias y terciarias, y que tenga una relación con los sistemas naturales, deberá considerar aspectos ecotecnológicos y de control. Por otra parte, estos grupos con asesoría de las autoridades deberán buscar

³⁶ Amos H. Hawley. 1986. *op. cit*

³⁷ Donald R. Field y William Burch Jr. 1988. *op. cit*

alternativas estratégicas para preservar la energía, aumentar la productividad y generar u ofrecer los servicios con un cuidado al ambiente.³⁸

Se trata de esta forma, llegar a la sustentabilidad del uso de los recursos naturales con propósitos sociales en el que se considere una componente económica del medio natural como un recurso a ser aprovechado³⁹ de forma racional que genere un beneficio a la comunidad en general y la protección al ambiente.

c) Legislación ambiental y los Biosólidos

El problema de los biosólidos es un tema poco estudiado y por consiguiente poco legislado. Las leyes mexicanas reconocen los problemas ambientales, generados por el manejo de los desechos, residuos y materiales provenientes de los procesos de transformación doméstica e industrial.

En el Plan Nacional de Desarrollo 1995-2000⁴⁰, dentro de los programa de Política Ambiental para un Crecimiento Sustentable, se señala que la atención de dichas políticas debe centrarse en frenar las tendencias de deterioro ecológico y sentar las bases para un desarrollo sustentable. Se plantean las estrategias nacionales de desarrollo que buscan un equilibrio entre los objetivos económicos, sociales y ambientales para, de esta manera, frenar el deterioro ambiental, aprovechar de manera plena y sostenible los recursos naturales, superar la pobreza y cuidar el ambiente. Asimismo, también se estructuran programas específicos para restaurar y sanear los sitios afectados de la topografía nacional, las principales cuencas hidrológicas y restaurar áreas críticas para la protección de la biodiversidad por el manejo inadecuado de los desechos peligrosos,.

³⁸ *Ibidem*.

³⁹ Allan Schnaiberg y Kenneth A. Gould. 1994. *op. cit*

⁴⁰ Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 01 de enero de 1995

Un punto importante que menciona dicho Plan, es el que a través de normas e incentivos económicos se alentará tanto a productores como a consumidores a tomar decisiones que apoyen la protección del ambiente y el desarrollo sustentable. En el caso específico del suelo, menciona que se inducirán los cambios en los sistemas productivos, el involucramiento de los productores en las tareas de diagnóstico y en la selección de alternativas e instrumentación de acciones para contener la erosión.

Pero son medidas que adoptan y en ocasiones promueven los mismos grupos sociales en beneficio de su actividad como del entorno en donde se desenvuelven, llevado bajo criterios de prevención o mitigación del impacto negativo que se ejerce sobre el medio natural. Sin embargo, se carece de normativa que de solución, promueva o de apoyo fiscal como técnico para que exista un cambio completo en los procesos de las actividades productivas que conllevan a una protección ambiental y a un crecimiento económico.

Por otra parte, se prevee una descentralización en materia de gestión ambiental y de recursos naturales, para que los municipios tomen las decisiones pertinentes y que exista una mayor participación social. El Plan en dicho inciso termina aludiendo que el éxito de dichas estrategias dependerá de la comunicación que exista entre el Estado y la sociedad, para el manejo sustentable de los recursos naturales y el mejoramiento de la calidad de vida.

Respecto al manejo de los biosólidos, éste no está directamente regulado, pero diferentes apartados de la legislación mexicana preveen, regulan, sancionan e invitan al uso, implementación o innovación de tecnología para la transformación de dichos desechos.

En otros de los instrumentos de la legislación mexicana, la Constitución de 1917, que en su artículo 27 prevee un desarrollo sustentable y el buen manejo de los recursos, en unos de sus párrafos menciona que *"La nación tendrá el derecho de lograr un*

desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de su población, evitando la destrucción de los elementos naturales que perjudiquen el bienestar de la sociedad".

Además, los tratados internacionales en los que está suscrito nuestro país, como la Convención de las Naciones Unidas de Lucha Contra la Desertificación en los Países Afectados por Sequía Grave o Desertificación, (miembro desde 1995),⁴¹ promueven estrategias encaminadas a erradicar la pobreza y que ayuden a mejorar las condiciones de vida de la población más necesitada a través de nuevas fuentes de empleo que complementen sus ingresos. Además, dicho convenio promueve y financia cualquier tipo de transferencia, adquisición, adaptación y desarrollo de tecnología ecológica, como el apoyo a fomentar la educación para hacerlo más sensible al público adjunto a la ayuda de instituciones científicas y técnicas del ramo.

Aunque estos tipos de tratados recalcan los problemas globales y dan soluciones técnicas para que las naciones que están involucradas planeen sus estrategias para combatir el problema a nivel local, no toman en cuenta la manera en que se observa el deterioro ecológico o la inquietud por la problemática ambiental a nivel de grupo, comunidad o población en la región donde se da ese problema. No toman en cuenta estrategias más profundas como el cambio cultural y el de aprovechar el conocimiento en el manejo del ambiente como su forma de organización de los grupos locales.

Por otra parte, las leyes y normas nacionales vigentes señalan de alguna manera puntos relacionados con el manejo, promoción e investigación de los biosólidos.

La conservación y protección del suelo a partir del buen uso de los biosólidos es base fundamental para el desarrollo regional y nacional de México. Uno de los impactos más notables que se observan en las zonas donde hay producción agrícola y ganadera es la depositación de los biosólidos como el estiércol vacuno, bagazos de fruta o verdura,

⁴¹Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 01 de junio de 1995.

en lugares como cuencas de ríos, cañadas y carreteras. El hacinamiento de residuos de materia orgánica que al descomponerse concentran gran cantidad de sustancias tóxicas, con riesgo de lixiviados, que generan sustratos improductivos por la falta de intercambio gaseoso como cuerpos de agua ácidos, lo que pueden considerarse estos volúmenes como residuo no peligroso (Art. 86, Frac. VI de la Ley de Aguas Nacionales [LAN];⁴² y en el Art. 3., Frac. XXII de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente [LGEEPA]).⁴³

Estos desechos en grandes cantidades son causantes en parte del agotamiento del suelo, aunado al mal manejo ciertas prácticas de la agricultura y ganadería que utilizan técnicas que no tienen algún criterio ecológico. Por eso es necesario conservar y proteger la biodiversidad de los ecosistemas (Art. 85 de la LAN; Art. 1, Frac. I y II de la Ley Forestal⁴⁴ [LF]; Art. 1, Frac. VI de la LGEEPA; y el Art. 151 del Reglamento de la LAN⁴⁵ [RLAN]).

Tanto La Ley de Conservación del Suelo y Agua⁴⁶ como La Ley Agraria⁴⁷ en su Artículo 5 y el Reglamento de la Ley de Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente del Estado de Baja California⁴⁸ en sus Artículos del 64 al 78, señala la necesidad de fomentar, cuidar, conservar y proteger los recursos naturales para que exista una correspondencia sostenida con todas las actividades agropecuarias. La condicionante es mejorar la capacidad técnica, es decir, en el que se pueda obtener mayor producción en un menor espacio, sin alterar los ecosistemas cercanos a los lugares de producción de desechos orgánicos o biosólidos ignorando su integración, y por consiguiente limitándose las alternativas o soluciones para el manejo de estos biosólidos que complementen las actividades agropecuarias como la protección al ambiente.

⁴²Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 15 de febrero de 1993.

⁴³Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 28 de diciembre de 1996.

⁴⁴Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 18 de febrero de 1994.

⁴⁵Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 01 de febrero de 1994.

⁴⁶Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 15 de enero de 1994.

⁴⁷Publicado en el Diario Oficial de la Federación, el día 05 de enero de 1993.

⁴⁸ Periódico del Gobierno del Estado de Baja California, 4 de octubre de 1993. (la información se obtuvo vía internet, por lo que no pude puntualizar)

Por eso se hace necesario involucrar con mayor efectividad a los centros de enseñanza y de investigación con las autoridades y sobre todo con el sector empresarial, agrícola y ganadero en la búsqueda de soluciones, como el de innovar, aplicar e incorporar tecnología ambientalmente eficiente para que exista una armonía compatible con el medio ambiente (Art. 134, Frac. IV de la **LGEEPA**). El beneficio final es la optimización de su uso (Art. 152, párrafos 1 y 2 de la **LGEEPA**).

Los cambios necesarios de los valores humanos y públicos que inciden en nuestras leyes e instituciones deberán encontrar soluciones a los problemas ambientales sin el menoscabo de los beneficios sociales, económicos y culturales dentro de las estrategias y planes políticos,⁴⁹ ya sean a nivel federal, estatal o local. Esto se hace necesario para que las normas, acuerdos, decretos y tratados que se promulguen al respecto, tengan la utilidad pública de evitar la destrucción de los elementos naturales en zonas de interés para el recreo, así como el rescate de áreas ocupadas por asentamientos humanos, centros de producción agropecuaria y la eliminación de tiraderos clandestinos de materia orgánica. Se busca tener una buena política ambiental, que es el conjunto de una buena política económica, un ambiente saludable y una economía próspera".⁵⁰

⁴⁹ Donald R. Field y William Burch Jr. 1988. *op. cit*

⁵⁰ Brian Wilson. 1994. *La Protección del Ambiente en Canadá*.

Capítulo 2: El lombricompostaje como una biotecnología alterna

a) Sustentabilidad en el manejo de los biosólidos

El concepto de desarrollo sustentable se definió a partir de 1987 por medio de la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo, que especifica el compromiso de satisfacer las necesidades de nuestra generación sin comprometer a las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades.⁵¹

Es importante tomar en cuenta que, el principio de sustentabilidad entraña la exigencia de reconocer la capacidad de carga de los ecosistemas, y que estos no pueden ser explotados o aumentados en su capacidad de carga más allá de sus límites naturales, ya que se pueden obtener consecuencias irreversibles⁵², que dañan la salud del medio ambiente como el de los seres humanos.

En todos los procesos transformadores que se originan como parte de las actividades económicas productivas en el mundo, se generan toda clase de biosólidos, que no siempre son reutilizados o vueltos a introducir en los procesos que les dieron origen. Por tal razón, se trata de dar a estos procesos un cambio en su desarrollo con una concepción ambiental.⁵³ De tal manera que, todo proceso de manipulación que se haga, conlleva a una perturbación en menor o mayor grado, manifestándose de forma directa en el ecosistema.⁵⁴

“Ver y entender el problema del manejo de los biosólidos holísticamente, desde la perspectiva del medio ambiente y del desarrollo sustentable, aparece como una

⁵¹ Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. 1988. *Nuestro Futuro Común*.

⁵² Felipe Torres Torres. 1996. *Desarrollo Sustentable y Alimentación Sana*.

⁵³ Héctor Sejenovich. 1992. *Energía y Ambiente en el Desarrollo Sustentable*.

⁵⁴ José Sarukhán y José M. Maass. 1990. *Bases Ecológicas para un Manejo Sostenido de los Ecosistemas: El Sistema de Cuencas Hidrológicas*.

condición previa para contribuir a mitigar el proceso de degradación ambiental que pesa sobre la mayor parte del suelo nacional."⁵⁵

Se debe observar un incremento en la calidad de vida de la población en general, de manera que se vea la forma de mantener, enriquecer y transformar positivamente el medio natural a través de una tecnología adecuada. La sociedad, gobierno y comunidad científica deberán ser protagonistas en las decisiones del desarrollo.⁵⁶

Asimismo, hay que entender que todo esto es un proceso, donde existen restricciones importantes en relación con la explotación de los recursos, la orientación de la evolución tecnológica y el marco institucional.⁵⁷

Es importante recordar que, el concepto de desarrollo sustentable involucra dos vertientes, que son la columna vertebral del desarrollo, es decir, una parte económica y otra ambiental.⁵⁸ Ya que la integración de ambas conlleva a un balance entre energía, recursos naturales, población y economía; que identifica, evalúa los aspectos sociales y medios de producción de forma progresiva hasta alcanzar los niveles de calidad de vida⁵⁹ que deseamos para la sociedad en general.

Así, es factible establecer estrategias que busquen la reorientación tecnológica, de manera que los impactos sobre los recursos naturales y los riesgos ambientales sean mínimos,⁶⁰ sobre todo el reciclamiento o incorporación de los excesos de la producción, que puedan ser reincorporados a los procesos productivos de manera que se pueda ahorrar energía en los mismos o que puedan ser regresados al medio natural sin

⁵⁵ Eduardo Neira N. 1996. *El Desarrollo Sustentable y las Metrópolis Latinoamericanas: Segundo Foro del Ajusco.*

⁵⁶ Héctor Sejenovich. 1992. *op. cit.*

⁵⁷ Enrique Provencio y Julia Carabias. 1993. *El Enfoque del Desarrollo Sustentable..*

⁵⁸ *Idem.*

⁵⁹ Oscar Marulanda. 1986. *El Manejo Integrado de los Recursos Naturales y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo.*

⁶⁰ Enrique Provencio y Julia Carabias. 1993. *op. cit.*

alterar su equilibrio.⁶¹ Esto permitirá a la población adquirir una cultura ambiental en armonía con el desarrollo de una manera justa, inmediata, alternativa y para siempre.⁶²

b) *Compatibilidad de la tecnología con el medio ambiente .*

El desarrollo de toda nación no tiende a ser medido en ocasiones sólo por el avance tecnológico que existe, sino también en el sentido de como hacer las cosas y de su conjunto de procedimientos o alternativas que puedan concebirse.⁶³ Esto se refleja en la promoción de otros usos tecnológicos como es el ecotecnológico, base para ese crecimiento económico que toda política ambiental requiere, para así poder conservar los recursos que tenemos y usarlos adecuadamente en beneficio de la sociedad.⁶⁴

La dimensión endógena del desarrollo científico y tecnológico no puede ignorarse, ya que incorpora dos componentes importantes como son el bienestar humano y la protección a los ecosistemas,⁶⁵ que son parte directa de todo principio de crecimiento tanto social como económico. Este fundamento es aceptable para dar solución a problemas como el de los biosólidos o cualquier desecho susceptible de volver a utilizarse como bien o servicio, o ambos de las mismas actividades antropogénicas. Es por eso que existen diferentes técnicas para el manejo de los biosólidos entre las que se encuentran las técnicas tradicionales con un supuesto criterio ecológico y las ecotécnicas.⁶⁶

Las primeras son técnicas como el reciclaje, reutilización y reducción de la materia sólida para minimizar el posible impacto que se puede hacer al medio ambiente. Existen varios ejemplos, pero los más tradicionales son la incineración y el relleno sanitario; los incineradores aunque reducen hasta un 90% el volumen de los

⁶¹ Marco Antonio Martínez N. et. al. 1992. *El Concepto de Sustentabilidad: sus Aplicaciones en Comunidades Rurales y en la Energía Nuclear.*

⁶² Gustavo Esteva. 1994. *La Construcción Comunitaria: más allá del Desarrollo Sustentable.*

⁶³ Alvaro Portillo y Gladys Sirvent. 1987. *Tecnologías para el Desarrollo Urbano.*

⁶⁴ William J. Mitsch. 1989. *Prefacio.*

⁶⁵ Aldo Ferrer. 1993. *op. cit.*

desperdicios y que genera vapor y energía eléctrica, es una tecnología muy cara, que a su vez produce gases de dioxinas y cenizas que son sustancias con un alto grado de toxicidad, además de que las cenizas deben ser depositadas en los rellenos sanitarios. Por su parte, los rellenos sanitarios son lugares en los que se deben realizar algunas medidas preventivas para no afectar el ambiente, como el de poner capas impermeables en el fondo del relleno que prevenga el derrame de lixiviados, el instalar equipo para la recuperación del gas metano que se genera y el monitoreo de la calidad de las aguas subterráneas, haciendo que estos rellenos tengan costos muy elevados de producción.⁶⁷

Las segundas, las ecotécnicas, son técnicas que son usadas en beneficio del individuo como tal sin alterar el equilibrio ecológico, es decir, el utilizar los mismos principios ecológicos de los ecosistemas en la transformación de los desechos orgánicos.⁶⁸ Así, la transferencia de tecnología puede evolucionar, de tal manera que su alcance e importancia vaya de acuerdo a la forma del comportamiento de la oferta y la demanda sobre la misma tecnología, esto es debido a la rapidez con que se da el cambio de las formas de producción.⁶⁹

Estos cambios de transformación promueven un rescate gradual de nuestro medio ambiente sin que por ello se contravenga los procesos económicos, ejerciendo de modo alguno una influencia sobre el concepto de desarrollo social y de estilo de vida, así como de la forma en que esa nueva tecnología se pueda adaptar al cambio ambiental, que es el lugar donde ocurre la transformación y la perturbación del modelo natural.⁷⁰

66 Sven E. Jorgensen y William J. Mitsch. 1989. *Classification and Examples of Ecological Engineering*.

67 Martín Medina. 1997. *Manejo de Desechos Sólidos y Desarrollo Sustentable*.

68 Sven E. Jorgensen y William J. Mitsch. 1989. *op. cit.*

69 Carlos M. Correa. 1994. *op. cit.*

70 Felipe Torres Torres. 1996. *op. cit.*

En algunos países existen normas ambientales rígidas que alientan la innovación tecnológica y de procesos de transformación, que inducen la producción de bienes y servicios superiores y rentables a los ya existentes.⁷¹

Es por eso que, toda innovación y la alternativa tecnológica es un proceso indispensable en la búsqueda de horizontes de sustentabilidad y que son definidas por la población, la tecnología en si y los patrones de consumo.⁷² Esto conlleva a “desarrollar proyectos sustentables ambientalmente”,⁷³ donde se busca dar un uso adecuado de los recursos. En nuestro caso como es el de los desperdicios derivados de la producción agroindustrial y del tratamiento de aguas negras,⁷⁴ esta transferencia de tecnología deberá asegurar de forma primordial la salud de los individuos.⁷⁵

Se creará así la necesidad de “adoptar un modo alternativo de producción y difusión del conocimiento que permita acceder rápidamente a las tecnologías, así como adaptarlas, dominarlas y diseminarlas con amplitud.”⁷⁶ Tal es el caso de la ingeniería ecológica en el cual se manipula el medio ambiente por parte del hombre que usa pequeñas cantidades de energía suplementaria para controlar dicho sistemas, pero donde la energía principal que emana de estos sistemas sigue siendo de origen natural.⁷⁷ La manipulación que se hace no es de fondo, si no considera un acoplamiento de las especies con su medio abiótico como un sistema auto-diseñado que se puede adaptar a los cambios provenientes del exterior, como son los provocados por el hombre y fuerza naturales.⁷⁸

⁷¹ Brian Wilson. 1994. *op. cit.*

⁷² Gabriel Quadri. 1996. *Políticas Ambientales para una Ciudad Sustentable.*

⁷³ Mario Lungo U y Jaime Barba. 1993. *El Espino. ¿Hacia el Deterioro Irreversible del Medio Ambiente en la Ciudad de San Salvador?*

⁷⁴ Jorge E. Hardoy y Davis Satterthwaite. 1993. *Problemas Ambientales en Ciudades del Tercer Mundo: ¿Es éste un Problema Mundial que no es Tomado en Cuenta?*

⁷⁵ Carlos Santos B., Nicholas Ashford y Patricia Hernández. 1995. *Regulaciones Ambientales y Laborales como Estímulo de la Competitividad.*

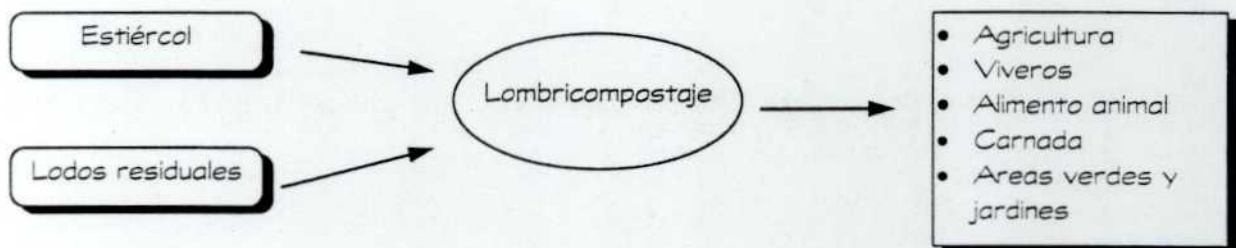
⁷⁶ José Luis Solleiro y Alma Rocha Lackiz. 1996. *op. cit.*

⁷⁷ Odum, H. T. 1962. *Main in the Ecosystem.*

⁷⁸ William J. Mitsch y Sven E. Jorgensen. 1989. *Introduction to Ecological Engineering.*

Actualmente se debe pensar en darle un manejo cíclico a todos los recursos naturales como los biosólidos, con una tecnología eficiente, ahorrativa y limpia, dando origen a productos de alta calidad, durables y que la vida de los recursos tenga una durabilidad de largo plazo con un cúmulo mínimo de residuos.⁷⁹ Es decir, que esta tecnología debe reducir la tasa de insumos y energía empleados en la producción de un bien al mantener bajas emisiones de residuos al ambiente permitiendo recuperar al máximo el material transformado.⁸⁰

De lo anterior podemos decir que cualquier tecnología con principios ecológicos o ecotecnológicos permite el interactuar con el medio natural. Tal es el caso del composteo, que recicla los nutrientes que se encuentran en los biosólidos para tierras de cultivo. En este proceso de descomposición biológica los nutrientes pueden ser asimilados por las plantas gracias a la acción de microorganismos como bacterias y hongos. Se evita así el proceso de lixiviación y gases tóxicos, generación de organismos patógenos, no causa malos olores y no atrae moscas y roedores, en vez de que se incineren causando problemas de contaminación del aire, y cenizas y escoria que deben ser depositadas en algún lado (gráfica 1).



Gráfica 1.- El lombricompostaje como un bien y servicio.

⁷⁹ Marco Antonio Martínez N., et. al. 1992. *op. cit.*

⁸⁰ Eduardo de Alba y C. Cortinas. 1994. *Reflexiones sobre la Ciencia y la Tecnología para la Gestión Ambiental.*

Se conocen varias formas de composteo, siendo las principales:

- a) Por hileras al aire libre.- Son largas pilas de biosólidos, que son aireadas mecánicamente 2 o 3 veces a la semana para eliminar los olores producidos por la fermentación de la materia orgánica, por un periodo mínimo de 120 días.⁸¹
- b) Por aireación inducida.- La aireación es proveída por medio de un ventilador y ese aire es llevado por mangueras perforadas controlando de esa manera la temperatura al interior de la pila de materia orgánica a todo lo largo de ella. Se evita la producción de cualquier tipo de contaminantes durante el composteo.⁸²
- c) En canales.- Funciona de la misma manera que el anterior proceso, pero con la ventaja de que de esta manera existe mayor control de la pila de composta. La aireación es suministrada desde el piso y el tiempo de conversión es menor.
- d) En recipientes.- Es en un sistema cerrado, existe un mayor control del olor como de la rotación de la composta, ya que se tiene una entrada para la materia orgánica y una salida para la composta. Tiene un largo tiempo de transformación.⁸³
- e) Producción de biogas.- A través de recipientes cerrados con un conducto de salida para el gas producido por la fermentación de la materia orgánica, que a su vez se descompone formando la composta en un periodo largo.⁸⁴
- f) Lombricompostaje.- Es la transformación de los biosólidos por medio de lombrices en un periodo realmente corto y que es posible adaptarse en comunidades o grupos rurales observando de cierta manera los aspectos culturales como económicos.⁸⁵

Existen otros ejemplos más de ecotecnologías como la creación de ecosistemas artificiales para retener algún tipo de contaminantes como las lagunas artificiales con

81 Trelawney Dampney. 1997. *A Composting Company Grows in Britain*.

82 William E. Toffey. 1997. *Biofiltration- Black Box or Biofilm?*.

83 Jon V. Fremante y Meggan Janes. 1997. *Managing Biosolids Through Composting*.

84 Jesús arias. 1992. *Producción de Alimentos Orgánicos Naturales*.

85 Stephen White y Zorba Frankel. 1995. *AlasCan Has a Plan for Remote Alaska*.

plantas acuáticas para recuperar el nitrógeno disuelto en el agua; la recuperación de ecosistemas deteriorados por suelos ácidos con cenizas de carbón, entre otros.⁸⁶

En México, el desarrollo tecnológico debe beneficiar a un sector de la población que carece de los recursos económicos necesarios,⁸⁷ al identificar las oportunidades científicas y reproductivas que permiten forjar ventajas competitivas y resolver problemas ecológicos y sociales aprovechando el uso de residuos como los biosólidos.⁸⁸

La innovación tecnológica es considerada como un factor esencial en el crecimiento económico de todo aquel que haga uso de cualquier tipo de tecnología compatible con el medio ambiente. Esta tecnología deberá cumplir con tres requisitos indispensables como el de fabricar un producto nuevo, la introducción de un nuevo proceso de fabricación que abra un nuevo mercado y por último, el que explote una nueva fuente de materia prima,⁸⁹ que sería lo expuesto en este trabajo con la utilización de los biosólidos.

Siendo así, que hoy en día se habla de establecer unidades productivas de dimensiones reducidas a niveles de economía de escala, para que de esa manera crear un círculo⁹⁰ entre actividades ya establecidas con otras de nueva generación que conlleven a una sustentabilidad de los procesos productivos a un bajo costo y cuidando del ambiente.

Por lo tanto, debe existir una estrecha vinculación entre economía, tecnología y ecología. El objetivo es alcanzar el bienestar social, donde todos los modelos productivos y tecnológicos, logren un mayor desarrollo económico basado en la eficiencia y competitividad, con una distribución igualitaria de los alcances del

⁸⁶ Sven E. Jorgensen y William J. Mitsch. 1989. *op. cit.*

⁸⁷ José Luis Solleiro y Alma Rocha Lackiz. 1996. *op. cit.*

⁸⁸ Walter R. Jaffé y Eduardo J. Trigo. 1994. *op. cit.*

⁸⁹ OCDE. 1985. *Environmental Policy and Technical Change.*

⁹⁰ Aldo Ferrer. 1993. *op. cit.*

desarrollo, teniendo este una base de sustentabilidad. Esto se hace aún más necesario en aquellos lugares donde el crecimiento económico, pobreza y medio ambiente están relacionados de forma tal, que si no hay un alivio inmediato de la pobreza no es posible procurar un medio ambiente sano.⁹¹

La implementación de innovaciones tecnológicas se convierten en la mejor opción para mantener el equilibrio que se busca entre la conservación del medio ambiente y los procesos productivos. Esto se busca en los mismos procesos de transformación o de incorporar técnicas o equipos que transformen los biosólidos en material que pueda volver utilizarse cerrando el círculo de producción dentro de una actividad productiva, o en material que se pueda utilizar en alguna otra actividad como la agricultura, viveros, etc.

Este tipo de medidas son prioritarias ya que actualmente el destino final de estos biosólidos ha sido el depositarlos en tiraderos a cielo abierto, en rellenos sanitarios municipales, el tirarlos en el mar o incinerarlos,⁹² lo que representa un gasto innecesario y costoso para las autoridades municipales o los establos lecheros, además de los impactos ambientales asociados.

Por lo anterior, el avance de la innovación tecnológica debe adecuarse sobre todo a la zona o zonas donde se quiera implementar, tomando en cuenta el costo de la mano de obra y de la disponibilidad de recursos naturales, ya que de esta forma se promueve el crecimiento con un nuevo giro dentro de las características del trabajo, su armonía con la naturaleza y sobre todo las formas de competitividad.⁹³

Por eso, el desarrollo de la capacidad tecnológica interna y la manera en que la sociedad vaya asimilando los nuevos conocimientos técnicos, exige nuevas formas de

⁹¹ Anabel González. 1993. *Comercio Internacional y Medio Ambiente*.

⁹² Laurent Hodges. 1977. *op. cit*

⁹³ José Luis Solleiro, et. al. 1993. *op. cit*.

estructura organizacional y una lógica de funcionamiento radicalmente distintos a los que se han puesto en práctica en el pasado.⁹⁴

No es posible alcanzar la sustentabilidad en el aprovechamiento de los recursos naturales, si no existen las condiciones necesarias para mejorar la calidad de vida de la población,⁹⁵ es decir, todo ser humano requiere satisfacer algunas necesidades básicas que le permitan de manera subsecuente proponer o ejecutar alternativas para mejorar el entorno donde se desenvuelve.

Es importante destacar, que la innovación tecnológica debe ser una creadora de bienes y servicios, que proteja el ambiente como a los consumidores⁹⁶ de esos beneficios.

c) Lombricompostaje.

El composteo se considera una de las técnicas que se pueden aprovechar para apoyar a la agricultura y la ganadería, como para la rehabilitación de suelos erosionados, etc. Esta es una alternativa a otras formas existentes de reducir los biosólidos como la incineración, camas de secado al vacío, centrifugación, digestores circulares entre otros⁹⁷, que tienen un alto costo de operación.

Por eso, una técnica recomendable para la transformación de estos biosólidos es el lombricompostaje, que se apoya en la implementación de lombrices para generar abono, considerado uno de los mejores del mundo,⁹⁸ además, de transformarlo en un tiempo relativamente corto.⁹⁹

⁹⁴ Marco Dini y Jorge Katz. 1997. *Nuevas Formas de Encarar las Políticas Tecnológicas. El Caso de Chile.*

⁹⁵ Carlos Cortéz. 1993. *op. cit.*

⁹⁶ Carlos Santos B., Nicholas Ashford y Patricia Hernández. 1995. *Regulaciones Ambientales y Laborales como Estimulo de la Competitividad.*

⁹⁷ Laurent Hodges. 1977. *Environmental Pollution.*

⁹⁸ Manlio Delgado A. 1985. *Humus de Lombriz y su Aplicación.*

⁹⁹ Giovanni Grigolo F. 1985. *Transformación de Recursos Orgánicos.*

La técnica del lombricompostaje consiste en el proceso biológico que acelera la transformación y estabilización de un sustrato orgánico mediante la crianza de lombrices. Estas con su metabolismo natural, transforman las sustancias orgánicas en humus de un gran valor en términos de sus propiedades en nutrientes para el crecimiento de las plantas. Esto además, debido a las siguientes características fisicoquímicas:¹⁰⁰

- a) Alta retención de humedad (50 y 60%) debido a su granulación, porosidad y densidad aparente;
- b) Facilidad de formación de complejos orgánicos con nutrientes importantes para el crecimiento vegetal;
- c) Eleva la capacidad de intercambio catiónico del suelo superior a 30 meq/100 g, evitando la lixiviación;
- d) Ayuda a la liberación de CO₂ que propicia la solubilidad de los nutrientes;
- e) Ayuda al abastecimiento de carbono orgánico, como fuente de energía a la flora microbiana heterótrofa.
- f) Gran contenido de materia orgánica, así como pH próximo a la neutralidad;
- g) Su relación carbono/nitrógeno menor a 10.

El lombricompostaje es una técnica que puede ser una alternativa para el aprovechamiento de todos los biosólidos de la producción agropecuaria que no se llegan a vender o utilizar en el mercado nacional, como internacional, por diversas causas. El bagazo y el estiércol de ganado, que casi siempre se tiran y deterioran el suelo productivo, cuerpos de agua, y dan un aspecto negativo al paisaje del campo mexicano, así como también los lodos residuales de las plantas tratadoras de aguas

¹⁰⁰ Roberto Nuñez. 1981. *Principios de Fertilización Agrícola con Abonos Orgánicos*.

negras, son utilizados la mayoría de las veces como capa de relleno en los tiraderos municipales cuando estos son clausurados y transformados en áreas verdes.¹⁰¹

El lombricompostaje ofrece varias ventajas como fuente de alimento para peces, aves, ranas y otros animales domésticos; proteína para consumo humano y un sustrato rico en nutrientes para viveros y campos agrícolas.¹⁰² Al transformar todos estos biosólidos, ayuda a mitigar el impacto negativo hacia los bosques y selvas que son desforestadas para adquirir más tierras de cultivo y pastoreo, ya que las tierras tendrían ciclos productivos más largos que los que se tienen actualmente.

El lombricompostaje es considerado una actividad adecuada para mejorar la calidad de vida en el medio rural, por generar trabajo para los integrantes de la familia, ayuda a mejorar el entorno ecológico, mejora la productividad del campo y produce los minerales y proteínas necesarias para la alimentación humana y animal.¹⁰³

En el mundo actual, la crianza y producción de lombrices ha sido técnicamente demostrada en una gran variedad de basureros municipales, plantas tratadoras de agua, campos agrícolas y en casas de tipo ecológico¹⁰⁴. En países como Inglaterra, Italia, España, E.U.A., Canadá y Chile se han establecido negocios redituables de lombricompostaje en varios municipios de aquellas naciones, llegando a la conclusión de que es la forma más efectiva de reducir la basura generada, en vez de otros medios alternos¹⁰⁵. Con los biosólidos de las plantas tratadoras de agua sólo se ha trabajado en pocos lugares y no existen ejemplos en los que trabajen a gran escala¹⁰⁶.

101 Laurent Hodges. 1977. *op. cit.*

102 Gerardo Noriega y Juan Vidal. 1997. *Conocimiento y Uso de la Lombriz de Tierra en el Procesamiento de Desechos Sólidos Orgánicos*. II Congreso Nacional Agropecuario y Forestal, por un Desarrollo Rural Sustentable. Universidad Autónoma Chapingo.

103 Claudia Martínez Cerdas. 1997. *op. cit.*

104 F. G. Grigolo. 1985. *op. cit.*

105 EPA, 1980. *Compendium on solid waste management by vermicomposting*.

106 EPA, 1980. *op. cit.*

1.- Antecedentes

La lombriz *Eisenia foetida* es la especie que más se emplea para la transformación de los biosólidos, además de ser el organismo más estudiado por el hombre desde los antiguos egipcios que la consideraban un animal valioso. En 1837, se comenzaron a realizar investigaciones sobre su hábitat y su forma de reproducirse de éste oligoqueto.¹⁰⁷ En 1947, Hugg Carter inició la crianza de estos anélidos¹⁰⁸ para la elaboración y obtención de humus¹⁰⁹ así como para la producción de lombrices para la pesca deportiva.

Fue hasta el año de 1970 cuando se efectuaron los primeros estudios de lombricompostaje que la empresa canadiense Hollang Landing empezó a aplicar el composteo de lodos residuales a un nivel piloto en condiciones controladas de temperatura, registrando la transformación de los biosólidos en 68 días.¹¹⁰ En 1973, la Universidad Agrícola de California realizó estudios sobre el uso de la composta de lombriz en campos agrícolas y viveros utilizando estiércol de ganado bovino.¹¹¹ La American Earthworm Company de Florida comenzó a producir a nivel comercial la explotación de lodos residuales domésticos con una producción de 500 toneladas al mes en un periodo de 18 meses, utilizando camas largas (windrows) de 15 centímetros de profundidad en una área de 4050 m², actualmente ya no opera.¹¹²

Para 1988, los investigadores Raymond C. Loerh, Edward F. Neuhauser de la Universidad de Cornell en Itaca, Nueva York, y Clive Edwards de la Universidad Estatal de Ohio usaron la técnica del lombricompostaje para estabilizar lodos residuales orgánicos industriales, desperdicios de origen animal y vegetal en laboratorio con cierto

¹⁰⁷ Carlo Ferruzzi. 1986. *Manual de lombricultura*.

¹⁰⁸ Luigi Compagnoni. 1984. *Cria moderna de lombrices*

¹⁰⁹ Grigolo, F. G. 1985. *op. cit.*

¹¹⁰ EPA. 1980. *op. cit.*

¹¹¹ Carlo Ferruzzi. 1986. *op. cit.*

¹¹² EPA. 1980. *op. cit.*

éxito, pasando luego a experimentos a nivel piloto y de ahí con ayuda del gobierno se empezó a comercializar.¹¹³ Ya en ésta década la Resource Conversion Corporation de la ciudad de San Diego desde 1993 a 1996 procesó 200 toneladas de lodos al día en un sistema controlado hasta que hubo cambio de políticas para el manejo de estos biosólidos en aquella ciudad.¹¹⁴ A partir de 1996, el zoológico de San Diego recicla sus desperdicios vegetales y recortes de sus jardines a través de éste método.¹¹⁵

Por su parte, en Europa en la década de los setentas después de introducir la técnica del lombricompostaje, en Italia (1972) se empieza a explotar a nivel comercial al transformar estiércol de ganado vacuno para obtener abono orgánico, sobre todo aquellos ganaderos que producen su propio alimento. En 1975 se intento transformar los lodos residuales para producir humus para la agricultura.¹¹⁶ En el Reino Unido, Edwards, C.A. (1983) de la Estación Experimental de Rothamsted¹¹⁷ y Phillips V.R. (1988) del Instituto de Ingeniería Agrícola,¹¹⁸ usaron la técnica para la transformación de desperdicios orgánicos y estiércol animal para el uso de la lombriz como suplemento proteico para alimento animal.

Japón y la India utilizan la técnica para el procesamiento de desperdicios orgánicos vegetales, y para tratar los lodos residuales y desperdicios de cocina de la escuela Sahjeewam, respectivamente.¹¹⁹

En América Latina se empezó a desarrollar la tecnología principalmente en tres países: Chile, Cuba y Brasil. En 1975, Manuel Fuentes Wendling lombricultor chileno empieza su aventura transformando estiércol de ganado porcino.¹²⁰ La Universidad Agrícola de la Habana en 1986, comienza sus experimentos a nivel piloto en dos cajas pequeñas,

113 Clive A. Edwards. 1988. *Breakdown of Animal, Vegetable and Industrial Organic Waste by Earthworms.*

114 Stephen J. Grealy, comunicación personal.

115 Kathi Diamant, 1998. *Worms at Work: Successful Composting.*

116 Luigi Compagnoni. 1984. *op. cit.*

117 Edwards, C.A. 1983. *Earthworms, Organic Waste and Food.*

118 V. R. Phillips. 1988. *Engineering Problems in the Breakdown of Animals Wates by Earthworms.*

119 Stephen White. 1995. *Vermifiltration of Sewage.*

120 Manuel Fuentes Wendling. 1985. *Lombricultura Industrial.*

cada una con una especie diferente, *Eisenia foetida* y *Lumbricus rebellus*. En la actualidad esta actividad tiene un volumen de producción de 93,000 toneladas de humus de lombriz, en el que esta producción es empacada en costales de 40 kilogramos y vendida con el nombre comercial de Midas®.¹²¹ Finalmente, en Brasil la técnica es usada para producir lombrices como alimento para abastecer la industria de la ranicultura.¹²²

En México con apoyo del IMECAFE desde 1978 se inició su estudio para el aprovechamiento de pulpa de café proveniente de los beneficios con el fin de evitar un impacto ecológico negativo en ríos de la región. Además se realizan estudios para reciclar la basura orgánica, por parte del Instituto de Ecología de Xalapa y en el Colegio de Postgraduados en Altamirano, Veracruz.¹²³

La Universidad Autónoma de Chapingo, Campus Texcoco y la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Xochimilco están empezando a utilizar la lombriz para producir el abono a través de estiércol de ganado vacuno y bovino, respectivamente. Además se han hecho trabajos de investigación por parte de la Universidad de Chapingo en el empleo de la lombriz *Eisenia foetida* para alimentar aves de corral, con bastante éxito.¹²⁴ Por su parte la Universidad Nacional Autónoma de México, realiza experimentos desde 1990 para obtener lombrices usando gallinaza como sustrato.¹²⁵

121 Peter Rosset y Medea Benjamin. 1994. *The Greening of the Revolution, Cuba's Experiment with Organic Agriculture*. OCEAN. E.U.A.

122 Ramón Rubin. 1979. *Explotación de la Rana*. Segunda edición, Ed. Continental.

123 Eduardo Aranda. Instituto de Ecología de Xalapa. Comunicación personal.

124 Fernando G. García. 1978. *Utilización de la Lombriz Roja fresca como sustituto parcial de proteína en la alimentación de gallinas ponedoras*.

125 José María Wence A. 1990. *Efecto de Diferentes Porcentajes de Gallinaza en la Producción de Lombriz de Tierra Eisenia foetida*.

Capítulo 3.- Resultados

a) Interpretación de la información en campo

1) **Aplicaciones del SIG.**- El uso del Sistema de información geográfica, sirvió para comprender de manera inmediata la evolución de las actividades de manejo y depositación de los biosólidos dentro de Tijuana. Primeramente identificaremos el problema que se da con las empresas lechera, y segundo con la planta de tratamiento aguas residuales de Punta Banderas.

A) **Los establos lecheros.**- Se encuentran distribuidos en tres zonas principales donde la actividad agropecuaria en su momento fue una actividad importante en lo que se llamaba la zona costa del territorio bajacaliforniano, y que actualmente tiende a crecer y concentrar nuevas áreas de desarrollo industrial para la población de la ciudad de Tijuana. Estas zonas son el Cañón del Padre, El Florido y la Gloria (anexo, mapa 1).

Algo importante que se observa, es que los establos están junto al cauce de tres ríos respectivamente, el Río Alamar, Arroyo el Florido y el Arroyo La Gloria, que son afluentes del Río Tijuana.¹²⁶

Por otra parte, a lo largo de estas tres corrientes de agua existen 87 pozos de agua con una profundidad que varía entre los 7 y 40 metros según su cercanía a los márgenes de los ríos. De los cuales 26 pozos están activos y extraen el 96% del volumen del acuífero de Tijuana.¹²⁷ La acumulación de grandes volúmenes de estiércol junto al cauce de los ríos puede contaminar de cierta manera el agua que se extrae del acuífero de los pozos cercanos a los establos por medio de la lixiviación de los componentes ácidos que se producen al fermentarse el estiércol.

También encuentran establos dentro o cerca de los centros urbanos (foto 1), siendo así que en el Cañón del Padre existen tres establos que prácticamente están dentro de la

¹²⁶ MC. Yuri Edgar Mendoza. Comisión Nacional del Agua. comunicación personal

¹²⁷ *Idem.*

ciudad, entre las colonias Campestre Murua y el Ejido Chilpancingo (mapa 2). El Florido que es la zona con mayor número de establos y el más alejado de la zona urbana de Tijuana presenta con la misma situación, ya que el crecimiento urbano y de la industria maquiladora está aumentando hacia esa zona por ser un área plana y que cuenta con los servicios básicos como luz y agua, ahí están los Ejidos Maclovio Rojas y Ojo de Agua (mapa 3).

Por lo que respecta a la Gloria, es la zona con menor número de establos, esto se debe a que es un lugar muy irregular y difícil de establecerse, encontrándose varias colonias y centros de trabajo, como son el poblado de San Antonio de los Buenos, La Joya II, y Plan Libertador hacia el suroeste (mapa 4).

B) *Planta tratadora de aguas negras.*- La planta se encuentra en una zona alejada de la mancha urbana de la ciudad, aunque por su proximidad a la costa, existen centros residenciales, educativos y deportivos con crecimiento activo. Los lodos son depositados en una área lejos del centro de operaciones dentro del perímetro de la planta (mapa 1 y 4).

Tanto en los establos como la planta de tratamiento, los biosólidos son acumulados por períodos muy largos, propiciando que estos se sequen, generando polvo y potencialmente microorganismos patógenos que con los vientos es transportado a los lugares de población.

Un aspecto general de los cuatro lugares es que hay un cambio en la textura y color del suelo, siendo éste de color café pálido y agrietado dependiendo del tiempo que lleve el biosólido depositado. Se observó escasa presencia de vida vegetal, sobre todo de plantas de la región como cactus, arbustos y matorral costero entre otros, sobre saliendo hierbas que no existen en el resto del paisaje (foto 2).



Fotografía 1.- Comunidad, establos y el medio natural



Fotografía 2.- Cambio del paisaje

En ocasiones los biosólidos son quemados ya sea de forma accidental o junto a basura que se deposita en el mismo lugar, dando un aspecto desagradable al paisaje y a la estética del sitio original (foto 3).

2) **Resultado de las encuestas.**- Se visitaron aproximadamente el 52.63% de los establos de la región, eligiéndose los que tienen mayor influencia sobre el área urbana de la ciudad de Tijuana, y la planta tratadora de aguas negras. La información se capturó en un formato enumerando cada una de las preguntas más importantes y siguiendo un orden para poder establecer un conocimiento real del uso, manejo y disposición de los biosólidos (tabla 1).

Dichas entrevistas arrojaron los siguientes resultados:

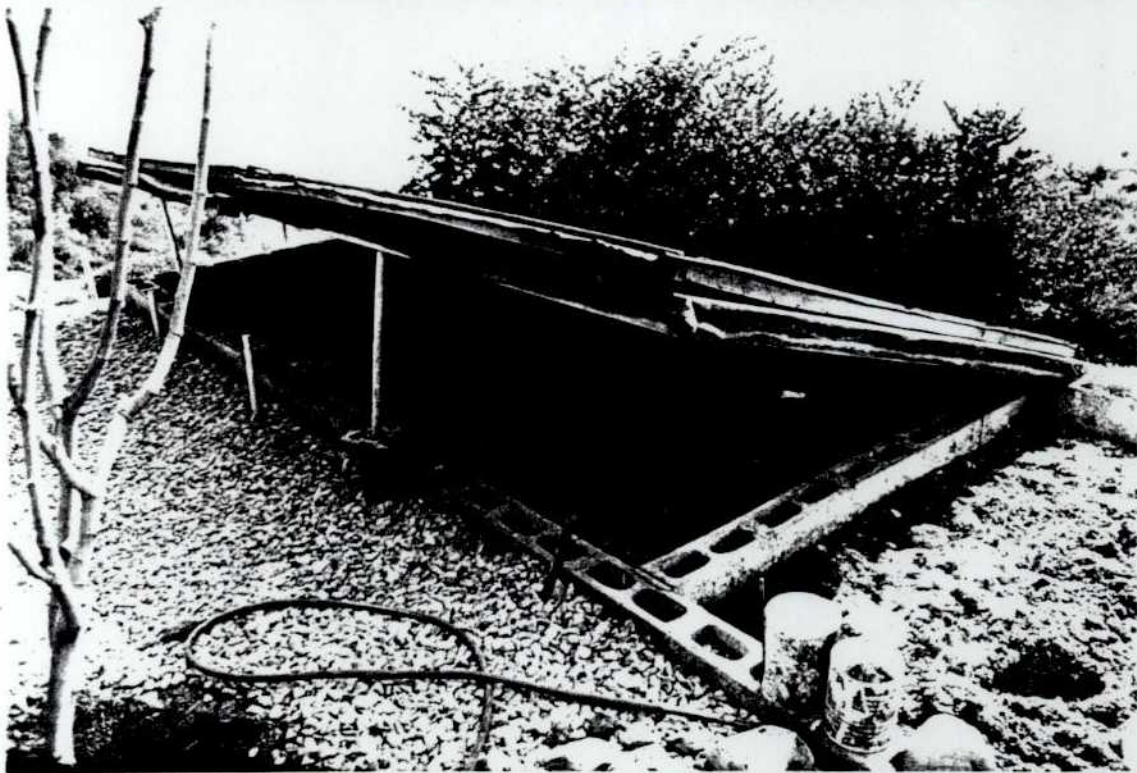
a) En primer término podemos observar que la mayoría de los ganaderos tiende a tomar al estiércol y a los lodos como un desecho que ocupa un espacio dentro del área de producción y que requiere ser extraído (gráfica 2). El 35% de la población menciona un beneficio con la generación del biosólido, que se utilizan dentro del sector primario y secundario.



b) Cada cierto tiempo tanto los ganaderos como el personal de la planta de tratamiento de aguas negras, realizan trabajos de mantenimiento. Para los primeros las tareas de mantenimiento se hacen dependiendo del tamaño del establo, la situación económica del establo y si cuenta o no con el equipo necesario para hacerlo, para luego así depositarlos fuera de la zona de producción.



Fotografía 3.- Quema de estiércol en el Florido



Fotografía 4.- Lombricompostaje Ecoparque, Tijuana B.C.

Tabla 1.- Listado de personas y organismos entrevistados

Persona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Armando Ames García	B	1	1	0	1	0	0	0	0	A
Ignacio Unanua Iraneta	B	1	1	1	1	0	0	1	1	A
Arnolfo Zarate Zepeda	M	1	0	0	1	0	0	0	0	N
Jesús Arteaga	M	1	0	0	1	0	0	0	0	L
José Gutiérrez González	M	1	0	1	1	0	0	0	0	A
Vicente Rodríguez	M	1	0	0	1	1	0	0	0	L
Ernesto Nares López	M	1	0	0	0	1	0	0	0	L
Daniel Niño Garay	M	1	0	0	0	0	0	0	0	A
Carlos Reinoso Marquez	B	1	1	1	1	0	0	0	0	A
Raúl Robles Castro	B	1	1	1	0	1	1	0	0	A
Arturo Torres Leos	M	1	0	0	1	0	0	0	0	A
Miguel Aldrete Reynoso	M	1	0	0	0	0	0	0	0	A
Luis Cacho Velázquez	M	1	0	0	1	0	0	0	0	N
Filiberto Jacques Félix	B	1	1	1	1	0	0	0	0	A
José Jiménez Vargas	B	1	1	1	1	0	0	0	0	A
Tomás Jiménez Vázquez	B	1	1	1	1	0	0	0	0	A
Melania Ramírez González	M	1	0	0	1	0	0	0	0	A
Ruben Niñez	M	1	0	0	1	0	0	0	0	A
Carlos Zarate Zepeda	M	1	0	0	1	0	0	0	0	A
CESPT	M	1	0	0	0	1	0	0	0	N

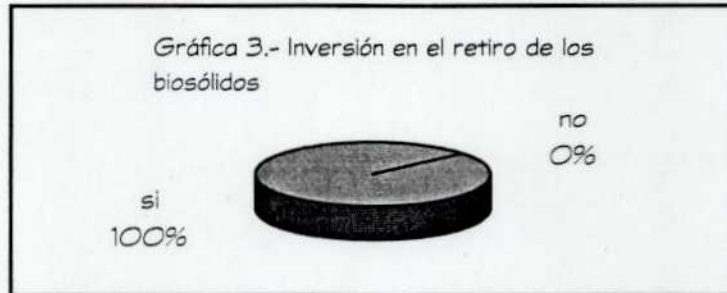
B Bueno
M Malo

1 si
0 no

A Agricultura
L Ladrilleras

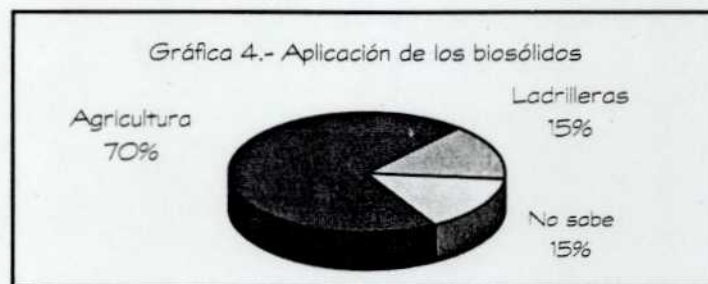
N No sabe

Esto genera una cierta inversión de un alto costo, ya que se tiene que invertir en salarios y maquinaria, para el mantenimiento y acarreo del estiércol en los establos (gráfica 3).



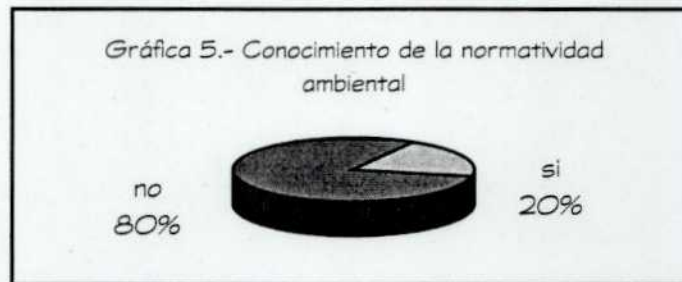
En el caso de la planta de tratamiento, el mantenimiento dependió mucho de la decisión de las autoridades de la CESPT, ya que al ser lagunas de oxidación existe producción de lodos comparativamente menor. A partir del cambio de la técnica en el tratamiento del agua, la acumulación o producción de lodos dependerá mucho del diseño en la capacidad del volumen de agua a tratar.

c) Parte del uso que se le da al estiércol es para la agricultura, ya que algunos de ellos se dedican al cultivo de alfalfa para alimentar sus hatos ganaderos y a la vinicultura en el valle de las Palmas y Guadalupe. Por otra parte, los que no tiran el estiércol, lo regalan a las ladrilleras de la región y a personas varias para usos múltiples no especificados (gráfica 4).



d) Casi la mayoría no conoce de alguna normatividad vigente en relación con el uso de los biosólidos (gráfica 5). En el caso de los productores de leche solamente 3 de las 19 personas entrevistadas, es decir el 15.7%, conocen el ejercicio de una recomendación para el manejo de los estiércoles. La recomendación es por parte de la Asociación Local de Productores de Leche, la cual les aconseja limpiar los establos periódicamente y depositarlos en zonas alejadas de los centros de producción, esto para que no exista ningún tipo de infección en las extremidades de las vacas.

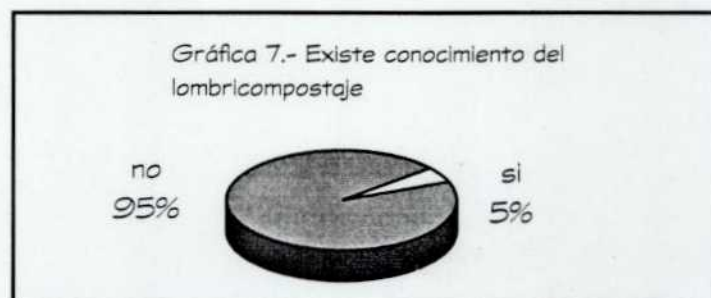
Para el caso de los lodos residuales de origen doméstico no hay normatividad alguna que se aplique y recomendación de uso que se aconseje para su manejo, teniéndose en este caso sólo su almacenamiento lejos de cualquier zona habitada o de trabajo.



e) El gasto excesivo para sacar de los establos y de la planta tratadora los biosólidos cuestiona en ocasiones el gasto que se hace sobre ellos y hace reflexionar a los afectados en invertir en tecnología que les ayude ahorrar gastos (gráfica 6). Gran parte de ellos (75%) están dispuestos en invertir en técnicas que les sean comprobados *in situ* o en aquellas, que por desgracia, han sido probadas en los Estados Unidos de América. Una mínima parte (25%) no tienen interés en hacer algo por aprovechar los biosólidos, ya sea por que no tienen dinero o por falta de concientización, sobresaliendo escepticismo e indiferencia.



f) El conocimiento de la técnica del composteo como del lombricompostaje es prácticamente nulo (gráfica 7). Esto se debe a que no hay información para aplicar procesos y actividades nuevas por parte de las autoridades y personas que se encuentran en contacto directo con los productores de leche así como los de la planta, a que aprovechen y le den un uso a sus subproductos como parte de los mismos procesos en sus actividades.



b) Análisis del Lombricompostaje

- *Crecimiento de las lombrices.*

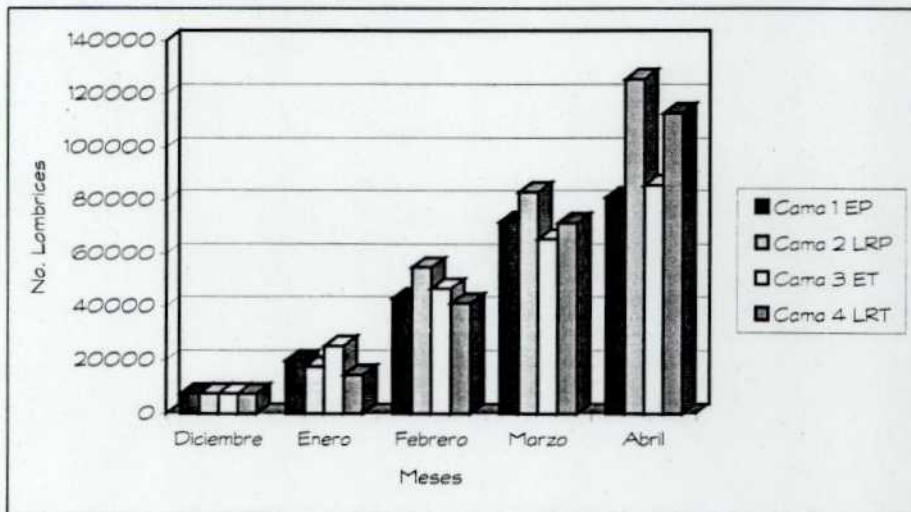
El número y peso promedio de las lombrices fue regulado desde el inicio de la prueba. Se inició con una siembra de 7,600 organismos por cada dos metros cuadrados y con un peso inicial de 0.21 gramos promedio por individuo, en cada una de las camas.

1) **Densidad poblacional de las lombrices.**- El conteo de lombrices se realizó mensualmente en cada una de las camas. El muestreo fue tomado en forma aleatoria.

En la gráfica 8, podemos observar que la cama 2 de lodos residuales + agua potable (LRP), alcanzo el promedio de 40,000 lombrices para el mes marzo, al tercer mes iniciado el experimento. Las otras tres camas restantes (EP, ET y LRT) alcanzaron dicho promedio en el mes de abril. Al final del experimento se observa que la cama 1 (EP) es la de menor crecimiento poblacional ya que cuenta con 81,100 individuos aproximadamente y la cama 2 es la de mayor numero de organismos con 112,900 individuos.

El experimento muestra que la diferencia entre la cama 2 y la 4 (LRT), que son las que tienen materia orgánica como sustrato, fue aproximadamente un 15%, esto se puede deber a la materia orgánica presente en el agua tratada agregada a la cama 4. Estas dos camas muestran una diferencia mucho más marcada con respecto a las camas 1 y 3 (ET) entre un 35 y 25% respectivamente.

La variedad de componentes en los lodos residuales es mayor que en el estiércol, de esa manera se puede suponer una mayor variedad de materia orgánica que enriquece el sustrato y por ende la composta, como son restos de frutas y verduras, excretas de animales, papeles, etc, que se acumulan en el sistema de drenaje de la ciudad.

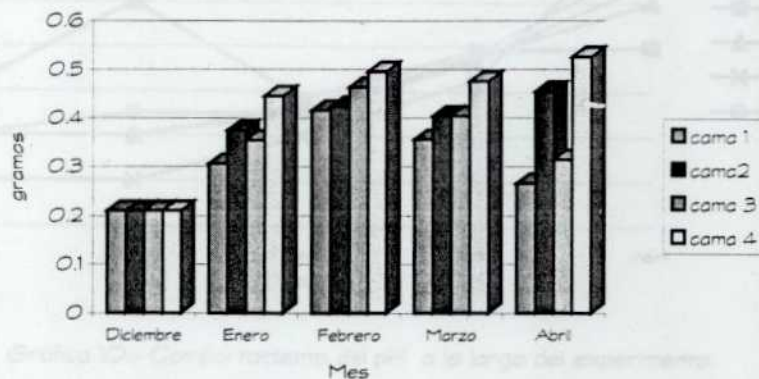


Gráfica 8.- Incremento poblacional por cama a lo largo del experimento.

2) **Peso promedio.**- Por otra parte podemos observar en la gráfica 9 que el peso relativo de las lombrices fue mayor en la cama 4 (LRT) y menor en la cama 1 (EP), debido a la riqueza de materia orgánica que existe en los lodos y en el agua tratada, a diferencia de esta última cama regada con el agua potable y un sustrato pobre en materia orgánica.

Durante los tres primeros meses se observa un aumento de peso constante en las cuatro camas, siendo mayor en las camas con los lodos, pero en el mes de febrero el peso es casi igual entre las cuatro camas. A partir de marzo hay una disminución en el peso, esto se debe a que en las camas 1 y 3 (ET) hay una transformación casi total en abono o humus. En la cama 2 (LRP) esta disminución se asume que se llegó a la saturación de la densidad de lombrices existiendo mayor competencia por el sustrato y/o alimento.

En el mes de abril para las camas 1 y 3 sigue disminuyendo el peso de las lombrices, y en las camas 2 y 4 hay un ligero aumento ya que se removió el sustrato de las camas, suponiendo la existencia de la materia orgánica no transformada en abono. Además se observó un mayor número de lombrices grandes posiblemente por la falta de alimento se produce una disminución del potencial reproductivo de las lombrices adultas.



Gráfica 9.- Peso promedio de las lombrices a lo largo del experimento.

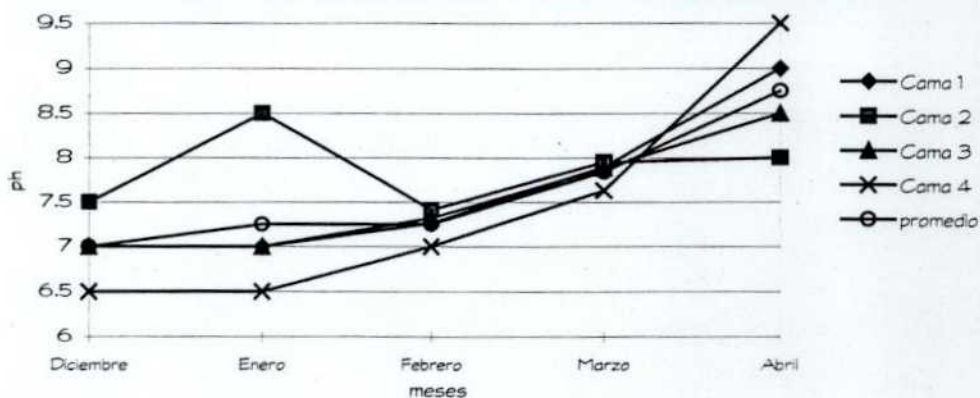
Se puede observar que entre la cama 1 y 3 hay cierta diferencia en el peso, esto debido a la concentración de sólidos suspendidos totales del agua tratada que fueron digeridos por las lombrices a través del estiércol de la cama 3.

- *Estabilidad del Potencial Hidrógeno en las camas.*

En la gráfica 10, después de estabilizarse el pH de las camas en un promedio de 6.5, se observa que el promedio del pH tiende hacia la neutralidad y aumentando ligeramente cada mes (tabla 2). Esta tendencia hacia lo básico coincidió con la adición de sustrato nuevo o fresco. En la cama 2 observó un incremento de pH hasta 8 y luego una disminución a 7.4. Lo anterior puede deberse a la calidad del agua tratada en esos y a la concentración de lombrices en pequeños grupos a lo largo de la cama de cultivo.

Tabla 2.- Promedio mensual del potencial hidrógeno

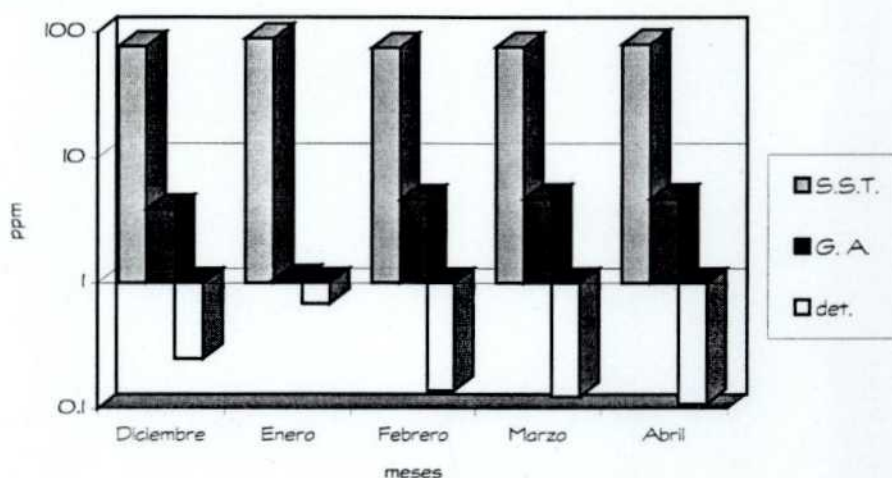
Mes	Cama 1	Cama 2	Cama 3	Cama 4	promedio
DICIEMBRE	7	7.5	7	6.5	7
ENERO	7	8.5	7	6.5	7.25
FEBRERO	7.26	7.41	7.32	7	7.2475
MARZO	7.9	7.95	7.88	7.63	7.84
ABRIL	9	8	8.5	9.5	8.75



Gráfica 10.- Comportamiento del pH a lo largo del experimento.

- *Calidad del agua tratada en Ecoparque.*

El análisis químico realizado al agua tratada, de sólidos suspendidos totales (S.S.T.), detergentes (Det), grasas y aceites (G.A.), muestra un comportamiento constante en los que son los S.S.T. con respecto a las G.A. y los detergentes (gráfica 11). Los primeros tres meses del experimento fueron los de mayor incidencia de lluvia con un promedio de 126.84 mm de agua debido al fenómeno de El Niño, comparados a los últimos dos meses y aun así la calidad del agua no varió en todo este período, y la alta cantidad de sólidos suspendidos totales permitió suponer que influyó de cierta manera en el crecimiento de las lombrices.¹²⁸



Gráfica 11.- Calidad del agua tratada aplicada a lo largo del experimento.

En general los tres parámetros se comportaron de forma constante excepto en el mes de enero que fue un mes en el que llovió poco pero de manera constante con 64.5 mm de agua que afectó la concentración de grasas y detergentes, al contrario de los otros meses como el mes de febrero que llovió más (248 mm) pero menos días.

- *Análisis químico y bacteriológico de la composta obtenida.*

Los resultados de laboratorio nos indican que el proceso de lombricomposteo es una alternativa viable, ya que se observa una mejoría importante de los principales compuestos nutricionales que hay en cada uno de los biosólidos y de la lombriz.

¹²⁸ Información proporcionada por la Ing. Xiomara Delgado, encargado del laboratorio en Ecoparque, Tijuana

Abono.- Como se puede observar en la tabla 3, durante las 18 semanas del experimento el pH de la composta tiende hacia lo básico, ya que se registran valores de 9 y 9.5. La concentración de nitrógeno al final del proceso se mantiene constante en la composta de los lodos residuales y disminuye de manera significativa en la composta del estiércol. En cambio el fósforo presente aumenta su proporción mas del doble en los lodos y varia ligeramente en el estiércol. Hay una disminución en la cantidad de materia orgánica y potasio en ambas compostas.

Por otra parte, existe la presencia de bacterias y hongos en concentraciones relativamente significantes, ya que entre ellas podemos encontrar bacterias como las bacterias celulíticas, degradadoras de almidón, nitro fijadoras, solubilizadoras de fósforo, entre otras, que son importantes para la asimilación de los nutrientes por parte de las plantas.¹²⁹

Tabla 3.- Análisis químico y bacteriológico de la composta de los biosólidos

Componentes	Estiércol	Lodo residual	Cama 1 EP	Cama 2 LRP	Cama 3 ET	Cama 4 LRT
Nitrógeno ppm	18,468	23,749	8,757	21,311	9,491	20,340
Fósforo ppm	3,327	3,974	4,077	7,724	1,977	7,637
Potasio ppm	20,901	704	888	368	618	645
Materia orgánica %	35.32	92	30.07	46.97	24.87	77.44
pH	7	5.5	9	8	8.5	9.5
Sólidos totales %			63.19	61.52	70.55	70.88
Sólidos volátiles %			37.72	42.70	38.94	49.64
Bacterias ppm	15.80	0.17	1.124	3.50	1.30	1.40
Hongos UFC/gr.	1,000,000	3,000	35,000	38,000	81,000	52,000

¹²⁸ Información proporcionada por la Ing. Xiomara Delgado, encargado del laboratorio en Ecoparque, Tijuana

¹²⁹ Carlo Ferruzzi, 1986. *Manual de Lombricultura*.

Las concentración de sólidos totales presentes en las compostas son altas, pero con mayor presencia en las camas 3 y 4 que son las que se humedecieron con agua tratada. En cambio, para los sólidos volátiles las camas 2 y 4, que contienen lodos residuales, presentan concentraciones ligeramente mayores con respecto a la cama 1 y 3 (tabla 3).

Además, hay que mencionar que a través del lombricomposteo de los lodos residuales se tiene una disminución de los niveles de bacterias patógenas, y de la inhibición del movimiento de los metales pesados en un 55% de su viabilidad.¹³⁰

Lombriz.- Por su parte, la composición química de las lombrices (tabla 4) tiende hacia una alta concentración de proteínas en base húmeda, nos muestra que tanto en el contenido proteico y la cantidad de grasas presentes en las lombrices es más alto en aquellas que provienen de las camas 2 y 4, con respecto a sus similares de las camas 1 y 3 donde el sustrato es el estiércol.

Tabla 4.- Comparación de las propiedades de proteínas entre los diferentes tratamientos de la lombriz *Eisenia foetida*

Concepto	Cama 1 EP	Cama 2 LRP	Cama 3 ET	Cama 4 LRT
Proteína %	29.64	61.92	48.73	64.79
% de grasas	2.35	19.66	8.91	14.84

¹³⁰ Jorge Domínguez. 1997. *Testing the impact of Vermicomposting.*

- *Volumen de composta producida.*

Existe una disminución del volumen de materia orgánica a composta, esto debido a que se inicio con un volumen de 800 kilogramos por cama antes de sembrar las lombrices (tabla 5). En la cama 1 y 3 son las que presentan menor consumo de biosólido, disminuyendo en un 20 y 27.5% cada una con respecto al volumen inicial, y un mayor consumo en las camas 2 y 4, esto debido a que hay más lombrices en esas camas, es decir, la cantidad total de lombrices al final del experimento resulto ser más significativo en dichas camas con un 8.91 y 9.27% respectivamente.

Tabla 5.- Producción de abono y lombriz total al final del experimento

Concepto	Cama 1	Cama 2	Cama 3	Cama4
<i>vol. abono inicial m³</i>	0.8	0.8	0.8	0.8
<i>vol. abono final m³</i>	0.64	0.55	0.58	0.5
<i>peso tot. lom inicio gr.</i>	1596	1596	1596	1596
<i>peso tot. lom final gr.</i>	21564.49	57039.75	26886.96	59328.95
<i>% abono final</i>	96.63	91.09	95.8	90.73
<i>% lombriz</i>	3.37	8.91	4.20	9.27

Capítulo 4.- Conclusiones y recomendaciones

A) Conclusiones.-

Los biosólidos en general son ignorados como un recurso potencial que puede ayudar a solucionar varios factores como la productividad del campo, la producción de alimentos, restauración de suelos, tanto por las autoridades, centros de investigación y sociedad en general, ya que estos biosólidos pueden ser parte integral del ciclo productivo dentro de los establos lecheros y de las plantas tratadoras de aguas negras, además del ahorro en gastos para los productores de leche y de las autoridades municipales.

Un aspecto importante que se encontró, fue la falta de capacitación que hay por parte de las autoridades hacia los productores, y sociedades en general en materia legislación ambiental, el cual hace ver que no existe un conocimiento adecuado de la normatividad correspondiente. La legislación ambiental sólo busca estrategias que ayuden a mitigar el deterioro ambiental a través de un equilibrio entre el crecimiento del aparato productivo, el medio natural y el desarrollo social, pero no promueve alternativas de uso o aprovechamiento de otros tipos de biosólidos por medio de tecnologías que protejan el medio natural.

La promoción del uso de biotecnologías como el lombricompostaje en unidades piloto para aprovechar de forma múltiple estos biosólidos puede utilizarse como una alternativa, entre otras, para generar bienes y servicios.¹³¹

Entre los bienes y servicios que se pueden lograr con el manejo de los biosólidos a través del lombricompostaje esta el uso y valor agregado que

¹³¹ María Dolores Alfaro. 1992. *El Aprovechamiento Múltiple de los Recursos Naturales y Reproducción de la Unidad Doméstica Campesina en la Región de Tuxtepec, Oaxaca.*

Cuadro 6.- Composición del lodo residual de la planta internacional y las normas vigentes para su posible uso

Contaminantes	Lodo en forma líquida mg/L	Lodos concentrados mg/kg.	EPA 503/CWA mg/kg.	Título 22 TTLC mg/kg.	Título 22 STLC mg/L	NOM-052 ECOL/93 mg/L
Metales pesados						
<i>Arsénico</i>	0.0046	2.30	10	500	5	5
<i>Berilio</i>	0.00041	3.46		75	0.75	SL
<i>Cadmio</i>	0.0012	36.2	7	100	1	1
<i>Cromo</i>	0.064	125	850	2500	5	SL
<i>Cobre</i>	0.15	148	741	2500	25	SL
<i>Plomo</i>	0.027	27.1	134	1000	5	5
<i>Mercurio</i>	0.00053	1.4	5	20	0.2	0.2
<i>Niquel</i>	0.092	55.9	42	2000	20	5
<i>Selenio</i>	0.0017	39.6	5	100	1	1
<i>Plata</i>	0.0066	28.5		500	5	SL
<i>Zinc</i>	0.246	516	1201	5000	250	SL
Compuestos orgánicos volátiles						
<i>Disulfuro de carbón</i>	0.08	44.8		SL	SL	288
<i>Tetracloroetileno</i>	0.0013	12.2		SL	SL	14
Compuestos ácidos						
<i>Fenol</i>	0.39	15.4	82.1	SL	SL	288
Pesticidas						
<i>Aldrin</i>	0.00001	0.0461		1.4	0.14	SL
<i>DDT (total)</i>		0.0461		1	0.1	SL
<i>ppDDD</i>	0.000026	0.0229				
<i>ppDDE</i>	0.000048	0.0116				
<i>ppDDT</i>	0.000039	0.0116				
<i>HCH (Lindan)</i>	0.000158	0.0542		4	0.4	

Fuente: CILA-EPA1998. Supplemental Environmental Impact Statement. S.L.- Sin Límite.

El lombricompostaje además ayuda a minimizar el posible riesgo a la salud pública como ambiental que pueden generar los lodos residuales¹³⁶ al ser depositados en zonas al aire libre, ya que ayuda al control de malos olores, plagas y acumulación de basura no deseada e inhibición de la disposición de patógenos.¹³⁷

Bajo estos criterios y su calidad productiva y nutricional, comprobado en laboratorio, podría ser utilizado como abono para jardines, áreas verdes de la ciudad y restaurador de suelos erosionados, arenosos o afectados.¹³⁸ Para el caso de la planta de Punta Banderas, sus lodos al tener un origen del tratamiento de aguas domésticas, la composta obtenida puede ser utilizada para apoyar la producción de zonas agrícolas,¹³⁹

De igual modo, las ventajas mencionadas del estiércol y el lombricompostaje, expande la variedad de posibles aplicaciones que van desde la agricultura hasta la pesca deportiva.

Esta comprobado que el lombricompostaje puede ahorrar costos de producción para estas actividades, además no requiere de grandes instalaciones e inversión y sobre todo el proceso de transformación de los biosólidos se hace en un tiempo relativamente corto aún en cualquier época del año. La inversión destinada a la limpieza de biosólidos en los sitios de producción puede ser utilizada en producir, como se demostró en Ecoparque, un promedio de 940 kilogramos de abono y 60 kilogramos de proteína animal por tonelada de biosólido utilizado. Este abono y proteína animal puede ser vendido aun precio

136 Jon V. Fremante y Meggan Janes. 1997. *op. cit.*

137 Luigui Campagnoni. 1989. *op. cit.*

138 Scott Parker, et. al. 1997. *For Better Dewater Solids, Just Add Water.*

139 Jon V. Fremante y Meggan Janes. 1997. *op. cit.*

similar al precio del fertilizante químico más barato que hay en el mercado y al mismo precio que la harina de pescado.¹⁴⁰

La cantidad de proteínas que tiene la lombriz es mayor a especies o residuos que se utilizan para producir harinas con un 64.8% de su composición,¹⁴¹ y mucho más alto que el pescado que tiene un máximo de 40% dependiendo la especie que se utilice,¹⁴² lo que lo hace un buen suplemento alimenticio para personas de bajos recursos.

Pero aún con las ventajas que ofrece la aplicación del lombricompostaje, como es el caso de los lodos residuales, existe aún un largo camino para convencer a la sociedad en usar la composta obtenida en las actividades agropecuarias, teniéndose que dar un esfuerzo extra en la educación del público en general.

El tratar de hacer un **aprovechamiento integral sostenible** de los biosólidos, debe involucrar la participación tanto de las autoridades como de la sociedad en general para que el uso de los biosólidos tenga un beneficio directo sobre las actividades productivas y el medio natural (gráfica 12).

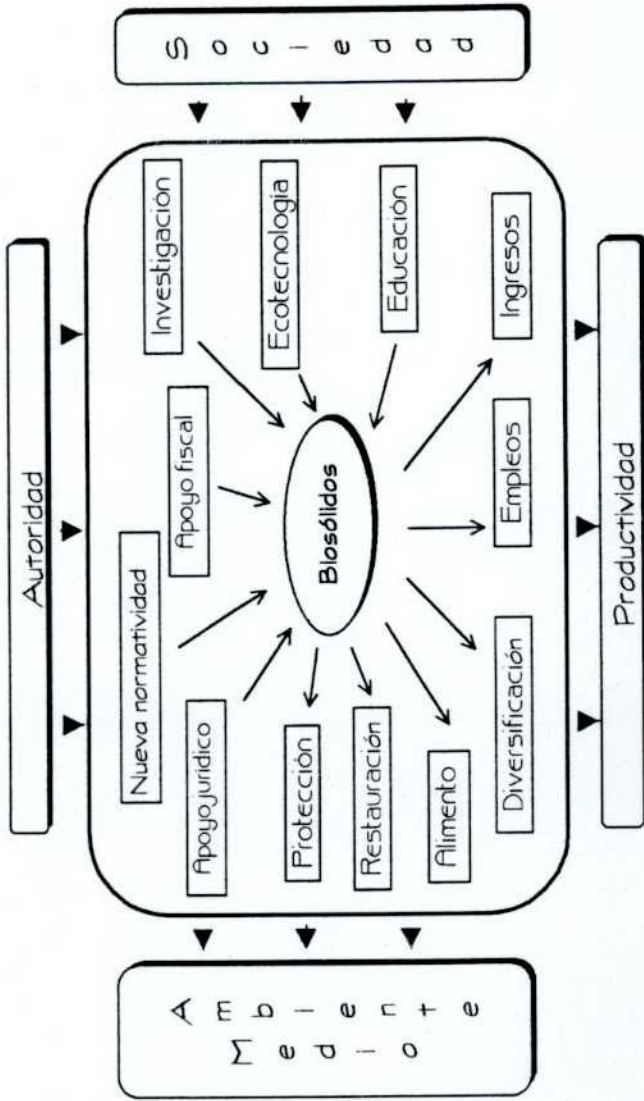
La integración de este proceso deberá crear la necesidad de establecer estrategias de apoyo fiscal, educativo, organizativo y tecnológico por parte de las autoridades ambientales, ganaderas, hacendarias. Las asociaciones y centros de educación e investigación deberán participar en la búsqueda de soluciones para el manejo de los biosólidos para que estos se transformen en un beneficio económico para los involucrados en la producción de biosólidos y evite el deterioro ambiental que generan estas actividades.

¹⁴⁰ La venta por tonelada del fertilizante químico urea es de \$2950. El gran mezquite S de R.L. de C.V. tel. 89-4282; la venta de la tonelada de harina de pescado es de \$696. Alimentos Concentrados de Ensenada S.A. tel. 77-6020

¹⁴¹ Velázquez L.A. 1985

¹⁴² La sardina. Alimentos Concentrados de Ensenada.

Gráfica 12.- Modelo para la integración de la técnica del lombricompostaje



B) Recomendaciones.

Se requiere de un programa integral de tratamiento y manejo no sólo de los subproductos como los biosólidos que se suponen que no tienen alguna utilidad, sino de cualquier tipo de subproducto que pueda reutilizarse, esto con la necesidad de fijar algunos aspectos regulatorios, legislativos, de salud pública y de ambiente.

Por eso se propone encontrar un **aprovechamiento integral sostenible** de los biosólidos, donde se llegue a lo siguiente:

- Los centros de educación deben participar informando a la sociedad y estudiantes en los problemas ambientales y la forma de darle soluciones.
- Concientización de los centros de investigación en la búsqueda de alternativas para el aprovechamiento de los biosólidos.
- Invertir con apoyo de las asociaciones, industriales y el gobierno en la búsqueda de mejor tecnología que aproveche los subproductos .
- Las autoridades tanto ambientales como fiscales deben dar facilidades para la adaptación de estas nuevas tecnologías a las personas o grupos que deseen aprovecharlas.
- Las asociaciones, consejos o cualquier agrupación especializada, debe tratar de informarse y de informar a sus agremiados de cualquier producto, técnica o innovación que haya en el uso y manejo no sólo de los biosólidos, sino de todo lo que pueda girar alrededor de su actividad que ayude a diversificar sus actividades productivas. Además de conocer e intercambiar información con otros organismos que puedan colocar los productos obtenidos.
- La misma sociedad así como los grupos no gubernamentales deben buscar una mejor forma de calidad de vida, participando en los comités ciudadanos, asociaciones, proponiendo ideas y soluciones a los problemas que más afectan y deterioran su zonas de trabajo y producción.

Pero lo más importante, es que no existe una conciencia ecológica que permita el cuidado del ambiente por parte de una gran mayoría de las personas y autoridades con las que se convivió, por lo que si no hay un cambio de actitud no es posible la aplicación de técnicas como el lombricompostaje al cuidado del medio natural.

Como administrador integral del ambiente, he de tratar de conjuntar una participación interdisciplinaria en la búsqueda de soluciones a los problemas ambientales, donde se vea el origen y causas del tema a tratar, sus posibles consecuencias, beneficios y tiempos para llegar a tener resultados que se traduzcan en una mejoría de la calidad de vida de la población. La implementación de un plan gubernamental y privado para el manejo de los recursos naturales, generación de empleos, buscando un cuidado al medio natural, garantizaría un crecimiento armónico ahora y para las generaciones futuras.

BIBLIOGRAFÍA

Alfaro, María Dolores. 1992. *El Aprovechamiento Múltiple de los Recursos Naturales y Reproducción de la Unidad Doméstica Campesina en la Región de Tuxtepec, Oaxaca*. en *Ecología y Manejo Integral de los Recursos Naturales en la Región de la Chinantla*. Salvador Anta (coord.). PAIR-UNAM. FES.

APHA-AWWA. 1995. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Andrew Eaton, L. S. Clesceri y A.E. Greenberg Editores. 19th Edition. E.U.A.

Arias, Jesús. 1992. *Producción de alimentos orgánicos naturales*. Documento Xochicalco. Osumba, Estado de México

Azuela, Antonio; Julia Carabias, Enrique Provencio y Gabriel Quadri. 1993. *Desarrollo Sustentable. Hacia una Política Ambiental*. Antonio Azuela, Julia Carabias, Enrique Provencio y Gabriel Quadri (Coords). UNAM

CILA-EPA. 1998. *Supplemental Environmental Impact Statement*. Vol. II, Apéndices Técnicos.

Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo. 1988. *Nuestro Futuro Común*. Alianza Editorial. Madrid.

Compagnoni, Luigi. 1984. *Cria moderna de lombrices*. Editorial De Vecchi, Barcelona.

CONAPO. 1994. *Evolución de las Ciudades de México 1900-1990*. Consejo Nacional de Población. México D.F.

Constantino, Roberto M. 1996. *Ambiente, Tecnología e Instituciones: el Reto de un Nuevo Orden Competitivo*. Comercio Exterior, vol. 46, No. 10.

Correa, Carlos M. 1994. *El Nuevo Escenario para la Transferencia de Tecnología: Repercusiones en los Países en Desarrollo*. Comercio Exterior, Vol. 44, No. 9. México D.F.

Cortéz, Carlos. 1993. *El Sector Forestal Mexicano: ¿Entre la Economía y la Ecología?* Comercio Exterior, Vol. 43, No. 4. México D.F.

Cruz P. Rodolfo. 1992. *La Fuerza de Trabajo en los Mercados Urbanos de la Frontera Norte*. Cuaderno No.5. COLEF/DEP

Dampney, Trelawney. 1997. *A Composting Company Grows in Britain*. BioCycle, Vol. 38, No. 6

De Alba, Eduardo y C. Cortinas. 1994. *Reflexiones sobre la Ciencia y la Tecnología para la Gestión Ambiental*. Revista de Administración Pública. No. 84. INAP. México D.F.

Delgado A. Manlio. 1985. *Humus de Lombriz y su Aplicación*. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile. Santiago de Chile.

Diamant, Kathi. 1998. *Worms at Work: Successful Composting*. Zoonooz, febrero de 1998

Dini, Marco y Jorge Katz. 1997. *Nuevas Formas de Encarar las Políticas Tecnológicas. El Caso de Chile*. Comercio Exterior. Vol. 47, No. 8. México D.F.

Dominguez, Jorge. 1997. *Testing the impact of Vermicomposting*. Biocycle, vol. 38, No. 4

Edwards, Clive A. 1983. *Earthworms. Organic Waste and Food*. SPAN, vol. 26, No. 3

Edwards, Clive A. 1988. *Breakdown of Animal, Vegetable and Industrial Organic Waste by Earthworms*. en *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing. N.Y

EPA. 1980. *Compedium on solid waste management by vermicomposting*. Municipal Environmental Research Laboratory- U.S. Environmental Protection Agency. Cincinnati, Ohio, EUA.

Esteva, Gustavo. 1994. *La Construcción Comunitaria: más allá del Desarrollo Sustentable*. En *Desarrollo Sustentable y Participación Comunitaria*. Lucero Jiménez (Coord). CRIM-UNAM. Cuernavaca, Morelos

Ferrer, Aldo. 1993. *Nuevos Paradigmas Tecnológicos y Desarrollo Sostenible: Perspectiva Latinoamericana*. Comercio Exterior. Vol. 43, No. 9. México D.F.

Ferruzzi, Carlo. 1986. *Manual de lombricultura*. Editorial Mundiprensa, Madrid

Field, Donald R. y William Burch Jr. 1988. *Rural Sociology and the Environment*. Rural Sociological Society. Greenwood Press, No. 74. N.Y. EUA

Fremante, Jon V. y Meggan Janes. 1997. *Managing Biosolids Through Composting*. Pollution Engineering, vol. 29, No. 13

Fuentes W. Manuel. 1985. *Lombricultura Industrial*. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile. Santiago de Chile

García, Fernando G. 1978. *Utilización de la Lombriz Roja fresca como sustituto parcial de proteína en al alimentación de gallinas ponedoras*. Departamento de Zootécnia de la Escuela Nacional de Agronomía, Universidad Autónoma de Chapingo.

Garrido N. Victoriano. 1985. *Lombrices y Cadenas Alimentarias*. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile. Santiago de Chile

González. Anabel. 1993. *Comercio Internacional y Medio Ambiente*. Comercio Exterior. Vol. 43, No. 9. México D.F.

Grigolo F. Giovanni. 1985. *Transformación de Recursos Orgánicos*. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile. Santiago de Chile.

Ham Chande, Roberto. 1993. *Prólogo*. en *Migración hacia la frontera norte de México: Tijuana, Baja California*. René M. Zenteno Quintero (Comp.). COLEF-DEP

Hardoy, Jorge E. y Davis Satterthwaite. 1993. *Problemas Ambientales en Ciudades del Tercer Mundo: ¿Es éste un Problema Mundial que no es Tomado en Cuenta?*. En *Nuestro Futuro: Desafíos Ambientales*. Jaime Barba (Comp). Istmo Editores. San Salvador, EL Salvador.

Hatanaka K., Y. Ishioka y E. Furuichi. 1983. *Cultivation of Eisenia foetida Using Dairy Waste Sludge Cake*. en *Earthworm Ecology. From Darwin to Vermiculture*. J.E. Satchell editor. Chapman and Hall. U.K.

Hawley, Amos H. 1986. *Human Ecology, A Theoretical Essay*. The University of Chicago Press. EUA

Hodges, Laurent. 1977. *Environmental Pollution*. Segunda Edición. Holt, Rinehart y Winston. E.U.A

Jaffé, Walter R. y Eduardo J. Trigo. 1994. *La Agrobiotecnología en América Latina y el Caribe: Elementos para Estrategias Nacionales*. Comercio Exterior, Vol. 44, No. 7, México D.F. pag. 571

Jorgensen, Sven E. y William J. Mitsch. 1989. *Classification and Examples of Ecological Engineering*. en *Ecological Engineering*. John Wiley and Sons. Nueva York.

Leff, Enrique; Julia Carabias. Ana Irene Batis. 1990. *Prólogo*. Recursos Naturales, técnica y Cultura. Estudios y Experiencias para un Desarrollo Alternativo. Leff, Enrique; Julia Carabias y Ana Irene Batis. CIIH-UNAM

Lungo U, Mario y Jaime Barba. 1993. *El Espino. ¿Hacia el Deterioro Irreversible del Medio Ambiente en la Ciudad de San Salvador?*. En *Nuestro Futuro: Desafíos Ambientales*. Jaime Barba (Comp). Istmo Editores. San Salvador. EL Salvador.

Martínez Cerdas, Claudia. 1996. *Potencial de la Lombricultura*. Lombricultura Técnica Mexicana, Texcoco. Edo. de México.

Martinez Cerdas, Claudia. 1997. *¿Por que la Lombricultura en el Desarrollo Rural?*. II Congreso Nacional Agropecuario y Forestal: por un Desarrollo Rural Sustentable. Universidad Autónoma Chapingo.

Martinez N., Marco Antonio et. al. 1992. *El Concepto de Sustentabilidad: sus Aplicaciones en Comunidades Rurales y en la Energía Nuclear*. En *Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Fundación Friedrich Ebert-ENEP Acatlán/UNAM.

Marulanda, Oscar. 1986. *El Manejo Integrado de los Recursos Naturales y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo*. en *Los Problemas del Conocimiento y la Perspectiva Ambiental del Desarrollo*. Enrique Leff (Coord). Ed. Siglo 21. México D.F.

Medina, Martin. 1997. *Manejo de Desechos Sólidos y Desarrollo Sustentable*. Comercio Exterior, Vol. 47, No. 10, México D.F. pag. 571

Mitsch, William J. y Sven E. Jorgensen. 1989. *Introduction to Ecological Engineering*. en *Ecological Engineering*. John Wiley and Sons, Nueva York.

Mitsch, William J. 1989. *Prefacio*. en *Ecological Engineering*. John Wiley and Sons, Nueva York.

Nadal Egea, Alejandro. 1977. *Instrumentos de Políticas Científicas y Tecnológicas en México*. Colegio de México. pag. 64

Neira N, Eduardo. 1996. *El Desarrollo Sustentable y las Metrópolis Latinoamericanas: Segundo Foro del Ajusco*. Centro de Estudios Demográficos y de Desarrollo Urbano. COLMEX-PNUMA

Noriega, Gerardo y Juan Vidal. 1997. *Conocimiento y Uso de la Lombriz de Tierra en el Procesamiento de Desechos Sólidos Orgánicos*. II Congreso Nacional Agropecuario y Forestal, por un Desarrollo Rural Sustentable. Universidad Autónoma Chapingo.

Núñez, Roberto. 1981. *Principios de Fertilización Agrícola con Abonos Orgánicos*. en *Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos*. Oscar Monroy y Gustavo Viniestra (Comp.) Ed. AGT Editor. S.A.

OCDE. 1985. *Environmental Policy and Technical Change*. Organización de Cooperación para el Desarrollo Económico. Paris, Francia.

Odum, H. T. 1962. *Main in the Ecosystem*. En *Proceeding Lockwood Conference on the Suburban Forest and Ecology*. Bull. Con. Agri. Station 652. Storrs, CT.

Parker, Scott, et. al. 1997. *For Better Dewater Solids, Just Add Water*. Industrial Wastewater, vol 5, No. 4

Parra, Carlos de la. 1994. *Manejo Integral de los Recursos Naturales: un Plan de Manejo para la Ciudad de Tijuana*. Premio Banobras. Banobras, noviembre. México

Phillips, V. R. 1988. *Engineering Problems in the Breakdown of Animals Wates by Earthworms*. en *Earthworms in Waste and Environmental Management*. SPB Academic Publishing, N.Y.

Plascencia A. y R.A. Zinn. 1996. *Influence of Flake Density on the Feeding Value of Steem-processed Corn in Diets for Lactating Cows*. *Journal of Animals Science*. 74:310-316

Portillo, Alvaro y Gladys Sirvent. 1987. *Tecnologías para el Desarrollo Urbano*. Centro de Ecodesarrollo.

Provencio, Enrique y Julia Carabias. 1993. *El Enfoque del Desarrollo Sustentable*. En *Desarrollo Sustentable. Hacia una Política Ambiental*. Antonio Azuela, Julia Carabias, Enrique Provencio y Gabriel Quadri (Coords).. UNAM.

Quadri, Gabriel. 1993. *El Medio Ambiente en la Política Internacional*. En *Desarrollo Sustentable. Hacia una Política Ambiental*. Antonio Azuela, Julia Carabias, Enrique Provencio y Gabriel Quadri (Coords). UNAM, pag. 13

Quadri, Gabriel. 1996. *Políticas Ambientales para una Ciudad Sustentable*. En *Desarrollo Sustentable y las Metrópolis Latinoamericanas*. Eduardo Neira Alva (Coord). COLMEX-PNUMA. México D.F. pag. 141

Quintanilla, Ernesto. 1991. *Tendencias Recientes de la Localización en la Industria Maquiladora*. *Comercio Exterior*, vol. 42, No. 9

Rubin, Ramón. 1979. *Explotación de la Rana*. Segunda edición. Ed. Continental.

Santos B., Carlos, Nicholas Ashford y Patricia Hernández. 1995. *Regulaciones Ambientales y Laborales como Estimulo de la Competitividad*. *Comercio Exterior*, Vol. 45, No. 8, México D.F.

Sarukhán, José y José M. Mass. 1990. *Bases Ecológicas para un Manejo Sostenido de los Ecosistemas: El Sistema de Cuencas Hidrológicas*. En *Medio Ambiente y Desarrollo en México*. Enrique Leff (Coord). CIIH-UNAM, Ed. Porrúa. Vol. 1

Scheaffer, Richard L; William Mendenhall y Lyman Ott. 1986. *Elementos de Muestreo*. Grupo Editorial Iberoamericana. México D.F

Schnaiberg, Allan y Kenneth A.Gould. 1994. *Environment and Society: The Enduring Conflict*. St. Martin's Press. N.Y. EUA.

Sejenovich, Héctor. 1992. *Energía y Ambiente en el Desarrollo Sustentable*. En *Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Fundación Friedrich Ebert-ENEP Acatlán/UNAM.

Solleiro, José L. María del Carmén del Valle e Isabel Lina Sánchez. 1993. *La Innovación Tecnológica en la Agricultura Mexicana*. Comercio Exterior. Vol. 43, No. 4. México D.F.

Solleiro, José L. y Alma Rocha Lackiz. 1996. *Cambio Técnico e Innovación en la Agricultura Mexicana*. Comercio Exterior. Vol. 46, No. 8. México D.F.

Steel, R.G.D. y J. H. Torrie. 1988. *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. 2a edición. McGraw-Hill Book Co. Nueva York, E.U.A.

Teorema. 1997. *Conversión de Basura en Insuma*. Teorema Técnico Ambiental. Año 4, No. 14. Monterrey.

Toffey, William E. 1997. *Biofiltration- Black Box or Biofilm?* BioCycle. Vol. 38, No. 6

Torres T. Felipe. 1996. *Desarrollo Sustentable y Alimentación Sana*. Comercio Exterior. Vol. 46, No. 8. México D.F.

UNCTAD. 1990. *Technology, Trade Policy and the Uruguay Round*. ITP/23. New York

Urquidi, Victor L. 1994. *Pobreza Rural y Manejo Sustentable: una Perspectiva Mexicana*. Federalismo y Desarrollo. Año 8, No. 46. México

Valdamaa, Kalju. 1973. *Composting of Wastes*. en *Environmental Engineering*, editado por G. Linder y K. Nyberg. Reidel Publishing Co. Holanda.

Velásquez, Luis A. y Carlos Herrera C. 1985. *Aspectos Bioquímicos de la Lombriz Eisenia foetida*. Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Universidad de Santiago de Chile. Santiago de Chile

Viniegra G., Gustavo. 1981. *Consideraciones Económicas sobre el Aprovechamiento de los Desperdicios Agrícolas, Ganaderos y Agroindustriales*. Biotecnología para el Aprovechamiento de los Desperdicios Orgánicos. Monroy, Oscar y Gustavo Viniegra (Comp.) Ed. AGT Editor S.A., México D.F.

Wence A., José María. 1990. *Efecto de Diferentes Porcentajes de Gallinaza en la Producción de Lombriz de Tierra Eisenia foetida*. Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, UNAM

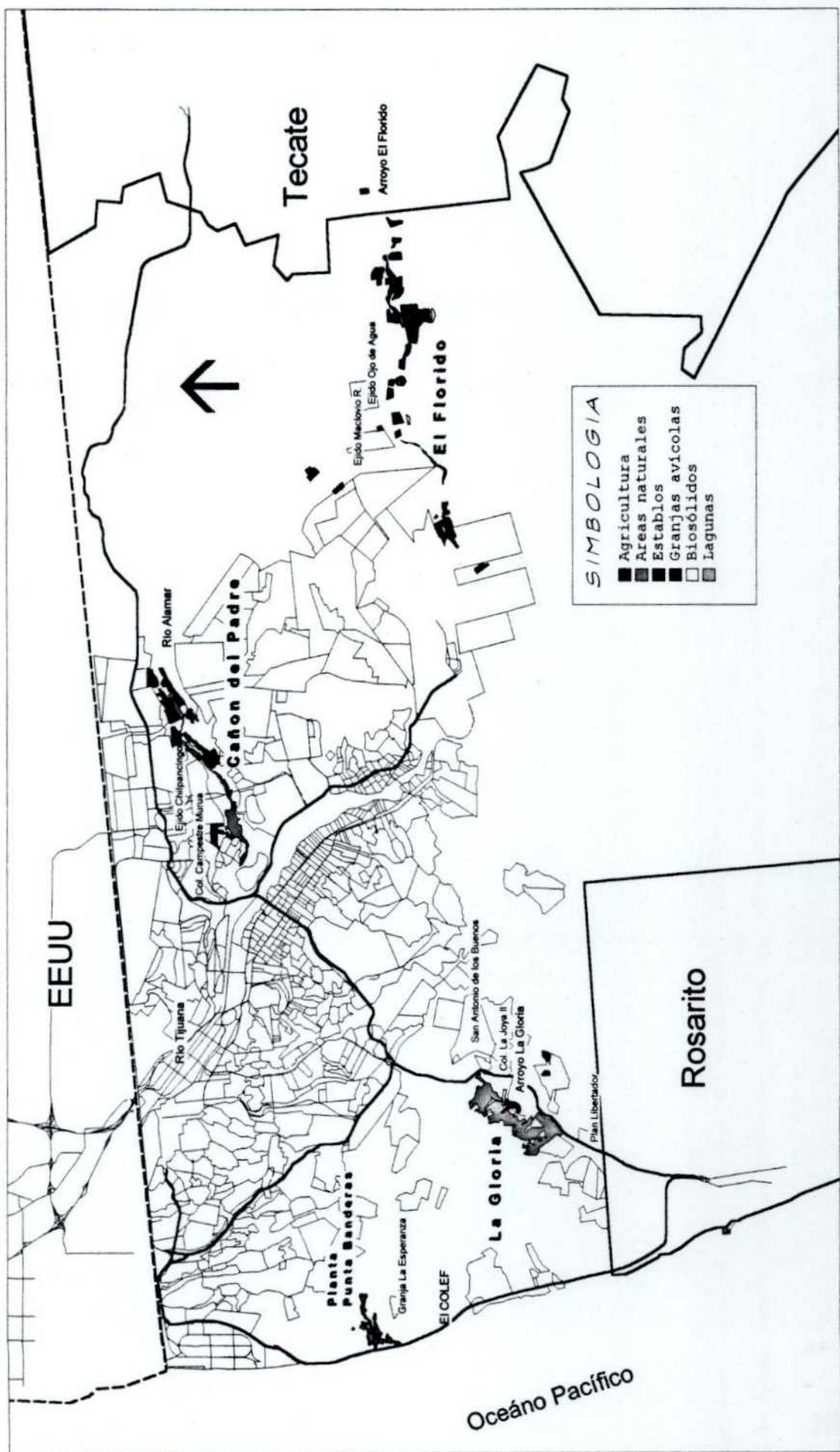
White, Stephen y Zorba Frankel. 1995. *AlasCan Has a Plan for Remote Alaska*. Worm Digest, summer, No. 9

White, Stephen. 1995. *Vermifiltration of Sewage*. Worm Digest, spring, No. 8

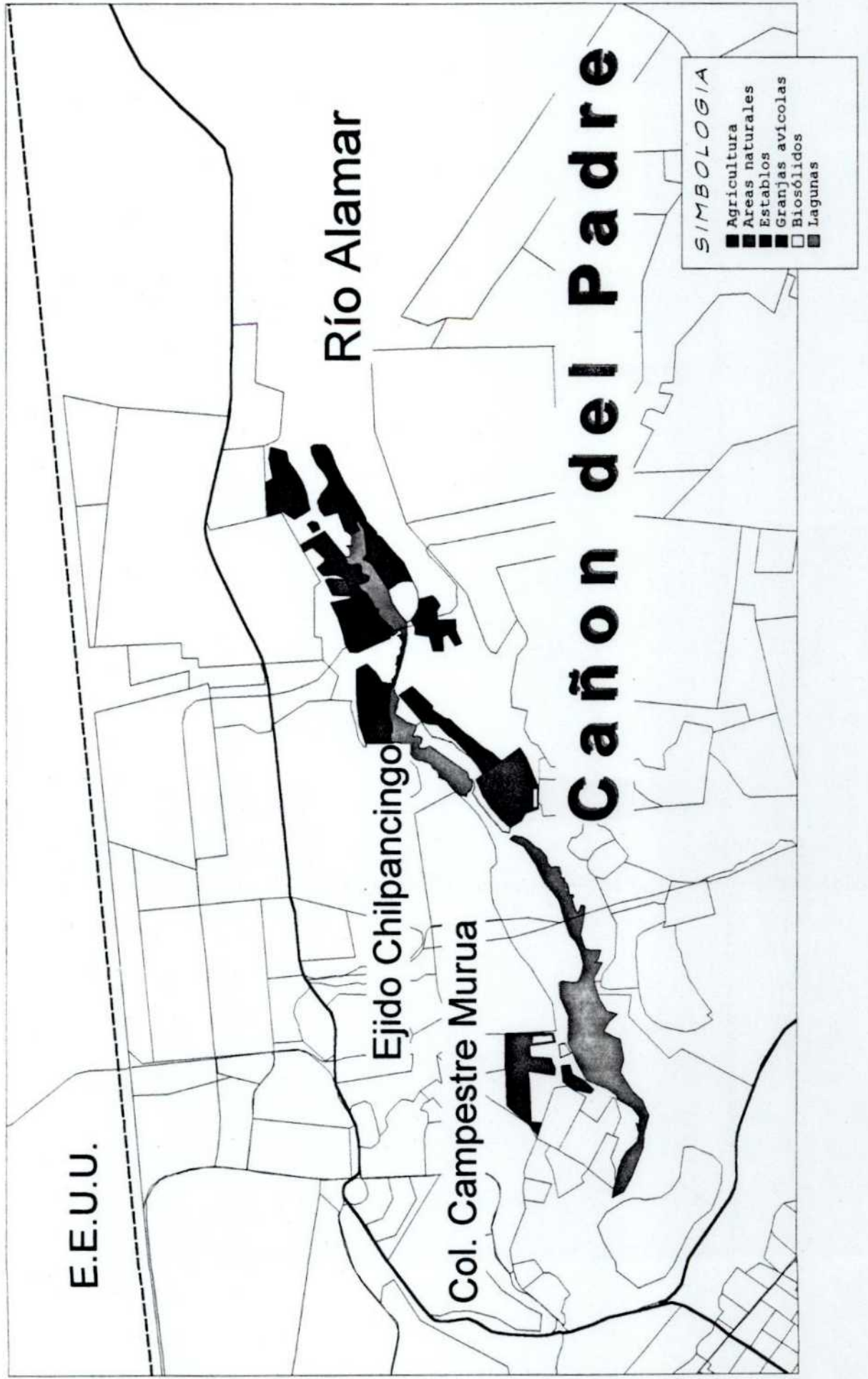
Wilson, Brian. 1994. *La Protección del Ambiente en Canadá*. Comercio Exterior, Vol. 44, No. 2. México D.F.

ANEXOS

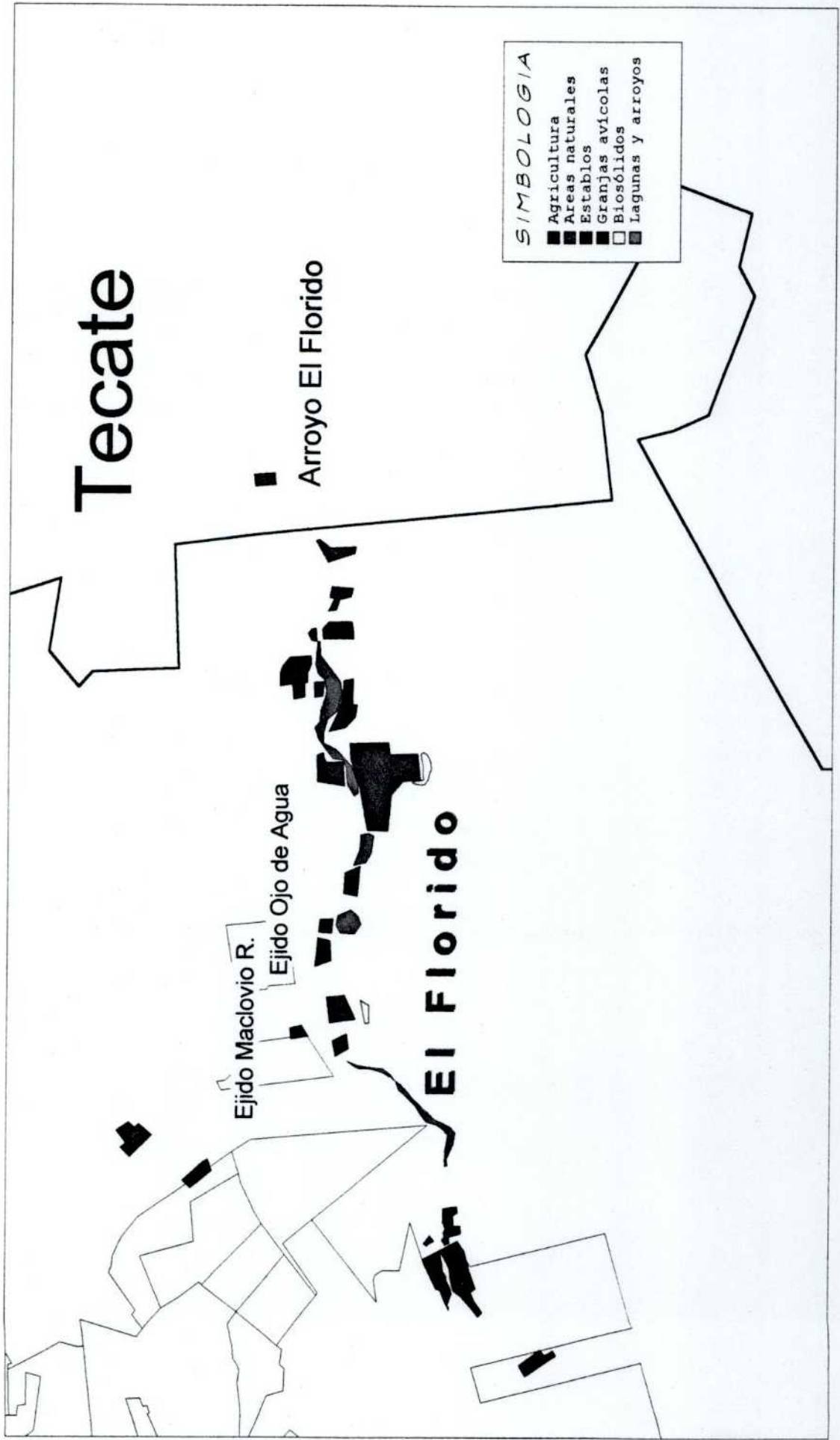
Mapa 1.- Ubicación de los depósitos de biosólidos en Tijuana



Mapa 2.- Ubicación de los depósitos en el Cañon del Padre



Mapa 3.- Ubicación de los depósitos en el Florido



Mapa 4.- Ubicación de los depósitos en la Gloria y la planta de tratamiento

