



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES IZTACALA

VERMIESTABILIZACIÓN DE
BIOSÓLIDOS GENERADOS EN UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE
LÁCTEOS

T E S I S A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

LARA BERNAL ALEJANDRA



IZTACALA

LOS REYES IZTACALA, EDO. DE MEX. OCTUBRE 2010



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCIÓN.....03

OBJETIVOS.....10

METODOLOGÍA.....11

RESULTADOS.....14

ANÁLISIS.....18

DISCUSIÓN.....20

LITERATURA CITADA.....21

RESUMEN

El proceso que se aplica a las aguas residuales en las plantas de tratamiento, es una selección y/o combinación de procesos físicos, químicos y/o biológicos, que generan enormes volúmenes de lodos orgánicos altamente putrescibles. Los cuales para su posterior disposición, deben de ser sometidos a procesos de digestión biológica, adquiriendo así la categoría de biosólidos. La posibilidad de su posterior utilización o la necesidad de su disposición en determinado lugar debido a las restricciones ambientales, dependerá de la concentración de metales pesados, contaminantes tóxicos u organismos patógenos que presente, incrementando de esta forma los costos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales. El objetivo del presente trabajo es el de mostrar la posibilidad de lograr la producción de un biosólido con alta calidad agronómica por medio de la vermiestabilización, a partir de lodos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales. Para efectuar este estudio se seleccionó una planta que trata aguas residuales de una fábrica de lácteos, la cual produce 100m³ mensuales de lodo residual. Para determinar la viabilidad del sistema, se tomaron muestras, provenientes de diversos puntos del proceso de la planta y se realizaron pruebas de supervivencia (P50L) a diversas concentraciones, obteniendo como mejor resultado el lodo al 50%, extraído del reactor físico-químico, obteniendo una supervivencia de los organismos del 94%. Se concluye que es viable la vermiestabilización de dichos lodos, para su posterior disposición como fertilizantes agrícolas, teniendo la posibilidad de generalizar dicho tratamiento a los lodos obtenidos en las plantas de tratamiento de aguas residuales, ofreciendo así, una opción altamente rentable.

Palabras clave: biosólido, vermiestabilización, fertilizante, metales pesados, calidad agronómica

INTRODUCCIÓN

Los vertidos de desecho de las industrias lácteas, están constituidos, en su mayor parte por diferentes diluciones de leche entera, leche tratada, mantequilla y suero, proveniente de descargas o derrames obligados accidentales; que llegan al sistema de aguas residuales debido a un deficiente diseño o funcionamiento del proceso; restos de lavados que contienen productos químicos, alcalinos u otros; utilizados para limpiar la leche de los recipientes, lo mismo que restos parcialmente caramelizados de depósitos. Las aguas residuales de las industrias lácteas, son generalmente, neutras o poco alcalinas, pero tienen tendencia a volverse ácidas muy rápidamente a causa de la fermentación del azúcar de la leche transformándose en ácido lácteo. Este tipo de aguas tienen un alto contenido en materia orgánica (disuelta o en estado coloidal) y por ello tienden a fermentar y tener un olor fuerte (Erijman, 2007.)

Después de ser tratadas las aguas residuales de las industrias y las domésticas, se obtiene gran cantidad de desechos llamados lodos, los cuales se convierten en un serio problema causando olores desagradables, de manejo delicado al convertirse en potencial fuente de contaminación de suelos y agua. El lodo residual es el producto de desecho generado durante el tratamiento convencional de las aguas residuales, y constituido por sólidos sedimentables y no sedimentables, que por medio de la sedimentación, la floculación biológica y coagulación-floculación química, son extraídos de los tanques de sedimentación.

Los constituyentes de los lodos son materiales heterogéneos y su contenido depende no sólo del origen y características del agua, sino también de la tecnología de tratamiento empleada, de la época del año, y de otros factores. Los lodos están divididos generalmente en: lodos primarios, lodos secundarios, lodos mixtos y lodos químicos (Azis y Lawrence, 1990.)

El contenido de agua en los lodos es muy grande (de 94 a 98.5 %), por lo tanto es necesario concentrar más los sólidos antes de estabilizarlos; para ello se aplica el espesamiento, el cual es un procedimiento utilizado para incrementar el contenido de

sólidos de lodos por unidad de volumen, es decir para concentrar lodos y remover una parte del líquido. Algunos métodos de espesamiento son: gravedad, flotación, centrifugación, filtro banda y tambor rotatorio (Bruce, 1984.)

Una vez espesados los lodos, se requiere un proceso de estabilización, el cual consiste en eliminar los microorganismos patógenos y reducir el contenido de sólidos volátiles a través de la oxidación biológica, oxidación química o mediante la aplicación del calor, para disminuir o eliminar el potencial de putrefacción y evitar la generación de olores ofensivos (Bitton *et al.*, 1980)

Algunas tecnologías para la estabilización de los lodos residuales son: digestión anaerobia, digestión aerobia, composteo y estabilización con CaO o CaOH₂.

La reducción de la materia orgánica (medida como sólidos volátiles) es fácilmente aplicable a los procesos de digestión aerobia y anaerobia. La reducción de microorganismos patógenos que alcanza la digestión aerobia y anaerobia es cercana al 99% (intervalo mesofílico). Con el composteo, la digestión aerobia auto térmica y la estabilización con cal, la reducción puede ser del 99.99% (Bruce, 1984.) Los lodos estabilizados o biosólidos son considerados residuos asimilables a urbanos y, aunque no pueden clasificarse como tóxicos ni peligrosos, si poseen contaminantes que obligan a su tratamiento.

La calidad de los biosólidos depende fundamentalmente de cuatro grupos de contaminantes principales:

Metales. Principalmente zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr). Su potencial de acumulación en los tejidos humanos y su biomagnificación suscitan preocupaciones. Los metales están siempre presentes, en concentraciones bajas, en las aguas residuales domésticas, pero las concentraciones preocupantes son sobre todo las que se encuentran en las aguas residuales industriales (Matthews y Lindner, 1996.)

Por otro lado, los metales pesados se encuentran de manera natural en la litósfera, hidrósfera y atmósfera en concentraciones tales que por lo general no perjudican las diferentes formas de vida. Sin embargo, los procesos antrópicos han ocasionado un paulatino aumento puntual de dichas concentraciones en los diferentes componentes del edafón (Gervin, 2005.)

Nutrientes y materia orgánica. Su peligrosidad radica en su potencial de eutroficación para las aguas subterráneas y superficiales. Sin embargo, se pueden considerar como fertilizantes valiosos al igual que la materia orgánica. (Matthews y Lindner, 1996.)

Contaminantes orgánicos. Los plaguicidas, disolventes industriales, colorantes, plastificantes, agentes tensoactivos y muchas otras moléculas orgánicas complejas, generalmente con poca solubilidad en agua y elevada capacidad de adsorción, tienden a acumularse en los lodos.

Todos estos contaminantes son motivo de preocupación por sus efectos potenciales sobre el medio ambiente y sobre la salud humana. Una característica de las más importantes es su variado potencial de biodegradación.

Muchos se biodegradan lentamente, por lo tanto los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales con tiempos de residencia más largos, tendrán una mayor capacidad para biodegradar estos compuestos indeseables. La biodegradación también puede ocurrir después de esparcir los lodos en la tierra o durante el compostaje. (Matthews y Lindner, 1996.)

El grupo de trabajo de la OMS sobre riesgos para la salud de los productos químicos presentes en los lodos residuales aplicados a las tierras, llegó a la conclusión de que la absorción total por el hombre, de contaminantes orgánicos procedentes de la aplicación de lodos a las tierras de cultivo, es poco importante y probablemente no causará efectos adversos para la salud. Sin embargo, a pesar de que cada vez se investiga más el papel ecotoxicológico de los contaminantes orgánicos en el sistema suelo-planta-agua y en la cadena alimentaria, es aún poco claro.

Agentes patógenos. Los agentes patógenos más importantes que se han encontrado en los lodos son las bacterias, los virus (especialmente enterovirus), los protozoos, los tremátodos, los céstodos y los nemátodos. Los residuos de animales sacrificados o muertos accidentalmente, los desechos hospitalarios y funerarios, entre otros, pueden elevar la carga y la diversidad de patógenos en el influente. Para que cualquier vertido de lodos sea seguro, se precisa la eliminación o la inactivación eficaz de estos patógenos. (Matthews y Lindner, 1996.)

Estos biosólidos son eliminados por métodos que contemplan la incineración el depósito en rellenos sanitarios, el vertido controlado y el vertimiento al mar. Esta última alternativa está en vías de ser abolida por todas las legislaciones en el mundo. Los biosólidos se incineran básicamente por razones de rentabilidad. Con altos costos de transporte asociados a la aplicación en tierra, la incineración resulta económica.

Algunos argumentan que este método es seguro y que no afecta el medio ambiente. El producto final de la incineración lo constituye una ceniza estéril, exenta de patógenos e inodora según Gervin, 2005. Otros, sin embargo, atacan el método argumentando que algunas sustancias no pueden ser destruidas por la incineración y que por el contrario se transforman en formas más tóxicas. Respecto a los espacios que son utilizados como rellenos día con día son más limitados llegando a ser menos práctica dicha actividad (Dreisbach, citado por Altoaguirre, 2005.)

Una legislación sobre eliminación de residuos más restrictiva, junto con la preocupación por los posibles riesgos medioambientales y sanitarios que conlleva el esparcir los lodos en tierras de cultivo, está haciendo más agudo el problema de la eliminación de los biosólidos.

La producción de biosólidos a partir del tratamiento de aguas residuales no es nueva. Se conocen reportes desde el siglo XIX, y ya en 1920 existían opciones comerciales a partir de la transformación de los biosólidos en fertilizantes agrícolas. En México, sobre todo en el Norte, el uso de ácidos húmicos en la agricultura con fines de fertilización, inicia a fines de los años 80's, ya que empresas dedicadas a la venta de productos

agroquímicos expenden los compuestos mencionados, aunque todos estos productos orgánicos provienen de los minerales fósiles, los cuales se importan de Estados Unidos (California, Pensilvania y Atlanta), Europa (Alemania, Italia y España) y el Medio Oriente (Israel). Lo anterior provoca altos precios de estos productos (Keime, 1982)

Por lo que se han investigado formas más productivas de deshacerse de ellos como lo es la vermiestabilización, la cual se puede definir como la digestión de material orgánico por medio de lombrices. Además de la digestión de materia orgánica por medio de ingestión, las lombrices también ayudan a la penetración de aire y agua debido a su movilización a través del sustrato. Este movimiento permite el desplazamiento de partículas a lo largo de diferentes estratos. Las lombrices pueden desarrollarse sólo bajo condiciones aerobias, que son provocadas por la porosidad de los materiales donde subsisten y por la misma aeración que estos animales provocan por su desplazamiento a través del material. Las condiciones aerobias así establecidas ayudan al florecimiento de microorganismos aerobios que conjuntamente con las lombrices degradan los desechos (Loehr *et al.*, 1985)

La vermiestabilización es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato orgánico. Es un proceso de descomposición natural, similar al composteo termofílico, pero en este; el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz. En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, también ocurre la reducción de bacterias que le causan daño al hombre (Camp *et al.*, 1980)

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales,

provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica (MO) inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, llamado vermicomposta (VC) es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Atiyeh *et al.*, 2000a). Además, se ha demostrado que bajo la acción de las lombrices se incrementa tanto la velocidad de mineralización del N como los índices de conversión del N-NH₄⁺ a N-NO₃⁻ (Atiyeh *et al.*, 2000b; Atiyeh *et al.*, 2000c; Atiyeh *et al.*, 2002).

Esta transformación hace que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, etc., sean mínimos con relación a los sistemas tradicionales de composteo. También, a diferencia del tradicional tratamiento microbiano de los residuos, el vermicomposteo provoca la bioconversión de los desechos teniendo como resultado dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y el humus (Ghosh *et al.*, 1999; Ndgewa *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2001.)

El humus, es un desecho fragmentado, poroso y con una gran actividad microbiana, el cual se aplica en suelos agrícolas como fertilizante orgánico para su enriquecimiento. Durante este proceso los nutrientes que son importante para las plantas, tales como el Nitrógeno, Potasio y Fósforo presentes en dichos desechos son convertidos por la acción microbiana en formas que son más solubles y disponibles para las plantas (Díaz, 2002.)

Existen diversas evidencias de que las lombrices de tierra provocan diferentes efectos benéficos, físicos, químicos y biológicos, sobre los suelos y diversos investigadores han demostrado que estos efectos pueden incrementar el crecimiento de la planta y el rendimiento de los cultivos tanto en ecosistemas naturales como en los ecosistemas manejados. Estos efectos se han atribuido al mejoramiento de las propiedades y la estructura del suelo, a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, y a una creciente población microbiana y metabolitos biológicamente activos, como los reguladores de crecimiento de las plantas (Atiyeh *et al.*, 2002).

Los efectos de la vermicomposta sobre el crecimiento de diversos cultivos incluyendo cereales y leguminosas, especies vegetales, plantas ornamentales y florales ha sido evaluado bajo condiciones de invernadero y en un menor grado bajo condiciones de campo (Atiyeh *et al.*, 2002).

En consecuencia, resulta de gran importancia el utilizar la capacidad que tienen ciertas especies de lombrices e.g. *Eisenia foetida*, *Eisenia andrei*, *Eudrilus eugeniae*, *Lumbricus rubellus*, para adaptarse y reproducirse, con un apetito voraz y gran velocidad de crecimiento, fuera de su hábitat natural, para provocar la descomposición de los residuos orgánicos (Ghosh *et al.*, 1999; Maboeta *et al.*, 1999; Atiyeh *et al.*, 2000c; Berry y Jordan, 2001; Domínguez *et al.*, 2001; Gajalakshmi *et al.*, 2001).

En 1984, Loehr *et al.*, presentaron los resultados de una investigación del proceso de vermiestabilización en los que se había utilizado lodos residuales estabilizados y no estabilizados. Se evaluaron cuatro especies de lombriz: *E. foetida*, *E. eugeniae*, *P. Hawaiiana* y *P. Excavatus*. La especie *E. foetida* resultó con la mayor capacidad reproductiva. El mejor crecimiento de *E. foetida* en cuanto a peso ganado ocurrió al utilizar un lodo que tuvo un contenido total de sólidos, con una base húmeda entre 9 y 17%. El mejor crecimiento y producción de huevos para las especies de lombrices ocurrió con una temperatura de 20 a 25°C. Con lodos líquidos y deshidratados, la vermiestabilización fue una función exitosa por largos periodos de tiempo: más de un año para lodo deshidratado y por lo menos seis meses para lodos líquidos.

En 1985, Loehr *et al.* de la Universidad de Cornell, evaluaron diferentes factores fundamentales que afectan el proceso de vermiestabilización tales como la temperatura, contenido de humedad y el uso combinado de diferentes especies de lombrices (policultivo). El mejor crecimiento y reproducción ocurrió a temperaturas de 20 a 25°C. El crecimiento de todas las especies se redujo a 30°C y la muerte ocurrió a 35°C. De las cinco especies, *E. foetida* produjo el mayor número de individuos juveniles en veinte semanas del estudio. El crecimiento de *E. foetida* ocurrió de manera óptima con un lodo con un contenido total de sólidos, base húmeda, de 9 a 16%. El policultivo no tuvo ninguna ventaja sobre el monocultivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar a escala piloto un sistema de vermiestabilización con *E.foetida*, utilizando biosólidos de una planta de tratamiento de aguas residuales de lácteos; para convertirlo en un biosólido aprovechable.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar pruebas de alimentación-hábitat para obtener una reproducción masiva de *E. foetida*.
- Comparación del producto final con el biosólido por medio de técnicas físico-químicas y microbiológicas, de acuerdo con la normatividad mexicana.

METODOLOGÍA

El proceso experimental a nivel piloto, se llevó a cabo en el Laboratorio Central de Planta Tepetzotlán de la empresa TINEP, S.A. de C.V. con domicilio en Santiago Cuautlalpan s/n int.3, Tepetzotlán Estado de México.

Se obtuvo la cepa de *E. fétida* (1000 organismos aproximadamente), y se determinaron organismos al azar con claves taxonómicas de Oligoquetos, (Michaelson, 1899; Fragoso *et al.*, 1997.)

Se realizaron pruebas de alimentación/hábitat para obtener una reproducción masiva, y así tener una cantidad considerable de organismos para los siguientes bioensayos. Se experimentó con diversos alimentos: composta de excretas de conejo, composta de desechos de cocina y el último alimento fue una mezcla de composta de jardín y excretas de caballo.

Teniendo una cantidad suficiente de organismos, se eligió una planta de tratamiento de lácteos, del tipo híbrido (físicoquímica-biológica) con capacidad menor a 20 L/s, con una generación de lodos constante (aproximadamente 15m³ semanalmente), y un sistema de deshidratación que proporciona una reducción de humedad del lodo físico-químico del 20%.

Se obtuvieron 20kg y 40L de lodos de dicha planta (20kg de lodo físico-químico, 20L de lodo Biológico y 20L de lodo de Purga), para efectuar las pruebas a nivel laboratorio.

Los lodos líquidos se filtraron y después se procedió a realizar pruebas de supervivencia (Prueba P50L). La cual consiste en colocar en una caja (30x30x15), suficiente cantidad de lodo físico-químico, biológico, purga y los mismos lodos mezclados al 50% con tierra, hasta tener un grosor de 10cm, luego se colocan 50

lombrices, pudiendo ser adultas y jóvenes en una sola bola, colocándola en el centro de la caja.

Posteriormente se riega con cuidado pero sin encharcar, las lombrices se introducen solas y tratarán de descubrir si el nuevo ambiente es adecuado para garantizar su permanencia y después realizar su acción productiva.

Pasadas 24 horas, hay que verificar si los 50 organismos se encuentran en condiciones óptimas de salud, es aceptable encontrar un máximo de hasta dos organismos muertos. (Ferruzi, 1986).

Al final de las pruebas de supervivencia se revolviéron los lodos (físico-químico, biológico y de purga) para realizar las pruebas de: Coliformes fecales, huevos de helminto, *Salmonella spp.*, CRIT, Nitrógeno total, Fósforo asimilable, Sulfatos, Cloruros, Metales pesados, Sodio y Potasio Intercambiables, Materia Orgánica, Capacidad de intercambio catiónico, pH y conductividad eléctrica.

Estos lodos, se colocaron en un contenedor llamado lecho de secado, en donde se estabilizaron por medio de la temperatura y la baja del pH.

En un contenedor de acrílico 4mX2m, llamado lecho de vermiestabilización se realizó la siembra de lombrices, las cuales se alimentaron semanalmente con el lodo obtenido de la planta de lácteos durante 4 meses.

Finalmente, se realizó el análisis del producto por medio de sus características microbiológicas y fisicoquímicas, las cuales fueron comparadas con valores de parámetros determinados en la normatividad mexicana y con valores agronómicos de suelos.

En el cuadro 1, se enlistan los parámetros y técnicas analíticas realizadas al lodo crudo y a la vermicomposta.

CUADRO 1: MÉTODOS ANALÍTICOS REALIZADOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES CRUDOS Y VERMICOMPOSTEADOS.

PARÁMETRO	MÉTODO ANALÍTICO
Coliformes fecales	NOM-004-SEMARNAT-2002
Huevos de helminto	NOM-004-SEMARNAT-2002
<i>Salmonella spp.</i>	NOM-004-SEMARNAT-2002
CRIT	NMX-AA-052-1985
Nitrógeno total	Micro-Kjeldahl (Modificado por Bremner, 1965)
Fósforo asimilable	Método de Bray (Desarrollado por Bray y Kurtz, 1945)
Sulfatos	Método Turbidimétrico con Cloruro de Bario (Desarrollado por Chesnin y Yien, 1951)
Cloruros	Método de Titulación con Sulfato de Plata (Desarrollado por Mohr, 1945)
Metales pesados	NOM-004-SEMARNAT-2002
Sodio y Potasio intercambiables	Método del Espectrofotómetro de Flama (Desarrollado por el U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)
Materia orgánica	Método de Oxidación con Acido crómico y Acido sulfúrico (Desarrollado por Walkley y black, 1947)
Capacidad de intercambio catiónico	Método Volumétrico de Versenato (Desarrollado por Schollenberger y Simon, 1945)
pH y Conductividad eléctrica	Método Potenciométrico (Desarrollado por Bates, 1945; Willard, Merrit y Dean, 1958), y Método del Conductímetro (Tomada de Aguilar y Domínguez, 1980)

RESULTADOS

En los siguiente cuadros, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de alimentación/hábitat para el mantenimiento y reproducción de *E. foetida*, de igual forma los resultados de las pruebas de supervivencia (P50L) con los lodos muestreados de diversos puntos de la planta de tratamiento.

CUADRO 2: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON DIVERSOS ALIMENTOS PARA MANTENIMIENTO Y REPRODUCCIÓN DE *E. foetida*.

ALIMENTO	TIEMPO (días)	N. DE ORGANISMOS	PESO(g)
COMPOSTA DE EXCRETAS DE CONEJO	0	167	44.7
	15	148	36.5
	30	326	85.6
	60	645	181.6
COMPOSTA DE DESECHOS DE COCINA	0	167	45.2
	15	251	72.5
	30	502	143.8
	60	986	267.8
COMPOSTA DE DESECHOS DE JARDÍN Y EXCTERAS DE CABALLO	0	167	45.9
	15	167	53.8
	30	250	66.7
	60	596	178.8

CUADRO 3: RESULTADOS DE PRUEBAS REALIZADAS CON LODOS AL 100% Y AL 50%

%	LODO	N. DE ORGANISMOS AL INICIO	N. DE ORGANISMOS A LAS 24 HRS.	% DE SUPERVIVENCIA
100	FISICOQUÍMICO	50	45	90
100	BIOLÓGICO	50	46	92
100	PURGA	50	31	62
50	FISICOQUÍMICO/TIERRA DE JARDÍN	50	47	94
50	BIOLÓGICO/TIERRA DE JARDÍN	50	46	92
50	PURGA/TIERRA DE JARDÍN	50	46	92

La planta de tratamiento seleccionada tiene un caudal de diseño de hasta 17.5 L/s. El efluente de la planta es dirigido al río Aguapan. El proceso de tratamiento del agua residual de la elaboración de productos lácteos, postres y gelatinas, consiste en proceso físico-químico después uno biológico finalizando con la clarificación, filtración y desinfección.

La deshidratación de los lodos se realiza por medio del filtro banda, produciendo lodos de menos de 90% de humedad. En la planta se produce cada semana aproximadamente 15m³ de lodos. Éstos se ponen a disposición de una empresa que va periódicamente por ellos, y se hace cargo de su uso.

El sistema de vermiestabilización a nivel piloto incluye un lecho de lodo, el cual se seca y se estabiliza, y un lecho en donde se realiza la vermicomposta. Para la siembra de las lombrices en el lecho se colocó una capa de 5cm de lodo residual previamente estabilizado, sobre la capa de lodo se colocaron 20kg de tierra de vermicomposta que tenía una densidad de huevecillos alta 2 kg de lombriz adulta; esto se hizo con el propósito de adaptar las lombrices al lodo de la planta. Después de esta capa cada semana se colocó otra de 5 cm de lodo procedente del lecho de secado.

VALORACIÓN DEL LODO Y LA VERMICOMPOSTA

De acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, se realizaron las pruebas para determinar su calidad microbiológica (cuadro 4), y se analizaron las concentraciones de metales pesados (cuadro 5.)

CUADRO 4: CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL LODO CRUDO Y VERMICOMPOSTA.

PATÓGENOS	LODO CRUDO	VERMICOMPOSTA	NOM-004-SEMARNAT-2002*
			CLASE A
Coliformes fecales NMP/g en base seca	ND	ND	Menor de 1 000
Huevos de helminthos/g en base seca	0	0	Menor de 1(a)
<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	ND	ND	Menor a 3

TOMADO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002. (a) Huevos de helmintos viables. NMP número más probable.

CUADRO 5: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSÓLIDOS

CONTAMINANTE (DETERMINADOS EN FORMA TOTAL)	EXCELENTE mg/kg EN BASE SECA *	BUENO mg/kg EN BASE SECA *	CONTENIDO EN LODO RESIDUAL	CONTENIDO EN VERMICOMPOSTA
Arsénico	41	75	ND	ND
Cadmio	39	85	ND	ND
Cromo	1200	3000	9,020	119
Cobre	1500	4300	13,220	401
Plomo	300	840	3,83	<0.05
Mercurio	17	57	ND	ND
Níquel	420	420	11,300	42.7
Zinc	2800	7500	58,490	1235

*TOMADO DE NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-004-SEMARNAT-2002, PROTECCIÓN AMBIENTAL.-LODOS Y BIOSÓLIDOS.- ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL

En el cuadro 6, se muestran las categorías alcanzadas por el lodo crudo y la vermicomposta, a dichas muestras se les practicaron los análisis correspondientes para determinar sus características de Corrosividad, Reactividad, Inflamabilidad y Toxicidad (CRIT) de acuerdo a los procedimientos y parámetros considerados en las Normas NOM-052-SEMARNAT-2005 y NOM-053-SEMARNAT-1993, que definen a los lodos residuales como residuos peligrosos y el destino final de éstos.

CUADRO 6: RESULTADOS DE PRUEBAS EFECTUADAS Y SU COMPARACIÓN CON LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES ESTABLECIDOS POR LA NOM-052-SEMARNAT-2005.

PARÁMETRO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE NUMERAL NOM-052-SEMARNAT-05	RESULTADO EN LODO RESIDUAL	RESULTADO EN VERMICOMPOSTA
CORROSIVIDAD	7.2.2: $2 < \text{pH} < 12.5$	Si es corrosivo, pH 12.77	No es corrosivo.
REACTIVIDAD	7.3.1: NEGATIVO, 7.3.2: NEGATIVO, 7.3.3: NEGATIVO, 7.3.4: 250mg HCN/kg, 7.3.4: 500mg H ₂ S/kg	No es reactivo	No es reactivo
INFLAMABILIDAD	7.6.2: NEGATIVO	No es flamable	No es flamable
TOXICIDAD AL AMBIENTE	7.5.1: ver tabla 2 NOM-052-SEMARNAT-05	No es tóxico al ambiente	No es tóxico al ambiente

En el cuadro 7 se presentan las características de interés agronómico que se evaluaron tanto en el lodo crudo como en la vermicomposta.

CUADRO 7: CALIDAD AGRONÓMICA DEL LODO CRUDO Y DE LA VERMICOMPOSTA

PARÁMETROS	CONTENIDO EN LODO RESIDUAL	CONTENIDO EN VERMICOMPOSTA	VALORES DE REFERENCIA
% DE HUMEDAD	79.3	68.6	hasta 85%
% DE REDUCCIÓN DE SÓLIDOS VOLÁTILES	52	30	38
pH PASTA	12.77	6.25	12.5
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA dS/m ⁻¹	4.8	2.4	2.0-4.0
% DE M.O.	48.3	35.53	>4.21
% DE NITRÓGENO TOTAL	1.48	1.26	>0.222
P DISPONIBLE ppm	335	440	>21
K meq/100 g	2.18	7.63	>0.6

ANÁLISIS

El alimento que funcionó de mejor manera para el mantenimiento y reproducción de las lombrices (*E. foetida*), fue la composta realizada con desechos de cocina iniciando con una población de 167 organismos y finalizando el experimento a los 60 días con 986 organismos, en comparación de el alimento de composta de excretas de conejo y composta de desechos de jardín y excretas de caballo que terminaron con 645 y 548 organismos respectivamente (Schuldt *et al.*, 2005.)

De ésta manera se propone una alternativa para aprovechar los residuos orgánicos provenientes del comedor de la empresa.

Con respecto a las pruebas P50L se puede observar en los resultados que la mayor supervivencia (94%) ocurre cuando se mezcla con otro tipo de sustrato al 50%(Schuldt, M., 2006.) Sin embargo se optó por realizar la vermiestabilización ocupando al 100% el lodo, dejando que los organismos se adaptaran en ese medio.

El aprovechamiento de los biosólidos, se establece en función del tipo y clase, y tanto el lodo residual como la vermicomposta son de clase A, lo que significa que son inocuos de parásitos y patógenos; sin embargo en cuanto a su tipo, que es de acuerdo a la concentración de metales pesados, el lodo crudo no entra en las categorías que marca la NOM-004-SEMARNAT-2002 (BUENOS Y EXCELENTES), ya que rebasa los límites máximos permisibles en algunos de ellos como: cobre, cromo, níquel y zinc, mencionados por Matthews *et al.*, en 1996 como los metales encontrados frecuentemente en industrias y en comparación la vermicomposta obtenida alcanza una categoría de excelente.

En cuanto a las pruebas para la determinación de sus características (CRIT), el lodo crudo fue corrosivo con un valor mayor al límite máximo permisible de 12.5 U de pH. (Valor del lodo 12.77 U de pH). La vermicomposta no presentó ninguna de las características de corrosividad, reactividad, inflamabilidad y toxicidad al ambiente.

Los resultados de las características agronómicas nos muestran que el alto porcentaje de humedad (70%), presenta un residuo de estado semisólido, que va a aportar humedad a los suelos, si se incorpora perfectamente.

El pH es ligeramente ácido (6.25 U de pH), pero está dentro de un rango aceptable para los microorganismos del suelo y los cultivos (Atiyeh *et al.*, 2002.) La conductividad eléctrica de la vermicomposta (2.4 dSm^{-1}), lo clasifica como un sustrato poco salino, esto significa que al ser usado en suelos agrícolas, reduciría el rendimiento de especies vegetales muy sensibles (Atiyeh *et al.*, 2000b.)

La disminución en la relación sólidos totales/sólidos volátiles (de 52 a 30%) nos muestra un residuo estable de acuerdo a la NOM-004-SEMARNAT-2002, lo que indica que la vermicomposta es un producto completamente estabilizado y en el momento de su aplicación no va a provocar problemas de olor ni de vectores.

Cantidades excesivas de cualquier anión (Cl^- , SO_4^{2-}) pueden provocar problemas en el desarrollo de cultivos. Ilaco (1981), señala que los niveles críticos de Cl para los cultivos van de 0 a 0.05% afectación ligera, 0.05 a 0.1% moderadamente afectados y 0.1% fuertemente afectados. El valor de la vermicomposta fue de 0.07%.

Los sulfatos pueden representar una fuente de azufre y este elemento tiene un papel importante en la nutrición de los vegetales, hay cultivos que presentan sensibilidad a elevadas concentraciones (>0.3%), debido a que los sulfatos limitan la absorción del calcio por las plantas y se aumenta la absorción de sodio y potasio, por lo que se altera el balance catiónico óptimo para el crecimiento de los vegetales (Atiyeh *et al.*, 2000c.) En el caso de la vermicomposta esto no resulta un problema debido a que el valor obtenido es de 0.048%.

La vermicomposta tiene un elevado contenido de materia orgánica completamente estabilizada de 35.53% comparable al encontrado en abonos orgánicos comerciales (Keime, 1982.)

La capacidad de intercambio catiónico tuvo un valor alto (78.0 meq/100 g), arriba de los valores más altos encontrados en suelo (>40 meq/100 g) (Etchevers, 1971.)

El contenido de nitrógeno total es elevado 1.26%.La materia orgánica va a contrarrestar los efectos perjudiciales de la salinidad, va a aumentar la actividad de los microorganismos nativos del suelo. Además mejorarán algunas características físicas del suelo como es la porosidad y la retención del agua. (Atiyeh *et al.*, 2000a.)

El contenido de fósforo disponible (440 ppm) en el lodo también es elevado de acuerdo a los valores encontrados en suelos ricos en fósforo con valores >21. De acuerdo a Etchevers, 1971, con el valor de potasio obtenido en la vermicomposta (7.63 meq/100 g), no es necesario suministrar fertilización adicional de este elemento.

DISCUSIÓN

Con los resultados obtenidos se observan cambios físico-químicos en los lodos provenientes de una planta de desechos de lácteos, por lo que se demuestra la estabilización de éstos por medio de las lombrices y los microorganismos (vermicomposta). Se recomienda hacer este estudio a escala real.

Es necesario contar con programas de manejo integral de lodos (desde la generación hasta la aplicación) ya que no existe una solución universal en cuestión de manejo de lodos, debe ser una solución a la medida.

Los lodos, más que residuos, son subproductos con un valor importante ya que al transformarlos en biosólidos pueden ser utilizados en protección de taludes, proyectos forestales, recuperación de suelos de minería, explotación de canteras y usos agrícolas y pecuarios.

LITERATURA CITADA

Altoaguirre, L. Riesgos que genera la incineración de residuos. [online]. Argentina: Alihuen, s.f. [Citado en Diciembre de 2005]. Disponible en : <<http://www.alihuen.org.ar/coalicion-ciudadana-anti-incineracion/riesgos-que-genera-la-incineracion> deres.html>

Atiyeh, R. M. Subler, S., Edwards, C. A., Bachman, G., Metzger, J. D., and Shuster, W. 2000a. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedobiologia*. 44: 579-590.

Atiyeh, R. M., Domínguez, J., Subler, S. and Edwards, C. A., 2000b. Changes in biochemical properties of cow manure during processing by earthworms (*Eisenia andrei*, Bouché) and the effects on seedling growth. *Pedobiologia*, 44: 709-724.

Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A. and Metzger, J. D., 2000c. Influence of earthwormprocessed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Biores. Technol.*,75: 175-180.

Atiyeh, R. M., Lee, S., Edwards, C. A., Arancon, N. Q. and Metzger, J. D. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Biores. Technol.* 84: 7-14.

Azis, M.A. and Lawrence C.C. Koe. 1990. Potential utilization of sewage sludge. *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 22, No. 12, pp. 277-285.

Berry y Jordan, 2001; Berry, E.C. and Jordan, D., 2001. Temperature and soil moisture content effects on the growth of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae) under laboratory conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 33: 133-136.

Bitton, Gabriel, Bobby L. Damron, G.T. Edds y J. M. Davidson.1980. *Sludge-Health Risks of Land Application*. Ann Arbor Science.

Bruce, A.M. (Ed.) 1984. *Sewage Sludge Stabilization and Disinfection*. Ellis Horwood Limited WRC.

Buck, C., Langmaack, M. and Schrader, S. 2000. Influence of mulch and soil compaction on earthworm cast properties. *Appl. Soil Ecol.*, 14: 223-229.

Camp, Dresser and McKee, Inc.,1981.“Compendium on solid Waste Management by Vermicomposting”, US EPA, Municipal Environmental Research Laboratory, Cincinnati, OH, USA, Technical Report No. EPA-600/8-80-033, 72 pages, August.

Díaz, E., 2002. *Guía de lombricultura. Una alternative de producción*. La Rioja. 57

Dominguez, J., Edwards, C.A. and Ashby, J., 2001. The biology and population dynamics of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) in cattle waste solids. *Pedobiologia*, 45: 341-353.

Erijman, L. 2007. Tratamiento de efluentes en la industria láctea. Problemas y soluciones. INGEBI. CONICET.

Etchevers BJD, Espinoza GW, Riquelme E.1971. Manual de fertilidad y fertilizantes. 2da. ed. corr. Facultad de Agronomía. Universidad de Concepción. Chile. 62 pp

Ferruzi, C., 1986.- Manual de lombricultura. Ed. Mundi-Prensa, Madrid.

Fragoso C. y J.W. Reynolds. 1997. *On some earthworms from central and southeastern Mexicann mountains, including two new species of the genus Dichogaster (Dichogastrini).Megadrilogica 7(2):19*

Gervin, S., 2005. Lo que usted necesita saber sobre biosólidos [online]. Washington : WashingtonSuburban Sanitary Comisión, s.fDisponible en <http://www.wsscwater.com>

Ghosh, M., Chattopadhyay, G. N. and Baral, K., 1999. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Biores. Technol.* 69: 149-154.

Ilaco. 1981. «Agricultural Compedium for Rural Development» (International Land Development Consultants.) Ministerio de Agricultura y Pesca. Elsevier, La Haya, Holanda.

Keime Patrick. 1982. ¿Los lodos, un subproducto útil en la agricultura? *III Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Acapulco*

Loehr, R.C., J.H. Martin, E.F. Neuhauser and M.R: Malecki, 1984. "Waste Management Using Earthworms: Engineering and Scientific Relationships", National Science Foundation, Washington, DC, USA, Technical Report No. NSF/CEE-84007, 128 pp

Loehr, R.C., E.F. Neuhauser, and M.R. Malecki, 1985. "Factor Affecting the Vermistabilization Process: Temperature, Moisture Content and Polyculture", Water Research, Vol. 19, No. 10, pages 1311-1317.

Maboeta, M. S., Reinecke, A. J. and Reinecke, S. A., 1999. Effects of low levels of lead on growth and reproduction of the African earthworm *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *Biol. Fertil. Soils*, 30: 113-116.

Matthews, Peter and Lindner, K.1996. European Union. A Global Atlas of Wastewater Sludge and Biosolids Use and Disposal. P. Scientific and Technical Report nº4. London : International Association on Water Quality. London, p. 197.

Michaelsen W. 1899. Die Lumbriciden-Fauna Nord-Amerikas. *Abh. Nat. Ver, Hbg.* Bd 16:1-22

Ndegwa, P. M., Thompson, S. A. and Das, K. C., 2000. Effects of stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. *Biores. Technol.* 7

Schuldt, M., 2006. *Lombricultura. Teoría y práctica.* Mundi-Prensa, Madrid, 307 págs.

Schuldt, M., Rumi, A., Gutierrez-Gregoric, D., 2005. Estimación de la capacidad de porte en lombricultivos de *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) con distintas materias orgánicas. *Rev. Arg. Prod. Animal* 25(1-2): 101-109.