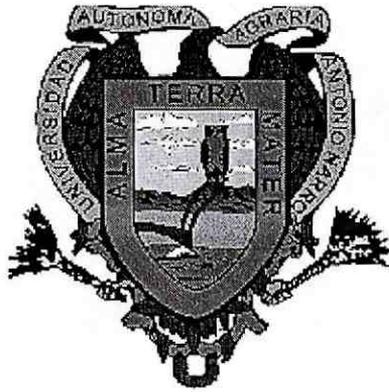


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA " ANTONIO NARRO "
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE
Lodos Residuales con la Aplicación de la
Lombriz (*Eisenia foetida*)**

POR:

ROSALIA ALCANTAR GARCÍA

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL TÍTULO DE:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2003.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA " ANTONIO NARRO "
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

MODIFICACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE
Lodos Residuales con la Aplicación de la
Lombriz (*Eisenia foetida*)

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR:
ROSALIA ALCANTAR GARCÍA
REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

PRESIDENTE DEL JURADO

M.C. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL

Hector Madinaveitia

DR. HECTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL SUPLENTE

MC. ARMANDO LUÉVANO GONZÁLEZ

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ



COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS
UNIDAD LAGUNA

TORREÓN, COAHUILA.

DICIEMBRE DE 2003.

DEDICATORIAS:

A MI MADRE:

JUANA GARCIA CRUZ

Con todo mi corazón le dedicó mi Tesis y mi Título. Gracias por darme la oportunidad de lograr la meta que me había fijado, por enseñarme a vivir con rectitud y humildad. Gracias mamá por ser como es, por ser mi amiga, por quererme mucho y por apoyarme siempre.

A MIS HERMANOS:

DUVELSA ALCANTAR GARCIA.

Eres mi ejemplo, de ti he aprendido a ser fuerte y luchar contra todo para salir adelante, gracias por ser mi modelo a seguir.

ANTONIO ALCANTAR GARCIA.

Gracias por brindarme alegrías, por ser mi motivo para seguir luchando, por comprenderme, apoyarme y estar conmigo siempre que lo necesito.

A MIS ABUELITOS:

Gracias por confiar en mí, por apoyarme en mis decisiones y brindarme la oportunidad de triunfar en la vida, los quiero mucho.

A MI TIO:

CARLOS GARCIA CRUZ.

Toda mi vida voy a estar agradecida con usted por estar cuando más lo necesitaba y porque confió en que lograría lo que me había propuesto.

A MI NOVIO:

TITO ZARATE LOPEZ.

Gracias por estar siempre a mi lado acompañándome en cada paso que doy tanto en las buenas como en las malas, gracias por ayudarme siempre que lo necesito, por todo el cariño que me has demostrado siendo también mi amigo. Te quiero mucho.

A MIS HIJOS:

Aunque aún no existen ya estaban en mi pensamiento y en mi corazón, por ustedes siempre luche. Los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS:

Gracias por darme la oportunidad de vivir, por darme la fuerza que siempre necesite y por estar siempre a mi lado.

A MI FAMILIA:

Gracias a mis Tíos, primos y sobrinos por enseñarme a vivir con alegría, por permitirme crecer en un ambiente sano, lleno de valores y ambiciones.

A MI ALMA MATER:

Gracias por permitirme realizar la ultima etapa de mis estudios satisfactoriamente porque a pesar de estar lejos de mi familia pase momentos felices en tus aulas y pasillos.

AL M.C. ALEJANDRO MORENO RESENDEZ:

Gracias por ser mi asesor y mi amigo, y por darme la oportunidad de hacer esta Tesis con usted.

A MIS ASESORES:

Gracias por ayudarme a cumplir una meta más revisando esta investigación y por brindarme sus conocimientos.

A MIS AMIGOS:

Gracias por estar siempre conmigo compartiendo momentos tristes y alegres, por regalarme su amistad incondicional.

CONTENIDO

Página

ÍNDICE DE CUADROS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS DEL ÁPENDICE.....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	3
1.1 OBJETIVOS	6
1.2 HIPOTESIS	6
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	7
2.1 PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.	7
2.2 LODOS RESIDUALES.	8
2.2.1 COMPOSICIÓN DEL LODO RESIDUAL.	9
2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.....	10
2.2.3 MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.	12
2.2.4 APLICACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.....	15
2.3 LOMBRIZ DE TIERRA.	17
2.3.1 PRINCIPALES ESPECIES EMPLEADAS PARA LA CRÍA INTENSIVA DE LAS LOMBRICES.....	20
2.3.2 LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (<i>Eisenia foetida</i>).....	21
2.3.3 VERMICOMPOSTEO.	22
2.4 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES CON LOMBRICES.	24
2.5. IMPORTANCIA DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.	25
2.5.1 pH.....	25
2.5.2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE).....	26
2.5.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CCI).	26
2.5.4 MATERIA ORGÁNICA	27
2.5.5 RELACION DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) Y PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI).....	28

III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE LA COMARCA LAGUNERA.....	29
3.2 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.	29
3.3 CONDICIONES DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO.	29
3.4 MATERIAS PRIMAS Y ORGANISMOS UTILIZADOS.....	29
3.4.1 LODO RESIDUAL.....	30
3.4.2 ESTIÉRCOLES.	30
3.4.3 PAPEL PERIÓDICO.	31
3.4.4 LOMBRIZ.	31
3.5 COMPOSICIÓN DE LOS SUSTRATOS.	31
3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL.	32
3.7 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO.....	33
3.7.1 ENSAYOS PRELIMINARES.	33
3.7.2 MANEJO DE LOS LODOS CONTENIDOS EN LOS RECIPIENTES.	33
3.7.3 MUESTREO DE LOS TRATAMIENTOS.....	34
3.7.4 RIEGOS.	35
3.7.5 AIREACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	35
3.7.6 REGISTRO DE TEMPERATURA.....	35
3.8 MÉTODOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS TRATAMIENTOS.	35
3.8.1 PARÁMETROS MEDIDOS.....	36
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	40
4.1 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE pH.	40
4.2 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.	42
4.3 COMPORTAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS.	45

4.4 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA.....	47
4.5 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CARBONO TOTAL.....	49
4.6 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES RAS (RELACIÓN ADSORCIÓN DE SODIO) Y PSI (PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE).....	51
V. CONCLUSIONES.....	56
VI. RECOMENDACIONES.....	58
VII. RESUMEN.....	59
VIII. BIBLIOGRAFIA REVISADA.....	61
IX. ÁPENDICE.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		Página
1	Composición de los sustratos de los diferentes residuos que se utilizaron	32
2	Numero de lombrices por tratamiento en el Primer Conteo	34

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

A1	Número de Lombrices encontradas en los tratamientos evaluados, durante el segundo conteo (del 10 de Junio al 9 de Julio) y tercer conteo (del 10 de Julio al 9 de Agosto). UAAAN-UL. 2003.	67
A2	Comportamiento de la Temperatura, a partir del 31 de marzo al 13 de abril de 2003. UAAAN-UL.	68
A3	Comportamiento de la Temperatura, del 15 de abril al 5 de mayo de 2003. UAAAN-UL.	68
A4	Valores de pH encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	69
A5	Valores de CE (mS/cm) encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	69
A6	Valores de CIC (meq/L) encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	70
A7	Porcentaje de MO encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	70
A8	Cantidad de CT encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	71
A9	Valores de RAS encontrados en el análisis químico realizado a los Tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	71
A10	Valores de PSI encontrados en el análisis químico realizado a los Tratamientos. UAAAN-UL. 2003.	72

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico		Página
1	Valores de pH de las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices	41
2	Valores de CE en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices	43
3	Valores de CIC de las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices	46
4	Porcentaje de Materia Orgánica en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices	48
5	Contenido de Carbono Total en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices	50
6	Valores de RAS en las muestras de los lodos inoculados con lombrices	52
7	Valores de PSI en muestras de lodos residuales inoculados con lombrices	55

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la población, el desarrollo de la urbanización y la diversificación de los procesos industriales han provocado problemas ambientales que se reflejan en la contaminación del aire, suelo y agua, los cuales al mismo tiempo acarrearán problemas secundarios que no por eso dejan de ser dañinos para la salud humana y riesgos en el ambiente. Un sinnúmero de elementos químicos elaborados por la sociedad, junto a una mayor cantidad de materia orgánica son dispuestos en los cursos normales de agua, depositándose en lagunas, lagos, ríos y mares. La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) aumenta y el limitado oxígeno disuelto no es suficiente para posibilitar la recuperación en forma natural de dichos elementos. La naturaleza no es capaz por sí sola de realizar el proceso de autopurificación de los cursos de agua.

Las nuevas regulaciones ambientales, las preocupaciones sociales, y una creciente conciencia ambiental a través del mundo han activado la búsqueda de nuevos productos y procesos que sean compatibles con el medio ambiente. La sustentabilidad, la ecología industrial, la ecoeficiencia, y la química verde son los nuevos principios que están guiando el desarrollo de la nueva generación de productos y procesos (Narayan, 2001).

Cardoso y Ramírez (2002) mencionan que en México existen 914 plantas de tratamiento de aguas residuales que generan grandes cantidades de lodos residuales, del agua que es tratada. En el país se tiene una producción promedio de $0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ o $46,449 \text{ m}^3/\text{día}$ de lodo residual, que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente (Sandoval *et al.*, 2000).

El manejo de los lodos residuales en las plantas pequeñas es problemático debido al alto costo para la instalación de reactores de estabilización de estos materiales, de los sistemas de deshidratación y la transportación a sitios de eliminación. Muchas de estas plantas solo tienen lechos de secado donde el lodo es deshidratado, para posteriormente deshacerse de él depositándolo en los rellenos sanitarios (Cardoso, y Ramírez, 2002). Sin embargo, la experiencia obtenida a lo largo de los años con relación a la descarga de los lodos residuales municipales en los basureros, ha demostrado que la depositación de estos residuos, que no son preclasificados ni tratados, pueden provocar una considerable contaminación ambiental a través de los lixiviados y los gases que se generan en los lugares donde se realiza su depositación.

Otro punto importante relacionado con la descarga de los lodos residuales, es la alta demanda de áreas utilizadas como sitios de depósito. Además, los sitios de disposición requieren de mantenimiento y monitoreo regular después de que ha finalizado la depositación. Aunque al parecer, debido a las políticas actuales, el costo asociado con estas medidas se ha dejado como herencia a las futuras generaciones (Damiecki, 2002).

El tratamiento de los lodos y su disposición corresponden a las operaciones más costosas de una planta de tratamiento de aguas residuales (Castillo *et al.*, 2001). Por esta razón es necesario buscar tecnologías simples con bajos costos de operación y mantenimiento que permitan la utilización de los componentes orgánicos una vez que éstos sean estabilizados y se lleve a cabo la eliminación de organismos patógenos. En este sentido el vermicomposteo es una tecnología innovadora para el tratamiento de lodos de aguas residuales en México (Cardoso y Ramírez, 2002).

El vermicomposteo es el proceso de transformación de los residuos orgánicos donde se utilizan lombrices para descomponer la materia orgánica, la vermicomposta se origina por la acción de las lombrices, este material es expulsado a través del tracto digestivo, por lo tanto son las deyecciones sólidas de las lombrices durante el procesos de descomposición de la materia orgánica. La vermicomposta tiene una estructura particularmente fina y contienen elementos nutritivos en formas que están fácilmente disponibles para la asimilación de las plantas.

A través del vermicomposteo o resolución del manejo de lodos residuales, para plantas pequeñas se ofrece una alternativa simple y económica, que además permite tratar el problema de una forma natural, y una vez que los lodos son tratados por las lombrices es posible reincorporarle al suelo componentes orgánicos en una fase de descomposición (Cardoso y Ramírez, 2002).

La incorporación de lodos residuales al suelo, una vez que son tratados, es de gran importancia para la actividad agrícola. Campaña *et al.* (s/f) han señalado que la aplicación de biosólidos en suelos es reconocida como una alternativa de disposición para los barros agroindustriales y cloacales, porque estos pueden ser tratados a un costo reducido y de una manera ambientalmente controlada. Por otra parte Butt (1999) ha destacado que el reciclaje de los lodos residuales en la tierra proporciona a los productores la oportunidad de reducir los costos por la aplicación de la fertilización orgánica.

Por lo anteriormente señalado este experimento preliminar pretende aprovechar la capacidad que tiene la lombriz (*Eisenia foetida*) de transformar y/o descomponer los lodos residuales de una planta tratadora de aguas residuales estableciéndose los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

- Determinar el efecto de la lombriz (*Eisenia foetida*) sobre la dinámica de las propiedades químicas de los lodos residuales provenientes de una planta tratadora de aguas residuales.
- Evaluar la capacidad biotransformadora de la lombriz sobre los lodos residuales.

1.2 HIPOTESIS

Los lodos residuales de una planta tratadora de aguas negras pueden ser modificados en sus propiedades químicas por la acción de las lombrices *Eisenia foetida*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA.

2.1 PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES.

Cada persona consume un promedio de 570 L de agua al día. Toda el agua que llega a la casa por la tubería, sale de la casa por otra tubería distinta; el agua fresca se convierte en agua residual. El agua residual proviene de hogares, escuelas, negocios, industrias, y de la escorrentía producida por tormentas. En las ciudades, el agua residual se va por las cloacas hasta las plantas de tratamiento de aguas residuales (Anónimo, s/f). En México existen 914 plantas de tratamiento de aguas residuales instaladas, y conforme a un reporte de la Comisión Mexicana del Agua, una tercera parte de estos sistemas de tratamiento tienen fluidos de menos 60 L/s (Cardoso y Ramírez, 2002).

En México sólo un bajo porcentaje de aguas residuales urbanas e industriales son tratadas adecuadamente. La mayor parte de las aguas residuales son utilizadas para riego agrícola sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y de los animales debido al alto contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante (Stehouwer, 1999).

Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99.9% de agua en su estado conocido como de agua potable y de un 0.1% por peso de sólidos, sean éstos disueltos o suspendidos. Este 0.1% referido es el que requiere ser removido para que el agua pueda ser reutilizada. El agua sirve o actúa como medio de transporte de estos sólidos, los que pueden estar disueltos, en suspensión o flotando en la superficie del líquido (Aguamarket, 2003).

La gran cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales son potenciales productoras de lodo originado como desecho del proceso de tratamiento, residuo que si no es tratado y dispuesto de forma adecuada, podría llegar a convertirse en un importante problema ambiental (Stehouwer, 1999; Molina, *et al.*, 2001). El tratamiento de lodos y su disposición corresponden a las operaciones más costosa de una planta de tratamiento de aguas residuales (Castillo *et al.*, 2001).

La mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales instalados en Latinoamérica no incluyen el manejo y disposición de los lodos residuales que generan. Los métodos de disposición utilizados actualmente son, esencialmente, basureros a cielo abierto, vertidos al drenaje o a las corrientes superficiales, los rellenos sanitarios y la incineración. Esto provoca contaminación ambiental debido a los altos contenidos de organismos patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos que presentan estos lodos (Stehouwer, 1999).

2.2 LODOS RESIDUALES.

El desarrollo urbano y la legislación sobre el tratamiento de aguas residuales han traído como consecuencia un incremento en la generación de lodos residuales, producto del tratamiento de las descargas de drenaje de origen doméstico e industrial. El lodo residual es un líquido con gran contenido de sólidos en suspensión, proveniente del tratamiento de aguas residuales o de otros procesos similares (Anónimo, s/f).

Stehouwer, (1999) ha señalado que el término "Lodo residual" se refiere generalmente a los sólidos que se generan del tratamiento del agua residual y "biosólido" se refiere específicamente al material que sufre suficiente tratamiento de estabilización y reducción de patógenos, y que es de calidad suficientemente alta para ser aplicado al suelo.

El lodo residual es un material parecido al barro que se forma a partir de desechos industriales o cloacales; los sedimentos son fragmentos de rocas y minerales de grano fino que se han depositado en el fondo de una masa de agua (Aguamarket, 2003). En otras palabras el lodo residual es un subproducto de la mayoría de los procesos de tratamiento de aguas residuales, cuya evacuación se realiza mediante vertimiento a la tierra, entierro, incineración o descarga al mar.

El lodo de tratamiento de aguas residuales es valioso como fuente de nutrientes y como acondicionador del suelo por su gran contenido de materia orgánica (Aguamarket, 2003).

2.2.1 COMPOSICIÓN DEL LODO RESIDUAL.

Los lodos residuales contienen cantidades significativas de nutrientes esenciales para las plantas y materia orgánica que pueden ser benéficos para la producción de cultivos. Igualmente contienen elementos trazas, compuestos orgánicos, y organismos patógenos que pudieran perjudicar al ser humano o al ambiente si no son tratados apropiadamente. Los lodos residuales contienen materia orgánica y una gran cantidad de organismos patógenos. Otros compuestos que también forman parte de los lodos residuales son las dioxinas, los furanos, elementos trazas y PCB (Bifenilo policlorado), etc (Arlt *et al.*, 2002; Stehouwer, 1999).

El lodo residual, además de contener componentes muy valiosos, como materia orgánica y elementos (macro y micro), contiene componentes problemáticos, como metales pesados, contaminantes orgánicos y organismos patógenos. Esta composición no sorprende dado el origen de las aguas negras, sin embargo, hoy en día debido al desarrollo del conocimiento científico se puede potenciar el valor de los componentes útiles y disminuir la peligrosidad de los otros (Sandoval *et al.*, 2000).

Los lodos residuales aportan microelementos como Hierro (Fe), Zinc (Zn) y Cobre (Cu) a los suelos calcáreos deficientes, incluyen niveles elevados de metales pesados entre los cuales se encuentran Cadmio (Cd) y Plomo (Pb). Los lodos de aguas negras también pueden ser fuentes de lenta liberación de Nitrógeno (N) y Fósforo (P), a diferencia de los fertilizantes minerales, y por consiguiente éstos podrían ser utilizados para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y consecuentemente su fertilidad (Gil *et al.*, 2001).

2.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.

En las plantas tratadoras de aguas negras municipales se generan diferentes tipos de lodos; lodos primarios, secundarios y terciarios los cuales pueden ser divididos de acuerdo a la tecnología de limpieza utilizada (Arlt *et al.*, 2002). Sin embargo bajo ciertas condiciones las aguas residuales pueden ser pretratadas. El tratamiento preliminar de las aguas residuales crudas incluye una protección o malla para eliminar grandes objetos como palos, botellas, papel, trapos y arena. Los sólidos de esta etapa del tratamiento no llegan a ser parte de los lodos residuales (Stehouwer, 1999).

En función del tipo de lodo se han generado diversos tratamientos los cuales se describen a continuación.

1) El tratamiento primario, también conocido como primera etapa de limpieza de la planta, incluye la sedimentación gravitacional y procesos de flotación que eliminan aproximadamente la mitad de la materia sólida que entra a esta etapa. La materia sólida (orgánica e inorgánica) que se obtiene durante esta etapa es conducida al fondo de los depósitos donde se tratan las aguas negras. Este material constituye el lodo primario. La materia flotante (aceite, grasa, madera y materia vegetal) que es desnatada de la superficie del agua durante el tratamiento primario es dispuesta separadamente y no llega a ser parte del lodo primario (Stehouwer 1999; Arlt *et al.*, 2002).

2) El tratamiento secundario es un proceso biológico controlado y acelerado en el que se utilizan microorganismos de manera natural para degradar la materia orgánica suspendida y disuelta en el agua residual.

La materia orgánica es convertida en dióxido de carbono que es liberado a la atmósfera y en masa microbiana. En las piletas de sedimentación secundaria, la masa microbiana se asienta en el fondo y posteriormente es removida. Este material es llamado lodo secundario (Stehouwer, 1999).

Lodos secundarios o lodos excedentes. Son generados en el proceso biológico de la planta y consisten principalmente de la masa bacteriana producida en la etapa de este proceso aeróbico. La meta de esta segunda etapa de limpieza de la planta es remover los elementos nutritivos disueltos en la fase del agua por medio de diversos microorganismos, donde destaca la participación de las bacterias utilizando estos compuestos como un substrato (Arlt *et al.*, 2002).

Algunas plantas de tratamiento también incluyen tratamiento terciario que es una etapa diseñada para reducir otros elementos como Nitrógeno y Fósforo, sólidos suspendidos, y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el agua residual. El Fósforo contenido en los lodos secundarios y que es precipitado químicamente se considera lodo terciario (Stehouwer, 1999).

3) Los lodos terciarios. Son generados simultáneamente en otro proceso de limpieza que se realiza por medio de un proceso de precipitación química (Arlt *et al.*, 2002).

2.2.3 MÉTODOS PARA EL TRATAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.

Las tecnologías más utilizadas hasta el momento para evitar la problemática de la contaminación de lodos residuales comienzan a ser reemplazadas por nuevos procedimientos tales como la digestión alcalina, el composteo y la aplicación del lodo de manera directa al suelo, previa estabilización con cal o digestión aerobia o anaerobia.

Estos procedimientos permiten emplear lodos en agricultura con el fin de aprovechar sus características ya que los lodos puede utilizarse como acondicionadores de suelos, y como fertilizantes para la recuperación de suelos erosionados, en parques, áreas forestales y jardines, así como en viveros (Esteller, s/f).

Entre los métodos que se utilizan para el tratamiento de los lodos residuales se destacan los señalados por (Stehouwer, 1999):

- **ESPESAMIENTO.**

Los lodos sólidos son concentrados uno a uno por asentamiento, por gravedad o por inyección de aire, lo que causa que el lodo sólido flote, permitiendo su separación. El lodo retiene propiedades del líquido, pero los sólidos se incrementan de 5 a 6 %.

- **ELIMINACIÓN DE AGUA.**

Para este tratamiento se utilizan varios procesos: Paso de aire seco sobre los lechos de arena, centrifugación, y filtración.

Una vez que se aplican estos procesos, se obtienen incrementos en el contenido de los sólidos del 15 a 30 %. El aire seco reduce la presencia de microorganismos patógenos, y la centrifugación y filtración provocan pérdida de diversos elementos nutritivos.

- **DIGESTIÓN ANAERÓBICA.**

Es uno de los métodos más ampliamente utilizados para el tratamiento de los lodos. El lodo es mantenido sin aire de 15 a 60 días a temperaturas que oscilan de 20 a 55°C. Las bacterias anaeróbicas se alimentan de los lodos, produciendo metano y bióxido de carbono. En algunas plantas de tratamiento, el metano es colectado e utilizado para mantener la temperatura del tratamiento. Como producto se obtienen grandes cantidades de sólidos, se reducen olores, disminuyen los sólidos volátiles, se reducen los patógenos viables, y se conservan los elementos nutritivos en las especies vegetales.

- **DIGESTIÓN AERÓBICA.**

El lodo es agitado con aire u oxígeno durante un periodo de 40 a 60 días a temperaturas de 15 a 20°C. Las bacterias aeróbicas se alimentan del lodo, produciendo bióxido de carbono. Con este método se incrementa el contenido de los sólidos, se reducen los olores, se disminuyen los sólidos volátiles, se reducen los organismos patógenos viables, y usualmente ocurre algo de pérdida de N₂.

- **ESTABILIZACIÓN ALCALINA.**

Para este proceso se utiliza material altamente alcalino, comúnmente la cal (CaOH), la cual se aplica para incrementar el pH de los lodos residuales hasta valores de 12 durante 2 horas. El pH debe permanecer por encima de 11.5 durante un periodo adicional de 22 horas, Este proceso disminuye los sólidos volátiles, reduce los organismos patógenos viables, se provoca la pérdida de amoníaco (NH₃) y el fósforo (P) puede ser transformado a formas no fácilmente disponibles para la planta.

- INCINERACIÓN.

La incineración permite el aprovechamiento energético de los lodos, aunque este procedimiento presenta el inconveniente de requerir instalaciones que exigen una fuerte inversión económica y personal altamente especializado. El poder calorífico del lodo depende exclusivamente de su contenido de materia orgánica, aceptándose un valor promedio de 23 MJ/Kg para un 100 % de materia orgánica en la base de 100 % de residuo seco. Desde el punto de vista ambiental se debe tener presente que los metales pesados pueden formar especies volátiles en la zona de combustión, condensándose sobre las partículas de ceniza flotante, e incluso algunos como Arsénico (As), Mercurio (Hg) y Plomo (Pb) se pueden volatilizar por efecto de la temperatura, lo que hace desaconsejable este procedimiento (Chicón L., s/f).

Muchos de los métodos de tratamiento de los lodos residuales son altamente técnicos y tienen requisitos muy específicos y el costo de su operación es alto. Debido a lo anterior, en años recientes, los investigadores se han interesado, cada vez más, en utilizar procesos biológicos para provocar la estabilización de los residuos orgánicos que incluyen el uso de lombrices de tierra para descomponer y estabilizar los residuos orgánicos.

La capacidad de algunas lombrices para consumir una amplia gama de residuos orgánicos tales como los lodos de aguas negras, los residuos animal, los residuos de cultivos y las basuras industriales ha sido recientemente reconocido (Atiyeh *et al.*, 2000).

2.2.4 APLICACIÓN DE LOS LODOS RESIDUALES.

Aunque la utilización de los lodos residuales en la agricultura es un método común y de bajo costo para la disposición de esta clase de materia orgánica, experiencias del pasado y del presente han demostrado, que el conocimiento acerca de los compuestos orgánicos e inorgánicos en los lodos, los cuales tienen un potencial bio - y ecotoxicológico, ha sido con frecuencia insuficiente. Además, los efectos de estos compuestos sobre los recursos naturales bióticos y abióticos no han sido investigados satisfactoriamente (Arlt *et al.*, 2002).

Sin embargo, derivado de diversos ensayos experimentales se ha establecido que, la aplicación de los lodos de aguas negras tiene un gran potencial para la recuperación de suelos degradados, ya que estos materiales mejoran el crecimiento de las plantas y esto contribuye a controlar el proceso de desertificación. El suelo puede ser un buen receptor de residuos orgánicos pero el uso indiscriminado de lodos en suelos agrícolas puede llevar a la alteración de sus características, a la contaminación de las aguas subterráneas, de ciertos cultivos o de la cadena trófica (Sandoval *et al.*, 2000).

La aplicación de lodos residuales a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados por razones prácticas y económicas. Los lodos residuales tienen valor fertilizante y mejoran también las propiedades físicas de los suelos. La productividad del suelo aumenta frecuentemente, a causa del llamado efecto de la materia orgánica que se produce después de la aplicación de lodos residuales (Quinteiro *et al.*, 1998).

Los microelementos Zn y Cu (con niveles muy bajos en suelos calcáreos) podrían ser la razón del incremento en el crecimiento de las plantas ya que los macroelementos parecen tener solo efectos ligeros (Gil *et al.*, 2001).

La aplicación de las enmiendas orgánicas a los suelos pueden incrementar el nivel de la materia orgánica en los suelos agrícolas pobres en materia orgánica. La aplicación repetida de una composta agrícola, una composta de lodos residuales municipales y la composta de residuos de papel periódico a un suelo arenoso limoso generó un efecto positivo sobre la fertilidad del suelo. En general, la composta de los lodos residuales municipales tienen un efecto positivo fuerte sobre las propiedades del suelo (Burgos *et al.*, 2001).

La aplicación de N como lodo fue más eficiente que el fertilizante comercial; esto puede estar relacionado a la lenta liberación de N del material (Sandoval *et al.*, 2000).

También se pueden aprovechar los lodos como mejoradores de suelos, ya que, además de proporcionar nutrientes, facilitan el transporte de los mismos, incrementan la retención de agua y mejoran el suelo cultivable. Por tanto, al uso estrictamente agrícola hay que sumar la posibilidad de que se les pueda utilizar para regenerar suelos estériles o bien tratar suelos de bosques, lo que permitiría mejorar la cubierta vegetal, reduciendo en una menor escorrentía –lo cual permitiría controlar grandes avenidas como consecuencia de lluvias torrenciales– y una mayor capacidad de infiltración de esos suelos –mejorando por tanto la recarga de los acuíferos– (Chicón L., s/f).

La falta de un mayor conocimiento sobre el uso de los lodos residuales como materiales fertilizantes, debido a su alto contenido de materia orgánica, elementos nutritivos, organismos patógenos y metales pesados, obliga a establecer trabajos experimentales, que permitan contar con una explicación más precisa sobre el impacto de estos materiales sobre las propiedades de los suelos, el medio ambiente y las cadenas tróficas (Sandoval *et al.*, 2000).

2.3 LOMBRIZ DE TIERRA.

La lombriz de tierra es un organismo invertebrado, es el más grande anélido "megataladrador" de la clase Oligochaeta, es obicua y se encuentran entre los grupos de animales terrestres más antiguos, con tamaños de población que oscilan entre 0 y 400 individuos por metro cuadrado. Sin embargo, también se han reportado densidades superiores a las 2,000 lombrices por metro cuadro en suelos con altos contenidos de materia orgánica (Daane *et al.*, 1996; Blakemore, 1999).

La clase Oligochaeta (3100 especies), comprende a las lombrices de tierra y pequeñas formas de lombrices acuáticas. Sus características según Reines (1998) son:

- De agua dulce, marino y terrestres.
- Cabeza no diferenciada.
- Sin apéndices sensoriales ni parápodos.
- Segmentación externa bien marcada en correspondencia con la interna.
- Pocas setas, de ahí el nombre: Oligo, poco, y chaeta, seta.
- Celoma bien desarrollado.
- Hermafroditas.
- Gónadas y gonoductos diferenciados.
- Desarrollo directo, sin larvas.
- Con clitelo.

Las verdaderas lombrices de tierra se distribuyen en las siguientes familias:

- Familia Lumbricidae.
- Familia Magascolecidae.
- Familia Eudrilidae, etc.

De acuerdo con Reines (1998), los criterios para diferenciar las especies, implican numerosas características del sistema reproductor y otros sistemas de órganos, entre los cuales se consideran:

- Estructura externa. La anatomía externa de las lombrices de tierra es muy homogénea. Presentan el cuerpo dividido en: Prostomio, Metastomio y Pígidio.
- Quetas. Son proyecciones quitinosas a manera de pelos muy pequeños.
- Clitelo. Zona glandular a manera de cinturón que abarca un número variable de segmentos. Aparece sólo cuando el animal está sexualmente maduro, o sea, cuando es adulto y se encuentra apto para reproducirse.
- Coloración. Algunas presentan cierto tipo de pigmentación, entre las cuales destaca el rojo, verde y azul.
- Sistema tegumentario y muscular. La pared del cuerpo de las lombrices de tierra está constituida de la siguiente forma: cutícula, epidermis, tejido conectivo, tejido muscular y peritoneo.
- Sistema digestivo. El aparato digestivo de las lombrices está constituido por un tubo recto que corre a lo largo de todo el cuerpo del animal, desde la boca hasta el ano. Este sistema está formado por: cavidad bucal, faringe, buche, molleja, esófago, glándulas calcíferas, intestino, tiflosol y ano.
- Sistema circulatorio e intercambio de gases. Constituye un sistema cerrado ya que la sangre fluye de vasos sanguíneos y nunca cae en senos o lagunas. Básicamente el sistema circulatorio está compuesto por: vaso dorsal, vaso ventral, vaso subneural, vasos laterales y red de capilares.

- Sistema nervioso. El sistema nervioso de las lombrices es del tipo glanglionar escaliforme, y se encuentra básicamente formado por: ganglio cerebroide, conectivos circunfaríngeos, ganglio subfaríngeo, cadena ventral y plexo nervioso.
- Sistema excretor. Este sistema está formado por órganos especiales denominados metanefrideos, cuya función es eliminar los residuos del metabolismo.
- Sistema reproductor. Las lombrices son hermafroditas, es decir, presentan los órganos reproductores masculinos y femeninos en un mismo individuo. Sin embargo no se autofecundan, sino que se reproducen por fecundación cruzada.
- Aparato reproductor masculino. El aparato masculino tiene una gran variabilidad en cuanto a número y posición de los diferentes órganos en las distintas especies y grupos, de ahí que tenga tanta importancia en la clasificación de las lombrices. Básicamente consta de: Testículos, vesículas seminales, embudos colectores, vasos deferentes, próstata y poros genitales.
- Aparato reproductor femenino. El aparato reproductor femenino básicamente consta de: ovarios, ovisacos, oviductos, poro genital y espermatecas.
- Copulación. Cuando los animales están maduros sexualmente ocurre el acoplamiento o cópula para realizar el intercambio de esperma, pues como ya se dijo no ocurre la autofecundación.
 Dos individuos se unen ventralmente y de forma invertida, es decir, con las regiones anteriores en sentidos opuestos.

- Ciclo de vida. En el ciclo de vida de las lombrices de tierra existen períodos transitorios entre un estado y otro y es difícil diferenciarlos. Por lo tanto se han determinado las siguientes etapas y/o fases: etapa embrionario y etapa posembrionaria; fase posnatal, fase juvenil, fase clitelada (en crecimiento y decremento) y fase senescente.

2.3.1 PRINCIPALES ESPECIES EMPLEADAS PARA LA CRÍA INTENSIVA DE LAS LOMBRICES.

Recientemente se ha desarrollado un resurgimiento en el interés sobre las lombrices, conducido por preocupaciones ambientales y económicas, particularmente la necesidad de conocer y utilizar sus funciones dentro de la agricultura sustentable, y para explotar su potencial para reciclar "residuos" orgánicos (Blakemore, 1999).

De las aproximadamente 3100 especies componentes del grupo zoológico al que pertenecen las lombrices de tierra, solo unas cuantas cumplen con los requisitos para ser empleadas en la lombricultura. Las dos especies más frecuentemente criadas son las lombrices de estiércol, *Eisenia foetida*, y la lombriz roja, *Lumbricus rubellus*, debido a que estas especies son bastante prolíficas y adaptables a una amplia gama de ambiente de crecimiento.

Las especies *African nightcrawlers*, *Perionyx excavatus* y *Eudrillus eugeniae* también se pueden criar (Beetz, 2001). La lombriz tigre (*Eisenia foetida*) es la más apropiada para la producción intensiva (State of Victoria, 2002).

La vermicomposta puede ser utilizada como un mejorador del suelo. Los métodos para la crianza de las lombrices oscilan desde las técnicas extremadamente simples tales como cajas hasta sistemas automáticos complejos con reactores de flujo continuo y colección automática de la vermicomposta y de los subproductos metabólicos. En todos estos sistemas, frecuentemente se aplica estiércol orgánico fresco a la superficie de la cama de las lombrices donde se concentran éstas. El estiércol fresco debe ser cuidadosamente agregado para mantener las condiciones aeróbicas y evitar la humedad excesiva. Los estiércoles sólidos son aplicados a las cunas (camas) de lombrices que son mantenidas en una instalación de invernadero cerrada. Después del período de procesamiento, el producto final no tiene olor y posee excelentes propiedades físicas para utilizarse como medio de crecimiento para las plantas (Anónimo, s/f).

2.3.2 LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*).

Las lombrices utilizadas en el vermicomposteo son llamadas lombrices rojas (*Eisenia foetida*), también conocidas como culebras rojas, lombrices de estiércol, lombrices híbridas rojas o tigre, que pertenecen a la familia Lumbricidae; esta especie ha sido seleccionada para los sistemas de crianza intensivos debido a que presenta un índice de reproducción muy alto y un escaso tiempo entre generación y generación si se compara con las especies que habitan el suelo como las lombrices *Lumbicus rubellus* (Spurgeon, 2000). Las lombrices de la especie *E. foetida* se reproducen fácilmente y habitan lugares con alto contenido de materia orgánica (Butt, 1999).

La temperatura óptima para la crianza de la lombriz roja es de 15.5 a 26.6°C. No debe permitirse que la temperatura de la cama alcance a congelarse o se eleve por encima de los 28°C (Cochran, 1998). Las lombrices son sensibles a las fluctuaciones de acidez, y requieren de un pH entre 6.8 y 7.2.

Debido a que la mayoría de los materiales orgánicos que se utilizan como cama para el desarrollo de las lombrices tienden a ser ácidos durante la descomposición, el pH debe ser evaluado periódicamente y si es necesario se debe agregar cal (Beetz, 2001).

Las lombrices se desarrollan mejor con un porcentaje de humedad entre 70 y 90 % y ellas deben mantener su piel húmeda para respirar (las lombrices respiran a través de su piel). Por lo tanto los materiales para cama de desarrollo se deberán de mantener a un 70 % de humedad (UCSC, s/f).

Las lombrices necesitan aire para respirar, producen estiércol como otros animales, y su medio ambiente debe mantenerse en las condiciones más adecuadas o ellas morirán o lo abandonarán (State of Victoria, 2002).

El volteo es necesario, no tan solo para airear, sino también para homogeneizar la mezcla (ya sea de diferentes residuos, ya sea de diferentes tamaños de partículas) e intentar que todas las zonas consigan una temperatura uniforme (Colom y Puigbó, 2001).

La piel de las lombrices reacciona a la luz e inmediatamente tienden a enterrarse dentro de la cama para mantenerse alejadas de la luz (NCSU, s/f; Cochran, 1998).

2.3.3 VERMICOMPOSTEO.

El vermicomposteo es el proceso de utilizar lombrices que descomponen los materiales orgánicos en un material de gran calidad, rico en elementos nutritivos denominado vermicomposta (EPA, 1997; Cochran, 1998).

En el proceso de alimentación, las lombrices fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y la velocidad de descomposición de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica inestable es oxidada y estabilizada.

En condiciones ideales, las lombrices reciclarán su propio peso cada 24 horas, alcanzan su madurez sexual en un período de 60 a 90 días, carecen de dientes. Como los pollos, ellas tienen una molleja con pequeñas piedras con las que muelen su alimento, forman túneles en el subsuelo que facilitan el proceso de aireación. Esta actividad facilita la entrada de oxígeno que ayuda al crecimiento de las plantas (NCSU, s/f; Cochran, 1998).

El producto final, comúnmente denominado vermicomposta y obtenido como el residuo orgánico que pasa a través del intestino de las lombrices, es bastante diferente del material original. Las vermicompostas son materiales finamente divididos como el Peat con alta porosidad, aireación, drenaje y elevada capacidad de retención de humedad. Además tienen una enorme área superficial, que le proporciona una fuerte absorbabilidad y retención de elementos nutritivos. Las vermicompostas contienen elementos nutritivos en formas que son fácilmente asimilables por las plantas tales como nitratos (NO_3), fósforo intercambiable, potasio soluble, calcio, y magnesio. En consecuencia, las vermicompostas deben poseer un gran potencial en la industria hortícola y agrícola como medio de crecimiento para la planta (Atiyeh *et al.*, 2000).

Dado el medio ambiente adecuado (correcto), las lombrices trabajarán para digerir los residuos y los materiales de la cama en una forma más rápida que cualquier otro método de composteo. El material pasará a través del cuerpo de las lombrices y se convertirá en vermicomposta (Cochran, 1998).

La vermicomposta es bastante consistente a lo largo del año debido a que la composición del estiércol no cambia durante el año y el invernadero utilizado elimina las fluctuaciones ambientales extremas (Anónimo, s/f).

2.4 TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES CON LOMBRICES.

En este apartado se presentan 2 ejemplos de experimentos que se han realizado para tratar los lodos provenientes de plantas tratadoras de aguas negras por medio del vermicomposteo de la lombriz *Eisenia foetida*.

- Tratamiento de lodos residuales mediante compostaje y lombricultura.

En este trabajo se estudiaron 2 técnicas para tratar el lodo proveniente de una planta tratadora de agua servida de un Aeropuerto en Santiago, Chile, estas fueron "Compostaje y Lombricultura"; para ambos casos se utilizaron 3 materiales como sustrato: el lodo proveniente de la planta, el pasto de los jardines de la misma y viruta de madera; las variables medidas en la lombricultura fueron: Sólidos volátiles, coliformes fecales, *Salmonella*, huevos de helmintos, peso y volumen. Resultados: La reducción de peso lograda en el Compostaje fue algo menor que la lograda en la Lombricultura, la reducción de porcentaje de sólidos volátiles y coliformes fecales fue mayor y más rápida en la Lombricultura (Molina *et al.*, 2001).

- Vermicomposteo de lodos residuales.

Cardoso y Ramírez (2002), en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua realizaron pruebas de vermicomposteo de lodos residuales usando la lombriz *Eisenia foetida*. Los experimentos se desarrollaron a nivel de laboratorio y sistemas pilotos a escala. Las lombrices fueron dadas de comer en 3 dosis de lodo y agua de jacinto y manejadas a diferentes porcentajes de humedad.

Resultados que obtuvieron: la mejor mezcla fue la de 70 % de lodos residuales y 30 % de agua de jacinto, con 80 % de humedad y un promedio de 298 capullos/Kg de vermicomposta.

2.5. IMPORTANCIA DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.

Los lodos residuales, al igual que otros materiales como los suelos, presentan ciertas características químicas. En el caso de los lodos residuales, debido a su origen, estas características en la mayoría de las ocasiones, impiden que puedan ser utilizados como abonos orgánicos por su impacto sobre el suelo, la salud del hombre y el medio ambiente. Entre las principales propiedades químicas que presentan tanto los suelo como los lodos residuales destacan el pH, la Conductividad Eléctrica, la Capacidad de Intercambio Catiónico, el Porcentaje de Materia Orgánica, el Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI) y la Relación Adsorción de Sodio (RAS).

2.5.1 pH

El pH es el logaritmo negativo de la concentración de los iones de hidrógeno en los compuestos. El grado de acidez o alcalinidad de un material o compuesto, expresado en términos de la escala de pH, 0 a 14 donde el 7 es el valor neutro (NOM).

Cuando se determina la reacción de un suelo (acidez o alcalinidad) midiendo el valor de pH, se establece por ese mismo hecho la concentración de los iones hidrogeniones. Si predominan los hidrogeniones las condiciones son ácidas, lo cual se expresa mediante cifras de pH menores que 7; al contrario, la preponderancia de iones oxhidrilo indica alcalinidad, expresada en este caso mediante valores de pH mayores de 7 (Bohn y McNeal, 1993).

Clasificación del pH

Valores encontrados	Interpretación
menos de 4.3	Extremadamente ácido
4.3-4.9	Muy fuertemente ácido
5.0-5.4	Fuertemente ácido
5.5-5.9	Moderadamente ácido
6.0-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.3	Neutro o casi neutro
7.4-8.0	Alcalino
8.1-9.0	Fuertemente alcalino
mas de 9.0	Muy fuertemente alcalino

2.5.2 CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (CE)

La Conductividad Eléctrica es la propiedad que presentan la mayoría de los cuerpos sólidos que les permite conducir el flujo de la electricidad (NOM). La determinación de la conductividad eléctrica específica depende del numero de iones que contiene la muestra del material que se está analizando. A medida que la concentración ionica disminuye la conductividad eléctrica es menor; sin embargo, si la conductividad eléctrica es elevada, es porque la concentración de sales solubles a aumentado. Las conductividades bajas son evidencia de que la velocidad de movilización de elementos químicos es baja o de que algunos de ellos están totalmente ausentes en las muestras (López y López, 1985).

2.5.3 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CCI).

La química de los materiales es compleja, en parte por la capacidad del suelo por acumular iones.

Algunos nutrientes esenciales para las plantas forman parte de componentes insolubles orgánicos o inorgánicos que constituyen los lodos residuales, otros nutrientes son cationes, y pueden, por lo tanto, ser retenidos por el mecanismo de intercambio de cationes que pertenecen a estos materiales.

Los materiales sólidos con muy baja capacidad de intercambio de cationes son infértiles, pues no pueden retener un suministro adecuado de nutrientes de la planta; asimismo, estos materiales tienen por lo general poca capacidad de retención de agua (Palmer y Troch, 1979).

El intercambio de cationes domina los aspectos inorgánicos de la química del suelo. La capacidad de intercambio de cationes se halla asociada con los materiales coloides, incluidos en las partículas de arcilla y la materia orgánica que contengan los lodos residuales. Estas pequeñísimas partículas tienen áreas superficiales muy extensas por unidad de volumen o peso, las partículas contienen una carga negativa neta. Esto provoca que los iones cargados positivamente, como calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), sodio (Na) e hidrógeno (H), sean atraídos a la superficie de las partículas. La capacidad de intercambio de cationes es igual a la carga negativa total neta de las partículas sólidas (Palmer y Troch, 1979).

2.5.4 MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica está constituida por los restos y productos de descomposición de plantas, animales y los residuos orgánicos contenidos en los lodos residuales. El análisis de las distintas fracciones orgánicas suministrará información sobre la mineralización de los lodos y la formación de humus (Quinteiro *et al.*, 1998).

2.5.5 RELACION DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) Y PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI).

Los investigadores del U.S. Salinity Laboratory (Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos) propusieron la relación de adsorción de sodio (RAS) para caracterizar el nivel relativo de sodio de las aguas de riego y de las soluciones del suelo.

$$\text{RAS} = \frac{[\text{Na}^+]}{[(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{1/2}}$$

Donde todas las concentraciones están en mmoles por litro. La suma del Ca y Mg se divide entre dos por que la mayoría de las ecuaciones de intercambio iónico expresan las concentraciones en moles por litro o moles por litro y no mmoles por litro. La combinación del Ca y el Mg es necesaria debido a que muchos de los análisis de agua combinaban el Ca con el Mg y se justifica porque estos dos cationes divalentes comunes se comparten de manera similar durante el intercambio catiónico (Bohn y McNeal, 1993).

RSI es la relación de sodio intercambiable, las concentraciones del ion sodio intercambiable se expresan en mmoles por kilogramo (Bohn y McNeal, 1993).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN GEOGRAFICA DE LA COMARCA LAGUNERA.

La Región Lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México. Se encuentra ubicada entre los meridianos $101^{\circ}40'$ y $104^{\circ}45'$ de longitud Oeste, y los paralelos $25^{\circ}05'$ y $26^{\circ}54'$ de latitud Norte. La altitud de esta región sobre el nivel del mar es de 1,139 m. La región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan áreas agrícolas, así como las áreas urbanas. La temperatura promedio en los últimos 10 años es de una máxima de 28.8°C , una mínima de 11.68°C y una temperatura media de 19.8°C (Schmidt, 1989).

3.2 LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.

El experimento se llevó a cabo en una bodega del área de producción de vermicomposta de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, la cual se localiza en Periférico y Carretera a Santa Fé, Km 1.5, en Torreón, Coahuila México.

3.3 CONDICIONES DEL LUGAR DEL EXPERIMENTO.

El experimento se realizó en una bodega de forma cuadrada, con las siguientes dimensiones; cinco metros de ancho por cinco metros de largo. Cuenta con techo de lamina de asbesto a dos aguas, con paredes de block, con ventanas protegidas con malla de alambre y cubiertas con malla sombra y piso de concreto.

3.4 MATERIAS PRIMAS Y ORGANISMOS UTILIZADOS.

En este experimento se utilizaron como sustratos diversos materiales, como son lodos residuales, periódico y estiércoles, con el propósito de proporcionar una cantidad balanceada de carbono (C), y nitrógeno (N), con los cuales se generaron las mezclas de los tratamientos evaluados.

La combinación de desechos orgánicos (estiércol y lodos) con periódico, utilizado como material de soporte, facilita el proceso de composteo y/o vermicomposteo (Castillo *et al.*, 2001; Domínguez *et al.*, 2003).

3.4.1 LODO RESIDUAL.

En este experimento se utilizaron lodos residuales secundarios a los cuales se les inocularon lombrices (*Eisenia foetida*) (Butt, 1999; Cardoso y Ramírez, 2002). El lodo residual proviene del lecho de secado de la Planta Tratadora de Aguas Residuales del Club Campestre Torreón, S.A. de C.V., que está ubicada en Boulevard Diagonal las Fuentes No. 711, en la Colonia La Merced de la ciudad de Torreón, Coahuila. Este material se considera como un residuo no peligroso conforme a los resultados del análisis de caracterización CRETIB, realizado el 25 de Julio de 2001, basado en los criterios de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.

Se obtuvieron muestras al azar del lecho de secado, con la ayuda de una pala y se colocaron en botes de plástico y posteriormente se trasladaron a las instalaciones de la Universidad, este procedimiento se realizó en el mes de abril de 2003. Para uniformizar el tamaño de las partículas se utilizó una criba de 0.5 cm (NCSU, s/f), haciendo pasar el lodo previamente seco por ella y recolectando el material en cubetas de plástico.

3.4.2 ESTIÉRCOLES.

Se utilizaron estiércoles de Ganado Bovino, Caprino y Cunicola (Anderson, 1982), que se recolectaron en las unidades de producción pecuaria donde están confinados estos animales dentro de las instalaciones de la Universidad. Para uniformizar el tamaño de la partícula se utilizó una criba de 0.5 cm, haciendo pasar los estiércoles por ella, y el material cribado se recolectó en cubetas de plástico.

3.4.3 PAPEL PERIÓDICO.

El periódico es un material apropiado para la preparación de la cama o cuna (Cochran, 1998; NCSU, s/f). Este material se recolectó en diferentes departamentos de la UAAAN U-L. El periódico se humedeció y se trituró de forma manual, generando tiras con dimensiones de aproximadamente 1 cm de ancho por 3 cm de largo, ya que así es más fácil que lo asimile la lombriz (NCSU, s/f; CASFS, s/f).

3.4.4 LOMBRIZ.

La Lombriz que se utilizó para este experimento fue la especie *Eisenia foetida* (Cochran, 1998; Cardoso y Ramírez, 2002), ya que en la literatura se ha relatado que es una especie que presenta un índice de reproducción muy alto y un escaso tiempo entre generación en comparación con otras especies, y además es fácilmente cultivada criada fuera de un hábitat natural (Spurgeon, 2000). Las lombrices se obtuvieron del banco de germoplasma donde se han criado dentro del proyecto de "Producción de vermicomposta" que se maneja en la misma Institución. Las lombrices inoculadas se seleccionaron jóvenes con el clitelo ligeramente desarrollado.

3.5 COMPOSICIÓN DE LOS SUSTRATOS.

Los materiales descritos en el apartado 3.4 se combinaron en diferentes proporciones para dar origen a los siete tratamientos evaluados en este experimento. La composición de los tratamientos se presenta en el cuadro 1.

El tratamiento 1, que contiene solamente sustrato con lodos residuales, fue considerado como el tratamiento testigo. Los lodos residuales pueden ser utilizados como alimento por las lombrices *Eisenia foetida* (Atiyeh *et al.*, 2000; Domínguez *et al.*, 2003).

El resto de los tratamientos se originaron de la mezcla de tres diferentes tipos de estiércol (caballo, bovino y conejo) y lodo residual a dos niveles. Es decir las relaciones estiércol:lodo fueron 1:1 y 1:2 (V:V). Adicionalmente a los tratamientos 2, 4, y 6 se les agregaron 250 g de periódico por recipiente.

Cuadro 1. Composición de los sustratos de los diferentes residuos que se utilizaron.

TRATAMIENTO	SUSTRATOS	RELACIÓN V:V
T1	LR	
T2	EC:LR + 250 g de periódico	1:1
T3	EC:LR	1:2
T4	EB:LR + 250 g de periódico	1:1
T5	EB:LR	1:2
T6	ECo:LR + 250 g de periódico	1:1
T7	ECo:LR	1:2

EC= Estiércol de Caballo; EB= Estiércol de Bovino; ECo= Estiércol de Conejo; LR= Lodo Residual.

Se llenaron los recipientes con los tratamientos previamente mezclados, al mismo tiempo se fueron etiquetando los recipientes; para identificar los tratamientos y la repetición que les correspondía.

3.6 UNIDAD EXPERIMENTAL.

Se consideró como unidades experimentales cada uno de los recipientes que contenían los tratamientos en estudio, las cuales fueron 28. Los recipientes contaron con las siguientes características: Botes de plástico (Anderson, 1982; Butt 1999), los botes de plástico tenían una capacidad aproximada de 19.5 kg, con 26.5 cm de altura y 29.5 cm de diámetro.

Todos los recipientes fueron tapados con tela tul, durante un período de cuatro meses (Anderson, 1982). El recipiente necesita una cubierta para conservar la humedad y proporcionar obscuridad a las lombrices, ya que la piel de las lombrices reacciona a la luz (NCSU, s/f; Cochran, 1998).

Las camas o cunas para los sistemas de vermicomposteo deben tener la capacidad de retener la humedad y el aire, por lo que en el fondo de los recipientes se le perforaron hoyos para facilitar la aireación y el drenaje (Cochran, 1998; CASFS, s/f).

3.7 DESARROLLO DEL EXPERIMENTO.

3.7.1 ENSAYOS PRELIMINARES.

Antes de realizar la inoculación se realizaron algunas actividades como: estabilizar la temperatura, humedad, aireación y drenaje en los recipientes; una vez logrado esto se procedió a la inoculación de las lombrices, colocando 25 especímenes en cada repetición (Anderson, 1982) quedando así 100 especímenes por tratamiento; se removieron cada tercer día para lograr una mejor aireación y al mismo tiempo se regaban para mantener la humedad pues es un factor determinante en la supervivencia de la lombriz.

3.7.2 MANEJO DE LOS LODOS CONTENIDOS EN LOS RECIPIENTES.

Se realizaron 3 conteos durante el experimento con el fin de saber el comportamiento de la lombriz en función de su supervivencia y/o reproducción bajo las condiciones que se manejaron en el experimento.

En el cuadro 2 se muestra el número de lombrices que se obtuvieron en el primer conteo a partir de que fueron inoculadas (periodo de 09 de mayo de 2003 a 09 de junio de 2003).

Cuadro 2. Número de lombrices por tratamiento en el Primer Conteo.

Tratamiento	Lombrices Inoculadas	Lombrices Existentes
T1	100	32
T2	100	78
T3	100	51
T4	100	67
T5	100	118
T6	100	71
T7	100	92

Los datos registrados en el segundo y tercer conteo de lombrices se encuentran en el Cuadro 1 del apéndice.

3.7.3 MUESTREO DE LOS TRATAMIENTOS.

Se realizaron cuatro muestreos 1 por cada mes durante el desarrollo del presente experimento, en cada muestreo con palas de jardinería se extrajeron 150 g de material por repetición que se pesaron en una balanza analítica (Sartorius, modelo A200S), se colocaron en bolsas de plástico con la identificación respectiva del tratamiento y se procedió a trasladarlos al Laboratorio de Suelos de la misma Institución para su análisis.

3.7.4 RIEGOS.

Los riegos se aplicaron cada tercer día durante el período que duró el experimento, cuidando siempre mantener el porcentaje de humedad adecuado para la supervivencia de la lombriz, está oscilo entre el 70 y 88 %, las lombrices no soportan mezclas que pasen del 93 % de humedad (Cardoso y Ramírez, 2002).

3.7.5 AIREACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.

Cada tercer día se realizó la aireación de los recipientes pasando el lodo de un recipiente a otro más grande para facilitar el volteo, una vez colocado en otro recipiente más amplio, se volteaba con la ayuda de trinchas de jardinería, esta práctica facilitó la presencia de aire necesario para el desarrollo del proceso de descomposición y/o biotransformación de los lodos residuales y para evitar al máximo el problema de los malos olores y a homogeneizar los sustratos.

3.7.6 REGISTRO DE TEMPERATURA.

Cada tercer día se registró la temperatura con un termómetro digital de bayoneta metálica, procurando hacer la medición a una misma hora del día, los datos de temperatura se presentan en el Cuadro A2 del apéndice.

3.8 MÉTODOS UTILIZADOS PARA LOS ANÁLISIS QUÍMICOS DE LOS TRATAMIENTOS.

Una vez que las muestras llegaron al laboratorio, el lodo se puso a secar exponiéndolo al sol durante tres días y se cribó por un tamiz Alsa de 2 mm. El análisis de las muestras de los sustratos se realizó basándose en el Manual No. 60 "Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos" expedido por la Secretaría de Agricultura y Ganadería.

3.8.1 PARÁMETROS MEDIDOS.

- **pH**

El análisis se realizó por Potenciometría en extracto de suelo a saturación. Para realizar esta determinación se peso en una balanza granataria, Sartorius, tipo 1507, 200 g de cada muestra, se colocaron en un recipiente de plástico de 500 mL de capacidad.

Se agregó agua destilada y se agitó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz y no se permitió la acumulación de agua en la superficie. Ya saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas, transcurrido este tiempo, las pastas se colocaron en un embudo de porcelana con papel filtro Whatman y se aplicó vacío con una bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144.

El extracto se recuperó en un tubo de ensaye. El potenciómetro, marca Orion, modelo 420 A se calibró con solución buffer de 4.0, 7.0 y 10.0 de pH y posteriormente se procedió a determinar el pH de cada muestra y se registró el valor de la lectura.

- **CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

El análisis se realizó por Conductímetro en extracto de suelo a saturación.

Se peso en una balanza granataria, Sartorius, tipo 1507, 200 g de cada muestra, se colocaron en un recipiente de plástico de 500 mL de capacidad, se agregó agua destilada y se agitó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz y no se permitió la acumulación de agua en la superficie. Ya saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas, transcurrido este tiempo, las pastas se colocaron en un embudo de porcelana con papel filtro Whatman y se aplico vacío con una bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144. El extracto se recuperó en un tubo de ensaye.

El conductivímetro se calibró con soluciones patrón de Cloruro de sodio de 7230 ppm lo que equivale a 12.9 mS/cm y 692 ppm de Cloruro de sodio lo que equivale a 1413 μ S/cm. En un vaso de precipitado de 10 mL se colocó el extracto y se procedió a medir la conductividad eléctrica de las muestras.

• **CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

El análisis se llevo a cabo por Extracción con Cloruro de Bario. Se pesaron 4 g de cada muestra en una balanza granataria Sartorius, tipo 1507, posteriormente los 4 g se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se agregaron 15 mL de Cloruro de Bario 1 N. Los matraces se taparon con película parafilm, se agitaron por 30 minutos en el agitador mecánico Eberbach, modelo 6010, y se dejaron reposar por 24 horas. Pasadas las 24 horas se preparó la bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144, con un embudo de porcelana y papel filtro Whatman para filtrar las suspensiones procuraron que las muestras quedaran en el centro del papel. Se enjuagaron los matraces con Cloruro de Bario 1 N para que todo el lodo quedara sobre el filtro y se lavaron con 60 mL de metanol en porciones de 10 mL aproximadamente.

Los filtros que contenían las muestras se recuperan del embudo y se doblaron e introdujeron en el mismo matraz que contenía la suspensión, se agregaron 100 mL de solución saturada de yeso, los matraces se taparon con parafilm y se agitaron por 30 minutos en el agitador mecánico Eberbach, modelo 6010, se filtraron usando papel filtro Whatman recogiendo las suspensiones en un vaso de precipitado de 100 mL, se utilizó una pipeta volumétrica para recuperar 5 mL del filtrado (alícuota) y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 125 mL, con una pipeta volumétrica se agregaron 5 mL de agua destilada, 1 mL de solución buffer, una gota de indicador Negro de Eriocromo T, y se tituló con EDTA 0.02 N, hasta alcanzar un vire de rojo vino a azul.

Se preparó un testigo de la siguiente manera: En un matraz Erlenmeyer de 125 mL se colocaron 5 mL de solución saturada de yeso, se añadieron 5 mL de agua destilada con una pipeta volumétrica, se agregaron 5 gotas de dietilditiocarbamato de sodio, se añadieron 5 gotas de hidróxido de sodio 4 N y una gota de murexida, y se tituló con EDTA 0.02 N, hasta alcanzar un vire de rosa a lila.

- **PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA Y CARBÓN TOTAL.**

El análisis se realizó por medio del método de Determinación de Materia Orgánica (Walkley y Black Modificado). Por el alto contenido de materia orgánica que contiene el lodo residual, se le hizo una ligera modificación a las cantidades de casi todos los reactivos, utilizados excepto la del ácido fosfórico y la difenilamina, los demás se redujeron a la mitad utilizándose las siguientes cantidades 0.5 g de suelo, 10 mL de dicromato de potasio 1 N, 5 mL de ácido sulfúrico y 100 mL de agua destilada.

El procedimiento que se realizó fue el siguiente: Las muestras de los lodos se cribaron en un tamiz Alsa de 0.5 mm. En una balanza analítica Sartorius, modelo A200S se pesaron 0.5 g de cada muestra, y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Se agregaron 10 mL de Dicromato de Potasio 1 N, girando el matraz para que el dicromato entrara en contacto con toda la muestra, se procesó un testigo sin lodo. Se agregaron con una bureta 10 mL de ácido sulfúrico concentrado a la suspensión, girando nuevamente el matraz, la mezcla se agitó manualmente durante un minuto, y se dejó reposar durante 30 minutos. Posteriormente se añadieron 100 mL de agua destilada, y 5 mL de ácido fosfórico concentrado más 10 gotas del indicador de difenilamina y se procedió a la titulación con la disolución de sulfato ferroso gota a gota, hasta alcanzar un vire de color rojo ladrillo constante.

Para determinar la cantidad de Carbón Total, se toma el valor encontrado en el porcentaje de Materia Orgánica y se divide entre una constante de 1.72.

- **DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI) Y ANÁLISIS DE RELACIÓN DE ABSORCIÓN DE SODIO (RAS)**

El análisis se realizó por Potenciometría en extracto de suelo a saturación. En una balanza granataria Sartorius, tipo 1507, se pesaron 200 g de cada muestra y se colocaron en un recipiente de plástico de 500 mL de capacidad, se agregó agua destilada y se agitó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz y sin permitir la acumulación de agua en la superficie.

Ya saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas, transcurrido este tiempo, las pastas se colocaron en un embudo buchner con papel filtro Whatman y se aplicó vacío con una bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144. El extracto se recuperó en un tubo de ensaye.

Para la determinación de RAS se realizaron 2 diluciones del extracto de la siguiente manera: 1) En matraces de 100 mL se agregó 1 mL de extracto en 100 mL de agua destilada, se taparon los matraces con película parafilm y se agitaron manualmente; 2) De esta primera dilución se preparó otra tomando 2 mL de la solución, se agregaron 0.5 mL de lantano (para evitar interferencias) y se aforó a 125 mL. En el Espectrofotometro de Absorción Atómica se determinó Calcio, Magnesio y Sodio, y en base a fórmulas se determinó RAS y PSI.

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

$$PSI = \frac{100 (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}{1 + (-0.0126 + 0.01475 * RAS)}$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Los datos analizados fueron los resultados que se obtuvieron de los análisis químicos que se realizaron a las muestras de los diversos sustratos que se estudiaron en el presente experimento, antes de que las lombrices entraran en contacto con los tratamientos y después de haber hecho la inoculación a los 30, 60 y 90 días.

El análisis de los datos obtenidos de las 7 variables evaluadas en cada uno de los tratamientos se realizó con el programa Sistem Analysis Statical (SAS) V 6.12 para Windows aplicando el procedimiento de Regresión Lineal Simple. Como se había indicado el propósito fue determinar el efecto de la Lombriz (*Eisenia foetida*) sobre las propiedades químicas de los tratamientos con respecto al tiempo durante el período de 90 días en el que las lombrices estuvieron en contacto con los tratamientos.

4.1 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE pH.

En atención a los resultados obtenidos en la regresión lineal realizada para la variable pH (Gráfico 1) se puede establecer que los tratamientos T1= Lodo residual, T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T3= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2; V:V), T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, y T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico presentaron una general tendencia a disminuir los valores de pH a medida que el tiempo transcurre; y por su parte en lo que respecta a los tratamientos T5= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:2; V:V) y T7= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:2; V:V), se pudo apreciar una tendencia a incrementar el valor de esta variable.

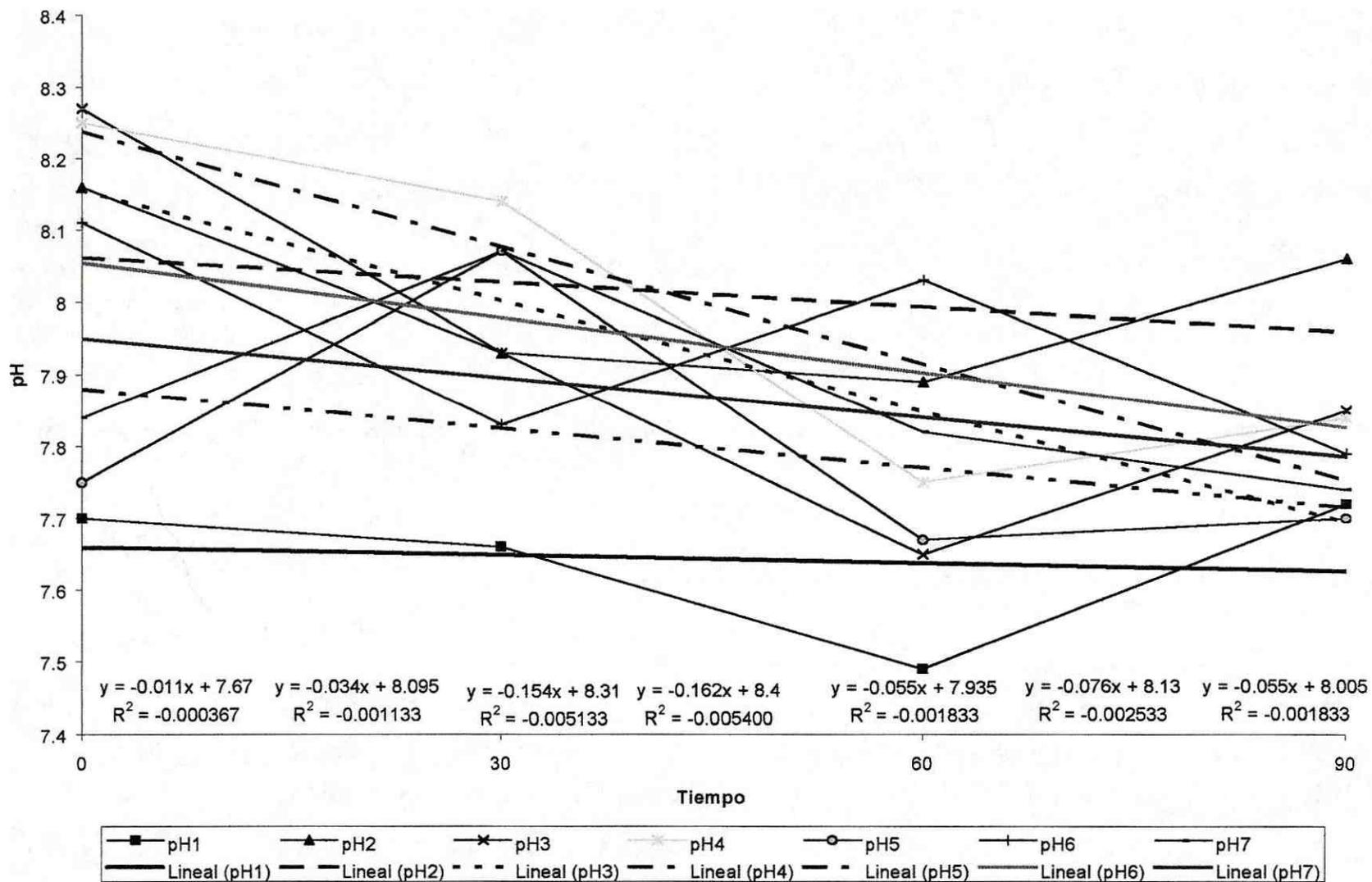


Gráfico 1. Valores de pH de las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices.

Se observó un alto grado de ajuste de los valores del tratamiento T4 ($R^2 = -0.0054$). Los tratamientos T1 y T3 a los 60 días alcanzaron el valor de pH más cercano a la neutralidad 7.4 y 7.6 respectivamente (pH 7); los sustratos con un pH neutro son los que causan menos trastornos a las plantas, es decir, con este valor las plantas asimilan más fácilmente los nutrientes de la vermicomposta y se desarrollan mejor. Los valores de pH determinados en los tratamientos T1 y T3 son similares a los valores de pH de tres diferentes compostas que fueron preparadas y aplicadas por Alvarez *et al.* (2001) a diversas especies vegetales.

En función a la dinámica de comportamiento del pH del tratamiento T1 se puede destacar que el proceso de vermicomposteo en el cual tiene una participación fundamental la lombriz *Eisenia foetida* (Bansal y Kaponor, 2000) sí se provoca una disminución del pH de los lodos residuales. Adicionalmente, estos resultados preliminares se asemejan a lo encontrado por Cardoso y Ramírez (2002) en la evaluación del vermicomposteo de lodos residuales, donde obtuvieron un pH de 7.2.

4.2 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.

En el gráfico 2 se aprecian las curvas obtenidas de la regresión lineal derivadas de la Conductividad Eléctrica, la cual permite identificar el comportamiento de esta variable en los diferentes sustratos en los tratamientos.

Para esta variable, por las tendencias presentadas en las curvas, es necesario señalar que los valores de CE resultaron bastante variables ya que oscilaron de 4 a 18 mS/cm.

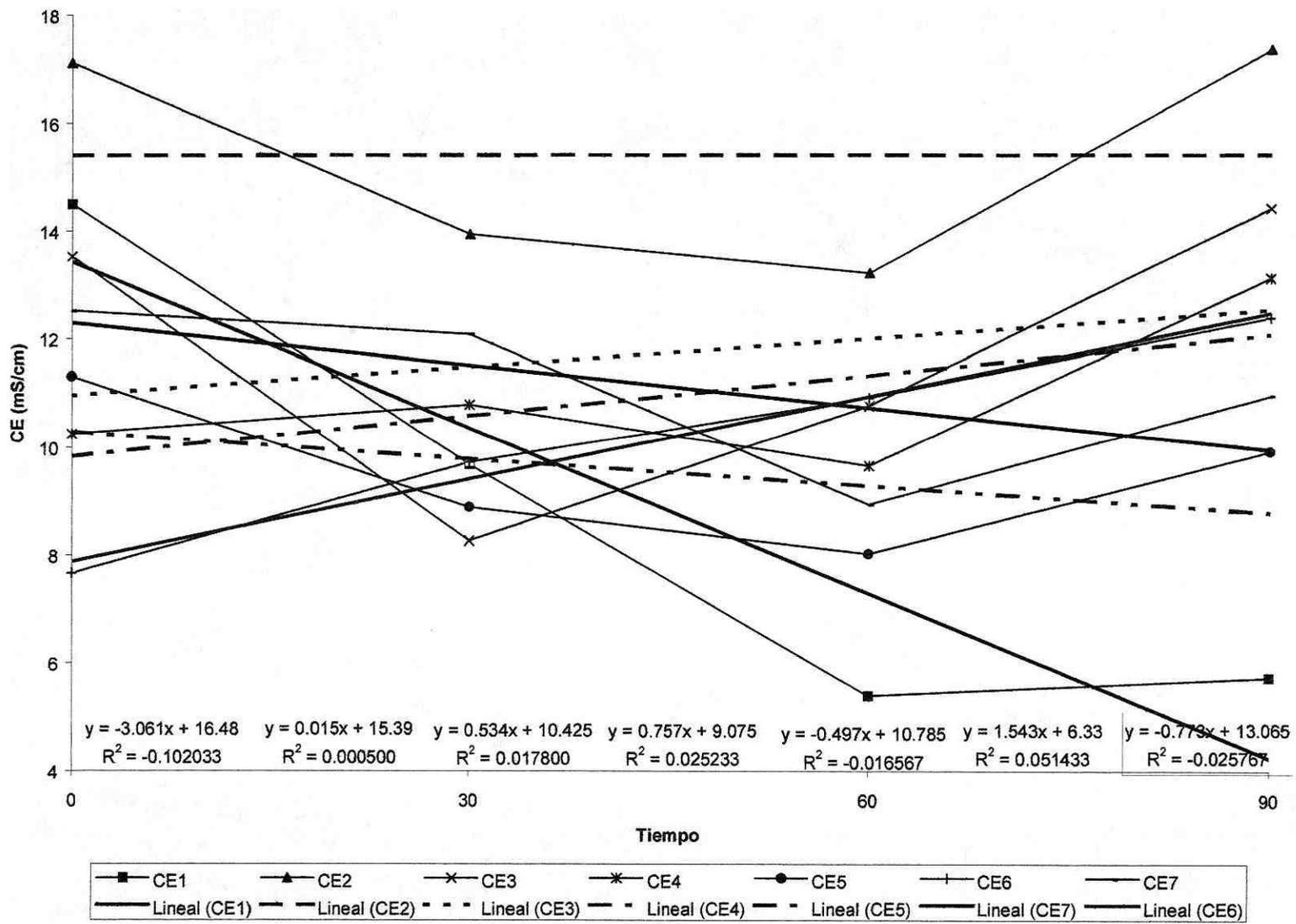


Gráfico 2. Valores de CE en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices.

También es necesario destacar que los valores de CE tendieron a incrementar en los sustratos de los tratamientos T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T3= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2), T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) y T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, tendieron a disminuir los tratamientos T1= Lodo residual, T5= Estiércol de bovino (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T7= Estiércol de conejo (1:2). El tratamiento con la Conductividad Eléctrica más alta durante el tiempo del experimento fue T2 y por otro lado el tratamiento con la Conductividad Eléctrica más baja fue T1. Se observó que tratamiento T6 fue el que presentó la curva de valores más ajustada ($R^2 = 0.051433$).

En las condiciones que se manejó el experimento en los sustratos de los tratamientos T2, T3 y T4, se observó que las lombrices provocaron, en 90 días, incrementos en la CE, es decir, la concentración de sales tiene tendencia a aumentar en relación al tiempo en que las lombrices están en contacto con los sustratos. El extracto de saturación de las vermicompostas presenta un alto contenido de sales, por lo que conducen perfectamente la electricidad lo que se reflejó en los valores de CE determinados.

Por su parte los sustratos de los tratamientos T1, T5, T6 y T7 presentaron un efecto contrario sobre la CE ya que como se puede apreciar en el gráfico 2, la tendencia general para esta variable es que sus valores disminuyen a través del tiempo por efecto de las lombrices. Sobre estos cuatro tratamientos se destaca el efecto que las lombrices generaron por encima del sustrato del tratamiento T1, ya que el valor final de CE fue de aproximadamente 5.73 mS/cm. Este valor coincide con los valores de CE reportados por Gunadi y Edwards (2003) quienes evaluaron diferentes residuos orgánicos sobre el crecimiento, fecundidad y sobrevivencia de la lombriz *Eisenia foetida* y también coincide en el valor de la CE que poseían diversos biósólidos aplicados para actividades de reforestación reportado por Valdecantos *et al.* (2001).

Los valores alcanzados a los 90 días del experimento por el tratamiento T2 es de 17.41 mS/cm, T3 14.4 mS/cm y T4 13.15 mS/cm; estos valores resultaron superiores a la CE de 5.5 dSm⁻¹ que determinaron Sánchez-Monedero *et al.* (2001) en lodos de aguas negras municipales.

4.3 COMPORTAMIENTO DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN LOS TRATAMIENTOS EVALUADOS.

Los resultados obtenidos en el análisis de regresión lineal para la variable CIC reflejaron la tendencia del comportamiento que presentaron los sustratos de los tratamientos evaluados una vez que fueron sometidos a la acción de las lombrices. En términos generales los tratamientos T1= Lodo residual, T3= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2; V:V), T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T5= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:2), T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T7= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2; V:V) tienden a incrementar el valor de la CIC al ser transformados por las lombrices durante 90 días, por lo contrario el tratamiento T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico disminuyo su valor. El tratamiento con la curva más ajustada fue T1 ($R^2= 0.1850$).

Bajo las condiciones en que se manejó el experimento se puede establecer que los tratamientos más destacados son el T1 con 20 meq/L y T5 con 19 meq/L. Esto quiere decir que en su estructura química, las partículas de arcilla y la materia orgánica de la vermicomposta son eléctricamente activas y poseen carga negativa por lo que debido a esta característica se vería beneficiado el proceso de retención de los cationes, disminuyendo la posibilidad de que pudieran ser lixiviados.

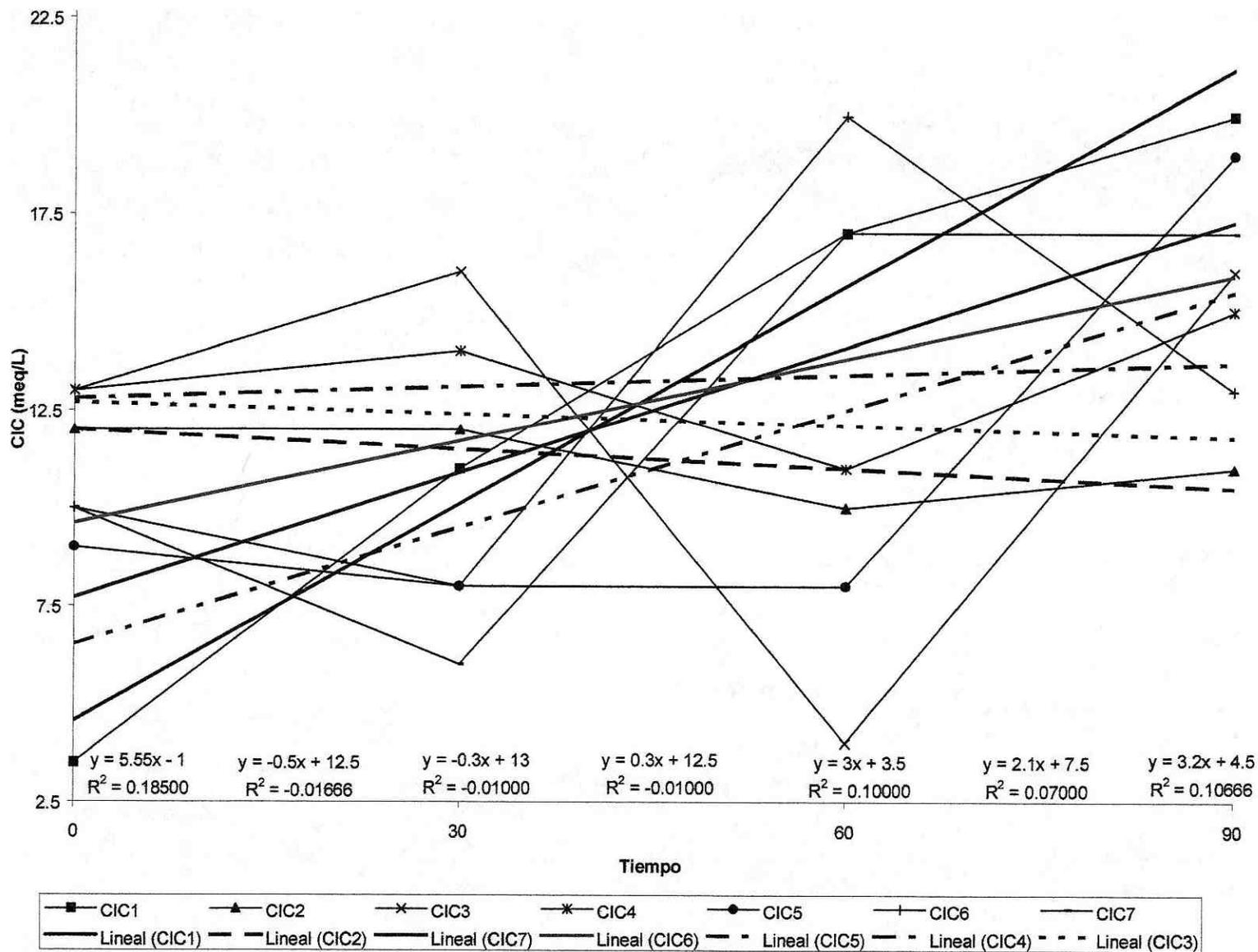


Gráfico 3. Valores de CIC de las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices.

Como se mencionó anteriormente los sustratos vermicomposteados presentaron una tendencia a incrementar los valores de CIC en los tratamientos T1, T3, T4, T5, T6 y T7, sin embargo los máximos valores de 20 meq/L, 19 meq/L y 17 meq/L alcanzados para esta variable al término de los 90 días resultaron inferiores al valor de 65.02 meq/100 g determinado por Cardoso y Ramírez (2002).

4.4 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA.

Considerando que los resultados son preliminares, se determinó que la dinámica del comportamiento del porcentaje de materia orgánica en los primeros 60 días se mantuvo en aumento para todos los tratamientos, sin embargo en la última etapa (de los 60 a los 90 días) del experimento el porcentaje empezó a disminuir en todos los tratamientos.

Los tratamientos con mayor porcentaje de materia orgánica a los 60 días son T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico cuyos valores fueron 17.32 %, 16.25 % y 16.18 % respectivamente; en contraste los tratamientos con menor porcentaje de MO a los 90 días son T1= Lodo residual con 8.54 %, T5= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:2; V:V) con 8.74 % y T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250g de periódico con 9.01 %, lo que permite suponer que las lombrices en un período de 60 días lograron transformar los lodos residuales en MO y este punto sería el más adecuado para aplicarlo a un suelo, si se desea utilizar este material como abono orgánico decisión que demanda un mayor conocimiento de acuerdo con Arlt *et al.* (2002). El tratamiento con el más alto grado de ajuste fue T2 ($R^2 = -0.0275$).

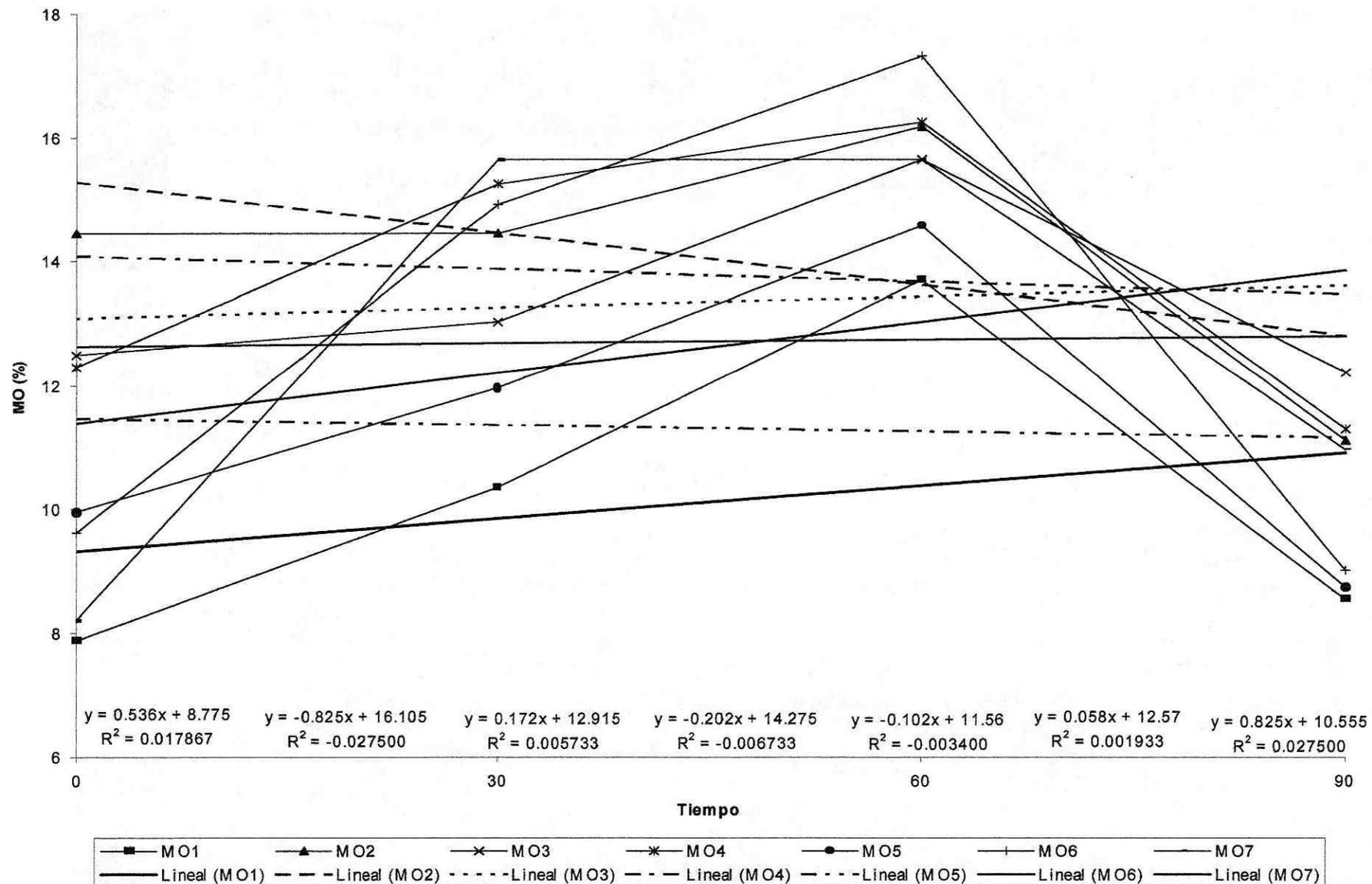


Gráfico 4. Porcentaje de Materia Orgánica en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices.

Los resultados obtenidos comparados con los de otros investigadores difieren considerablemente en el porcentaje de MO; por ejemplo, Cardoso y Ramírez (2002) en la evaluación de vermicomposteo de lodos residuales obtuvieron como resultado 60 % de MO; por otro lado Esteller M. (s/f) quien cita a (Ramírez *et al.*, 1991) hace una comparación de abono vacuno y lodo residual encontrando que el abono vacuno contenía 48.24% y el lodo residual un 61.9 % de M.O. Sin embargo, si se resalta que este experimento careció de infraestructura, material y apoyo económico y se considera la clasificación que se les hace a los suelos con respecto al contenido porcentual de MO, los porcentajes determinados en el experimento se clasifican en la clase de muy alta, tomando en cuenta que se trata de vermicomposta con alto contenido de MO. Por lo cual, de acuerdo con Gil *et al.* (2001) los lodos residuales una vez que se incorporen a diversas regiones, especialmente en las zonas áridas y semiáridas podrían ayudar a combatir la degradación de estos suelos y también contribuir a elevar su nivel de fertilidad.

4.5 COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE CARBONO TOTAL.

El Carbono Total es una variable que tiene una amplia relación con el contenido de la Materia Orgánica, en este trabajo los valores correspondientes a esta variable se determinaron a partir del porcentaje de Materia Orgánica determinada a los sustratos de los tratamientos evaluados.

El gráfico 5 presenta la dinámica del comportamiento del Carbono Total ajustado a una curva de Regresión Lineal Simple. Los resultados obtenidos de los tratamientos estudiados en el experimento son los siguientes: T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico con 10.07 %, 9.45 % y 9.41 % respectivamente a los 60 días fueron los tratamientos con mayor cantidad de CT.

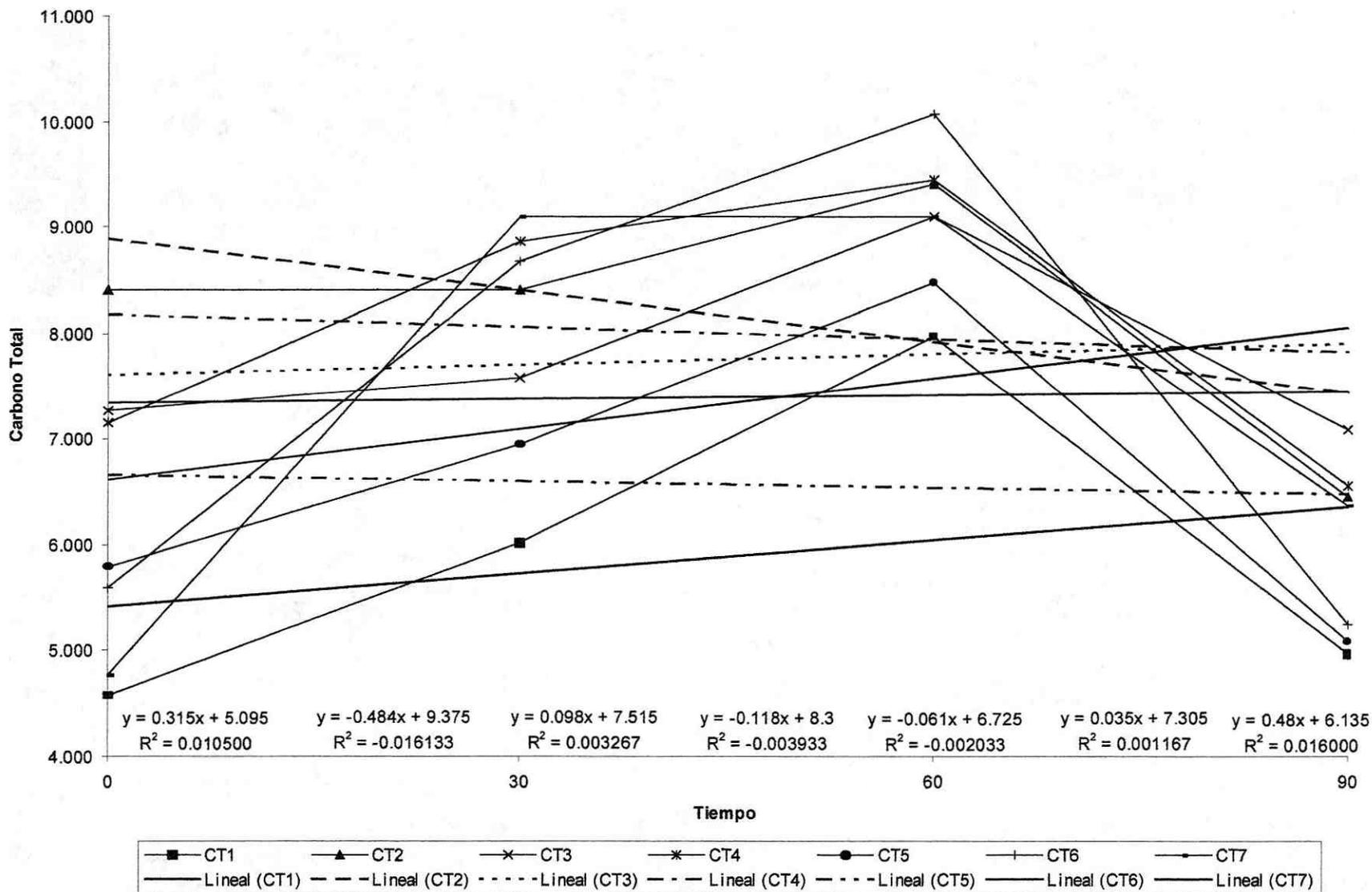


Gráfico 5. Contenido de Carbono Total en las muestras de los lodos residuales inoculados con lombrices.

Cabe destacar que en esta fecha fue donde todos los tratamientos lograron su valor más alto en esta variable y a partir de ahí, de los 60 a los 90 días en todos los tratamientos se recuperaron drásticamente todos los valores para esta variable, oscilando de 4.97 a 7.09.

Los tratamientos que presentaron un comportamiento descendente fueron: T2, T4 y T5, y los tratamientos que aumentaron su contenido de Carbono Total fueron: T1, T3, T6 y T7, la curva más ajustada fue T2, esto es en base a los resultados obtenidos en la regresión lineal simple ($R^2 = -0.016133$).

4.6 DINÁMICA DE COMPORTAMIENTO DE LAS VARIABLES RAS (RELACIÓN ADSORCIÓN DE SODIO) Y PSI (PORCIENTO DE SODIO INTERCAMBIABLE).

En el gráfico 6 se presenta el patrón de comportamiento de la variable RAS. En el gráfico después de que se aplicó la regresión lineal simple se pueden apreciar los tratamientos que tuvieron una tendencia a aumentar su valor como T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, y los sustratos que presentaron la tendencia a disminuir fueron T1= Lodo residual, T3= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2; V:V), T5= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:2; V:V) y T7= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:2; V:V), la curva del tratamiento que mejor se ajusta es T6 ($R^2 = 0.016100$).

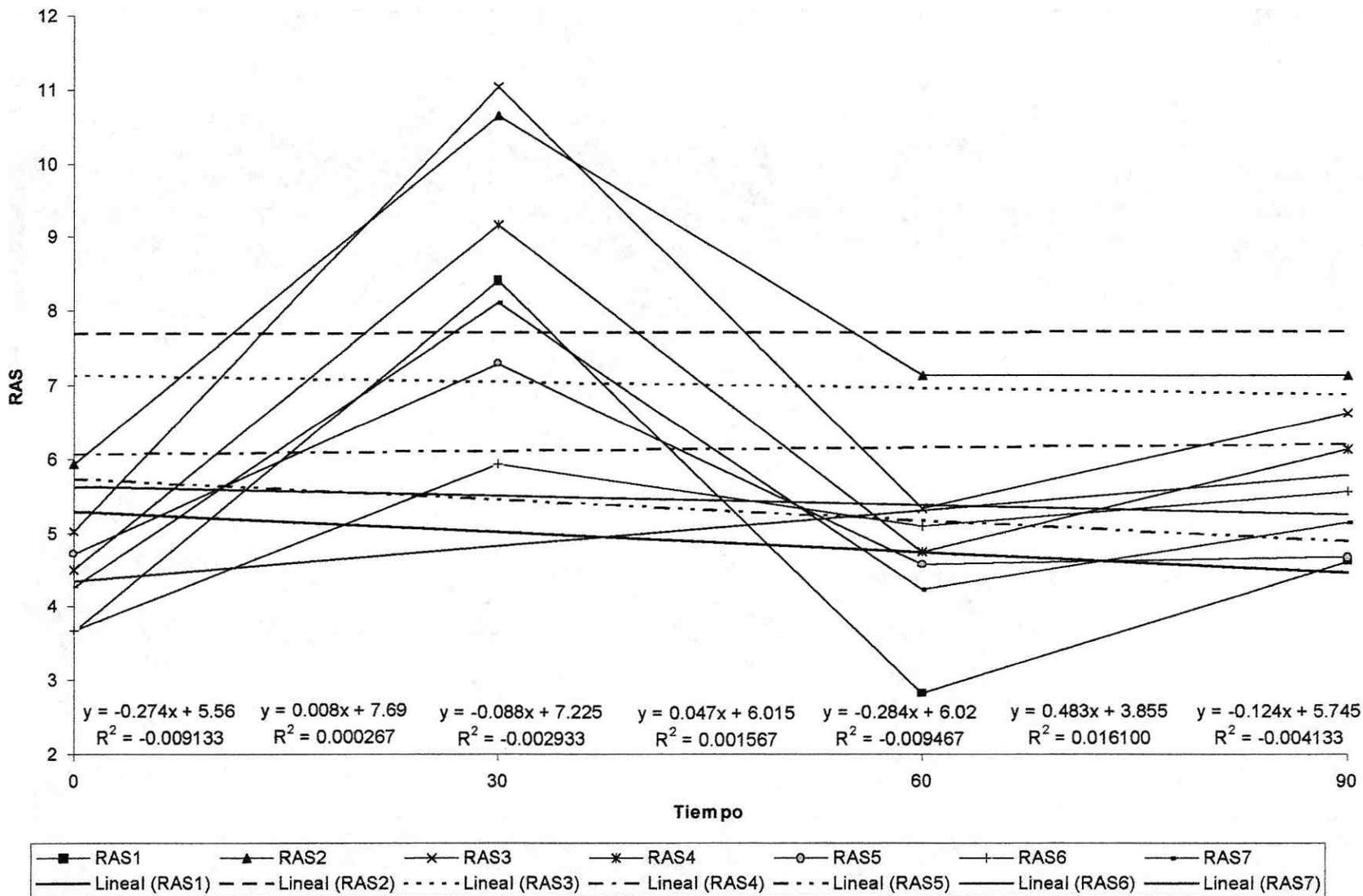


Gráfico 6. Valores de RAS en las muestras de los lodos inoculados con lombrices.

En el gráfico 7 se aprecia el patrón de comportamiento de la variable PSI, por la relación que existe entre PSI y RAS los valores obtenidos en estas dos variables tienen un comportamiento similar de la que se destacan los tratamientos que tuvieron tendencia a aumentar su valor como T2= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, T4= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico y T6= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:1; V:V) + 250 g de periódico, y los de tendencia a disminuir fueron T1= Lodo residual, T3= Estiércol de caballo:Lodo residual (1:2; V:V), T5= Estiércol de bovino:Lodo residual (1:2; V:V) y T7= Estiércol de conejo:Lodo residual (1:2; V:V), la curva del tratamiento que mejor se ajusta es T2 ($R^2= 0.023867$).

En la relación que existe entre estas dos variables, es conveniente señalar que a partir de los 60 días los tratamientos T5, T6 y T7 tuvieron un comportamiento similar de acuerdo a su valor registrado, estos se mantuvieron en un rango para las dos variables estables. Aunque estas últimas variables tienen una gran importancia para la caracterización química de los suelos, sobre todo en las regiones áridas y semiáridas, en la literatura disponible, no se logró identificar que estas variables sean evaluadas en los materiales vermicomposteados, por lo que es difícil establecer si los valores determinados en ambos casos son nocivos o benéficos. Lo que sí se puede señalar es que los lodos residuales, una vez que son vermicomposteados, posean estas características químicas y si se desea aplicar estos lodos a los suelos será necesario determinar el impacto de estos materiales sobre las características químicas de los terrenos agrícolas.

Los valores registrados de los análisis realizados en el laboratorio para las variables evaluadas se encuentran en el apéndice del Cuadro 3 al Cuadro 7.

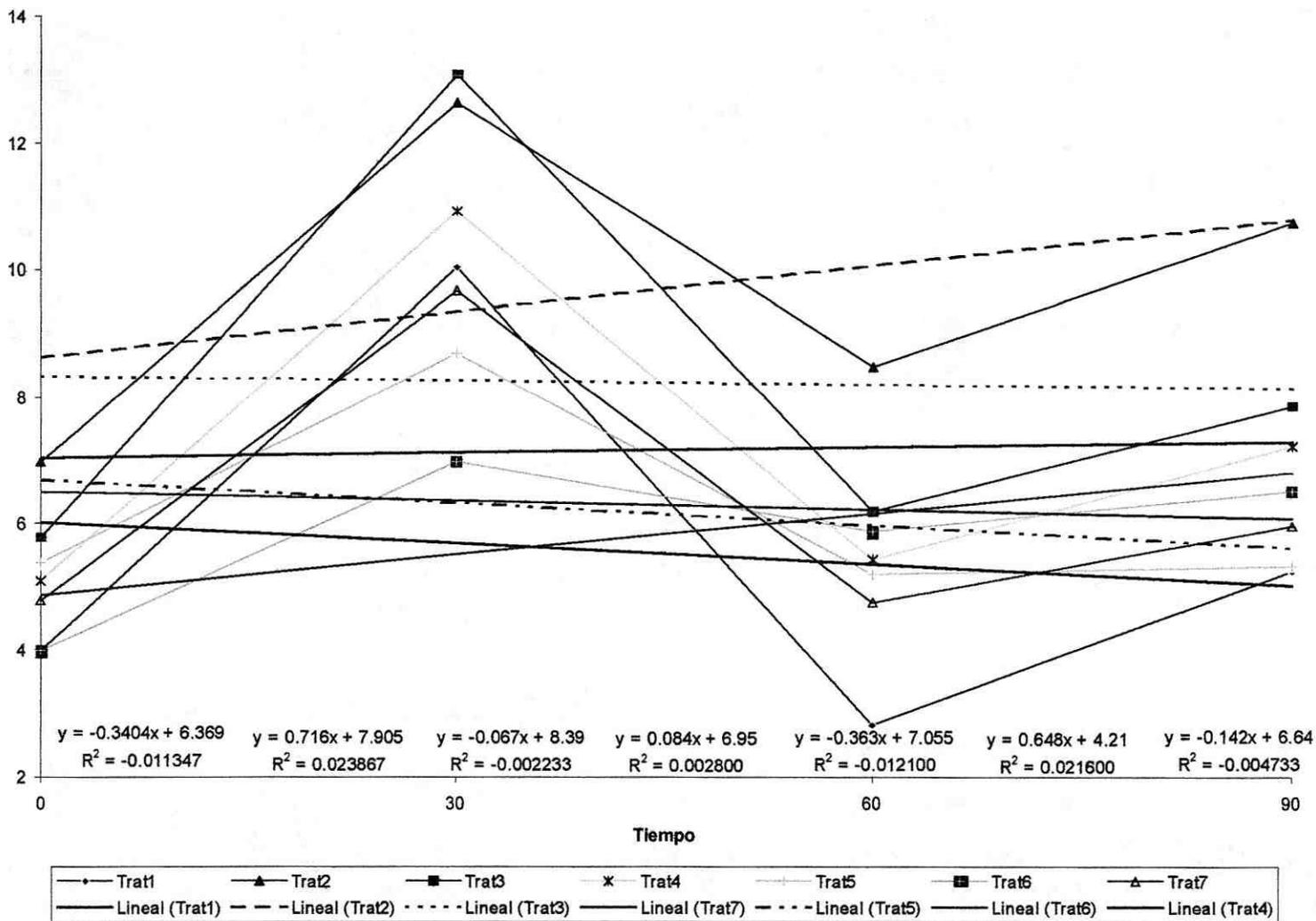


Gráfico 7. Valores de PSI en muestras de lodos residuales inoculados con lombrices.

V. CONCLUSIONES.

De los resultados de los análisis obtenidos, durante el desarrollo de este trabajo y de la discusión e interpretación que de ellos se hace, se pueden generar las siguientes conclusiones.

1. De la variable pH es conveniente destacar que las lombrices ayudan a reducir la alcalinidad de los sustratos sometidos a vermicomposteo; es decir, si un sustrato, en este caso los lodos residuales, posee un pH altamente alcalino y es sometido a un vermicomposteo provocaría una disminución del pH hasta acercarlo a un punto neutro, que es una condición favorable para que este sustrato pueda ser utilizado como abono natural en las actividades agrícolas.

2. Con respecto a la variable Conductividad Eléctrica se puede destacar que durante los 90 días que fue el período que duró el experimento, las lombrices aumentaron la CE, es decir, la concentración de sales tiene una tendencia a incrementarse.

3. En el vermicomposteo las lombrices lograron a los 90 días que la Capacidad de Intercambio Catiónico aumentará en la mayoría de los tratamientos, lo que quiere decir, que los cationes en la solución de las vermicompostas pueden ser atraídos, beneficiando el proceso de retención y disminuyendo la lixiviación de estos debido posiblemente al alto porcentaje de materia orgánica contenida en ellas.

4. De acuerdo a los resultados obtenidos en los análisis realizados se pueden destacar que en los primeros 60 días el porcentaje de Materia Orgánica aumento con respecto al inicio; sin embargo, en la ultima etapa (de los 60 a los 90 días) la tendencia en el porcentaje de la MO disminuyo posiblemente por la alta población de lombrices que en esta etapa se encontraron.

5. Es conveniente señalar que en las condiciones en que se manejó el experimento, las Lombrices lograron adaptarse, sobrevivir y reproducirse en los lodos residuales.

La calidad de la vermicomposta es hoy en día una de las prerrogativas más importantes para reciclar los residuos orgánicos para utilizar este producto en las actividades agrícolas. En este sentido, el trabajo realizado y los resultados obtenidos en las variables evaluadas permiten suponer que los lodos residuales de una planta tratadora de aguas negras, pueden ser transformados por la acción de las lombrices *Eisenia foetida*.

VI. RECOMENDACIONES.

- Se sugiere que el vermicomposteo se use como una alternativa para el tratamiento de los lodos residuales, ya que las lombrices logran cambios importantes en el olor, el color, la textura y la condición química de los lodos residuales.
- Las vermicompostas obtenidas en el presente experimento posiblemente pueden ser aplicadas a los suelos con en fin de aumentar el nivel de Materia Orgánica.
- Se sugiere que en substratos con pH alcalinos sean utilizadas las lombrices para mejorar la condición hasta acercarlo al punto neutro.
- Para el tratamiento de los lodos residuales se recomienda inocular un número mayor de Lombrices, ya que es posible que en un grupo mayor les sea mas rápida la transformación de los lodos residuales.
- Se sugiere que se realicen trabajos experimentales en cultivos utilizando la vermicomposta de lodos residuales, para evaluar las características que tiene como sustrato.

VII. RESUMEN.

En México las plantas de tratamiento de aguas residuales generan grandes cantidades de lodos, que deben ser manejados y dispuestos adecuadamente. El tratamiento de estos lodos y su disposición corresponden a las operaciones más costosas de una planta de tratamiento de aguas residuales. Por esta razón es necesario buscar tecnologías simples que permitan la utilización de los componentes orgánicos. En este sentido el vermicomposteo es una tecnología innovadora para el tratamiento de lodos de aguas residuales.

El vermicomposteo es el proceso de transformación de los residuos orgánicos donde se utilizan lombrices para descomponer la materia orgánica, obteniendo como producto final la vermicomposta; esta tiene una estructura particularmente fina y contienen elementos nutritivos en formas que están fácilmente disponibles para la asimilación de las plantas.

En este experimento preliminar se aprovecho la capacidad que tiene la Lombriz (*Eisenia foetida*) de transformar los lodos residuales en vermicomposta, además de evaluar sus propiedades químicas. El experimento se llevó acabo en el área de reproducción de vermicompostas de la UAAAN-UL. Se utilizó como sustratos el lodo residual, papel periódico y estiércoles de ganado caprino, bovino y cunícola. De estos materiales se realizaron mezclas en relación V:V que dieron origen a los siete tratamientos evaluados.

Las variables evaluadas fueron pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Intercambio Cationico, Porcentaje de Materia Orgánica, Carbón Total, Relación Adsorción de Sodio y Por ciento de Sodio Intercambiable.

Los datos obtenidos se analizaron con el programa Sistem Analysis Statical (SAS) aplicando el procedimiento de Regresión Lineal Simple.

Se encontró que para la variable pH la lombriz tiende a bajar la alcalinidad del sustrato; en relación a la CE la concentración de sales tiene una tendencia a incrementar; la CIC aumenta en la mayoría de los tratamientos, logrando así un beneficio en el proceso de retención de los cationes, disminuyendo la posibilidad de que puedan lixiviarse; a los 60 días se encontraron los valores más altos de Porcentaje de MO, estos valores comparados con otros investigadores difieren considerablemente resultando bajos, sin embargo, comparado con la clasificación que se les hace a los suelos el contenido porcentual de MO es de muy alto.

Bajo las condiciones en que se maneja el experimento en el vermicomposteo del tratamiento T1= Lodo Residual, se lograron cambios importantes en su condición física y química. Se sugiere a las plantas tratadoras de aguas residuales el uso de la lombriz como alternativa para tratar los lodos que generan.

VIII. BIBLIOGRAFIA REVISADA.

- Alvarez, J., A. Del Campo, et al. (2001). "Research and technologic development of composting processes and its application in the agriculture and forestry sectors." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **1(2)**: 1-7.
- Anónimo (s/f). Manure Utilization and Treatment Technologies. Manure Treatment Options: 11-19.
- Arlt, A., L. Leible, Seifert, H., Nieke, E., Fürniss, B. (2002). "Processing of sewage sludge for energetic purposes - A challenge for process technology." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **2(1)**: 19-29.
- Atiyeh, R. M., S. Subler, et al. (2000). "Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil." Pedobiologia **44**: 579-590.
- Beetz, A. (2001). Baitworm production, National Center for Appropriate Technology: 1-5.
- Blakemore, R. J. (1999). Diversity of exotic earthworms in Australia – a status report, The Other 99%. The Conservation and Biodiversity of Invertebrates ed by Winston Ponder and Daniel Lunney, June 1999. **2003**: 182-187.
- Bohn, H. y B. McNeal. (1993). Química de Suelo. Editorial Limusa, Primera Edición. Pp. 267-273.

- Burgos, P., E. Madejón, Murillo, J. M., Cabrera, F. (2001). "Agricultural use of three organic residues: effect on ornage crop and on chemical properties of a soil of The Comarca Costa de Huelva (SW Spain)." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **1**(4): 31-36.
- Butt, K. R. (1999). "Effects of thermally dried sewage granules on earthworms and vegetation during pot and field trails." Bioresource Technology **67**: 149-154.
- Campaña, H., R. Rodríguez, et al. "Aplicación en suelo de barros y efluentes de maltería. Estudio de casos y evaluación de impactos." Revista de Tecnología y Ciencia.(13): 17-23.
- Cardoso, L., and E. Ramírez (2002). Vermicomposting of Sewage Sludge: A New Technology For Mexico. Water Science, 46 (10): 153-158.
- Castillo, G., C. Alcota, et al. (2001). Acondicionamiento de biosólidos mediante compostaje. Acondicionamiento de biosólidos mediante compostaje, Santiago de Chile.
- Chicón L. (s/f). Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos. Universidad de Málaga.
<http://usuarios.lycos.es/ambiental/lodos.html>.
- Cochran, S. (1998). Vermicomposting. Nebraska, University of Nebraska: 3.
- Chan, K.-Y. and J. A. Mead (2003). "Soil acidity limits colonisation by *Aporrectodea trapezoides*, an exotic earthworm." Pedobiologia **47**: 1-5.
- Colom i Puigbó, G. (2001). Compostaje de residuos orgánicos. Valladolid, España, Centre d'Ecologia i Projectes Alternatius (CEPA).

Daane, L. L., J. A. Molina, et al. (1996). "Influence of earthworm activity on gene transfer from *Pseudomonas fluorescens* to indigenous soil bacteria." Appl Environ Microbiol **63**(2): 679-86.

Damiecki, R. (2002). "Mechanical - Biological pretreatment of MSW." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **2**(1): 31-36.

Domínguez, J., R. W. Parmelee, Edwards, C. A. (2003). "Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting." Pedobiologia **47**: 1-8.

(EPA), E. P. A. (1997). Recovering organic wastes - giving back to Mother Nature. Washington, DC 20460. United States, Environmental Protection Agency.

Esteller, M.V. (s/f). Vulnerabilidad de Acuíferos Frente al Uso de Aguas Residuales

y Lodos en Agricultura. Centro Interamericano de Recursos del Agua Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México.

<http://tierra.rediris.es/hidrored/ponencias/Esteller.html>.

Gil, F. J., E. F. de Andrés, Tenorio, J. L., Martínez, F., Walter, I. (2001). "Sewage sludge effects on production of wild legume shrubs." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **1**(4): 1-10.

<http://www.aguamarket.com>. (2003).

López, J. y J. López. (1985). Diagnostico de Suelos y Plantas. Ediciones Mundi-Prensa, Cuarta Edición. Pp. 44 y 45.

Molina, B., V. Droppelmann, E. Arévalo, H. Moreno. (2001). Tratamiento de Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Aeropuerto Arturo Merino Benites Mediante Compostaje y Lombricultura. Santiago Chile. 8p.

Narayan, R. (2001). "Report paper - drivers for biodegradable/compostable plastics and role of composting in waste management and sustainable agriculture." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **1**(1): 1-9.

Palmer, R., y F. Troch. (1996). Introducción a la Ciencia del Suelo. Editorial Editor, S.A. Primera Edición. Pp. 88,96 y 97.

Quinteiro R. M. P., Andrade C. M. L., De Blas V. E., (1998). Efecto de la Adición de un Lodo Residual Sobre las Propiedades del Suelo. Departamento de Biología Vegetal y Ciencia del Suelo. Facultad de Ciencias. Universidad deVigo. España. pag 1-10.

<http://edafologia.ugr.es/Revista/tomo5/a1t.htm#anchor2034824>.

Reines A., M. et al. (1998). Lombrices de Tierra con Valor Comercial (Biología Y Técnicas de Culivo). Universidad de la Habana, Cuba; Departamento de Biología. Pp. 7-54.

Sánchez-Monedero, M. A., A. Roig, Bernal, M. P. (2001). "The water-soluble organic fraction and its relationship to the degree of maturity of organic matter during composting." Bioprocessing of Solid Waste & Sludge **1**(1): 1-10.

Sandoval, Y., Luciano., Piña S. M., Motellano P. L., Sánchez G., Bedolla V. L., Santana R. Ma., De Lourdes, Marcelo A. O., (2000). Forum Internacional sobre: Tratamiento de lodos de depuradora: su minimización, valorización y destino final *Madrid*.

- Schmidt, R. H., Jr. (1989). The arid zones of Mexico: climatic extremes and ceptualization of the Sonoran Desert. *J. Arid Environ.* 16:241.256.
- Spurgeon, D. J. and S. P. Hopkin (2000). "The Developmen of Genetically Inherited Resistance to Zinc In Lobaratory-Selected Generations of The Earthworm *Eisenia fetida*". *Environ. Pollut.* 12:193-201.
- State of Victoria, D. o. P. I. (2002). Earthworms. Victoria, Australia, State of Victoria, Department of Primary Industries: 1-2.
- Stehouwer, R. (1999). Biosolids Quality. Issues Soil Enviromental. College of Agricultural Sciences. Pennsylvania State University. 8p.
- Stehouwer, R. (1999). What is Sewage Sludge and What can be done With it?. Issues Soil Enviromental. College of Agricultural Sciences. Pennsylvania State University. 8p.
- Systems, C. f. A. S. F. (s/n). Let worms make your compost. For the gardner. Santa Cruz, CA. 95062, University of California, Santa Cruz: 2.
- University, N. C. S. (s/f). Earthworm composting, North Carolina State University: 3.
- Valdecantos, A., J. Cortina, J., Fuentes, D., Casanova, G., Díaz, J. M., Llavador, F., Vallejo, V. R. (2001). "Use of biosolids for reforestation in the Region of Valencia (E Spain). First results of a pilot project." *Bioprocessing of Solid Waste & Sludge* 1(3): 1-6.

IX. ÁPENDICE

Cuadro A1. Número de Lombrices encontradas en los tratamientos evaluados, durante el segundo conteo (del 10 de Junio al 9 de Julio) y tercer conteo (del 10 de Julio al 9 de Agosto). UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	Segundo Conteo	Tercer Conteo
T1	45	58
T2	80	100
T3	46	64
T4	78	98
T5	151	180
T6	78	115
T7	201	318

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A2. Comportamiento de la Temperatura, a partir del 31 de marzo al 13 de abril de 2003. UAAAN-UL.

Fecha	31/03/03	2/04/03	3/04/03	4/04/03	5/04/03	7/04/03	8/04/03	9/04/03	10/04/03	11/04/03	12/04/03	13/04/03
Trat.												
T1	15.0	20.5	24.0	25.3	21.0	18.1	20.1	14.0	15.8	16.0	18.2	20.0
T2	15.0	19.5	23.0	23.8	20.8	18.1	20.0	15.5	17.1	17.1	18.9	20.8
T3	15.5	22.0	24.8	25.3	21.5	18.2	21.2	13.7	16.0	16.5	18.5	20.6
T4	15.5	19.0	22.3	23.0	19.5	18.8	21.0	16.9	17.6	17.3	19.1	20.8
T5	21.3	20.3	23.5	24.0	20.8	18.6	20.7	15.9	17.0	17.0	18.7	20.5
T6	17.8	21.0	25.0	24.5	21.8	19.6	21.6	17.2	17.2	16.2	18.4	20.0
T7	22.5	23.3	25.0	25.8	21.5	18.8	21.0	15.9	16.8	16.1	18.5	20.3

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A3. Comportamiento de la Temperatura, del 15 de abril al 5 de mayo de 2003. UAAAN-UL.

Fecha	15/04/03	17/04/03	18/04/03	21/04/03	23/04/03	25/04/03	26/04/03	28/04/03	30/04/03	2/05/03	3/05/03	5/05/03
Trat.												
T1	21.8	25.6	23.3	23.5	24.7	25.4	25.3	25.6	25.3	26.4	28.0	28.1
T2	23.3	26.9	25.3	24.2	24.7	25.0	25.1	25.0	25.3	26.9	28.3	28.3
T3	22.3	25.5	23.2	23.9	24.1	25.1	25.2	26.2	24.4	26.5	28.3	28.5
T4	22.0	25.2	23.8	23.9	24.5	24.9	26.0	26.0	26.6	27.0	28.0	27.9
T5	22.4	25.0	23.4	24.8	25.3	24.9	25.6	25.7	26.2	26.7	28.5	28.1
T6	21.8	25.3	23.6	23.7	24.7	25.2	27.3	26.6	26.0	26.4	28.0	28.2
T7	22.0	26.3	23.2	24.6	24.9	25.0	25.8	25.4	25.8	26.5	28.3	28.0

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.

Cuadro A4. Valores de pH encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	7.7	7.66	7.49	7.72
T2	8.16	7.93	7.89	8.06
T3	8.27	7.93	7.65	7.85
T4	8.25	8.14	7.75	7.84
T5	7.75	8.07	7.67	7.7
T6	8.11	7.83	8.03	7.79
T7	7.84	8.07	7.82	7.74

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A5. Valores de CE (mS/cm) encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	14.5	9.69	5.39	5.73
T2	17.12	13.95	13.23	17.41
T3	13.52	8.27	10.79	14.46
T4	10.25	10.8	9.67	13.15
T5	11.31	8.89	8.03	9.94
T6	7.67	9.73	10.94	12.41
T7	12.51	12.09	8.95	10.98

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A6. Valores de CIC (meq/L) encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	3.5	11	17	20
T2	12	12	10	11
T3	13	16	4	16
T4	13	14	11	15
T5	9	8	8	19
T6	10	8	20	13
T7	10	6	17	17

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A7. Porcentaje de MO encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	7.866	10.352	13.702	8.543
T2	14.439	14.439	16.181	11.1
T3	12.496	13.032	15.645	12.2
T4	12.295	15.243	16.248	11.29
T5	9.95	11.96	14.573	8.744
T6	9.615	14.908	17.32	9.012
T7	8.208	15.645	15.645	10.955

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A8. Cantidad de CT encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	4.573	6.019	7.966	4.967
T2	8.395	8.395	9.408	6.453
T3	7.265	7.577	9.096	7.093
T4	7.148	8.862	9.447	6.564
T5	5.785	6.953	8.473	5.084
T6	5.590	8.667	10.070	5.240
T7	4.772	9.096	9.096	6.369

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A9. Valores de RAS encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	3.657	8.409	2.82	4.609
T2	5.926	10.647	7.127	9.002
T3	5.015	11.043	5.325	6.631
T4	4.497	9.157	4.742	6.125
T5	4.71	7.294	4.574	4.673
T6	3.667	5.925	5.086	5.565
T7	4.256	8.108	4.231	5.145

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.

Cuadro A10. Valores de PSI encontrados en el análisis químico realizado a los tratamientos. UAAAN-UL. 2003.

Tratamiento	1er. Mes	2o. Mes	3er. Mes	4o. Mes
T1	3.968	10.026	2.818	5.248
T2	6.960	12.621	8.469	10.729
T3	5.782	13.065	6.186	7.852
T4	5.099	10.910	5.423	7.214
T5	5.381	8.675	5.201	5.332
T6	3.984	6.959	5.875	6.497
T7	4.778	9.665	4.744	5.952

T1-T7= Tratamientos descritos en el punto 3.5.