

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA**

**“Elaboración de Compost modificando la relación
Carbono/Nitrógeno a partir de la biodegradación anaerobia de
la Ninfa Acuática (*Eichornia crassipes*) por la acción
microbiana del fluido ruminal**

Informe de tesis

Presentado por:

Miguel Emilio Morales Ortiz

Para optar al título de

Químico

Guatemala, Noviembre del 2003

DL
06
T(2182)

Junta Directiva

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
Universidad de San Carlos de Guatemala

M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Decano
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona	Secretaria
Licda. Gloria Elizabeth Navas Escobedo	Vocal I
Lic. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Dr. Federico Adolfo Richter Martínez	Vocal III
Br. Carlos Enrique Serrano	Vocal IV
Br. Claudia Lucía Roca Berreondo	Vocal V

Dedico este trabajo de Tesis

A Dios

A mis Padres

Agradecimiento

Al los Licenciados Carlos Humberto Klee Mendoza y Enrique Bernardo Flores Morales, por la asesoría brindada para la realización de esta tesis.

Al Dr. Alfredo Gálvez

Al Lic. Francisco Pérez

Al Lic. Hugo Sandoval.

Al Lic. Roberto Benavides.

Al Lic. Rodolfo Marinelli.

A la Ing. Sandra Lorena Hernández de Fong

Al Ing. José Emilio García .

A la Familia Najera Portillo.

A mis catedráticos: Licda. Diana Pinagel, M. Sc. Adolfo León Gross, Licda Julieta Roca de Pezzarossi, Licda Silvia Orozco, Licda. Noemí Orozco, Licda Flor de Maria Lara.

A todas las personas que de una u otra forma contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.

INDICE

1.	RESUMEN	Pag. 1
2.	INTRODUCCION.....	Pag. 2
3.	ANTECEDENTES.....	Pag. 4
3.1	Generalidades del lago de Amatitlan.....	Pag. 4
3.2	Plantas que crecen en el lago de Amatitlan.....	Pag. 5
3.3	Aprovechamiento de algas y plantas Superiores acuáticas.....	Pag. 6
3.4	Situación de los desechos orgánicos en Guatemala.....	Pag. 10
3.5	Proceso para la Elaboración de reacondicionadores de suelos agrícolas.....	Pag. 11
3.6	Factores que afectan el proceso de Compostaje...	Pag. 16
3.7	Características de la materia orgánica.....	Pag. 16
3.8	Celulosa.....	Pag. 18
3.9	Microorganismos celulolíticos.....	Pag. 18
3.10	Utilización de los desechos animales.....	Pag. 19
3.11	Componentes químicos de valor agronómico.....	Pag. 20
3.12	El compost como fertilizante.....	Pag. 21
4.	JUSTIFICACION	Pag. 24
5.	OBJETIVOS.....	Pag. 25
6.	HIPOTESIS.....	Pag. 26
7.	MATERIALES y METODOS.....	Pag. 27
8.	RESULTADOS.....	Pag. 33
9.	DISCUSION DE RESULTAOS.....	Pag. 35
10.	CONCLUSIONES.....	Pag. 39

11. RECOMENDACIONES.....	Pag. 40
12. REFERENCIAS.....	Pag. 41
13. ANEXOS.....	Pag. 45

1. RESUMEN

En la presente investigación se realizó la biodegradación anaerobia de la ninfa acuática (*Eichornia crassipes*) del lago de Amatitlan, mediante la acción microbiana de los microorganismos presentes en el fluido ruminal .

El proceso de biodegradación presentaba como objetivo fundamental establecer la mejor relación C/N a la que el sustrato (ninfa) sufre un mayor grado de biodegradación y el producto obtenido poder ser utilizado como un reacondicionador de suelos, para lo cual se modificó la relación C/N del sustrato (ninfa) en las siguientes relaciones: 10, 15, 19, 23, 29 utilizando urea como fuente nitrogenada. La biodegradación se llevo a cabo en biodigestores, construidos a partir de botes de metal, los cuales se diseñaron y adaptaron para un proceso anaerobio.

Durante el proceso de biodegradación se pudieron observar cambios físicos en la morfología de la planta, ya que al inicio del proceso la planta ya triturada se tornaba de una apariencia fibrosa sólida, de color verde intenso e inodora, al finalizar la etapa de biodegradación se pudo observar que el material resultante secado era de color negro oscuro, el cual tenia un olor fuerte a descomposición y su textura era granulenta polvorienta la cual se desintegraba al frotarla con los dedos. Estos cambios físicos son un buen indicativo de la biodegradación y transformación de la ninfa por efecto de los microorganismos contenidos en el fluido ruminal.

Se logró establecer en función de la variable analizada el % de materia orgánica fácilmente oxidable, que en el biodigestor en el que se llevó a cabo una mejor biodegradación del sustrato (ninfa), fue el biodigestor donde se modifíco la relacion C/N a 19 del sustrato (ninfa), ya que el porcentaje obtenido de materia orgánica fácilmente oxidable en dicho biodigestor fue de 45.18% que es una valor cuatro veces mayor al blanco 12.01% como también el análisis estadístico realizado nos indica una variación significativa entre los sistemas a los que se modifíco la relación C/N y el blanco, siendo este $p > 0.05$

2. INTRODUCCION

Actualmente muchos cuerpos de agua de nuestro país, especialmente lagos, se encuentran en un proceso de eutroficación, el cual se empieza a notar por un incremento significativo en el crecimiento de algas y plantas superiores acuáticas, las cuales se desarrollan debido a los altos niveles de nitrógeno y fósforo presentes en el cuerpo de agua.(2)

El agua con una baja cantidad de nutrientes, pasa de una condición oligotrófica a una eutrotròfica, la cual se caracteriza por un abundante crecimiento de algas y plantas, las cuales provocan un cambio en el equilibrio biológico del sistema, perdiendo éste su propiedad de autodepuración, aumentando como consecuencia la demanda bioquímica de oxígeno y disminuyendo la concentración de oxígeno disuelto.

En nuestro medio, el lago de Amatlán se encuentra en un proceso de eutroficación acelerado, el cual esta siendo causado por la falta de tratamiento a las aguas que desembocan en el mismo, provenientes de desechos Agro-Industriales y de las aguas residuales de los municipios colindantes al mismo, siendo estas últimas las más dañinas por el alto índice de fósforo que arrastran, proveniente de desechos fecales (fósforo fecal), como del fósforo proveniente de jabones y detergentes (Tripolifosfato de sodio). Se estima que una persona excreta aproximadamente de 1-2g de fósforo fecal por día y que el valor de fósforo debido a jabones y detergentes es de 4.6g por día.

El fósforo y su forma soluble fosfato, se han considerado un factor determinante en el crecimiento de las algas y plantas superiores acuáticas que crecen en el lago de Amatitlán, convirtiéndose a la vez en el factor crítico de la eutroficación, sumándose a éste, el nitrógeno proveniente de las actividades agrícolas de las laderas del lago.

Una de las formas de contribuir a retener el proceso de eutroficación, es retirar del lago las plantas acuáticas con lo cual se acelera la purificación del mismo, ya que dichas plantas han encontrado su medio propicio para desarrollarse debido a la cantidad de fósforo y nitrógeno presentes en el lago, y con esto se da lugar al crecimiento de nuevas plantas que utilizarán el fósforo y el nitrógeno remanentes en el agua y de esta forma ir disminuyendo su concentración.

El presente estudio tiene como objetivo, el aprovechamiento de uno de los contaminantes que crece en la superficie del lago de Amatitlán como factor indicativo de la eutroficación que está sufriendo el mismo, dicho recurso es la planta *Eichornia crassipes* (Ninfa o Lirio de Agua). Se pretende elaborar con dicha planta un reacondicionador orgánico de suelos por la técnica de compostaje, usando como agente biodegradador el líquido ruminal de vaca. Para establecer las condiciones adecuadas de crecimiento microbiano y de acción biológica sobre el sustrato en cuestión se procederá a modificar la relación Carbono/Nitrógeno del conjunto planta, agua, líquido ruminal en un rango comprendido entre 10 y 30, bajo condiciones de fermentación anaerobia, utilizando urea como fuente nitrogenada, la variación en la relación Carbono/Nitrógeno pretende establecer la mejor relación C/N que permita un proceso biodegradable acelerado, lo cual implique menor tiempo de fermentación en la elaboración de un reacondicionador de suelo a partir del sustrato Ninfa Acuática y líquido ruminal.

3. ANTECEDENTES

3.1 GENERALIDADES DEL LAGO DE AMATITLAN

El lago de Amatitlán está aproximadamente a 26 kilómetros al sur de la ciudad de Guatemala, pertenece a la cuenca del río Villalobos, dicha cuenca está localizada entre las latitudes 14° 40' y 14° 25' y las longitudes 90°45' y 90°25'.

(1)

La estación lluviosa ocurre en los meses comprendidos de mayo a octubre, el promedio anual de precipitación es alrededor de 1214 mm; la evaporación promedio anual es alrededor de 900 mm; y la temperatura promedio anual de 22° C.

El lago esta dividido en dos partes, la parte este y la parte oeste; ésta última es la que recibe el principal afluente y además el desfoje del lago.(1)

Entre los factores que afectan la calidad del agua del lago pueden mencionarse los siguientes:

- El crecimiento de la población, debido a que gran parte del agua residual domestica, proveniente de la población en la ciudad de Guatemala es transferida a la cuenca del río Villalobos, sumándose a estos los desechos sólidos de la misma y los de las poblaciones rurales, que eventualmente son conducidos al afluente del lago. (1,2)
- Los desechos de las principales actividades Agroindustriales, en los que se incluye: beneficios de café, caña de azúcar, hortalizas y árboles frutales. (1)
- Utilización de grandes cantidades de plaguicidas e insecticidas que contribuyen a la contaminación del lago. (1)

- Desarrollo de la industria en general.

Se han realizado diversos estudios con el propósito de encontrar soluciones factibles relacionadas con los factores mencionados anteriormente, pero ningún estudio ha sido aplicado de una forma real ante dicha problemática. Una de las posibles soluciones para disminuir la contaminación del lago; sería la utilización de algunas especies vegetales que crecen en el lago, en la elaboración de alimentos para ganado y la elaboración de abonos, ya que la presencia de dichas plantas contamina el lago reteniendo en sus raíces basura y desechos sólidos, evitando que otras especies acuáticas obtengan los recursos necesarios para su adecuado desarrollo. (3)

3.2 INFORMACION SOBRE ALGUNAS ESPECIES QUE CRECEN EN EL LAGO DE AMATITLAN

Las plantas acuáticas que se describen a continuación, son las que han contribuido de forma directa a la eutroficación del lago de Amatitlán.

3.2.1 *Egeria densa* (Elodea).

Planta acuática flotante en la orilla del lago, la cual crece de forma abundante en el lago de Amatitlán. La Elodea es utilizada como planta de ornamentación, como alimento de peces y ganado. (1)

Chapman y Coffey reportan que la ninfa puede ser utilizada como forraje, aunque eso no es muy seguro, ya que la Elodea posee en su composición pequeñas cantidades de Arsénico. (2)

3.2.2 *Typha dominguensis* (Tul).

Planta acuática que se encuentra en las orillas de los lagos, abundante en el lago de Amatitlán. Algunas especies de *Typha* han sido utilizadas como alimento en caso de mucha necesidad. Las raíces contienen una parte blanda muy fina que puede comerse cruda o cocida. Estas especies son una fuente rica de almidón, tienen tanta proteína como el maíz y el arroz y más carbohidratos que la papa.

Las hojas recubiertas de resina son utilizadas en la fabricación de alfombras, botes, sillas y mesas. (3)

Ling, citado por Bastarrechea reporta la utilización de la typha en la alimentación de peces herbívoros. (2)

3.2.3 *Sarotheredon mossambicus* (Tilapia).

Hasta hace algunos años la tilapia era una especie abundante en el lago de Amatitlán, pero actualmente la cantidad de esta y otras especies ha disminuido debido a diversos factores, entre ellos la contaminación del lago. (1,2)

Entre las características de la tilapia resalta que es un buen transformador de alimentos y desperdicios alimenticios, tiene una cadena alimenticia reducida, se adapta fácilmente al medio, generalmente no tiene parásitos. (2)

Entre las formas de alimentación de la tilapia tenemos las formas naturales y la forma artificial. La alimentación natural comprende la alimentación a través de algas y principalmente zooplancton y fitoplancton. La forma de alimentación artificial consiste en la cría de tilapia a base de alimentos adicionales a los naturales, el alimento debe de estar de tal forma, que sea fácilmente ingeridos los alimentos mas baratos y útiles son las hierbas verdes, granos, hojas de plátanos,

papaya, camote, lechuga y col. Entre los granos apropiados se encuentra maíz quebrado, mazorcas quebradas, salvado de maíz, desperdicios de arroz y de la elaboración de la cerveza. (2, 3)

La tilapia se alimenta también de desechos alimenticios, de las partes vegetativas de algunas hortalizas y de algunos otros desechos como gallinaza y pulpa de café. (3)

La alimentación artificial se utiliza con el objeto de obtener altos rendimientos de tilapia, en el menor lapso de tiempo. La alimentación se puede proporcionar una vez por día o dos veces por día una por la mañana y otra por la noche, esto dependería de la fertilidad del estanque y del tamaño del pez. (2)

3.2.4 *Eichornia crassipes* (Ninfa o Lirio de Agua).

Plantas acuáticas flotantes, las cuales se encuentran en gran cantidad en la superficie de las aguas del lago de Amatitlán. Se han realizado diversos estudios sobre la utilización de la ninfa; en la producción de levadura de cerveza; como alimento de peces herbívoros, ganado vacuno, ovejas, cerdos y aves; como fertilizantes y podría tener utilidad como combustible. (3)

Oyakawa, Orlandi y Valente, citados por Bastaerrechea en 1928 realizaron una investigación en la que se comprobó la utilidad de la ninfa en la producción de levadura de cerveza. (3)

Pirie, citado por Basterrechea, en 1935 realizó un estudio en el cual demostró que la ninfa después de un tratamiento adecuado, puede ser utilizado como alimento humano. (2)

Villadolid y Bunag, citado por Bastaerrechea, en 1916 realizaron un estudio en el cual demostraron que en la Filipinas en época de guerra, fue utilizada la ninfa como alimento humano, utilizando el capullo de esta planta como condimento de un caldo de verduras. (2)

Chalmers, en 1945 realizó un estudio sobre la utilización de la ninfa en la alimentación de animales rumiantes. Dicho estudio permitió establecer que la

mayor cantidad de proteína y fibra se encuentra en las hojas, y carbohidratos en el peciolo de dicha planta. Se demostró que la ninfa posee un alto valor nutritivo mayor que la paja, pero menor que el heno. Se sugirió que para mejorar la palatabilidad de esta planta se podría mezclar con melaza. (2)

Restrepo I, Phillips D. citan que Chatterjee y Hye, en 1938 realizaron un estudio sobre la utilización de la ninfa como alimento para el ganado vacuno concluyeron que los mejores resultados utilizando la ninfa como alimento se observan en el ganado joven. (9)

Churk JK y Fry J. citan que Hentges, Shirley y Easley, en 1948 realizaron un estudio sobre la toxicidad y la composición química de la ninfa, los resultados mostraron que esta planta posee en su composición minerales, taninos, oxalatos y arsénico del cual se encontró que posee 9 mg/Kg. (11, 12)

En Mississippi un proyecto de la administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de los Estados Unidos de América está fermentando la ninfa anaerobicamente para producir metano. Este proyecto experimental ofrece un método mediante el cual las hierbas acuáticas pudiesen convertirse en combustible. (19)

3.3 APROVECHAMIENTO DE ALGAS Y PLANTAS SUPERIORES ACUATICAS

El aprovechamiento de algas y plantas superiores acuáticas se remonta a varios siglos atrás con el uso de algas por las civilizaciones orientales para el consumo humano directo, como es el caso de los japoneses con el uso de *Laminaria sp.* y *Undaria sp.* como vegetales en su dieta, además de usarlas como excelentes fertilizantes orgánicos. (10)

Los extractos de algas han tenido un amplio uso, principalmente como emulsificantes en la preparación comercial de helados, leche chocolatada, mayonesas, pastas dentales, etc., Así como su uso como base en los medios de cultivos de microorganismos (agar-agar). (12)

En 1939, como caso aislado, Nelson, JW., y colaboradores. habían estudiado ya el valor nutritivo de varias plantas de agua dulce, encontrando en ellas un alto contenido proteico, carbohidratos y la presencia de algunas vitaminas. (12)

Después de la Segunda Guerra Mundial, se notó la necesidad de buscar nuevas fuentes de productos alimenticios para mantener la producción de alimentos al mismo nivel de crecimiento que el de la población. (12)

En 1949, se comenzaron los estudios sobre factibilidad del uso de la *Chlorella sp.* como alimento y posteriormente como fuente de aceite vegetal comestible. (11)

Tamura y colaboradores, en una serie de análisis químicos, encontraron que tanto la *Chlorella sp.*, como la *Scenedesmus sp.*, eran ricas en proteínas, conteniendo cantidades adecuadas de aminoácidos esenciales, con excepción de la metionina y de proveer un alto contenido de vitamina A. (15)

En Guatemala, el único estudio sobre el aprovechamiento de recursos acuáticos es de la Fuente, G., *et al.*, en el cual, basandose en la alta productividad de *Microcystis sp.* del lago de Amatitlán debido al eutrofismo, estudiaron su valor alimenticio, encontrando un alto contenido proteico, de Calcio y Fósforo. (1)

3.4 SITUACION DE LOS DESECHOS ORGANICOS EN GUATEMALA

En la ciudad de Guatemala se cuenta con una variedad de subproductos orgánicos, los cuales de una forma directa van a desembocar al lago de Amatitlán. Estos desperdicios se pueden clasificar dependiendo su origen de la siguiente forma:

- Desechos Agroindustriales; subproductos de la caña de azúcar, beneficios de café, cacao, trigo.
 - Desechos pecuarios; estiércol ovino, bovino, equino, porcino y gallinaza.
 - Desechos Municipales; residuos sólidos urbanos y rurales, aguas negras.
- (17, 18)

En la evolución de la sociedad desde la vida primitiva hasta la fecha, los desechos o desperdicios han constituido un problema grave para nuestro medio ambiente. Uno de los principales problemas ocasionados por los desechos sólidos, como la basura, es la contaminación del ambiente, tanto en las ciudades como en los alrededores de ríos y lagos, los cuales han sido utilizados por los vecinos colindantes, como vías para tirar desechos sólidos no biodegradables; este problema se ha ido marcando grandemente, ya que los ríos de la ciudad capital tienen su desembocadura al lago de Amatitlán y de esta forma arrastran los desechos sólidos hacia este, los cuales contaminan y se depositan en el fondo de lago. Otro tipo de factor que afecta al lago es la descarga de aguas negras no tratadas, ya que éstas introducen formas de vida indeseables al lago, ocasionando la creación de fangos y lodos que provocan mal aspecto y malos olores al cuerpo de agua.(17, 18)

Algunos de los desechos mencionados anteriormente pueden ser de carácter reutilizable por los agricultores para la obtención de abonos, producción de energía y reconstructores de suelos, una de las formas de lograr esto es colectando las plantas o cuerpos contaminantes en una escala industrial, ya que de esta forma estaríamos eliminando sustancias causantes de la eutroficación del lago, como el Nitrógeno y el Fósforo que en gran proporción han ocasionado formas de vida no deseables en el lago de Amatitlán. (20)

3.5 PROCESO PARA LA ELABORACION DE REACONDICIONADORES DE SUELOS AGRICOLAS.

3.5.1 GENERALIDADES

El compost es una técnica utilizada por los agricultores para estabilizar los nutrientes del estiércol y otros residuos vegetales y así ser aprovechados estos nutrientes para su uso como abonos orgánicos. (4)

En sus orígenes consistía en el apilamiento de los residuos de la casa, los excrementos de animales y personas y los residuos de la cosecha para que se descompusieran y transformasen en productos más fácilmente manejables y aprovechables como abono.(6)

Era un proceso lento, no siempre se conservaba al máximo los nutrientes y casi se aseguraba la higiene de la mezcla. El compostaje que se practica en la actualidad es un proceso tanto aeróbico como anaerobio que combina fases mesòfilas (15-45 °C) y termòfilas (45-70 °C) para conseguir la reducción de los residuos orgánicos y su transformación en un producto estable y valorizable.(4)

La conversión en compost de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener fertilizantes de manera racional, económica y segura a partir de diferentes residuos orgánicos y conservar y aprovechar los nutrientes presentes en estos residuos.(5)

Puede definirse el compost como el producto que se obtiene al someter la materia orgánica a un proceso de biodegradación anaerobia que la transforma en una mezcla estable, lo más homogénea posible y que guarda una relación entre sus componentes que le confieren un buen valor agronómico. Sus cualidades son:

- a) La mejora notoria en las propiedades químicas y bioquímicas de los suelos.
- b) Su utilización hace que el suelo retenga mas agua.
- c) Ahorro económico en abonos químicos.
- d) Es un sistema de reciclaje, con una útil revalorización del residuo.
- e) El compost es aplicable como sustrato, teniendo importancia su uso en el cultivo de plantas ornamentales. (20)

La estabilización de la materia orgánica se consigue por la oxidación de las moléculas complejas que se transforman en otras más sencillas y estables. En este proceso se desarrolla calor que, al elevar la temperatura de la masa, produce la esterilización de ésta y la eliminación de agentes patógenos y semillas. La biodegradación de la materia orgánica aporta una parte degradación o descomposición y otra reajuste o síntesis de nuevos productos. (18)

El proceso lo llevan a cabo los microorganismos (bacterias y hongos), y nuestra intervención se limita a proporcionar las condiciones idóneas para que el proceso se realice con la máxima rapidez y eficacia. Los factores que dificultan la

vida y desarrollo de los microorganismos son causa de entorpecimiento del proceso. (4)

Los materiales para transformar en compost pueden ser variados: césped cortado, cenizas de leña, estiércol, plumas, hojas de árboles, periódicos y los desperdicios de cocina y del huerto. (5)

La mezcla de distintos residuos orgánicos y su grado de trituración son variables del máximo interés con el que se requiera obtener el reacondicionador. Un buen progreso de la elaboración de compost requiere la aportación de dosis controlables de oxígeno y el mantenimiento de una humedad adecuada en la masa. Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico de transformación. (4)

La descomposición eficiente ocurrirá si ciertas variables (temperatura, pH, acidez) están idealmente en su valor óptimo. Todas están, a su vez, influenciadas por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar, la técnica de compostaje, la manera en que se desarrolla la operación y la interacción entre ellas. Los principales parámetros a considerar son los siguientes:

3.5.2 COMPOSICION DE NUTRIENTES

Todos los organismos necesitan nutrientes para crecer y reproducirse. Las cantidades varían de elemento a elemento manteniendo una relación constante unos con respecto a otros. El mantenimiento de este balance es especialmente importante para el Carbono y Nitrógeno. (4)

Al inicio del proceso la relación C/N debe estar próxima a 30, añadiendo, si es preciso, elementos nitrificantes o carbonatantes. Al finalizar el proceso debe estar próxima a 10, si la relación C/N es muy elevada, esta tiende a disminuir la

actividad biológica de algunos microorganismos en especial los de la microbiota vacuna.(15)

3.5.3 UTILIZACION DE OXIGENO

Se consideran dos divisiones: compostaje aeróbico y compostaje anaeróbico, estos términos tienen un significado relativo e indican las condiciones predominantes en el proceso.

El compostaje aeróbico se caracteriza por una rápida descomposición a cargo de bacterias presentes, con la consecuente liberación de una gran cantidad de energía en forma de calor a causa de la oxidación del carbono orgánico a dióxido de carbono.

En el compostaje anaeróbico, el Oxígeno libre es incluido de la masa de compostaje por la acción de microorganismos anaeróbicos. Este proceso se caracteriza por realizarse a temperaturas mesófilas y termófilas. (20)

3.5.4 TEMPERATURA

Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso. Debe mantenerse entre 35-65 °C; cada grupo de microorganismos tiene su temperatura optima para realizar su actividad: Criófilas de 5-15 °C, Mesófilas de 15-45 °C y Termófilas de 45-70 °C. (4)

El grupo favorecido descompondrá la materia orgánica para obtener materia y energía, y en la operación se emitirá calor que puede hacer variar la temperatura de la pila de residuos, dependiendo del volumen de la pila y de las condiciones ambientales. (4)

En general la temperatura conseguida en el proceso, junto con la competencia por los nutrientes y la producción de fermentos (antibióticos) que impiden su desarrollo, llega a eliminar los microorganismos patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas llegados con los residuos. A temperaturas demasiado elevadas mueren determinadas especies buenas para el compostaje, mientras que otras no actúan por estar en forma de espora. (4)

3.5.5 CONCENTRACION DE ION HIDRONIO (pH)

Influye en el proceso debido a su acción sobre los microorganismos, ya que hay microorganismos que se desarrollan colonialmente a determinados pH, lo cual puede afectar en el proceso de elaboración de compost, ya que al no darse el pH adecuado en la técnica de compostaje los microorganismos no se pueden desarrollar optimamente con lo cual el desdoblamiento de las moléculas orgánicas complejas a formas sencillas no se puede dar y la materia orgánica no se aprovecharía en su totalidad dándose en el proceso un bajo porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidable. (7, 8)

3.5.6 POBLACION MICROBIANA

Como ya se ha mencionado, el compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de bacterias y hongos, ligados a una sucesión de ambientes y a la temperatura del medio en que se desarrollen (psicrófilos, mesófilos y termófilos).

Al comenzar el compostaje, la temperatura de la masa es igual a la del medio y el pH es ligeramente ácido, los microorganismos mesófilos rápidamente empiezan a multiplicarse y la temperatura se eleva causando una disminución inicial del pH. Cuando la temperatura sube a más de 40°C, la actividad de los microorganismos mesófilos decae y el proceso de degradación es continuado por los microorganismos termófilos, el pH se torna alcalino produciéndose una liberación de amoníaco.

En el compostaje aeróbico interviene una mayor cantidad de bacterias que en el compostaje anaeróbico. (18)

3.5.7 HUMEDAD

En teoría, los valores de humedad para que pueda darse una biodegradación aeróbica están entre 30% y 70%, siempre que se asegure una buena aireación. En la práctica se deben evitar valores altos, pues desplazaría el

aire de los espacios entre partículas del residuo y el proceso pasaría a anaerobio. Si la humedad es demasiado baja disminuiría la actividad tanto para el proceso anaerobio como aeróbico, es por eso que para el proceso anaerobio la humedad debe estar por arriba de 80%.(4)

Para conseguir la humedad adecuada, se puede mezclar distintos tipos de residuos y triturar o desfibrar los materiales. La humedad adecuada es esencial para la actividad microbiológica. Una pila seca no favorece para nada la descomposición, por eso se debe humedecer periódicamente.(4)

3.6 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Debido a que el compost es un proceso biológico, los factores del medio ambiente tienen influencia en la actividad de los microorganismos, los más importantes son: 1) tamaño de la partícula del material, 2) concentración de cada desecho de la mezcla de reacción, 3) concentraciones de iones hidronio, 4) temperatura y 5) relación Carbono/Nitrógeno del desecho o materia prima a utilizar para el compostaje entre 25-20:1 y para el compost ya terminado de 14-20:1. (4)

3.7 CARACTERISTICAS DE LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO

3.7.1 IMPORTANCIA DEL SUELO

La materia orgánica es una porción importante del suelo, que generalmente en regiones cultivadas se encuentra en una concentración del 1 al 5 por ciento en los primeros 25 centímetros de la capa superficial de la tierra.

La materia orgánica es fuente de la mayor parte del Nitrógeno, Fósforo, Azufre, Boro y Molibdeno; elementos que constantemente sufren cambios y deben ser reemplazados continuamente para mantener la productividad del suelo.

3.7.2 COMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA

Todo organismo vivo o muerto, agregado al suelo, llega a ser parte de la materia orgánica. La mayor parte de la materia orgánica es conformada por la degradación de raíces y partes aéreas de las plantas.

Está constituida aproximadamente por 58% en peso de Carbono, Hidrogeno, Oxígeno y otros elementos en menores cantidades. Los átomos de Carbono unidos entre si constituyen el esqueleto básico de la materia orgánica. (8)

3.7.3 DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA

Algunos microorganismos como las bacterias y hongos, obtienen nutrientes y energía descomponiendo la materia orgánica del suelo, lo cual origina el uso de Carbono, agua y algunos elementos, liberando dióxido de carbono, agua y algunos elementos a la solución del suelo o la atmósfera; y contribuyen a la formación de humus.

Es un hecho que tanto las bacterias como los hongos trabajan óptimamente en suelos húmedos, siendo las bacterias las más efectivas para la degradación del material vegetal. Las bacterias utilizan aproximadamente el 70 % del Nitrógeno presente en el suelo como base estructural en la síntesis de proteína y así crear nuevas colonias de bacterias y hongos los cuales al existir en mayor cantidad biodegradarían la materia orgánica mas rápida y eficazmente. (22)

El contenido de Nitrógeno en microorganismos y materiales orgánicos esta en proporción al contenido de carbono; esta relación se denomina Carbono-Nitrógeno (C/N), La cantidad de microorganismos presentes en el suelo, esta limitada por condiciones en donde la disponibilidad de nitrógeno es baja (20, 22, 23).

Además, la descomposición se puede acelerar agregando fertilizantes nitrogenados para suplir las necesidades de los microorganismos y plantas. (24)

3.8 CELULOSA

Un importante constituyente carbonado de las plantas y probablemente el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, es la celulosa; pues gran parte de la vegetación tiene estructura celulótica, que en determinado momento se usara para formar parte del suelo. (25, 26) La celulosa es un carbohidrato compuesto de unidades de glucosa, las cuales están unidas por enlaces beta en los átomos de carbono 1 y 4, dos moléculas de la unidad estructural de glucosa, se unen dando como resultado el disacárido celobiosa, que al polimerizarse forma la molécula de celobiosa. (26, 27)

3.9 MICROORGANISMOS CELULOTICOS

Han y Callihan, encontraron que en regiones donde la concentración de Nitrògeno es mayor de la necesaria, la descomposición de la celulosa no responde a estos incrementos suplementarios; lo que demuestra que se requiere aproximadamente 1 unidad de nitrógeno por cada 35 unidades de celulosa oxidada, y que 3 partes de Nitrògeno se incorporan al protoplasma microbiano por cada 100 partes de celulosa que descomponen. (28, 29)

En estudios realizados por Van Gylswyk y colaboradores, se encontró que cada muestra analizada de material ruminal, había un promedio de cinco bacterias con actividad celulótica comprobada, y dependiendo de la dieta administrada a cada animal, variaba el numero de bacterias con dicha actividad. (27)

La actividad celulítica mostrada por gran diversidad de microorganismos se debe a la presencia del complejo enzimático 1,4-(1,3:1,4)- β -D-glucan 4-glucanhidrolasa, cuya actividad se estimula por el aumento de la concentración de fosfatos en presencia de bacterias ruminales. (28,29)

Se han realizados experimentos en fibra de algodón para determinar la actividad celulítica bacteriana de los microorganismos del fluido ruminal ante la celulosa, encontrándose altas pérdidas de peso en las fibras de algodón al ser encubadas a diferentes pH y diferentes concentraciones de Nitrógeno; evidenciándose de esta forma que el pH y la concentración de Nitrógeno, son relativos a la descomposición de la celulosa contenida en la fibra de algodón, por lo que se puede deducir que la biodegradación de materiales vegetales ricos en celulosa, al variar el pH y la concentración de Nitrógeno se ve favorecida obteniéndose un material mas aprovechable como recurso agronómico. (24, 30)

3.10 UTILIZACION DE LOS DESECHOS ANIMALES

Los abonos orgánicos han venido usándose desde tiempos remotos, principalmente como estiércol fresco y continuarán utilizándose en tanto el hombre mantenga una explotación agropecuaria. El valor del estiércol como abono, depende de factores importantes como: tipo de alimento consumido por el animal, origen y procedencia del estiércol, edad del estiércol, y por ultimo; el método de aislamiento o almacenamiento. El abono viejo biodescompuesto contiene nutrientes más fácilmente utilizables que el estiércol reciente.(37)

Todos los animales herbívoros tienen una porción dilatada en su tubo digestivo, donde los alimentos fibrosos y voluminosos que forman una gran proporción de su dieta, pueden ser detenidos y sufrir una fermentación, la cual es necesaria para su aprovechamiento. En los rumiantes, esta porción dilatada esta presentada por el rumen, que es un pre-estómago complejo. A medida que crece

una gran variedad de microorganismos. La proporción de cada tipo depende de la dieta animal. (38, 39)

El rumen y su fluido pueden ser considerados como una gran cámara de fermentación, que proporciona el medio conveniente para el cultivo continuo de la población microbiana. (39, 40) Además, es un sistema anaerobio en un medio ligeramente ácido y una fase gaseosa compuesta principalmente de bióxido de carbono, metano y Nitrógeno. En este medio se forma una población microbiana muy especializada. (40, 41, 42)

3.11 COMPONENTES QUIMICOS DE VALOR AGRONOMICO

Muchos elementos son necesarios para el desarrollo saludable de las plantas. Algunos han sido llamados esenciales ya que son requeridos en gran cantidad, mientras que otros lo son en cantidades pequeñas. (21, 43, 44)

El Nitrógeno posee una enorme importancia entre los elementos esenciales, ya que los componentes nitrogenados comprenden del 40 a 50 % de la materia orgánica seca del protoplasma. Por esta razón, el Nitrógeno es requerido en cantidades relativamente grandes para el proceso de crecimiento. El Nitrógeno está íntimamente ligado a la actividad de los organismos del suelo y es absorbido normalmente por las plantas en forma de nitrato. (43, 45)

Los suelos cubiertos por pastos y/o leguminosas se vuelven más ricos en Nitrógeno; mientras, los que son continuamente cultivados agotan sus suplementos de Nitrógeno. Es de mencionar que muchos suelos han sido explotados hasta el punto que el Nitrógeno orgánico en condiciones naturales casi ha desaparecido. (31, 43, 45)

En cuanto al Fósforo, se encuentra íntimamente ligado con el crecimiento de las plantas, e involucrado en muchas reacciones bioquímicas en las cuales los

compostaje de residuos es una técnica que permite la reducción de los mismos y la obtención de un valioso producto. El compost actúa aportando nutrientes directamente asimilables por la planta y mejorando las condiciones del suelo, aportando humus y materia orgánica que será mineralizada.(21, 22)

El compost se obtiene industrialmente por la transformación biológica de la materia orgánica que contienen los residuos. De esta transformación, resulta una enmienda orgánica de características importantes que sitúan al compost en un lugar destacado en la fertilización de todo tipo de terrenos agrícolas, tanto por la mejora del suelo, como soporte fisicoquímico, como en relación con la capacidad de retención de agua y otras características que aumentan su fertilidad inicial. (4)

Los ácidos resultantes de los procesos de degradación de la materia orgánica disuelven parte de los productos minerales del suelo y los hacen aprovechables para la nutrición de las plantas. La acción microbiana favorece la desaparición del efecto residual de la aplicación de herbicidas y otros productos fito sanitarios. (17, 25, 24)

El Nitrógeno contenido en el compost se encuentra en forma asimilable por las raíces, con la ventaja de ser retenido en el horizonte A-B (capa cultivable del suelo), evitando ser arrastrado por las aguas de lluvia o de riego a capas más profundas fuera del alcance del sistema radicular. La modificación que produce en la población microbiana del suelo la hace apta para la asimilación del Nitrógeno.(18)

El contenido de Fósforo y Potasio del compost no suele ser elevado, pero, la modificación de las características fisicoquímicas del terreno, hace que se incremente el grado de disponibilidad de estos elementos para la planta. El compost incorpora al terreno micro elementos (Cobre, Magnesio, Zinc, Manganeso, Hierro, Boro) que son muy necesarios para la actividad y desarrollo vegetativo de las plantas. (19)

También reduce la necesidad de pesticidas químicos al producir plantas saludables que son menos susceptibles a plagas de insectos y enfermedades. Además proporciona un saludable entorno biológico por el alimento que provee para microorganismos beneficiosos, tales como lombrices y gusanos removedores de suelo. (19)

El compost reduce la erosión y mejora la estructura del suelo, los suelos arenosos retendrán mejor el agua mientras que los arcillosos desaguarán más rápido. El mejor drenaje permite al agua fluir a capas más profundas en vez de encharcar la superficie y correr por la línea de pendiente. También ayuda al crecimiento de raíces que retiene el suelo. (18)

El compost producido debe ajustarse a normas. Se menciona a manera de guía, la normativa española sobre productos fertilizantes y afines, donde se distinguen diferentes abonos para usos agrícolas y en la que el compost es considerado dentro de la categoría de los orgánicos.

Materia Orgánica (sobre materia seca)	>25%
Nitrógeno Orgánico (sobre base seca)	>1%
Humedad	<40%
Metales Pesados, Lim. Máximos mg/Kg (ppm)	
Cadmio	40
Cinc	4
Mercurio	25
Cobre	1.75
Cromo	750
Niquel	900
Plomo	1.2

Fuente: Del Val, Alfonso. 1997. El libro del Reciclaje. Madrid.

4. JUSTIFICACION

Muchos de los desechos de la ciudad de Guatemala y algunos de los desechos de las diversas actividades agroindustriales y aguas residuales, tienen sus desembocaderos en el lago de Amatitlán, siendo las aguas residuales los desechos mas significativos y dañinos para el lago, ya que estas contienen altas concentraciones de Fòsforo y Nitrógeno las cuales contribuyen a la eutroficación del lago.

Una de las formas de detener este proceso de eutroficación en el lago de Amatitlán es crear sistemas de aprovechamiento de los cuerpos contaminantes. Las plantas que crecen en la parte inferior y superior del lago, como las algas y las ninfas se han desarrollado de una forma incontrolable, debido a que se nutren de los componentes de las aguas residuales y de otros desechos ricos en Fósforo y Nitrógeno que se encuentran disueltos en el lago. Debido a esta sobrepoblación de plantas acuáticas, los rayos solares no logran una penetración efectiva tanto en la superficie del lago como en el fondo del mismo, con lo cual se han inhibido los procesos de formación de microorganismos fotosintéticos, como también la oxidación de sustancias químicas (desechos foforados) los cuales se han depositado en fondo del lago, creando fangos o lodos indeseables lo cual ha venido a acelerar mas el proceso de eutroficación en el cuerpo de agua del lago de Amatitlán.

El presente estudio tiene como fundamento aprovechar la Ninfa (*Eichornia crassipes*) en la elaboración de un tipo de reacondicionador de suelo, en función de la biodegradación ejercida por la actividad biológica del liquido ruminal por modificación de la relación Carbono/ Nitrógeno, utilizando urea como fuente de Nitrógeno para establecer la mejor relación Carbono/Nitrógeno en el proceso de biodegradación anaeróbico en la obtención de un reacondicionador de suelo a partir del sustrato Ninfa acuática / fluido ruminal.

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

Elaborar compost a partir de la Ninfa Acuática (*Eichornia crassipes*) del lago de Amatitlán, por la acción de los microorganismos contenidos en el fluido ruminal y modificación en el sistema de la relación Carbono/Nitrógeno, mediante el uso de urea como fuente nitrogenada.

5.2 Objetivos Específicos

5.2.1 Determinar la relación C/N óptima a la cual los organismos contenidos en el fluido ruminal modifican en mayor grado al sustrato Ninfa acuática

5.2.2 Determinar la relación C/N óptima en el proceso de biodegradación mediante la evaluación de las variables indicativas; % de materia orgánica fácilmente oxidable, % de cenizas, % de Fósforo y % de Nitrógeno.

6. HIPOTESIS

La variación en la relación Carbono/Nitrógeno utilizando urea, en el sistema anaeróbico Ninfa acuática y fluido ruminal, acelera la biodegradación del mismo; obteniéndose un reacondicionador de suelo de buena calidad.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 UNIVERSO DE TRABAJO

El universo de trabajo estará formado por la planta acuática *Eichornia crassipes* (ninfa o lirio de agua) del lago de Amatitlán como desecho vegetal; fluido ruminal de vaca, como agente biodegradador y urea (fuente nitrogenada) como agente modificador de la relación Carbono/Nitrógeno en el sistema ninfa acuática/fluido ruminal.

7.1.2 POBLACION

Todas las Ninfas acuáticas del lago de Amatitlán.

7.1.3 MUESTRA

25 Kg. De ninfa Acuática del lago de Amatitlán.

7.2 RECURSOS HUMANOS

- Miguel Emilio Morales Ortiz (investigador).
- Lic. Carlos Klee Mendoza (Asesor principal)
- Lic. Enrique Flores Morales (Asesor adjunto).

7.3 RECURSOS FISICOS

- Laboratorio Químico del Centro de Investigación de la Caña del Azúcar (CENGICAÑA)
- Laboratorio del Departamento de Físico Química de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia (USAC)

7.4 RECURSOS INTITUCIONALES

- Biblioteca de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacias (USAC)
- Biblioteca de la Facultad de Agronomía (USAC)
- Biblioteca de la Facultad de Veterinaria. (USAC)
- Biblioteca del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP)
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería (USAC)
- Biblioteca de la Universidad del Valle de Guatemala. (UVG)

- Institución Amigos del lago de Amatitlán.
- Biblioteca del Centro de Investigaciones de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA)

7.5 RECURSOS MATERIALES

7.5.1 EQUIPO Y MATERIALES

- Equipo de digestion Kjeldahl
- Espectrofotómetro UV-Visible
- Termómetros
- Balanza semi-analítica
- Estufa con agitador magnetico
- Papel filtro Whatman No. 40
- Digestores anaeròbicos.

7.5.2 REACTIVOS

- Acido Sulfúrico p.a
- Dicromato de Potasio p.a
- Difenilamina p.a
- Acido Fosfórico p.a
- Sulfato Ferroso amónico p.a
- *Sulfato* de Cobre p.a
- Hidróxido de Sodio al 30% p.a
- Acido Clorhídrico 0.5 N p.a
- Indicadores Rojo de Metilo, verde de bromo cresol (Shiro-Tashiro) p.a
- Vanadato/Molibdato (cromògeno) p.a
- Agua desmineralizada
- Liquido ruminal
- Ninfas Acuticas

7.5.3 CRISTALERIA

- Balones Kjeldahl de 500mL
- Balón aforado de 100 y 500mL

- Erlenmeyer de 250 y 500mL
- Cristalería de uso común en el laboratorio.

7.6 PROCEDIMIENTO

7.6.1- La planta acuática *Eichornia crassipes* (ninfa o lirio de agua) se secará al sol y se triturará utilizando un molino para reducirla de tamaño.

- Se realizará el análisis físico-químico de la misma, para determinar la relación Carbono/Nitrógeno existente en la planta .
- Se fabricaron 108 biodigestores anaerobios, de los cuales 18 corresponden a un blanco que contendrán, 80 Gr. de ninfa mas 400mL de agua, de estos 18 se analizarán 3 cada semana durante seis semanas, el resto de biodigestores corresponden a las relaciones Carbono/Nitrógeno 10, 15, 19, 23, 29 en las que se modificará la relación C/N de la ninfa utilizando urea. Cada una de las relaciones C/N (10, 15, 19, 23, 29) tendrá un juego de 18 biodigestores distribuidos en seis semanas, correspondiendo tres biodigestores a cada semana, conteniendo cada uno de ellos 400mL de agua, 400mL de liquido ruminal , 80 Gr. de ninfa acuática y modificación de la relación C/N utilizando urea.
- Luego se incubarán los biodigestores por seis semanas a una temperatura de 35°C, y un pH aproximadamente igual al del fluido ruminal.
- Durante las seis semanas se realizarán muestreos cada 8 días a cada uno de los diferentes biodigestores y se analizará por duplicado Nitrógeno Total, Fósforo, Materia Orgánica Fácilmente oxidable y % de Ceniza.
- Se compararan los diferentes niveles de relación Carbono/Nitrógeno para cada uno de los componentes: Nitrógeno Orgánico, Fósforo, Materia Orgánica. Utilizando un análisis de varianza de una vía, se procederá a comparar los resultados de relación C/N en cada una de las muestras en función del parámetro indicado bibliográficamente para la obtención de un buen reacondicionador de suelo, el cual indica que para un buen reacondicionador de suelo la relación carbono/nitrógeno obtenida del proceso de biodegradación tiene que ser entre 20-21 C/N.

7.7 METODOLOGIA ANALITICA

7.7.1 MATERIA ORGANICA (METODO DE WALKLEY Y BLACK)

En un erlenmeyer de 250mL colocar un gramo de ninfa seca y triturada proveniente del numeral 7.6.1. Se añaden 20 mL de dicromato de potasio 0.2492 N y 20mL de ácido sulfúrico concentrado. La suspensión debe tener coloración marrón. Agitar por un minuto y dejar en reposo por media hora, luego se transfiere a un balón aforado de 250mL llevar al aforo con agua destilada.

En un beaker agregar 5mL de la solución más 10mL de agua destilada, 5 gotas de difenilamina y 3 mL de ácido fosfórico concentrado. Luego valorar con sulfato ferroso amoniacal 0.025M, hasta obtener una coloración verde manzana. (21)

$$\text{Calculos. } \%M.O. = 10(1 - T/S) \times 1.34$$

Donde S= valoración en blanco, ml de disolución ferrosa.

T= valoración de la muestra, ml de disolución ferrosa.

7.7.2 NITROGENO TOTAL (METODO DE KJELDAHL)

Transferir a un matraz de Kjeldahl un gramo de muestra seca, añadir 20mL de mezcla digestiva y 5 gotas de una solución de sulfato de cobre sobresaturada, arrastrando las partículas de muestra que pudieran quedarse adheridas al cuello del matraz. Calentar en una campana suavemente hasta obtener una solución de tono claro y se deja enfriar. Lavando con agua desmineralizada se transfiere todo el contenido a un balón de 100mL y aforar con agua desmineralizada. Agregar al equipo de destilación Kjeldahl 10mL de la solución y 10mL de hidróxido de sodio al 30%. Recoger el destilado en un beaker que contenga 20mL de agua destilada y 20 mL de ácido bórico sobresaturado, recogiendo 40mL de destilado hasta la marca de 80ml en el beaker) agregar 5 gotas de indicador Shiro-Tashiro al destilado y valorar el Nitrógeno con ácido clorhídrico 0.5N, hasta coloración rosada. Calcular la cantidad de Nitrógeno de acuerdo a la fórmula (7.7.2.1) (21).

$$\% \text{ de Nitrógeno} = (A - B) \times N \times 1.4/S \text{ (7.7.2.1)}$$

Donde: A = ml de ácido valorado gastados en la muestra

B = ml de ácido valorado gastado en el blanco

N = normalidad del ácido.

S = peso de muestra utilizado.

7.7.3 CENIZAS

Pesar 2 gramos de muestra proveniente del numeral 7.6.1 y colocar en un crisol previamente tarado, luego introducir a la mufla hasta 500°C durante 2 horas, dejar enfriar y pesar. El peso del residuo del crisol se calcula como porcentaje de cenizas. (21)

7.7.4 FOSFORO SOLUBLE

Al residuo obtenido de la determinación de ceniza, agregar 5ml de una solución de ácido clorhídrico (0.5N) y calentar durante media hora. La solución que se obtiene se filtra con papel Whatman No. 40 hacia un balón aforado de 100ml, aforar.

Tomar una alícuota de 10mL y colocar en un balón de 100mL y aforar, luego transferir el contenido total a un erlenmeyer de 250mL. Agregar 10mL de cromógeno (vanadato/molibdato) y a los diez minutos leer en el espectrofotómetro a 400nm. (21)

El cálculo de fosfato se hace con una curva preparada de la siguiente forma: Se toman alícuotas de 4, 8, 12, 16, 20, 24, y 28 mL de la solución patrón de fosfatos con una concentración de 25ppm; se colocan en balones de 100mL y se aforan, el contenido total de ellos se traslada a erlenmeyer de 250mL, se le agrega 10mL de cromógeno, y a los 10 minutos se leen a 400nm. El blanco es preparado con 100mL de agua y 10mL de cromógeno. Se expresan los resultados en ppm de muestra seca al aire.

CARBONO.

1. Pesar un crisol (anotar su peso).
2. Colocar 0.5Gr de muestra analizar en el crisol.
3. Colocar durante 4 horas el crisol a una mufla a 550° C
4. Dejar enfriar el crisol en una desecadora.
5. Pesar el crisol
6. Luego determinar el peso (peso de carbono).
7. Dividir el peso entre la cantidad de muestra y multiplicar por cien.

7.8 DISEÑO DE INVESTIGACION

Muestreo tipo no probabilístico por conveniencia

Variables independientes:

- Urea
- Fluido ruminal
- Tiempo
- Materia orgánica

Variables dependientes:

- Fosforo soluble
- Nitrógeno total
- Cenizas.
- Matgeria organica
- Carbono

7.9 ANALISIS ESTADISTICO

Se compararan los diferentes niveles de relación Carbono/Nitrógeno para cada uno de los componentes que interesan: Materia orgánica, Fósforo, Nitrógeno total y Cenizas utilizando para ello un Análisis de Varianza de una Vía.

8. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los análisis realizados durante seis semanas, semana a semana, al material biodegradado en los reactores.

Tabla No. 1

COMPONENTES	CONTROL						REL. C/N 10					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
%MATERIA ORGANICA	12.50	12.80	13.50	14.16	15.20	16.70	27.92	28.12	29.01	29.15	29.35	30.40
PPM FOSFORO	2.08	2.10	2.12	2.15	2.17	2.22	5.23	6.18	6.35	6.56	7.01	6.85
% CENIZAS	12.50	11.98	11.52	11.45	11.25	11.30	7.90	7.77	7.73	7.86	7.58	7.48
% NITROGENO	13.12	13.65	13.75	14.01	14.52	14.20	8.56	8.65	7.86	9.01	9.22	8.75

Tabla No. 2

COMPONENTES	REL. C/N 15						REL. C/N 19					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
%MATERIA ORGANICA	32.15	33.07	33.65	34.05	34.12	35.78	43.40	44.12	45.06	46.12	46.20	46.18
PPM FOSFORO	6.42	5.59	6.59	6.67	6.22	6.35	2.32	2.34	1.18	2.65	2.36	1.20
% CENIZAS	6.55	6.19	5.53	4.75	4.58	5.28	4.43	4.25	4.32	4.75	4.88	4.25
% NITROGENO	10.45	10.25	8.35	9.26	9.28	9.76	10.12	9.58	9.76	10.65	9.86	9.58

Tabla No. 3

COMPONENTES	REL. C/N 23						REL. C/N 29					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
SEMANAS												
%MATERIA ORGANICA	35.70	34.95	34.50	33.68	33.17	32.20	28.65	27.45	27.12	26.56	25.67	25.22
PPM FOSFORO	1.75	1.68	1.33	1.25	1.58	1.57	1.38	1.27	1.08	1.12	1.05	1.17
% CENIZAS	6.00	6.18	6.48	6.58	5.57	4.29	6.12	6.52	5.69	5.23	6.18	6.47
% NITROGENO	8.77	9.58	8.65	8.58	9.17	9.28	7.85	8.65	8.76	9.18	8.56	8.67

Tabla 4

Promedios de los resultados obtenidos.

VARIABLES	CONTROL	REL. C/N 10	REL. C/N 15	REL. C/N 19	REL. C/N 23	REL. C/N 29
%MAT. ORGANICA	12.01	28.91	33.8	45.18	34.03	26.78
PPM FOSFORO	2.14	6.36	6.30	2.00	1.52	1.17
% CENIZAS	11.60	7.72	5.48	4.48	5.85	6.03
% NITROGENO	13.88	8.67	9.55	9.92	9.00	8.61

9. DISCUSION DE RESULTADOS

La degradación de la materia orgánica de una forma compleja a otra mas simple y su aprovechamiento como abono orgánico, depende de las condiciones necesarias para que los microorganismos puedan actuar y llevar a cabo una mejor degradación de los componentes orgánicos. En el presente estudio, para poder definir de una mejor forma la biodegradación anaerobia de la Ninfa Acuática (*Eichornia crassipes*) del lago de Amatitlan, se analizó la efectividad de la biodegradación en función de las variables de % de materia orgánica fácilmente oxidable, % de Cenizas, % de Fósforo total y % de Nitrógeno orgánico.

En función de las variables analizadas (% de materia orgánica, % de cenizas, % de Fósforo total, % de Nitrógeno Orgánico), en el desarrollo de la investigación, se pudo establecer que al someter el sustrato (ninfa del lago de Amatitlan), a un proceso de biodegradación, utilizando fluido ruminal como agente microbiano y modificando con urea la relación C/N de la planta (Ninfa) en diferentes proporciones (10, 15, 19, 23, 29), se pudo identificar, que fue en el biodigestor con modificación de relación C/N 19 (ver anexo 1), donde se llevo a cabo un mejor proceso de biodegradación, ya que se obtuvo un mayor porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidable 45.18%, lo cual representa un valor aproximado de cuatro veces mayor al blanco 12.01% y un mayor porcentaje a los demás biodigestores con diferentes relación C/N. (Ver anexo 1)

Esto indica que es la relación C/N de 19 donde se establece el balance ideal de C y N, para que los microorganismos del fluido ruminal puedan interactuar eficientemente.

Al analizar los resultados obtenidos, de las variables evaluadas % ceniza (anexo 2), % Nitrógeno Orgánico (anexo 3), % Fósforo (ver anexo 4) en función del % de materia orgánica fácilmente oxidable obtenido (anexo 1), se pudo inferir lo

siguiente: Que el valor de % de ceniza (anexo 2) del Blanco es de 11.60%. Conforme la relación C/N es modificada en cada biodigestor, se observa que dicho valor disminuye en los biodigestores con relación C/N 10 y 15 (7.72% y 5.48%) hasta alcanzar el balance ideal de C, N en el sistema con relación C/N 19, donde su valor es de 4.48%. Este descenso del valor de % de ceniza se alude a que en el momento en que los microorganismos encuentran las condiciones equilibradas para poder interactuar en función de la modificación de la relación C/N en el sustrato (Ninfa) procederán a degradar la materia orgánica en mayor porcentaje, con lo que las estructuras de compuestos organometálicos y sales inorgánicas contenidas en la estructura del sustrato (Ninfa) empiezan a solubilizarse en la fase acuosa del sistema, por lo que disminuye el contenido de cenizas en la biomasa obtenida del biodigestor con relación C/N de 19 (ver anexo 2) y al ser esta la relación mas baja en contenido de cenizas nos indica que el sustrato si está siendo biodegradado, lo cual se comprueba al evaluar la gráfica de % de materia orgánica fácilmente oxidable (ver anexo 1) ya que es en la relación C/N de 19 de esta gráfica donde se obtiene el mayor porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidable siendo este valor de 45.18%.

Al analizar la gráfica de % de materia orgánica fácilmente oxidable (anexo 1), se observa que después de establecerse el equilibrio C:N en la relación C/N de 19, el % de materia orgánica fácilmente oxidable empieza a disminuir en las relaciones C/N de 23 y 29, esto se debe a que en las relaciones C/N de 23 y 29 se pierde el equilibrio C:N existiendo mas carbono que Nitrógeno, con lo cual se ve inhibida la actividad microbiana, ya que al existir poco Nitrógeno los microorganismos no pueden seguir sintetizando su material protéico, el cual es indispensable para su crecimiento colonial bacteriano y al no haber crecimiento bacteriano la biodegradación del sustrato (ninfa) se realiza con menor intensidad, por lo que los porcentajes obtenidos de materia orgánica fácilmente oxidable en las relaciones C/N de 23 y 29 son bajos en comparación a los de la relación C/N de 19 (ver anexo 1) donde si se da un equilibrio de C:N para el crecimiento de la población bacteriana.

Al inicio del proceso los biodigestores, elaborados tanto, los correspondientes al blanco como los de las relaciones C/N de 10, 15, 19, 23, 29 en los que se modifico el sustrato (Ninfa), se encuentran a un pH igual al del fluido ruminal (pH=5.8). Al finalizar el estudio, en cada biodigestor de las relaciones C/N de 10, 15, 19, 23, 29 menos el blanco, se genero un pH diferente al del fluido ruminal (Ver anexo 5).

Este cambio de pH, con una tendencia alcalina, se alude a que muchos microorganismos poseen en su estructura celular la enzima ureasa, la cual funciona como un catalizador responsable de la hidrólisis de la urea en función de la siguiente ecuación.



La producción de amoniaco causada por la hidrólisis de la urea, genera un cambio de pH en los biodigestores, el cual puede alcanzar valores alcalinos arriba de 9. Lo cual se pudo observar en el desarrollo experimental al finalizar el estudio (ver anexo 5).

A pH mayores de 7 se da una volatilización de Nitrógeno en forma de amoniaco, por lo que se puede ver inhibida la actividad microbiana, ya que estas pérdidas representan un 25% del Nitrógeno aplicado en forma de urea, es por eso que al analizar la gráfica de % de Nitrógeno y la de pH se observa que arriba del pH donde se establece el equilibrio de la mejor actividad microbiana (pH 6.4), el % de Nitrógeno empieza a disminuir a valores más altos de pH (pH 8.0 y 8.4) según la siguiente ecuación.



En la gráfica de % de Nitrógeno orgánico (anexo 3), luego de establecerse el equilibrio de la relación C/N donde se da la mayor actividad microbiana, por parte de los microorganismos del fluido ruminal (Relación C/N 19). Se observa una

disminución del valor de % de nitrógeno orgánico, la cual se relaciona con el pH que se ha generado en los biodigestores con relación C/N 23 y 29 que es un pH alto, arriba de 6.4 dándose una volatilización de nitrógeno en forma de amoniaco con lo cual los microorganismos del fluido ruminal empiezan a decaer en su actividad biodegradativa, debido a la disminución de nitrógeno en el sistema, esta disminución de la actividad microbiana por la volatilización de Nitrógeno en el sistema (ninja/fluido ruminal) se hace notoria al evaluar la gráfica de % de materia orgánica fácilmente oxidable ya que a valores de pH arriba de 6.4 que es donde se da la volatilización de Nitrógeno en forma de amoniaco, el % de materia orgánica empieza a decaer por lo que el porcentaje de materia orgánica fácilmente oxidable también decae en los biodigestores con relación C/N de 23 y 29 (ver anexo 1) .

Los microorganismos presentes en el medio utilizan el Fósforo soluble para la generación de energía en forma de ATP, es por esto la disminución del porcentaje de Fósforo en la etapa de mejor efectividad de relación C/N 19 debido a que existe una reproducción de organismos y consume mayor Fósforo para su energía en forma de ATP, el porcentaje de ceniza es también bajo debido a que se encuentra mayor transformación de la materia orgánica.

En lo referente al tratamiento estadístico de los valores obtenidos, el análisis de varianza de una vía (ver anexo 6) demostró que existe diferencia estadística significativa entre las relaciones C/N ($p > 0.05$), por lo que la variación en las mismas es la causa primordial en la elevación de la materia orgánica fácilmente oxidable, en comparación al sistema control (Blanco).

10. CONCLUSIONES

- 1.- La relación C/N 19 es la ideal para favorecer la biodegradación de la ninfa acuática del lago de Amatitlán (*Eichornia crassipes*) con la acción microbiana del fluido ruminal.
- 2.- En la relación C/N 19 se obtuvo un acondicionador de suelo 4 veces mayor en su contenido de materia orgánica fácilmente oxidable, en comparación con el blanco.
- 3.- Relacionando las variables analizadas % materia orgánica fácilmente oxidable, % de cenizas, % de Nitrógeno y % Fósforo se pudo establecer la mejor relación C/N para la biodegradación de la ninfa acuática del lago de Amatitlán.
- 4.- El factor que más influye en la formación de NH_3 y la subsiguiente pérdida de Nitrógeno es el pH alcalino del medio.
- 5.- La materia orgánica fácilmente oxidable contenida en el material biodegradado, es el mejor indicativo de la efectiva biodegradación de la materia orgánica por las bacterias contenidas en el fluido ruminal.

11. RECOMENDACIONES

- 1.- Rediseñar un biodigestor a mediana o gran escala, en el cual se pueda manejar grandes cantidades de ninfa acuática y modificar su relación C/N a 19 directamente para efectos de la biodegradación por acción del fluido ruminal y poder elaborar un reacondicionador de suelo.
- 2.- Estudiar la variable pH ya que se pudo identificar como importante en el desarrollo microbiano, haciendo una gama de biodigestores a relación C/N 19 y ajustando su pH en función de los valores de pH obtenidos en el presente estudio.
- 3.- Aislar e identificar los microorganismos presentes en el fluido ruminal y probar su efectividad ante el mismo sustrato por separado.
- 4.- Realizar investigaciones que promuevan el aprovechamiento de desechos agroindustriales en función de la técnica empleada en el presente estudio con el objetivo de mejorar la productividad agrícola.

12. REFERENCIAS

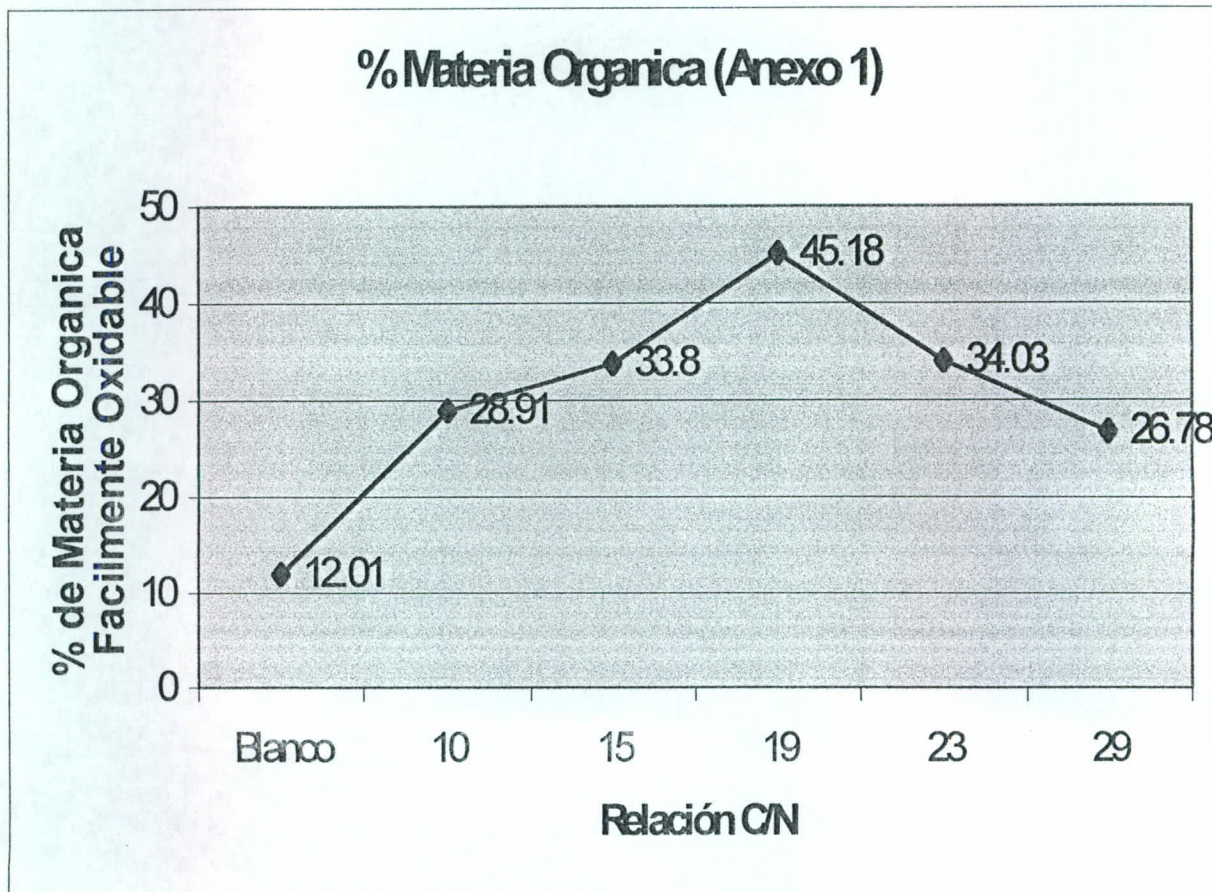
1. Abreu AT. Principales parámetros físicos, químicos y biológicos considerados en la investigación aplicada de la autrotificación del lago de Amatitlán. Guatemala: Material no impreso, 1984. 19p. (p. 14-16).
2. Basterrechea M. La problemática del lago de Amatitlán y soluciones factibles. Guatemala: Programa de Control de Contaminación en la ciudad de Guatemala: Material Impreso, 1985. 33 p. (p. 18-20)
3. Basterrechea M. Modelo para estimar la cantidad de agua en los lagos: El lago de Amatitlán. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1983.. 17p. (p. 5-19).
4. Valvert C. Obtención de un acondicionador de suelos (compost) utilizando pulpa de café como sustrato y líquido ruminal de vaca como material degradador. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1996. 54p.
5. Mansur Aisse M, Obladen NL, dos Santos AS. Aprovechamiento de residuos sólidos. Brasil: Conselho Nacional de Desenvolvimentos Científicos (CNPDq-ITAH-IPPVC-LHISAMA), 1981. 108p. (p.8-11)
6. Organización Mundial de la Salud. El reciclaje. Costa Rica: Organización Mundial de la Salud. Doc Tec No. 2, 1983. 358p.
7. Tay JM. Evaluación preliminar de proceso de compostamiento en la planta de tratamiento de la Municipalidad de Guatemala. Guatemala: Universidad de San Carlos estudio para optar el grado académico de Magíster Scientifcae, Facultad de Ingeniería), 1984. 60p.
8. Ramírez G. Sistemas de disposición de excretas y aguas servidas en lugares que carecen de alcantarillado. Guatemala: Universidad de San Carlos, (tesis de graduación, Facultad de Ingeniería), 1980. 87p.
9. Restrepo I, Phillips D. La basura, consumo y desperdicio en el Distrito Federal. México: Instituto Nacional de Consumidor, 1982.193p. (p.22-55)
10. Donahue RL. Miller R, Shecksluna JC. Introducción a los suelos y al crecimiento las plantas, ed. Colombia: Prental, 1981. 632p.
11. FRY J. Practical building of methane power plant for rural energy independence. Santa Barbara, California USA: John Fry: 1974. 112p

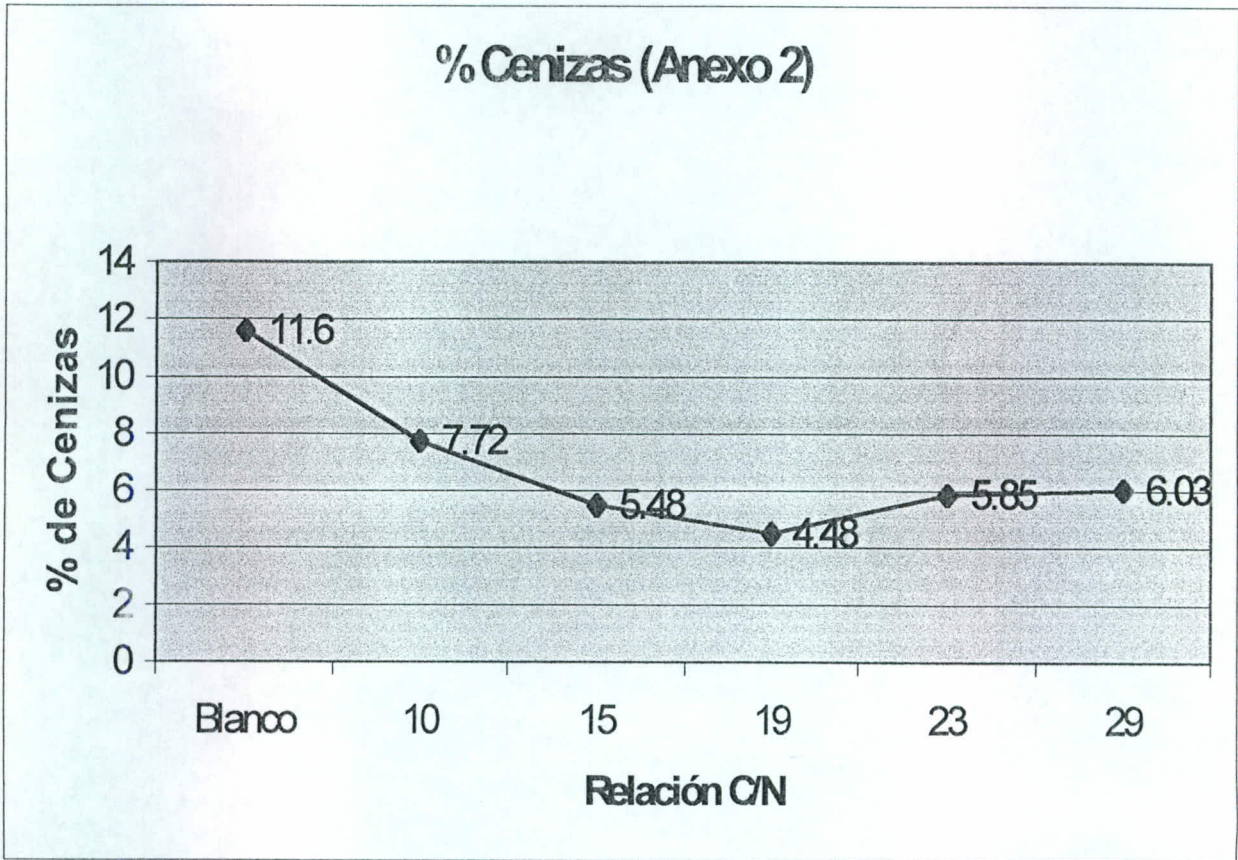
12. Church JK. Organic gardening and farming (eds). Organic fertilizer; wich ones and how to use them. Emmaus, Pa.USA: Rodale press Inc. 1976. 129p.
13. Gray K.R. Sherman K. Biddlestone A.J. A review of composting. practical process biochen 1971; 1:30-34
14. Gray K.R. Sherman K. Biddlestone A.J. A review of composting. practical process biochen 1973; 3:15-18
15. Barrientos C. Tratamiento y Utilización de desechos urbanos, reciclaje de desechos una solución atractiva. Doc. Tec. 1986. 89p. (20-21).
16. Hubbell D.F. Técnica agropecuaria aplicada a zonas tropicales, Fernández G.A. (trad), México, AID, 1969. 135p.
17. Organization of the United Nations, China recycling of organic wastes in agriculture, soils, 1977. 55p. 40:10-12.
18. Donahue R.C. Soils an introduction to soils and plant growth, 2 ed. New Jersey, USA: Prentice-hall, 1965. 140p
19. Kellogg CE, et al. The yearbook of agriculture. USA: The United States government office, 1957. 784p.
20. Molina M. Microbiología de suelos y técnicas fitopatológicas, Guatemala: Universidad de San Carlos, 1957. 287p. (p.42-47)
21. Hopton HE. Ciencias y tecnología del suelo. Guatemala: Universidad de San Carlos, 1973. 366p.
22. Foth HD. Fundamentos de la ciencia del suelo. 2 ed. México: CECSA, 1986. 433p. (p.207-228)
23. Alexander M. Introducción a la microbiología del suelo. Penco JJ. Trad México: AGT, 1980. 499p. (p.162-177).
24. Weinr Ba. Rhoders Ra. Fermentation of feedlot waste filtration by fungi an streptomycetes. App1 Microbio1, 1974; 28:845-850.
25. Belsder LW. Nitrate reduction to nitrite, a possible source of nitrite for growth of nitrite-oxidizing bacteria. App1 Env Microbiol, 1974; 34:403-410.

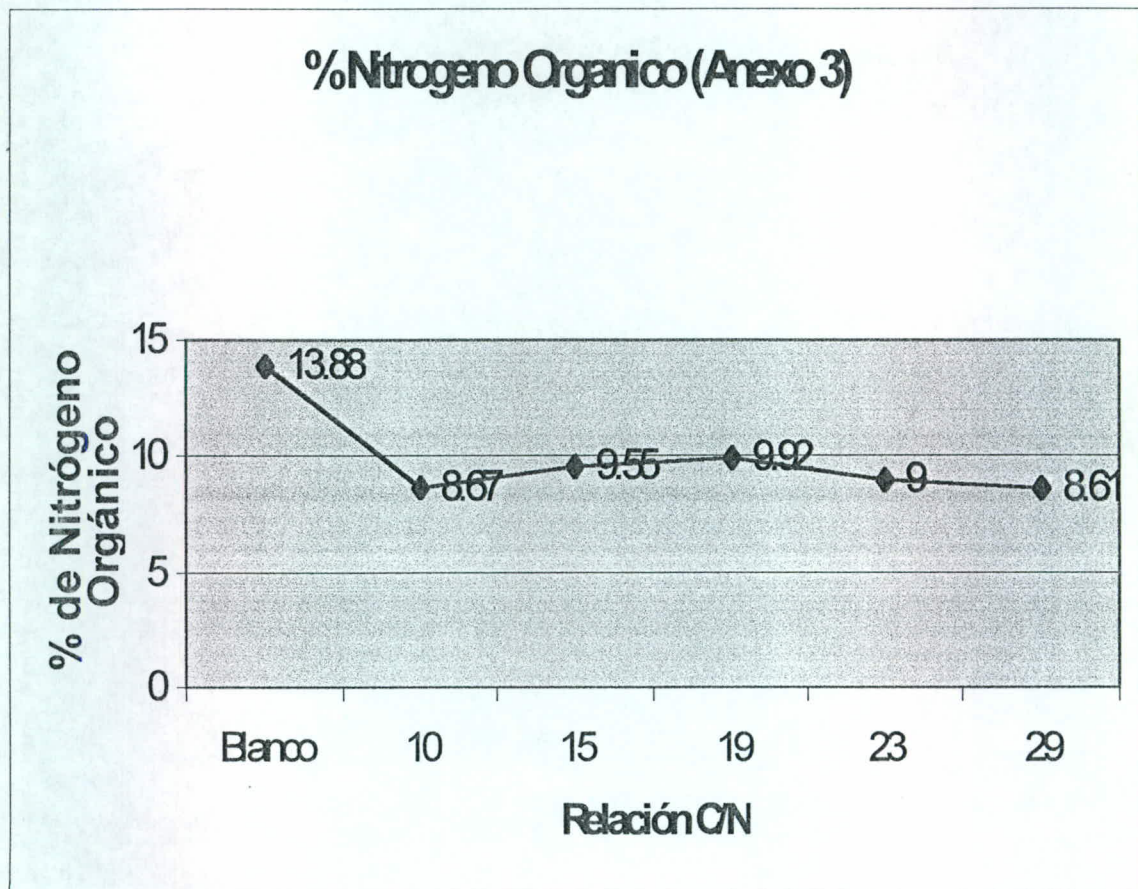
28. Fenchel Tm, Mc Roy CP, et al. Symbiotic cellulose degradation in green turtles, chelonian mydes, *Appl Env Microbiol*, 1979; 37:348-350
29. Van Gylswyk NO, Wejdeman K, Kulander K. Comparative cultures of various rumen bacteria in clarified rumen fluid from cow and sheep fed different diets. *appl Env Microbiol*, 1991; 58:99-105
30. Gleinch R, Cor T. Fagan D. Biochemicals organic compound for research and diagnostic reagents. St. Lous, Mo. USA: Signa Chemical co. 1992. 2077p. (p.286)
31. Cohen JA, Dehority Ba. Degradation and utilization of Hemicelulose from intact forage by pure cultures of rumen bacteria. *Appl Env Microbiol*, 1972; 24:93-90
32. Cellulolytic activity of Thermomonospora curvata: (optimal assay conditions, partial purification, and product of the cellulase). *Appl Microbiol*, 1972; 24:83-90.
33. Fassbender DW. Química de suelos; con énfasis en los suelos de América Latina. Costa Rica: Instituto Interamericano de cooperación para la agricultura, 1982. XXV+385p. (p.66-345)
34. Herrera GA. Comparación de medio de desarrollo de almácigos de café en bolsa, utilizando pulpa de café con diferentes tratamientos. Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Agronomía) 1980. 39p.
35. Rivera K. Experiencias sobre el aprovechamiento de la pulpa de café, subproductos de café S.A. Costa Rica. Memorias III Simposium Internacional sobre la Utilización Integral de los Subproductos del Café, Guatemala 1987. 162.p. (21p)
36. Ocampo HJ, Ricaurte JL. et al. Revista cafetera de Clombia. Colombia: Federación nacional de cafeteros, 1958. 320p. (p.295-297)
37. Ponce GA. Evaluación de cinco niveles de N, P₂O₅, K₂O y bagazo de Té de limón (Cymbopogon Flexuosus st). Guatemala: Universidad de San Carlos, (Tesis de graduación, Facultad de Agronomía) 1985. 55p.
38. Asociación de Productos de Aceites Esenciales (ed.). Experimentos e investigaciones resultados analíticos. Guatemala: APE. Doc Tec No.2, 1966 38p. (p.8-14)
39. Hubbell DF. Técnica agropecuaria aplicada a zonas tropicales. Fernández GA (trad) México: Centro regional de ayuda técnica (AID), 1969. 369p. (p.16-24)

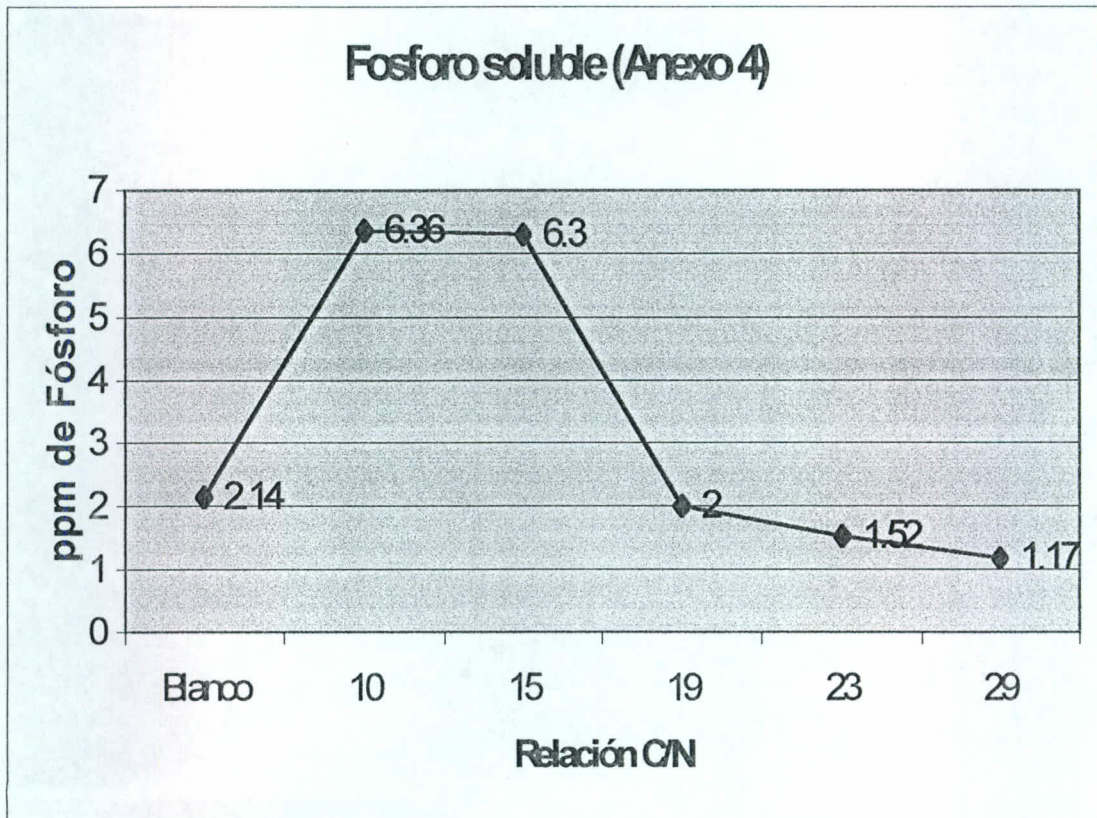
40. Pearson HA. Rumen microbiol ecology in mule deer. *Appl Microbiol*, 1969; 17:819-824.
41. Leedle S, Bryant MP, Hespell RB. Diurnal variations un bacterial numbers and flid parameters un ruminal contents of animals fudlow or high forage diets. *Appl Env Mocrobiol*, 1962; 44:402-412.
42. Thenon J, Kisther A, Kornelius J, Effect of pH on growth rates of rumen amilolytic and lactilitic bacteria. *Appl Env Microbiol*, 1982; 44:428-434
43. Grubb JA, Dehorithy Ba. Variation in colony counts of total viable anaerobic rumen bacteria as influenced by media an cultural methods. *Appl Anv Microbiol*, 1976; 33: 262-267.
44. Dehority BA. Pectin-Fermentyng bacteria isolated fron the bovine rumen. *J Bacterial*, 1969; 99:189-196
45. Wallace T. et al. The diagnosis of mineral deficiencies on plants; by visual symptoms. London: Her Majesties Stationary Office, 1961, 125p. (p.8-13)
46. Gerard H, Rougieux R. Técnicas de microbiología agrícola. Esp.: Acribia, 1964. XII + 267p.
47. Jacob A, Uexkull H. Fertilización; nutrición y abandono de los cultivos tropicales y subtropicales. Martínez LL. (trad) Hannover, Alemania uerlahsgesell Fúr Ackerbau mbh, 1966. 623p.
48. Ochse JJ. et al. Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales. México: Limusa -Wiley, vols. 2, vol. 1, 1965. 1535p. (p.241-274)
49. Horwitz, W. Método de análisis oficial de la asociación de ensayos químicos analíticos. George Banta Company, Inc. Wisconsing, USA. 1975. 1093 p.
50. ISAITI. Fermentaciones en sustratos sólidos. Tegucigalpa, Honduras: ICAITI de Guatemala, 1982. 71 p.
51. Wang, C. W. Cellulolytic Enzymes of *Volvariella volvacea*. 167-186. En: Chang, S. T. y T. H. Quimic. Tropical Mushrooms, Biological Nature and Cultivation Methods. The Chinese University Press. Hong Kong. 1982.
52. Benerjee, M. Y N. Samajpati. Effect of some enviromental factors and exogenous nutrituve sources on the protein production by *Volvariella displacia* in submerged culture. *Mush. J. Tropics*, 1989; 9: 139-146

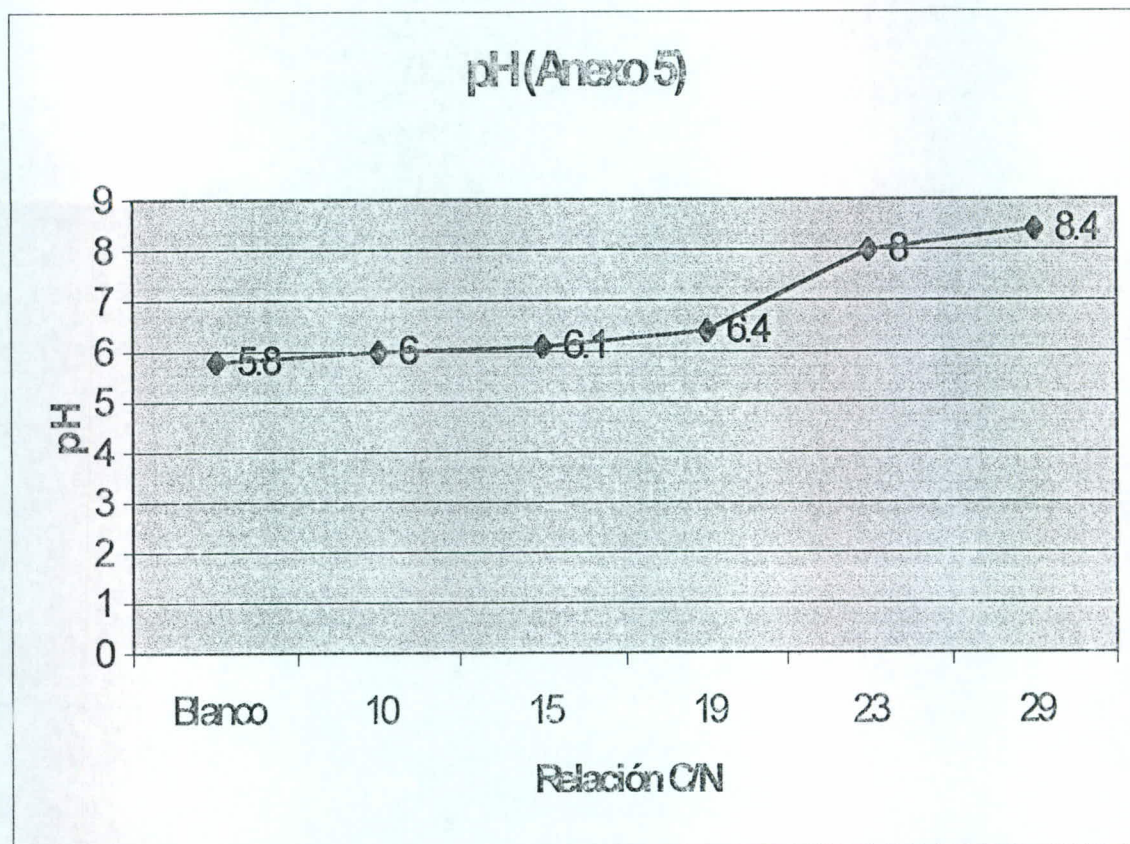
ANEXOS











ANEXO No. 6**COMPOSICION QUIMICA DE LA NINFA ACUATICA (*Eichornia crassipes*)
DEL LAGO DE AMATITLAN**

	Sin tratamieto	Con tratamiento
Nitrógeno Orgánico	13.16%	12.16%
Materia Orgánica	11.07%	14.95%
Fósforo	2.65%	8.17%
Ceniza	11.86%	7.47%

ANEXO No. 7
ANÁLISIS DE VARIANZA DE UNA VIA.

ORIGEN DE LAS VARIACIONES	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico F
Entre grupos	21.7326325	5	4.7543286	0.35	0.871825	3.16
Dentro de los Grupos	152.00	13	12.63587			
Total	173.7326	18				

ANEXO No. 8

COMPOSICION MICROBIOLOGICA DEL RUMEN DE VACA

Bacterias Aeróbicas	Bacterias Anaeróbicas
<u>Azotobacter sp</u>	<u>Acetovibrio cellulolyticum</u>
<u>Bacillus sp</u>	<u>Bacteroides ruminicola</u>
<u>Corynebacterium sp</u>	<u>Butyrivibrio fibrisolvens</u>
<u>Cytiphaga sp</u>	<u>Clostridium themocellum</u>
<u>Pseudomonas sp</u>	<u>Clostridium ruminis</u>
<u>Sporocytophaga sp</u>	<u>Lactobacillus sp</u>


Tomada de: Girard H, Rougieux R. Técnicas de Microbiología Agrícola.
España: Acribia, 1964. XII + 267p. (pag. 31-36)

Anexo No. 9


Se realizo detección de metales pesados por Absorción Atómica al compost obtenido de la relación C/N de 19, ya que es el propicio para ser utilizado como abono orgánico a partir de la Ninfa Acuática (*Eichornia crassipes*) del lago de Amatitlán.

Metales Pesados, Limites Máximos mg/Kg (ppm)	Parámetro (ppm)	Evaluación (ppm)
Cadmio	40	0.027
Cinc	4	0.038
Mercurio	25	0.058
Cobre	1.75	0.053
Cromo	750	0.082
Níquel	900	0.017
Plomo	1.2	0.186


Nota: Bibliografía consultada para la obtención de parámetros máximos de metales Pesados en abonos orgánicos. Del Val, Alfonso. 1997. El Libro del reciclaje. Madrid.



Br. Miguel Emilio Morales Ortiz
Investigador




Lic. Carlos Humberto Klez Mendoza
Asesor Principal



Lic. Enrique Bernardo Flores Morales
Asesor Adjunto



Dr. Alfredo Salvador Galvez Sinibaldi
Director



M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán
Decano