

PREDICCIÓN DE LA TRANSFERENCIA DE NUTRIENTES DE LODOS VERMICOMPOSTEADOS A SUELOS FORESTALES DEL PARQUE NACIONAL NEVADO DE TOLUCA

Nelly Martínez Sotelo¹
Alma Velázquez Rodríguez²
Eduardo Campos Medina³

Resumen

Este trabajo tiene la finalidad de explorar y predecir cuales serian las reacciones químicas que se llevarían a cabo, con la adición de la vermicomposta de lodos residuales de una planta de tratamiento a suelos forestales del Parque Nacional Nevado de Toluca. Mediante la caracterización química de los suelos estudiados, los lodos, el humus generado y el programa de computación MEDUSA, fue posible llevar a cabo dicha predicción de reacciones químicas que ocurrirían en dicho ambiente edáfico.

Palabras clave: Vermicomposta, Lodos Residuales, Suelos Forestales

Abstract

This paper aims to explore and predict which chemical reactions would be carried out with the addition of vermicompost a sludge treatment plant forest soils of Nevado de Toluca National Park. By the chemical characterization of forest soils, sludge wastewater and humus, generated and the compute program MEDUSA, was possible to carry out the prediction of chemical reactions that occur in the soils of National Park

Key words: Vermicompost, Sludge wastewater, Forest Soils

¹Estudiante de Maestría del Programa de Recursos Naturales. ICAR (Instituto de Ciencias Agrícolas y Rurales) de la UAEM.

²Profesora-Investigadora de la Facultad de Ciencias de la UAEM. Correo electrónico. almaver22@hotmail.com

³Profesor –Investigador de la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEM. Correo electrónico. eduardocmx@gmail.com

1. Introducción

Los suelos son los sistemas vivos que pueden satisfacer su función, dentro de ecosistemas así como para seres humanos, sólo si sus características permanecen en gran parte intactas. (Federal Environment Agency – Austria, 2002)

Las influencias negativas de las actividades humanas tales como la entrada de materiales del aire o con la fertilización química, amenazan la funcionalidad ecológica de suelos. Los cambios dañinos son a menudo irreversibles, que es el porqué del cuidado particular se requiere para el uso del suelo como blanco de protección. (Federal Environment Agency – Austria, 2002)

Las actividades tales como excesivo laboreo, producción intensiva, uso de fitosanitarios, deforestaciones irracionales, incendios forestales, pastoreo inadecuado provocan que los suelos tanto agrícolas como forestales sufran un desequilibrio en el mantenimiento de niveles estables de materia orgánica y por ende una disminución en su fertilidad natural, induciendo como resultado final problemas ambientales como erosión, poca infiltración, menor capacidad de almacenamiento de agua y deficiente establecimiento de poblaciones microbianas. (Dalal y Mayer 1986. Liebeg *et. al.*, 2004)

Un ejemplo de estas actividades es la práctica de fertilizantes nitrogenados, que ha sido un factor primario en el incremento de la producción agrícola y es responsable también del incremento en las concentraciones de N_2O y CH_4 en la atmósfera (Khalil *et. al.*, 2000; Khalil *et. al.*, 2002 Sherlock *et. al.*, 2002), pues la estabilidad de la materia orgánica del suelo, en la mayor parte de los ecosistemas terrestres, se atribuye a que existe una baja disponibilidad de N, pues limita la descomposición de los materiales orgánicos presentes en el suelo.

El lodo para aplicarse sobre el suelo necesita primero un composteo ó estabilización, proceso utilizado para estabilizar los biosólidos (Plaza *et. al.*, 2005, Salcedo *et. al.* 2006) antes de su uso como una enmienda de tierra, a ajardinar, a la horticultura, y a la agricultura, dicho proceso ha servido para destruir patógenos, aminorar los olores, reducir los vectores de atracción, control de erosión, revegetación, biofiltración y bioremediación (Anastasi *et. al.*, 2004), además proporciona las siguientes ventajas: a) el proceso puede ser muy controlable, b) los efectos del tiempo son abatidos, c) la calidad el producto aumenta, d) menos mano de obra es requerida a operar el sistema, e) el proceso de aireación es de fácil control, lo que permite la eliminación de olores, f) evitar los efectos negativos en el crecimiento debido a la mineralización del Nitrógeno g) la opinión pública acepta el uso del lodo. (EPA, 2000., Osada *et. al.*, 2000., Hellebrand and Kalk, 2001., Lyons *et. al.*, 2006., Perez *et. al.*, 2006)

Un método alternativo es el vermicomposteo que se define como una actividad agraria, la cual por medio de lombrices de tierra se transforman todo tipo de residuos orgánicos obteniéndose un fertilizante bioorgánico, cuya adición a las cosechas provoca un aumento en los porcentajes de producción y reduce los impactos de los métodos de la disposición en el ambiente. (Delgado *et. al.*, 2007)

El composteo de desechos con alto contenido orgánico ha mostrado que produce N_2O , que es un subproducto de la nitrificación y desnitrificación (Khalil *et. al.*, 2002. Hefting *et. al.*, 2003), los cuales son los principales mecanismos para remover el nitrógeno en procesos de tratamiento de desechos, por lo tanto no es sorprender que la gran cantidad de N_2O que se puede cuantificar de dichos procesos. (Cole and Caracol. 2001., Barton and Atwater, 2002., Yanai *et. al.*, 2003., Fukumoto *et. al.* 2006)

Debido a lo anterior se han realizado estudios en los cuales se compara la generación y la emisión de CH_4 y de N_2O asociados a dos métodos de abonamiento que fueron: volteo mecánico de residuos apilados (composteo) y el vermicomposteo. En ambos procedimientos fueron cuantificadas las emisiones de CH_4 y N_2O . Los mecanismos propuestos para la emisión de CH_4 y de N_2O que se proponen para cada sistema son muy diversos. Para el sistema de apilado se atribuye a las zonas anaerobias la generación de CH_4 , para el vermicomposteo la emisión de N_2O es atribuida a las condiciones que favorecen la nitrificación combinadas con la presencia de bacterias desnitrificantes presentes en el interior de los gusanos. (Hobson *et. al.*, 2005)

Como se menciono anteriormente la denitrificación es el principal proceso responsable de la formación de este gas. Los controles de la producción de óxido nitroso son: la humedad, el nitrógeno mineral y el carbono orgánico fácilmente disponible. Se ha estimado que alrededor de 1,5 Tg de nitrógeno son inyectados directamente a la atmósfera cada año como óxido nitroso, resultado de aplicaciones de fertilizantes a ecosistemas agrícolas, sin tener en cuenta los abonos animales ni la fijación biológica de nitrógeno (Ciampitti, *et. al.* 2005).

Este proceso es gobernado por el pH del suelo, por esta razón es necesario realizar una estimación teórica de esta variable, de ahí que la propuesta de este trabajo es realizar un estudio del suelo al momento de adicionar el producto de vermicomposteo del lodo residual, empleando el programa computacional de nombre MEDUSA, el cual mostrará las especies químicas presentes, de manera específica para el carbono y nitrógeno, que como se menciono anteriormente su presencia tiene una relación directa con la emisión de N_2O .

2. Metodología

2.1. Toma de muestras de suelos

La primera etapa del muestreo de suelos de cultivo del Parque Nacional Nevado de Toluca correspondió a la selección de parcelas en las comunidades de Rosa Morada y Dilatada sur, pertenecientes al municipio de Almoloya de Juárez, y la comunidad del Capulín, en el municipio de Amanalco de Becerra, Estado de México.

La localización de las tres comunidades se realizó empleando el sistema ArGis, en el cual se manejaron las coordenadas terrestres, el cual proporciona la siguiente información de ubicación. a) Dilatada. 406,261.947 m, 2,133,007.290 m UTM 14 N b) El Capulín. 399, 476.931 m, 2,134,542.528 m. UTM 14 N c) Rosa Morada. 410, 648.746 m, 2,135,679.63 m. UTM 14 N. Se tomó una muestra compuesta de cada zona, a una profundidad de 0-20 cm, cada una pesó aproximadamente 15 Kg.

La obtención de muestras de cultivo se realizó de acuerdo al método de zig-zag. Para las muestras de bosque se empleó el método descrito por Reyes- Reyes *et al.*, (2003).

2.2 Características físicoquímicas del suelo

Para cada muestra se realizaron análisis físicoquímicos para determinar las características de: Materia orgánica, Carbono orgánico, Textura, Nitrógeno total, pH, Capacidad de retención de agua y Cantidad de nutrientes.

2.2.1 Determinación de materia orgánica y carbono en el suelo

El procedimiento para la determinación de materia orgánica del suelo se realizó a través del método de Walkley y Black, contenido en la norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

2.2.2 Determinación de la textura del suelo

El método para la determinación de la textura del suelo se realizó a través del método de Bouyoucus, contenido en la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

2.2.3 Determinación del nitrógeno total en el suelo

La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realizó mediante el método Kjeldhal. El proceso se desarrolló en dos etapas: a) Digestión y b) Destilación.

2.2.4. Determinación de pH

Las mediciones para la determinación de pH se realizaron por triplicado siguiendo la metodología AS-02 de NOM-021-SEMARNAT-2000, empleando un agitador mecánico a 1,500 rpm.

2.2.5. Determinación de metales

Para esta determinación se aplicó el método establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT- 2002, protección ambiental, lodos y biosólidos, especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Digiriendo con ácido nítrico.

2.2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico

La determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y bases intercambiables se realizó a través del método AS-13 de la NOM-021-SEMARNAT-2000 (muestras acidas y básicas) con Tiourea de Plata.

2.2.7. Determinación de Metales Totales Cobre (Cu), Plomo (Pb), Manganeso (Mn), Fierro (Fe), Cadmio (Cd).

Para esta determinación se utilizó el método establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT- 2000, que establece la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio muestreo y análisis.

2.3. Toma de Muestra de Lodos Activados

Los lodos activados (provenientes del tratamiento biológico) fueron proporcionados por la planta de tratamiento de aguas residuales RECICLAGUA S. A. de C. V., en un total de 6 muestras en una cantidad de 1 Kg, las cuales se colocaron en envases de 19 L, a temperatura ambiente, para ser transportadas al laboratorio.

2.3.1. Caracterización de lodos residuales

Una vez recolectadas los lodos, se procedió a caracterizarlos, evaluando los mismos parámetros señalados en la caracterización de suelos forestales de cultivo, tanto parámetros de laboratorio como con la técnica de microscopia electrónica de barrido.

2.3.2. Vermicomposteo de lodos residuales

Se trabajó con dos muestras de lodos residuales (13kg cada una) de RECICLAGUA tomadas de la banda. Sus pH iniciales fueron de 8.2 y 8.4. A cada muestra se le agregaron 500 mL de una solución preparada *in situ* de Ácido Acético al 10% y se homogenizó por alrededor de media hora dando valores de pH de 6.7 y 6.8.

Se agregaron posteriormente 10 mL de una solución preparada *in situ* de Cal al 1% (solución lechosa que no se calienta al disolverse con agua) y se agitó por al menos media hora, dando como resultando pH de 7.05 y 7.27

2.3.2.1. Camas de vermicomposteo

Una vez homogenizadas las muestras de lodo residual a un pH cercano al neutro, éstas se transfirieron a contenedores de plástico y fueron ubicados en el Centro de Investigación en recursos Bióticos de la UAEM. En este proceso se trataron de conservar las condiciones óptimas de temperatura (15-25 oC), 75 % de humedad, pH neutro o ligeramente alcalino.

Se trabajaron en total con 5 camas de vermicomposteo, cuyas dimensiones fueron de 40 X 50 X 25 cm , en las cuales se colocaron aproximadamente 5 Kg de lodo residual, posteriormente se adicionaron un total aproximado de 0.5 kg de lombrices, las cuales se adaptaron al sustrato que fue el respectivo lodo residual.

Cabe señalar que el proceso tuvo un tiempo de 3 meses, periodo en que mensualmente se recolectó el humus correspondiente de la lombriz el cual tiene la función de mejorador de suelos.

2.3.2.2. Caracterización fisicoquímica del producto de vermicomposteo

Al humus recolectado se realizaron las respectivas caracterizaciones que se señalaron para los suelos forestales de Parque Nacional Nevado de Toluca, como para los Lodos Residuales recolectados en la empresa tratadora, siendo los parámetros a determinar; a) pH, b) Materia orgánica, c) Carbón orgánico, d) Nitrógeno, e) Metales. Para lo cual se contó con el apoyo de los laboratorios de la Facultad de Química de la UAEM y del ICAR.

2.4. Microscopia Electrónica de Barrido

Las muestras de lodos residuales sin estabilizar, los lodos estabilizados alcalinamente y el producto de vermicomposteo se secaron con el fin de evaporar el agua que contenían, posteriormente se colocaron en un soporte de grafito el cual se introdujo en un Microscopio Electrónico Philips XL-30 a bajo vacío, para obtener las imágenes en una ampliación de X1000 10µm de las muestras mencionadas, así como el microanálisis correspondiente señalándonos los elementos que constituyen a dichas muestras.

2.5. Estudio de Predominio de Especies

Dado que la propuesta de este trabajo es adicionar el humus del vermicomposteo a los suelos forestales que han sufrido un cambio de uso de suelo a suelos de cultivo, se procedió a realizar un estudio de predominio de especies, utilizando el programa de computadora MEDUSA, mediante el cual se estableció que la variable del pH es la que va a fijar las reacciones químicas que se llevarán a cabo. Este estudio se realizó de manera específica para los elementos carbono y nitrógeno, los cuales tienen una participación activa en la producción del gas de efecto invernadero N₂O.

3. Resultados

3.1. Caracterización de los Suelos Forestales

3.1.1. Textura

Los resultados de la textura de suelos de cultivo de las tres localidades se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Textura de los suelos de cultivo de las tres localidades

Localidad	% Arena	% Limo	% Arcilla	Textura
Dilatada	49.2	21.2	29.6	Franco
Rosa Morada	56.8	17.4	23.4	Franco Arenoso
El Capulín	47.2	15.2	13.2	Franco

Fuente: Propia de los autores, 2010

Como puede apreciarse en las tres localidades predomina la textura de franco, y analizando la proporción de los resultados en las tres comunidades el comportamiento de % de arena, limo y arcilla es similar.

3.1.2. pH

Los resultados de pH de los suelos de cultivo de las tres localidades se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Valores de pH de los suelos de cultivo de las tres localidades

Localidad	pH	Clase
Dilatada	5.5-6	Moderadamente ácido
Rosa Morada	5.5-5.8	Moderadamente ácido
El Capulín	5.6-5.7	Moderadamente ácido

Fuente: Propia de los autores, 2010

Como puede apreciarse en todas las localidades los suelos de cultivo tuvieron la misma clase que es moderadamente ácido.

3.1.3. % Materia Orgánica y % de Carbono

Los resultados de estas pruebas para los suelos de cultivo de estas tres localidades se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores de % Materia Orgánica y % de Carbono de las tres localidades

Localidad	% Materia Orgánica	% C
Dilatada	9.8-10	5-5.69
Rosa Morada	2.0-2.38	3.0-3.5
El Capulín	3.9-4.11	4.0-4.7

Fuente: Propia de los autores, 2010

Como se puede apreciar estos valores de % de Materia Orgánica y % de carbono en las tres localidades es muy bajo, esto se justifica a las actividades antrópicas relacionadas con el cultivo que se realizan en estos lugares.

3.1.4. % Nitrógeno y relación C/N

Los resultados de estos dos parámetros se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Resultados de % de Nitrógeno y C/N de los suelos de cultivo de las tres localidades.

Localidad	% Nitrógeno	C/N
Dilatada	0.25-0.27	13.5-13.77
Rosa Morada	0.20-0.22	9.3-9.45
El Capulín	0.14-10.16	9.6-9.71

Fuente: Propia de los autores, 2010

Como puede observarse los valores de % de nitrógeno son relativamente bajos, obviamente al realizar el cociente de C/N los valores serán congruentemente altos.

3.1.5. Capacidad de Intercambio Catiónico

Los resultados de la capacidad de intercambio catiónico se pueden apreciar en la Tabla 5 que a continuación se muestra.

Tabla 5. Resultados del parámetro de la capacidad de intercambio catiónico

Localidad	CIC (Cmol(+)Kg ⁻¹)
Dilatada	4.1
Rosa Morada	1.9
El Capulín	1.9

Fuente: Propia de los autores, 2010

En todos los casos los resultados muestran que la capacidad de intercambio catiónico es baja, tomando como referencia la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000.

3.1.6. Nutrientes

Los resultados de nutrientes se muestran en la Tabla 6 como se puede apreciar la cantidad de nutrientes es relativamente baja.

Tabla 6. Resultados de Nutrientes de los suelos de cultivo de las tres localidades

Localidad	P (ppm)	Ca (ppm)	Mg (ppm)	Na(ppm)	K (ppm)
Dilatada	0.29	15.6	2.56	3.78	5.22
Rosa Morada	0.29	16.9	No detectable	3.47	7.51
El Capulín	0.29	15.5	No detectable	3.78	5.22

Fuente: Propia de los autores, 2010

Como observarse las cantidades de nutrientes son bajos, esto corrobora nuevamente que debido a las actividades antrópicas las concentraciones de los citados elementos han disminuido considerablemente.

3.1.7. Metales

Los resultados se muestran en la Tabla 7, que a continuación se presenta, señalando que en esta determinación se obtuvo un promedio en general de los suelos de cultivo del parque.

Tabla 7. Resultados de metales detectados en los suelos de cultivo para las tres localidades.

Cu (mg/g)	Pb (mg/g)	Mn (mg/g)	Fe (mg/g)	Cd (mg/g)
0.009	0.031	0.373	6.601	0.0004

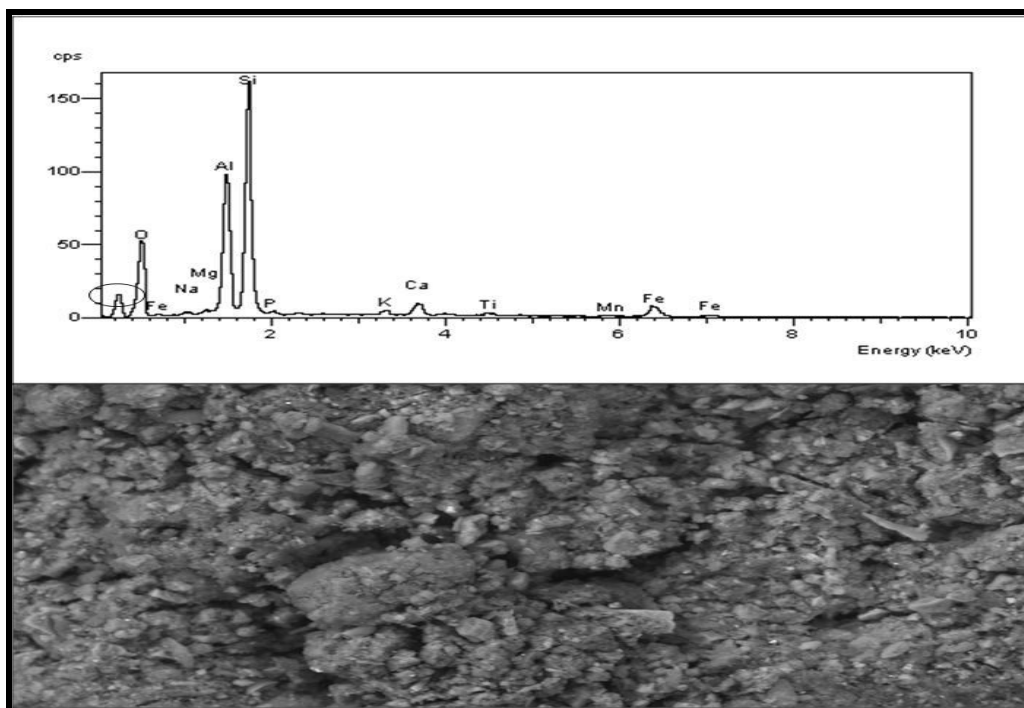
Fuente: Propia de los autores, 2010

Como puede apreciarse la cantidad de Cobre (Cu), Hierro (Fe) y Manganeseo (Mn) son adecuadas según lo señala la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, de igual manera las cantidades de Plomo (Pb), Cadmio (Cd) están de igual manera dentro de los límites permisibles de norma.

3.1.8. Microscopia electrónica de barrido

La microscopia electrónica de barrido se utilizo para analizar los suelos de cultivo de las tres localidades, al analizar estos análisis se establece que el comportamiento es similar, por lo cual se muestra resultados representativos de las tres localidades, esto se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Microscopía electrónica de suelos de cultivo, de una muestra representativa de las tres localidades.



Fuente: Propia de los autores, 2010

Cabe señalarse que los análisis se realizaron a X1000 10µm, los cuales mostraron la composición característica. Como puede apreciarse en la figura se detectan los elementos, aluminio, silicio, calcio, potasio, manganeso, hierro, se hace énfasis en el círculo señalado, el cual muestra el pico característico del carbono, como puede apreciarse dicho pico es muy pequeño, esto indica que la concentración de carbono es muy pequeña, por lo cual se establece que la altura del pico es directamente proporcional a concentración del elemento detectado.

3.2. Caracterización fisicoquímica de lodos residuales

En la Tabla 8 se presentan los resultados de los parámetros de laboratorio, excepto la determinación de metales, de los lodos residuales en los cuales se muestra que todos los valores son altos.

Tabla 8 valores de los parámetros fisicoquímicos del lodo residual

C.O (%)	M.O (%)	pH	CIC (Cmol (+) kg ⁻¹)	N (%)	P (mg/K)
19.51	33.64	7.83	28.29	0.42	0.30

Fuente: Propia de los autores, 2010

En la Tabla 9 se muestran los resultados de los parámetros en cuanto a metales y bases intercambiables.

Tabla 9. Resultados de metales y base intercambiables de lodo residual

Metales (mg/(g))					Bases intercambiables (ppm)			
Cu	Pb	Cd	Fe	Mn	Na	K	Ca	Mg
0.12	0.018	0.0004	3.81	0.01	117	88.3	0.01	1.18

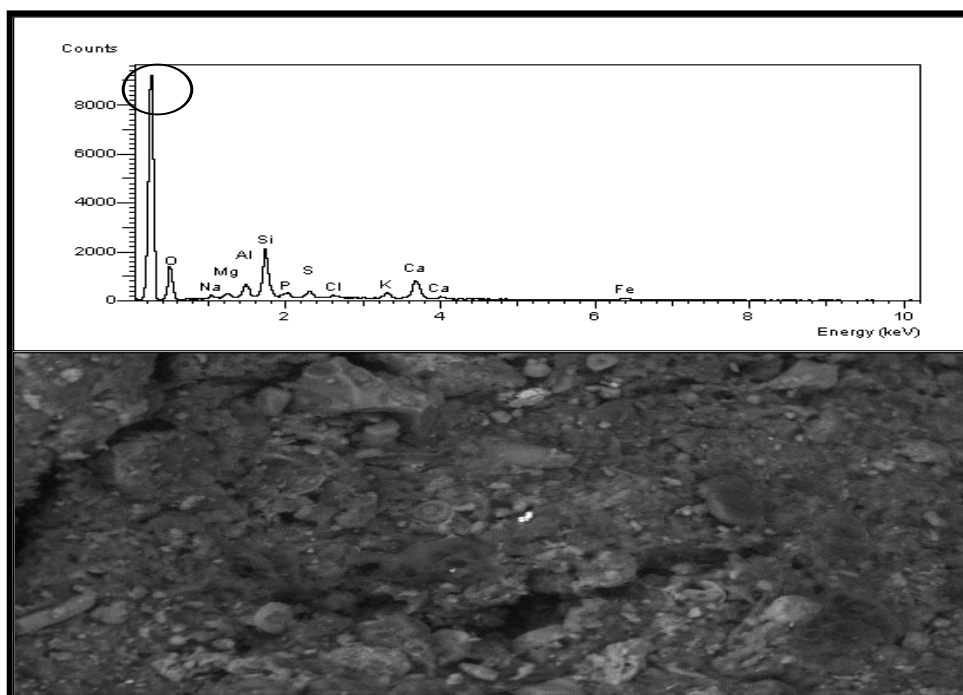
Fuente: Propia de los autores, 2010

Como apreciarse los micronutrientes Na, K y M gestan en cantidades muy altas y altas respectivamente, según lo establece la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, no así el calcio que es muy bajo. En lo que se refiere a los metales las cantidades de Cd y Pb están en niveles normales, para el Cu y Mn se encuentran en cantidades muy bajas, solamente el Fe es que se encuentra en cantidades muy altas, según lo señala la norma mexicana ya mencionada.

Tomando en consideración ambas tablas podemos establecer que estos lodos residuales que van a ser materia prima de vermicomposteo son fuente importante en lo que respecta a las sustancias orgánicas que las lombrices van metabolizar, de igual manera sucede con los elementos inorgánicos, los cuales se encuentran en cantidades tolerables para las lombrices y esto no influiría en el proceso metabólico que se va a llevar a cabo.

Al igual que a los suelos de cultivo se les realizó un análisis de microscopia electrónica de barrido, a los lodos residuales esto se observa en la Figura 2

Figura 2. Microscopia electrónica de barrido a los lodos residuales



Fuente: Propia de los autores, 2010

Como puede apreciarse la diferencia entre las microscopias de los suelos de cultivo y los lodos residuales, es el pico del carbono. Como se muestra en la figura 2, el pico del carbono (encerrado en un círculo) es muy alto, con lo cual se asegura que la concentración del carbono en dichos lodos es muy alta. Los análisis se realizaron a X1000 10 μ m.

3.3 Caracterización fisicoquímica del producto de vermicomposteo

Los resultados de la caracterización del producto del lodo vermicompostado se aprecian en la Tabla 10.

Tabla 10. Resultados de los parámetros de caracterización del producto de vermicomposteo.

Parámetro	Valor
Humedad	45%
pH	6.9
Nitrógeno	2.6 %
Fósforo	5 %
Magnesio	2.5%
Materia Orgánica	58%
Carbono Orgánico	30%
Relación C/N	11.5

Fuente: Propia de los autores, 2010

3.1 Determinación metales totales en producto del vermicomposteo

De igual manera al producto del vermicomposteo se detectaron parámetros por debajo de los límites máximos permisibles de concentración de cada metal en biosólidos según la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 11

Tabla 11. Valores promedio de metales en lodos estabilizados

Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cd (mg/kg)
5.130	3.700	16.517	0.119	0.176	0.011	3.811	0.003

Fuente: Propia de los autores, 2010

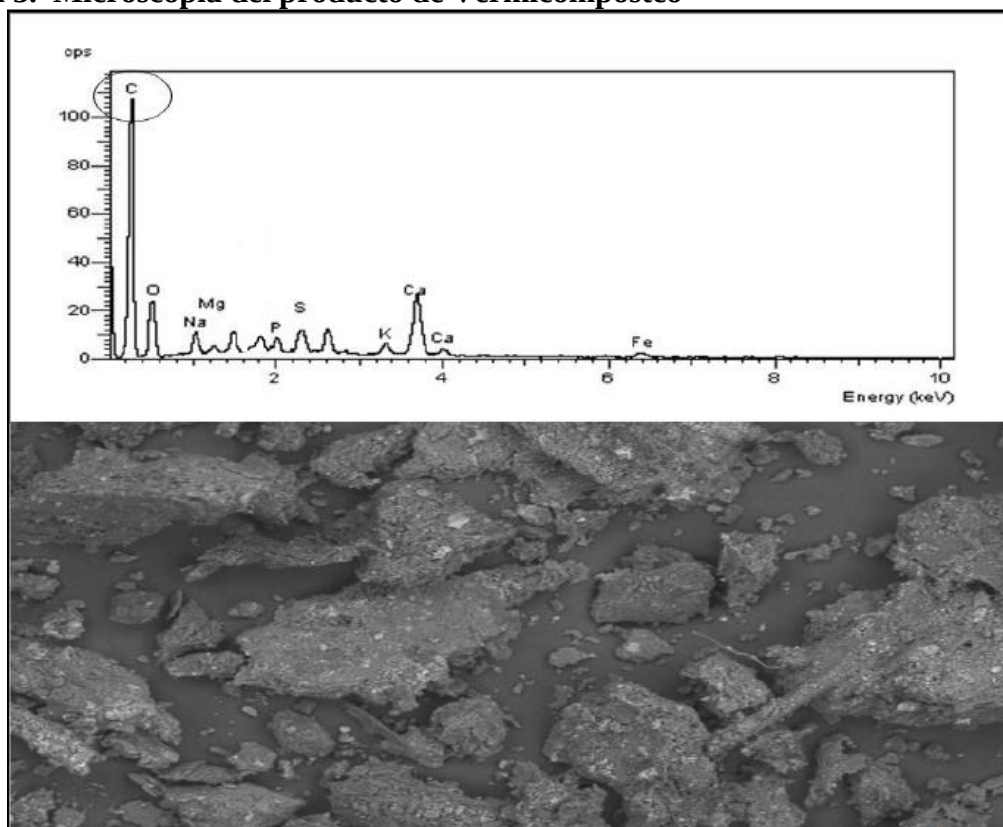
3.2 Microscopia Electrónica de Barrido

En la Figura 3 se aprecia el microanálisis del producto de vermicomposteo, en la cual las imágenes están X1000 10µm; en este análisis se muestra el pico representativo del carbono en una concentración muy alta, por lo tanto la materia orgánica presente en dicho producto está en una proporción elevada.

Lo que significa que si el producto de vermicomposteo se adiciona a los suelos, estos se verían beneficiados en cuanto a nutrientes y materia orgánica, que como se mostró en los microanálisis referentes a los suelos, se tienen contenidos bajos de carbono y nutrientes.

Los lodos de aguas residuales tienen un origen orgánico, contienen muchos nutrientes necesarios para la vida vegetal como el nitrógeno, fósforo, potasio, entre otros (Martín, 2004), y poseen características benéficas que pueden ser aprovechadas como son el contenido de nutrientes y materia orgánica. Esto permite que una vez que han sido tratados, éstos puedan ser aprovechados benéficamente como fertilizantes, mejoradores de suelo (Castrejón, 2002).

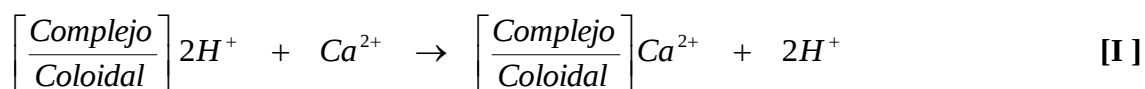
Figura 3. Microscopia del producto de Vermicomposteo



Fuente: Propia de los autores, 2010

3.3. Estudio de Predominio de Especies

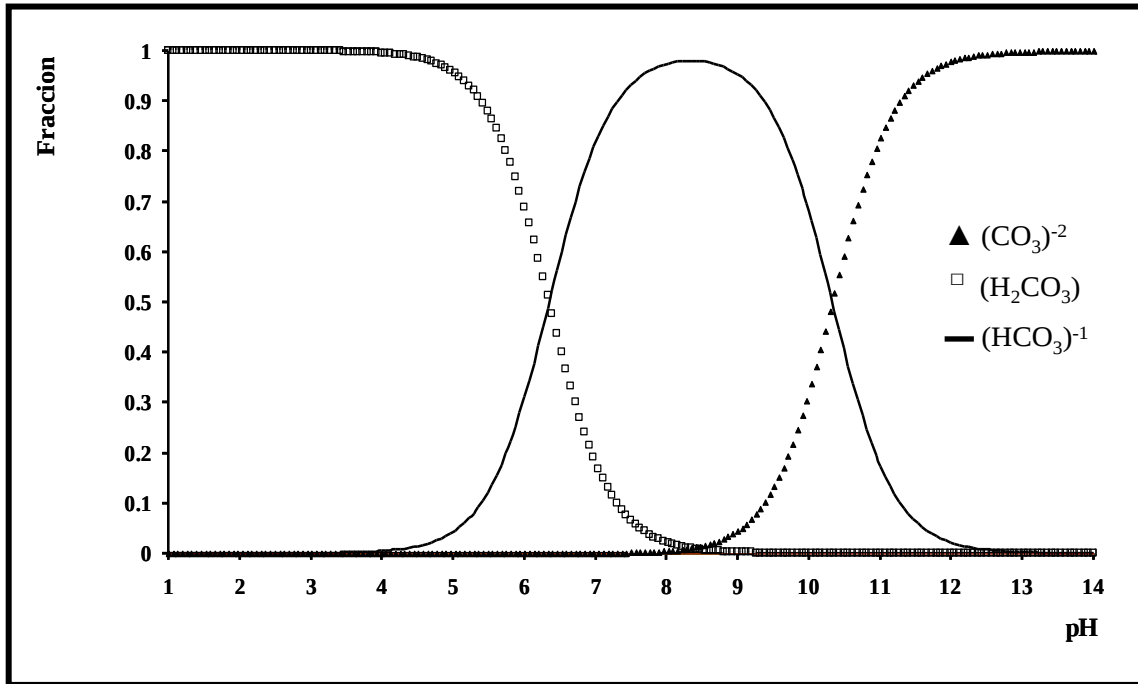
El pH sigue es el factor determinante para poder proponer qué es lo que sucederá al momento de incorporar el producto de la vermicomposta en los suelos forestales. Dado que el pH mostrado para los suelos de cultivo es moderadamente ácido (6.8-7.2), al momento de incorporar la vermicomposta el pH de dicha mezcla se incrementará hasta tocar la neutralidad, esto se debe principalmente a que dicho producto presenta el elemento Ca, lo cual provoca que la neutralización de la acidez de los suelos con los cuales se trabajó. La justificación de esta neutralización se aprecia en la reacción [I], el Ca en forma de ión divalente reemplaza a los protones del complejo coloidal, lo cual provoca un incremento del valor del pH, el protón resultante está disponible para combinarse y formar otras especies.



Con base en esta ecuación se procedió a realizar los estudios de predominio de especies, tanto para el carbono como, que aparece al pH propuesto en las especies de carbonato (CO_3^{2-}), bicarbonato (HCO_3^{-1}) y ácido carbónico (H_2CO_3), esto se muestra en la Figura 4. Como puede apreciarse en dicha figura, se muestran tres ondas, correspondientes a las tres especies químicas en las que se puede presentar el carbono. En el intervalo de pH propuesto (alrededor de la neutralidad), la onda correspondiente al

bicarbonato se encuentra tocando los valores de 0.8 a 0.85 en lo que respecta a la fracción, esto significa que a estas condiciones la especie que predomina en un 80 a 85 % es el bicarbonato, el porcentaje restante en un 25 % se encuentra el ácido carbónico, esto es importante en estas especies inorgánicas para establecer las especies químicas presentes y poder definir que procesos químicos y metabólicos se llevarían a cabo en los suelos forestales al incorporar la vermicomposta señalada.

Figura 4. Diagrama de Predominio para el elemento carbono.

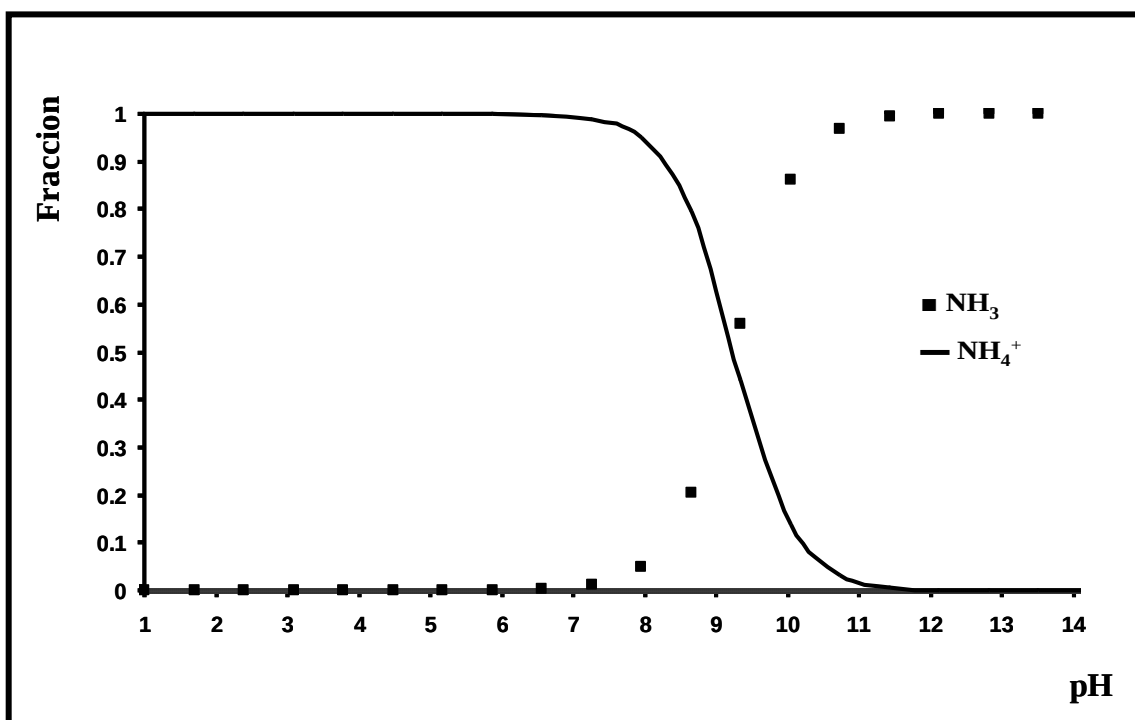


Fuente: Elaboración propia de los autores, 2010

En cuanto al nitrógeno, el contexto se complica un tanto más, ya que como se observo en la Tabla 9 los resultados muestran una gran cantidad de nitrógeno disponible, pero para establecer esto, también se procedió a realizar estudios de predominio de especies, para lo cual se detectaron a ese pH alrededor de la neutralidad, tres especies que son amonio (NH_4^+), nitrato (NO_3^{-1}) y nitrito (NO_2^{-1}), esto se puede apreciar en la Figura 5.

En la Figura 5 se muestra al nitrógeno en forma de amonio y amoniaco, si analizamos el intervalo de pH propuesto, que se encuentra alrededor de la neutralidad, la especie que predomina es el amoniaco (NH_4^+), el cual si observamos alcanza casi los valores de 1, esto significa que se encuentra casi en un 100 %, el porcentaje restante corresponde al amoniaco (NH_3), el cual podemos establecer que su porcentaje es mínimo. Con este análisis se detectan las posibles reacciones químicas que experimentara el amoniaco en esos suelos al momento de adicionar la lombricomposta a los suelos citados previamente.

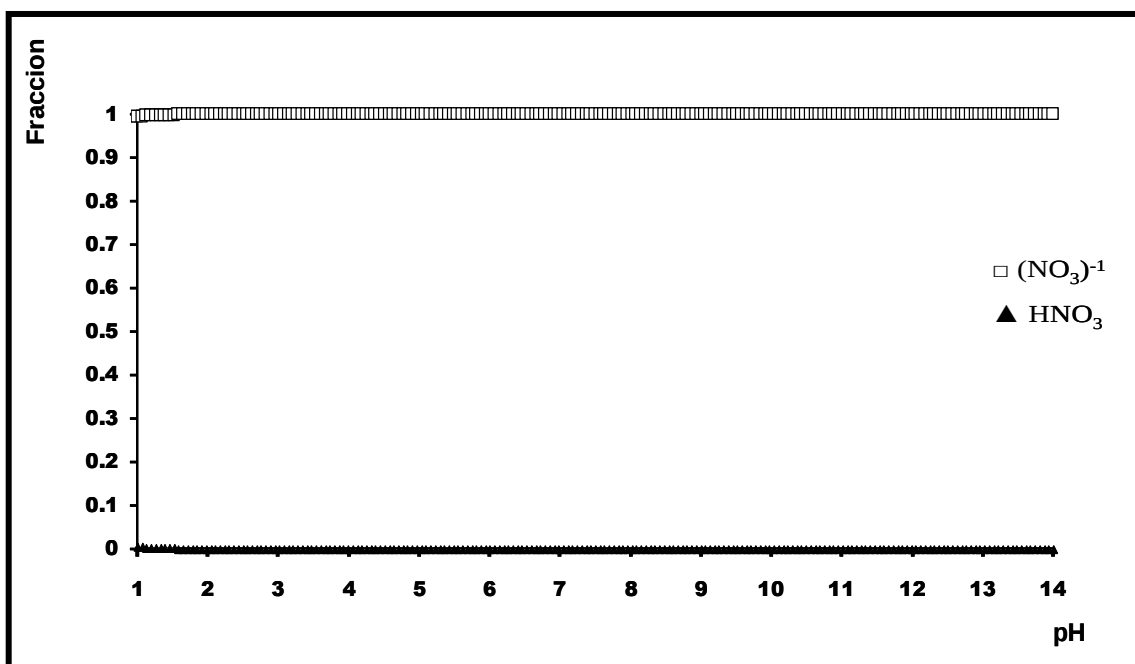
Figura 5. Diagrama de predominio para el nitrógeno, en forma de amonio



Fuente: Propia de los autores, 2010

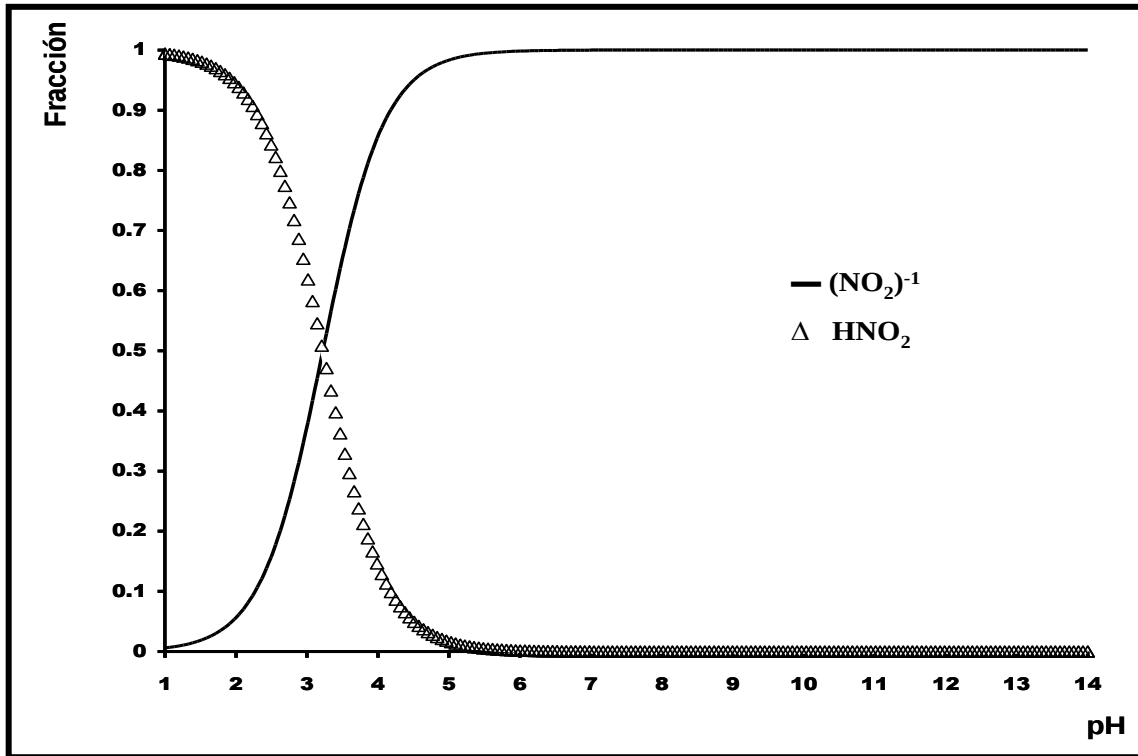
Se realizaron los mismos análisis para las especies del nitrógeno en forma de nitrato y nitrito. En ambos análisis se pudo constatar que al pH propuesto, las especies que predominaron fueron respectivamente el nitrato sobre el ácido nítrico y el nitrito sobre al ácido nitroso. Esto aprecia en las Figuras 6 y 7.

Figura 6. Diagrama de predominio para el nitrógeno, en forma de nitrato



Fuente: Propia de los autores

Figura 7. Diagrama de predominio del nitrógeno, en forma de nitrito

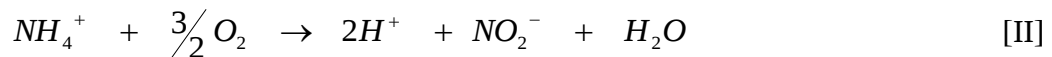


Fuente: Propia de los autores, 2010

En las Figuras 6 y 7 correspondientes se puede apreciar que las dos especies alcanzan casi el 100 % de predominio, lo cual ayudó a predecir que reacciones experimentarían ambas especies químicas en el ambiente edáfico citado.

De lo anterior establecemos que a pH neutro cercano (pH 7), la conversión microbiana de NH_4^+ en nitrato (nitrificación) es rápida, y los cultivos en general, ocupan los nitratos.

Como en la propuesta se encuentran las tres especies nitrato, nitrito y amonio, al pH propuesto la nitrificación es casi inmediata con lo cual el amonio es transformado rápidamente a nitrato, de igual manera sucede con el nitrito, esto se justifica con las reacciones [II] y [III]



Así también, los nitratos pueden ser reducidos a nitrógeno gaseoso por microorganismos mediante el proceso llamado denitrificación. La denitrificación bacteriana consiste en la reducción bioquímica de los aniones de nitrógeno oxidados, NO_3^- y NO_2^- ,

para la oxidación de la materia orgánica. Los pasos generales de este proceso se observan en la reacción [IV]



Como puede apreciarse en la reacción anterior la producción de óxido nítrico (N_2O), es de vital importancia ya que este gas al ser liberado incrementa las cantidades de gases de efecto invernadero en la atmósfera. De ahí la importancia en realizar el estudio teórico de lo que puede llevarse a cabo al adicionar la vermicomposta del lodo residual.

Conclusiones

Al final del este trabajo se establecen las siguientes conclusiones:

1. El proceso de vermicomposteo de los lodos residuales es una opción de disposición final, ya que como se constató la cantidad de nutrientes que se generan al final del proceso metabólico de las lombrices.
2. La incorporación del humus de lombriz proveniente de esta actividad es una propuesta de solución a la problemática del volumen de lodos residuales generados en las empresas tratadoras de aguas residuales.
3. Con base a los resultados generados de los diversos parámetros de laboratorio que se llevaron a cabo y con el programa de computación MEDUSA se puede prever que es lo que sucederá químicamente en el entorno edáfico en el momento que el humus de la lombriz se incorpore a los suelos propuestos en este trabajo.
4. La transferencia de nutrientes tales como materia orgánica, nitrógeno y elementos mencionados en este trabajo se espera que óptima, solamente se tendría que monitorear que cantidad de óxido nítrico (N_2O) se libera a la atmósfera, ya que como se han publicado en otras revistas este gas es de efecto invernadero, y si la producción es muy grande esta propuesta de ser una buena opción que solucione una problemática que aqueja al hombre, tomaría el sentido contrario, una problemática más que se suma a las que tiene en este momento la humanidad con su entorno.

Bibliografía

- Anastasi Antonella, Giovanna Cristina Varese and Valeria Filipello Marchisio. (2004) Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Mycologia*. 97(1) 33-44
- Barton K. Philip and James W. Atwater (2003) Nitrous Oxide Emissions and the Anthropogenic Nitrogen in Wastewater and Solid Waste. *J. Envir. Engrg.*, Volume 128. 137-150
- Castrejón A., Barrios J. A., Jiménez B., Maya C., Rodríguez A., González A. (2002). Evaluación de la calidad de lodos residuales de México. Instituto de Ingeniería. Grupo de Tratamiento y Reúso. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Ciampitti Ignacio A., Esteban A Ciarlo & Marta E Conti (2005) Emisiones de óxido nitroso en un cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]: efecto de la inoculación y de la fertilización nitrógenada. *Ciencia del suelo*.
- Cole J. Jonathan and Nina F. Caraco (2001) Emissions of Nitrous Oxide (N₂O) from a Tidal, Freshwater River, the Hudson River, New York. *Environ. Sci. & Technol.* 35, (6) 991-996
- Dalal R.C., Mayer R.J. (1986) Long-term trends in fertility of soils under conditions cultivation and cereal cropping in southern Queenslnad II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil. Res.* 24: 281-292
- Delgado-Moreno Laura, Gonzalo Almendros and Aránzazu Peña (2007) Raw or Incubated Olive-Mill Wastes and Its Biotransformed Products as Agricultural Soil AmendmentsEffect on Sorption-Desorption of Triazine Herbicides. *J. Agri. Food Chem.* 55, 836-843
- EPA (1994) Biosolids recycled: beneficial technologyfor a better environment. Environmental Protection Agency. Washington D. C. EEUU pp. 9-10. www.epa.gov/ncepihom/catalog/EPA832-R-094-009.
- Federal Environment Agency – Austria (2002) State of the Environment. 6th Report on the State of the Environment in Austria. pp 57
- Fukumuto Yasuyuki, kazuyoshi suzuki, Takashi Osada, kazutaka Kuroda, Dai Hanajima, Tomoko Yasuda, and kiyonorihaga (2006) Reduction of Nitrous Oxide Emission from Pig Manure Composting by Addition of Nitrite-Oxidizing Bacteria. *Environ. Sci. Technol.* 40, 6787-6791
- Hefting Mariet M., Roland Bobbink and Hannie de Calluwe (2003) Nitrous Oxide Emission and Denitrification in Chronically Nitrate-Loaded Riparian Buffer Zones. *J. Environ. Qual.* 32, 1194-1203
- Hellebrand Hans Jürgen and Wolf-Dieter Kalk (2001) Emission of methane, nitrous oxide, and ammonia from dung windrows. *Nutrient Cycling in Agrosystems*. Vol. 60 Number 1-3. 83-87
- Hobson A. M., Frederickson J. and N. B. Dise (2005) CH₄ and N₂O from mechanically turned windrow and vermicomposting systems following in-vessel pre-treatment. *Waste Manag.* 25(4) 345-352
- Khalil M.A.K.[1](#); Rasmussen R.A.; Shearer M.J. (2002) Atmospheric nitrous oxide: patterns of global change during recent decades and centuries. *Chemosphere* 47, (8). 807-821(15)
- Khalil M. I., A. B. Rosenani, O. Van Cleemput, C.I. Fauziah and J. Shamshuddin (2002) Nitrous Oxide Emissions from an Ultisol of the Humid Tropics under Maize-Groundnut Rotation. *J. Environ. Qual.* 31, 1071-1078.

- Liebeg M.A., Tanaka D.L., Wienhold B. J. (2004) Tillage and cropping effects on soil quality indicators in northern Great Plains. *Soil Tillage Res.* 78: 131-141
- Lyons A. Gary, H. S. Shekhar Sharma, Mairead Kilpatrick, Linda Cheung and Solveig Moore (2006) Monitoring of Changes in Substrate Characteristics during Mushroom Compost Production. *J. Agric. Food Chem.* 54, 4658-4667
- NOM-021-RECNAT-2000 (2002) Establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.
- Perez-Murcia M. D., R. Moral, J. Moreno-Caselles, A. Perez-Espinosa and C. Paredes (2006) Use of composted sewage sludge in growth media for broccoli. *Bioresource Technology* 97, 123–130
- Plaza César, Nicola Senesi, Alfredo Polo and Gennaro Brunetti (2005) Acid-Base Properties of Humic and Fulvic Acids Formed during Composting. *Environ. Sci. Technol.* 39, 7141-7146
- Reyes-Reyes, B.G. Zamora-Villafranco, E. Reyes-Reyes M.L., Frías-Hernández j. t., Olalde-Portugal, V. y Dendooven, L.(2003) Descomposition of leaves of huisache (*Acacia schaffneri*) and mesquite (*Prosopis spp*) in soil of the central highlands of Mexico, *Plant soil* 256:359-370.
- Salcedo-Pérez Eduardo, Antonio Vázquez-Alarcón, Laksmi Krishnamurthy, Francisco Zamora-Natera, Efrén Hernández-Álvarez y Ramón Rodríguez-Macias (2007) EVALUACION DE LODOS RESIDUALES COMO ABONO ORGÁNICO EN SUELOS VOLCÁNICOS DE USO AGRÍCOLA Y FORESTAL EN JALISCO, MÉXICO. *Interciencia. Revista de Ciencia y Tecnología de América.* Año/Vol 32 núm.002 pp. 115-120
- Sherlock Robert R., Sven G. Sommer, Rehmat Z. Khan, C. Wesley Wood, ElizabethA. Guertal, John R. Freney, Christopher O. Dawson and Keith C. Cameron. (2002) Ammonia, Methane and Nitrous Oxide Emission from Pig Slurry Applied to a Pasture in New Zealand. *J. Environ. Qual.* 31, 1491-1501
- Yanai Junta, Takuji Sawamoto, Taku Oe, Kanako Kusa, Keisuke Yamakawa, Kazunori Sakamoto, Takahiko Naganawa, Kazuyuki Inubushi, Ryusuke Hatano, and Takashi Kosaki. (2003) Spatial Variability of Nitrous Oxide Emissions and Their Soil-Related Determining Factors in an Agricultural Field. *J. Environ. Qual.* 32, 1965–1977.