



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO
FACULTAD DE PLANEACIÓN URBANA Y REGIONAL

**VALORACIÓN TEÓRICA DE LA TRANSFERENCIA DE
NUTRIENTES DE DOS TIPOS DE VERMICOMPOSTEO
A SUELOS FORESTALES EN EL PARQUE NACIONAL
NEVADO DE TOLUCA.**

T E S I S

PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN CIENCIAS AMBIENTALES
P R E S E N T A:

MONICA GRISEL GONZALEZ DELGADO



DIRECTOR DE TESIS:
D. EN C.A. EDUARDO CAMPOS MEDINA

TOLUCA, MEX

MAYO DE 2013

ÍNDICE	PAGINA
JUSTIFICACIÓN	6
CONTRIBUCIÓN DE LA PROPUESTA	7
HIPÓTESIS	8
OBJETIVOS <ul style="list-style-type: none">• General• Específicos	9
ANTECEDENTES	10
INTRODUCCION	13
CAPTITULO 1. PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS EN EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE TOLUCA	
1.1.- Suelos	17
1.1.1.- Fertilidad de suelos	18
1.1.2.- Características físicas de los suelos	19
1.1.3.- Características químicas de los suelos	21
1.2.- Suelos forestales	22
1.2.1.- Definición o concepto	22
1.2.2.- Fertilidad de suelos forestales	22
1.2.3.- Suelos forestales en el PNNT	23
1.2.4.- Actividades antropogénicas y efectos sobre los suelos en el Parque Nacional Nevado de Toluca	26

CAPITULO 2. LODOS RESIDUALES	
2.1.- Lodos Residuales	32
2.1.1.- Definición	32
2.1.2.- Composición de los lodos residuales	33
2.1.3.- Disposición final de los lodos residuales	35
2.1.4.- Aplicación de lodos residuales	37
CAPITULO 3. VERMICOMPÓSTA	
3.1.- Vermicomposta	43
3.1.1.- Definición	43
3.1.2.- Comparación de la vermicomposta contra el composteo	44
3.1.3.- Agente que realiza el vermicomposteo	45
3.1.4.- Aprovechamiento del producto del vermicomposteo	47
3.1.5.- Importancia ecológica	48
3.2.- Variables Físicoquímicas para evaluar el proceso de la vermicomposta	50
3.3.- Estudios realizados aplicando la vermicomposta	56
3.4.- Estudios de caso realizando vermicomposta de lodos residuales	57
CAPITULO 4. METODOLOGIA	
4.1.- Diseño Experimental	61
4.2.- Estudio del Suelo	62
4.2.1.- Ubicación de la toma de muestra de suelo	62
4.2.2.- Recolección de muestras	64
4.2.3.- Caracterización físicoquímica del suelo	65

4.3.- Lodo Vermicomposteo	76
4.3.1.- Recolecta del lodo	76
4.3.2.- Caracterización fisicoquímica del lodo residual	76
4.3.3.- Preparación de muestras	76
4.3.4.- Proceso de vermicomposteo del lodo residual	77
4.3.5.- Acondicionamiento y preparación de contenedores para el vermicomposteo	78
4.3.6.- Incorporación de residuos orgánicos a los lodos vermicomposteados	78
4.3.7.- Pruebas de Caracterización de la Lombricomposta	79
4.3.8.- Caracterización de los suelos con los productos del vermicomposteo	80
4.4.- Microscopia Electrónica de Barrido	80
4.5.- Estudio de Predominio de Especies	81
4.5.1.- Predicción de la transferencia de nutrientes de lodo vermicomposteo a suelos forestales	82
CAPITULO 5. RESULTADOS	
5.1.- Caracterización de los diferentes tipos de suelos	84
5.1.1.- Comunidad Rosa Morada	84
5.1.1.1.- Clase textural	84
5.1.1.2.- Materia orgánica y carbono	85
5.1.1.3.- Nitrógeno total	86
5.1.1.4.- pH	88
5.1.1.5.- Humedad y capacidad de retención de agua	89
5.1.1.6.- Micro y macronutrientes	89
5.1.2.- Comunidad Dilatada	90

5.1.2.1.- Clase textural	90
5.1.2.2.- Materia orgánica y carbono	92
5.1.2.3.- Nitrógeno total	93
5.1.2.4.- pH	94
5.1.2.5.- Humedad y capacidad de retención de agua	95
5.1.2.6.- Micro y macronutrientes	96
5.1.3.- Comunidad El Capulín	98
5.1.3.1.- Clase textural	98
5.1.3.2.- Materia orgánica y carbono	99
5.1.3.3.- Nitrógeno total	100
5.1.3.4.- pH	101
5.1.3.5.- Humedad y capacidad de retención de agua	102
5.1.3.6.- Micro y macronutrientes	102
5.2.- Lodos estabilizados	104
5.2.1.- Materia orgánica, carbono, nitrógeno total, pH y capacidad de retención de agua en lodos estabilizados	104
5.2.2.- Determinación de metales totales	105
5.3.- Producto de vermicomposteo	106
5.3.1.- Resultados de análisis de producto de vermicomposteo	106
5.3.2.- Determinación metales totales	107
5.4.- Microscopías electrónicas de suelos, lodos y producto de vermicomposteo	108
5.4.1.- Suelos	108
5.4.2.- Lodos residuales	116

5.4.3.- Producto de vermicomposteo	118
5.5 Caracterización del producto de vermicomposteo	119
5.6 Estudio de Predominio de Especies	121
5.7 Predicción de transferencia de nutrientes	127
5.8 Caracterización de los suelos con los productos del vermicomposteo	131
CAPITULO 6. CONCLUSIONES	134
BIBLIOGRAFIA	138

JUSTIFICACIÓN

El cambio de uso de los suelos forestales y su destino a la obtención de cosechas altera la composición, diversidad y actividad de la comunidad microbiana edáfica, lo que es atribuible a los cambios continuos en la temperatura y humedad del suelo, a la interrupción del depósito constante de residuos vegetales, a la muerte de las raíces vegetales y de los hongos micorrízicos (Saetre y Baath, 2000, Leckie, 2005),

Este manejo de bosques conlleva a su degradación y puede provocar efectos perjudiciales sobre la fertilidad de los suelos (Raison y Rab, 2001), lo que redundará en pérdida de la materia orgánica del suelo y de nutrientes, por eventos como: combustión de la biomasa vegetal, lixiviación, erosión o compactación.

Esta problemática se hace presente en los suelos forestales del Parque Nacional Nevado de Toluca, ya que como es sabido por la población del Estado de México, las actividades de tala clandestina, pastoreo y desmontes han provocado que la materia orgánica se pierda en dicho bosque. Este proceso modifica la capacidad de infiltración del agua de lluvia y disminuye la recarga acuífera de la cuenca del Río Lerma lo cual contribuye al problema mundial del cambio del clima. La reversión de este proceso es una necesidad urgente.

CONTRIBUCIÓN DE LA PROPUESTA

El proceso de remediación que se propone en este trabajo de investigación es un vermicomposteo de lodos activados adicionando materiales orgánicos con la finalidad de establecer la relación ideal de carbono-nitrógeno para posteriormente ser aplicarlos a muestras de suelo forestal del Parque Nacional Nevado de Toluca con la finalidad de transferir nutrientes y con ello favorecer el crecimiento de una especie vegetal. La presencia y dinámica de contaminantes traza es un riesgo y la posibilidad de generar un programa de reforestación en algunas zonas deforestadas del Parque Nacional Nevado de Toluca. (Kocik *et. al.*, 2007)

HIPÓTESIS

La cantidad de nutrientes de un vermicomposteo mejorado a suelos forestales es superior a los de un vermicomposteo tradicional.

OBJETIVOS

“General”

Determinar cual de los dos tipos de vermicomposteo de lodos activados transfiere mayor cantidad de nutrientes a los suelos forestales del Parque Nacional Nevado de Toluca.

“Específicos”

- Caracterizar el suelo por medio de los parámetros fisicoquímicos (pH, materia orgánica, CIC, Nitrógeno Total, Carbono Total Inorgánico y Fósforo disponible antes y después de agregar la vermicomposta.
- Caracterizar la lombricomposta a emplearse, utilizando los mismos parámetros fisicoquímicos ya mencionados.
- Determinar el efecto de los 2 tipos de vermicomposta de lodos activados al aplicarlo sobre suelos forestales, analizando los parámetros fisicoquímicos señalados.

ANTECEDENTES

La mayoría de los estudios relacionados con la composta y la vermicomposta se orientan a la producción agrícola utilizando como materia prima los residuos orgánicos mezclados con estiércol de animales domésticos, valorando las proporciones de carbono-nitrógeno y la respuesta de los cultivos cuando se les incorporan. (Santamaría et.al., 2001)

Se ha puesto énfasis a los cultivos, ya que se busca la incorporación de nitrógeno, es por eso que la opción de los lodos se presenta como una alternativa viable para su disposición final, ya que se aprovechan los fertilizantes presentes en los mismos y es una de las principales opciones adoptadas en la Unión Europea, como sustituto de la fertilización mineral. Sin embargo su aplicación en la agricultura debe de realizarse en base al conocimiento de su naturaleza y una normatividad básica. (Miralles et. al. 2002)

Estudios más recientes muestran que lodos de depuradoras que han sido composteados se han utilizado para incrementar la fertilidad del suelo, esto se pudo constatar al final de cuatro años de experimentación donde los parámetros de pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo y conductividad eléctrica. (Beltrán et. al. 2005)

La disposición de lodos como mejoradores de suelos permite una valoración del residuo gracias a los nutrientes que contiene (N, P, K, CA y Mg), a su vez mejora las características del suelo, aunque su uso esta condicionado por el

contenido de metales pesados, patógenos y coliformes (Moscoso, 2003; Martínez, 2004).

Las actividades productivas tanto urbanas como rurales generan grandes cantidades de desechos orgánicos que representan una fuente potencial de contaminación. Para poder incrementar el valor económico de éstos desechos, es necesario convertirlos en productos útiles (Corlay et al., 1999). Una alternativa para realizar tal reconversión es el vermicomposteo; el cual se define como un proceso biotecnológico donde intervienen lombrices composteras, que convierten los desechos orgánicos en un producto inocuo y químicamente estable conocido como vermicompost (Capistrán et al., 2001).

La aplicación de lodos residuales como fertilizante orgánico a suelos agrícolas es una práctica habitual en países desarrollados, ya que estos generalmente contienen un alto contenido de MO y macronutrientes principalmente P y N; así también su aplicación al suelo favorece algunas de sus propiedades físicas y químicas principalmente con el aporte de MO que proviene de estos materiales consiguiendo con esto mejorar la estructura y porosidad del suelo, su permeabilidad y retención hídrica; así como, incremento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) (Andrade, et al, 2000; Hernández, 2001; Illera, et al 2001; Quintero et al, 1998).

Uno de los problemas que presenta el Parque Nacional Nevado de Toluca se debe a la pérdida de cobertura forestal con fines de aprovechamiento

maderable, por el cambio de uso de suelo que se observa, con el acelerado crecimiento de las tierras de cultivo como maíz y cebada. (La Jornada, 2008)

Los bosques del Parque Nacional Nevado de Toluca proporcionan gran cantidad de bienes como madera, resina, plantas comestibles y animales de caza, también brindan múltiples servicios ambientales ya que mantienen la calidad del aire y el agua; contribuyen en la formación de suelo, así como en el mantenimiento de su fertilidad. (Montaño Teresa, el universal 2008)

INDTRODUCCION

En el presente trabajo se propone una alternativa en la transferencia de nutrientes hacia suelos forestales vía el vermicomposteo de lodos activados, mediante dos tipos de vermicomposta, una de manera tradicional utilizando los lodos mencionados y otra mejorada, en la cual se incorporaran materiales orgánicos que puede ser estiércol de animales o residuos generados de diversas actividades.

Debido a los problemas de baja fertilidad de suelos se han realizado varias investigaciones al tratar de incorporar nutrientes, en las cuales el vermicomposteo se realiza solamente utilizando material orgánico como son el banano, estiércol de vacuno, follaje de ornamentales y broza de café a suelos de uso agrícola principalmente.

El ciclaje de nutrientes es uno de los aspectos fundamentales para la manutención de la productividad forestal, como fenómeno es afectado por las técnicas de manejo de suelos y las correspondientes a manejo silvicultural (Attiwill 1968, Poggiani 1985, Reis et al.1990).

Los suelos forestales han sido descuidados, señalando que la flora presente en dichos tipos de suelos es la responsable de la generación del oxígeno en el proceso de fotosíntesis, por lo cual de seguir permitiendo la perdida de bosques estaríamos fomentando la perdida de los pulmones del planeta tierra,

por lo cual es importante buscar opciones que permitan solucionar esta problemática.

Debido a los cambios de uso de los suelos forestales, estos han experimentado un agotamiento en su fertilidad, de ahí que se busquen alternativas diferentes a los fertilizantes químicos, con la finalidad de incorporar nutrientes a estos tipos de suelos.

Esta investigación propone incorporar nutrientes mediante el humus de las lombrices, variando la materia prima del proceso. En la búsqueda bibliográfica realizada de lodos activados, estos solo son estabilizados y empleados para suelos agrícolas con la intención de incrementar su producción. La propuesta de utilizar estos lodos en la vermicomposta, surge a raíz de que en dichos lodos la materia orgánica es alta, por lo cual es una excelente opción para que las lombrices empleadas metabolicen dicho material, y mediante su humus se incorporen nutrientes a dichos suelos forestales.

La otra variante como se señaló es incorporar a dichos lodos residuos orgánicos, como son el estiércol de animales o residuos orgánicos con la finalidad de que la relación de carbono-nitrógeno sea óptima y al momento de ser aplicado el humus de la lombriz la cantidad de nutrientes incorporados al suelo sea la máxima posible.

El vermicomposteo es una tecnología innovadora para el tratamiento de lodos residuales en México, en donde existen experiencias en el tratamiento de basura orgánica y residuos de café, (Aranda, 1977). La tecnología del vermicomposteo resulta interesante debido a que por mucho tiempo se pensó que la degradación de desechos la realizaban sólo microorganismos, pero actualmente se sabe que otros organismos más complejos también participan activamente en la descomposición de los residuos. Esto aunado a la tecnificación que se ha logrado en la lombricultura, que está enfocada más a la producción de vermicomposta que a la producción de lombrices.

En el vermicomposteo se hace una mezcla de desechos orgánicos que sirven de alimento a lombrices. Cuando un desecho es muy tóxico se puede precompostear y después la composta fresca usarse como alimento de lombriz. En pequeñas plantas con lodos domésticos, el lodo se puede usar directamente como alimento de lombrices, mezclándolo de preferencia con residuos de jardín, lirio acuático o algún otro residuo disponible.

Esta investigación se puede considerar como una primera fase, ya que esta se desarrollará en un laboratorio en condiciones controladas con la finalidad de monitorear como funciona el vermicomposteo con las materia primas señaladas, que características tiene el humus resultante y como funciona al momento de incorporarlo a suelos forestales con la propósito de aumentar su material orgánico y la cantidad de nitrógeno.

CAPITULO I

PROBLEMÁTICA DE LOS SUELOS EN EL PARQUE NACIONAL NEVADO DE TOLUCA

1.1- Suelos

El suelo es un sistema que constituye la interfase del aire, agua, minerales y la vida. El suelo, al ser un sistema de tres fases, presenta una variada gama de propiedades las cuales se clasifican en físicas, químicas y biológicas. Cabe destacar que dichas propiedades son dependientes unas de otras.

En los ecosistemas el suelo constituye un elemento fundamental, dado que cumple con importantes funciones, de las cuales se derivan servicios ambientales indispensables para el sostenimiento tanto del ecosistema como de la vida humana. La función más conocida es la de soporte y suministro de nutrientes a las plantas. Sin embargo el suelo cumple con otras funciones igualmente trascendentes, como la de constituir un medio poroso y permeable apto para la regulación del sistema hidrológico, influyendo así en la retención y pérdida de agua, y en su purificación o contaminación, según las circunstancias. (Cotler, 2003).

Asimismo, constituye el medio donde se realizan ciclos biogeoquímicos necesarios para la reincorporación de compuestos orgánicos. Como resultado de estos procesos, se estima que el contenido de carbón almacenado en el primer metro de profundidad de suelo es 1.5 veces mayor que aquel acumulado en la biomasa (Sombroek *et. al.* 1993), constituyendo la tercera fuente más importante de carbono (Lal, 1999). Este secuestro de carbono en el suelo reduce su liberación a la atmósfera como CO₂, uno de los principales gases de efecto invernadero responsables de cambio climático (Kern y Johnson, 1993).

De acuerdo con Cotler (2003), según sus características, el suelo es el hábitat de diferentes organismos, muchos de los cuales cumplen un papel fundamental en la salud humana. En síntesis, los suelos juegan un papel fundamental como soporte de todos los ecosistemas terrestres, determinando su funcionamiento y productividad.

1.1.1- Fertilidad de suelos

La Fertilidad del suelo es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo y que consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En lo referente al suministro de condiciones óptimas para el asentamiento de las plantas, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto determinan la fertilidad del suelo.

Igualmente, la fertilidad del suelo no es suficiente para el crecimiento de las plantas; el clima juega un papel importante y determinante en muchos casos. Por ejemplo se puede tener un suelo fértil y que dadas las temperaturas extremas no es capaz de producir buenas cosechas, entonces en un suelo fértil no productivo.

En lo referente al párrafo anterior, estas características no actúan independientemente, sino en armónica interrelación, que en conjunto

determinan la fertilidad del suelo. Por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales -fertilidad química- pero que no está provisto de buenas condiciones físicas y viceversa.

1.1.2 Características físicas de los suelos

Las propiedades físicas del suelo son de gran importancia para el desarrollo de la vegetación, de acuerdo con FitzPatrick (1996), estas propiedades se alteran con menor facilidad durante el manejo forestal que sus propiedades químicas. Sin embargo, la estructura y porosidad del suelo pueden alterarse en determinadas condiciones de manejo. Algunas de estas propiedades son las siguientes:

- **Estructura**

Se define la estructura como la unión de partículas individuales en unidades o agregados más grandes. Esta se refiere a la unión de las partículas primarias del suelo (arena, limo y arcilla) en partículas compuestas. Su importancia consiste en el tamaño y la extensión del sistema de poros entre las unidades estructurales.

La estructura modifica la influencia de la textura con respecto a las relaciones de humedad y aire, disponibilidad de nutrimentos para la planta, acción de microorganismos y desarrollo de la raíz. (Aguilera, 1989)

- Textura

Se conoce como el tamaño de las partículas de minerales que se contienen. Esta propiedad ayuda a determinar no sólo la facilidad de abastecimiento de nutrientes, sino también agua y aire, tan importantes para la vida de las plantas (Sampat, 1991). Por tanto la textura del suelo controla su drenaje, almacenamiento de agua y aptitud para diferentes cultivos. En lo que toca a suelos forestales esta propiedad influye directamente en la productividad para el crecimiento de árboles.

- Porosidad

Esta característica representa el porcentaje total de huecos que hay entre el material sólido de un suelo. Este espacio es importante porque los poros del suelo están totalmente llenos de agua y aire. Así la provisión de agua y oxígeno para el crecimiento de las plantas y la tasa de movimiento del agua en el suelo están relacionados con la cantidad y tamaño de los poros del mismo.

- Densidad aparente

Esta característica refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). La densidad aparente es dependiente de la porosidad, y por esto mismo, adquiere valores muy variables aún en un mismo tipo de suelo, y es muy afectada por las actividades de manejo y la cantidad de materia orgánica (Brady & Weil 1999). Una excesiva densidad aparente afecta a la planta porque inhibe la penetración de las raíces y su desarrollo (Medina-Méndez, 2006).

1.1.3. Características químicas de los suelos

- *pH del suelo*

El pH del suelo depende de diversos factores incluyendo los que intervienen en la formación del suelo, la estación del año, las prácticas de cultivo, el horizonte muestreado, el contenido hídrico en el momento del muestreo y la técnica para determinar el pH. (Cepeda, 1985).

- *Capacidad de intercambio catiónico*

La capacidad de intercambio catiónico de un suelo se determina por lo general por el desplazamiento de la masa de los diversos cationes en una solución salina al suelo.

La mayor parte de los minerales esenciales son absorbidos por las plantas en forma de cationes tales como el calcio, magnesio, potasio, amonio, sodio, aluminio, hierro e hidrógeno que están cargados positivamente y son atraídos hacia las superficies cargadas negativamente de las partículas coloidales del suelo, tanto minerales como orgánicas (Pritchett, 1990).

- *Acidez*

La mayor parte de los suelos forestales van de moderada a extremadamente ácidos, como resultado de la liberación de ácidos orgánicos durante la descomposición de la capa litter (llamada así a la capa de material orgánico no descompuesto que se encuentra sobre el suelo como hojas, ramillas, semillas, etc.) y la consiguiente lixiviación de las bases del suelo mineral superficial (Del Álamo, 2007).

Con una cuantas excepciones, las especies forestales están bien adaptadas a las condiciones de los suelos ácidos y, crecen mejor en un medio moderadamente ácido. Sin embargo, la reacción del suelo puede determinar las distribuciones de plantas más sensibles a la acidez. Pritchett (1990)

1.2.- Suelos forestales

1.2.1.- Definición o concepto

El suelo forestal es un cuerpo natural que forma parte de la superficie de la tierra, esta constituido por material de origen orgánico y mineral, corresponde a un componente ambiental vital para el bosque, ya que sirve de soporte y controla la disponibilidad de agua y los nutrientes requeridos para el desarrollo.

El suelo, como componente básico del ecosistema forestal, constituye el principal insumo de la producción forestal, por lo que es necesario velar por su conservación. (Guía de conservación de suelos forestales, 1999)

1.2.2- Fertilidad de suelos forestales

La fertilidad de suelos forestales es uno de los factores que determina la calidad de un sitio, ya que influye considerablemente en la tasa de crecimiento del bosque, en la calidad de la madera, resistencia de las especies a enfermedades, frente a ciertos factores abióticos adversos como vientos fuertes, de filtro para proteger y amortiguar los otros componentes del ecosistema forestal de diversos procesos de daño o contaminación.

Sin duda alguna el que un suelo forestal sea fértil influye en gran medida en la vegetación y en la fauna que contribuyen a la manutención de la biodiversidad del ecosistema forestal.

1.2.3.- Suelos forestales en el Parque Nacional Nevado de Toluca

El Xinantécatl fue decretado en 1936 como “Parque Nacional Nevado de Toluca” por el entonces Presidente de la República, Lázaro Cárdenas, forma parte de la provincia fisiográfica montañosa Sistema Volcánico Transversal. Se ubica entre los 18°59' y 19°13' de latitud norte y entre los 99° 37' y 99° 58' de longitud oeste, su superficie abarca 53 913 ha., en la actualidad supera los 4,680 metros sobre el nivel del mar (MSNM) y es la cuarta montaña más elevada de México. Es un estratovolcán compuesto de rocas andesíticas y dacíticas. Es de clima del tipo frío de altura, semifrío y templado por tanto destacan los bosques de coníferas, bosques de latí foliadas, pastizales, matorral, pastizal inducido, entre otros.

Por su producción de agua, de esta montaña dependen poblaciones como Toluca, Metepec, Lerma, Calimaya, Ixtapan de la Sal, Tenango, San Mateo Atenco, el Valle de México y el Distrito Federal.

De manera general, se han perdido y diezmado mamíferos y especies vegetativas, además de agua, ríos y ecosistemas completos.

Figura 1.1. Parque Nacional Nevado de Toluca



Fuente.- Imagen fotográfica (Año 2012)

De acuerdo con Franco *et al.* (2006), los bosques nativos de la región están siendo amenazados por una marcada tendencia al cambio de uso de suelo y una creciente presión antrópicas que repercute en la pérdida de biodiversidad, en la proliferación de plagas y enfermedades así como también en la afectación de los suelos.

De las 53 mil ha., 45 mil era bosque. Hoy sólo quedan alrededor de 17 mil hectáreas; de las 17 mil hectáreas restantes, actualmente, 11,900 ha se encuentran conformadas por un bosque viejo (en declinación).

La vegetación que se localiza en el parque es la siguiente: *Abies religiosa*, *Pinus hartwegii*, *P. montezumae*, *P. rudis*, *P. teocote*, *P. Michoacána*, *P. leiophylla*, *Quercus*, *Alnus*, *Arbutus* y *Cletra*. La vegetación de chaparrales:

Trisetum spicatum, Stipa ichu, S. mexicana, S. mucronata, Poa annua, Piptochaetium fimbriatum, Muhlenbergia ramulosa, M. quadridentata, M. nigra, M. dubia, M. affinis, Lycurus phyloide, Koeleria cristata, Festuca hepraestophyla, F. toluensis, F. livida, Epicampes macroura, Deschapsia pringlei, Cinna peoformis, Cala magritis toluensis, Brachypodium mexicanum, Aristida schiedeana, Agrostis toluensis y Aegopogon cenchroides. Las laderas del volcán hasta los 4,100 m están cubiertas de bosques de oyamel y pino, en las alturas superiores dominan las gramíneas, líquenes y la vegetación alpina.

La principal fauna silvestre reportada es de venado cola blanca, coyotes, pequeños roedores, halcones y azulejos.

Los suelos de la zona alpina están poco desarrollados. Dentro del parque se encuentran dos asociaciones de suelos, la primera de ellas y como suelo predominante componente de un Regosol eútrico, el cual se caracteriza por no presentar capas distintas, en general son claros y se parecen bastante a la roca que los subyace, cuando no son profundos. Frecuentemente son someros, su fertilidad es variable y su uso agrícola está principalmente condicionado a su profundidad y al hecho de que no presenten pedregosidad. El segundo componente de esta asociación es un Litosol, se caracterizan por tener una profundidad menor de 10 centímetros hasta la roca.

La segunda asociación tiene como suelo predominante al Andosol húmico, es un suelo que se encuentra en áreas de actividad volcánica reciente, puesto que se origina a partir de cenizas volcánicas. Se caracterizan por tener una capa superficial de color negro o muy oscuro y por ser de textura esponjosa o muy

suelo. Son muy susceptibles a la erosión, la capa superficial es rica en materia orgánica, pero muy ácida.

Para el periodo 1972- 2000, 13, 893.36 hectareas de bosque en el Parque Nacional Nevado de Toluca presentan perturbación, entendiéndose por ello que ha disminuido su densidad pasando de tener un bosque denso a semidenso, fragmentado o hasta la pérdida total del recurso con el cambio de uso de suelo (Franco et al., 2006).

Los extensos bosques templados en torno al volcán Xinantecatl, constituyen el principal suministro de servicios ambientales del Valle de Toluca. A pesar de su importancia como resguardo del patrimonio natural del Estado de México, sólo 58% de las superficies boscosas puede considerarse como bosques densos, es decir, con un buen estado de conservación. Esto sugiere la pérdida gradual en la densidad de sus poblaciones. Los bosques nativos del PNNT están siendo amenazados por una tendencia al cambio de uso de suelo y una creciente presión antrópica, lo que repercute en la pérdida de la biodiversidad, en la proliferación de plagas y enfermedades, así como en la afectación de los suelos (Franco et al, 2006).

1.2.4.- Actividades antrópicas y efectos sobre los suelos en el Parque Nacional Nevado de Toluca

En la actualidad, el 59% de su territorio pertenece a diversos ejidos, el 29% forma parte de propiedades privadas, el 10% es zona federal y el 2% restante corresponde a propiedades no identificables (SARH, 1992), esto aunado al

desarrollo de actividades que se realizan y el impacto sobre el Parque se reconoce:

- Sobre explotación de los recursos forestales. La tala clandestina para la extracción de leña y madera han significado la pérdida de importantes superficies de bosque. Se ha calculado que desde la época de sus decreto, el parque ha perdido mas del 50% de su masa arbórea (GEM, 1999).
- Extracción selectiva de madera. El corte de los mejores árboles ha implicado la disminución en la densidad del arbolado e inducido la regeneración de los árboles mal conformados, lo que ha afectado la biodiversidad genética del bosque.
- Manifestación de plagas y enfermedades forestales. El deterioro genético y ecosistémico de los bosques ha propiciado un incremento en la presencia de muerdagos e insectos descortezadores.
- Cambios en el uso de suelo, de forestal a agrícola. La población local ha inducido dichos cambios con la finalidad de introducir algunos cultivos básicos como el maíz y el haba y, en menos medida, promover algunos cultivos de alto rendimiento económico como flores de ornato o papa.
- Incidencia de incendios forestales. La crianza extensiva de ganado bovino y ovino ha estado acompañada por la ocurrencia inducida de incendios forestales, esto con la finalidad de promover el desarrollo de

los pastos nativos, lo cual ha afectado negativamente en la estructura y regeneración de los ecosistemas forestales.

De acuerdo con Franco y otros (2006), el deterioro de las zonas forestales en el PNNT en los últimos años ha estado vinculado a dos causales principales: la proximidad de algunos núcleos de población que presentan un acelerado crecimiento poblacional y la existencia de factores exógenos que fomentan el desarrollo de actividades ilegales dentro del parque. En el primer caso, la presencia o proximidad de localidades, cada vez de mayores dimensiones, ha acelerado los procesos de cambio de uso del suelo por la necesidad de abrir nuevas tierras al cultivo y a la urbanización, y ha representado un aumento de la demanda de recursos naturales para el autoconsumo, tal es el caso de la extracción de leña o la colecta de hongos silvestres.

En el segundo caso, la situación político- administrativa de la región y la falta de mecanismos de vigilancia y control, han propiciado la aparición de individuos o grupos organizados dedicados a la tala clandestina, la crianza de ganado a gran escala y la extracción ilegal de productos forestales no maderables.

Si bien es cierto que el deterioro del PNNT guarda una estrecha relación con la presencia de una población regional cada vez mayor, las características y la dinámica poblacional en las diversas localidades incide de manera diferenciada en la afectación al entorno natural, lo que genera la disminución del número de árboles por unidad de superficie considerable ante la extracción del recurso

forestal con fines comerciales, principalmente de especies como pino, oyamel y encino.

Así mismo se pueden observar consecuencias mayores en materia medioambiental, tales como:

- Pérdida de elementos nutrientes (N, P, S, K, Ca, Mg...). Puede ser de manera directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de una forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.
- Modificación de las propiedades fisicoquímicas: acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible.
- Deterioro de la estructura. La compactación del suelo produce una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad: como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía.
- Disminución de la capacidad de retención de agua: por degradación de la estructura o por pérdida de suelo. Esta consecuencia es especialmente importante para los suelos andaluces sometidos a escasas precipitaciones anuales.

- Pérdida física de materiales: erosión selectiva (parcial, de los constituyentes más lábiles, como los limos) o masiva (pérdida de la capa superficial del suelo, o en los casos extremos de la totalidad del suelo).
- Incremento de la toxicidad. Al modificarse las propiedades del suelo se produce una liberación de sustancias nocivas.

En definitiva, se produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa de suelo. Estos efectos tienen dos consecuencias generales: a corto plazo, disminución de la producción y aumento de los gastos de explotación (cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos). A largo plazo: infertilidad total, abandono, desertización del territorio.

CAPITULO II

LODOS RESIDUALES Y VERMICOMPOSTEO

2.1 Lodos residuales

2.1.1 Definición

Un residuo se define como un material generado en actividades de producción y consumo, que no alcanza un valor económico por la falta de una adecuado tecnología o por la inexistencia de mercado. Los lodos residuales son el producto final del tratamiento de las aguas residuales urbanas o industriales.

(Czysz Denne, 1991)

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales son producto de la concentración de sólidos contenidos en el efluente (lodos primarios), o de la formación de nuevos sólidos suspendidos (lodos activados) resultantes de los sólidos disueltos de la aguas residuales (Morales, 2005). Cuando estos lodos han sido estabilizados pueden ser aprovechados gracias a su contenido de materia orgánica y demás nutrientes adquiridos durante el proceso. El lodo estabilizado es recomendable debido a que existe una disminución de patógenos y asegura un manipuleo saludable para el hombre cuando es aplicado al suelo.

La Norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 los define como sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras o de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización.

Por el contrario cuando los lodos han sido sometidos a procesos de estabilización y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después de su estabilización, pueden ser susceptibles de aprovechamiento, reciben el nombre de biosólidos.

2.1.2 Composición de los lodos residuales

Los lodos residuales se caracterizan por su alto contenido de MO (materia orgánica), Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Magnesio; así como la presencia de metales pesados como el Cadmio, Zinc, Cobre, Níquel, Cromo y Mercurio, que en cantidades elevadas puede causar toxicidad (Chang et al 1981).

Tabla 2.1.- Composición química de los lodos residuales

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS LODOS RESIDUALES	
NUTRIMENTO	IMPORTANCIA
NITRÓGENO	<ul style="list-style-type: none"> • Nutrimiento crítico para las plantas • N orgánico: no asimilable • N inorgánico (NH₄⁺, NO₃⁻): asimilable • Conversión Norg→Ninorg: f(pH, humedad, temperatura, O₂) • Plantas requieren de 50 a 350 kg/ha de N • Exceso de nitrógeno puede contaminar el agua subterránea o superficial (NO₃⁻)
FÓSFORO	<ul style="list-style-type: none"> • 2ºnutrimiento crítico para las plantas • P orgánico →ortofosfatos (asimilables) • Poca solubilidad a pH< 5.5 o > 7.5 • Contenido en lodos depende del P en el AR y el proceso de tratamiento • Requerimientos de P en cultivos: 0 –95 kg/ha
POTASIO	<ul style="list-style-type: none"> • Ayuda a mantener la permeabilidad de la célula • Incrementa la resistencia de la planta a enfermedades • En suelos no siempre está biodisponible (fertilizantes) • Requerimientos de potasio: 170 kg/ha
CALCIO	<ul style="list-style-type: none"> • Generalmente presente en el suelo, aporte importante en lodos estabilizados con cal
MAGNESIO	<ul style="list-style-type: none"> • Indispensable para la formación de clorofila; contenido bajo en lodos
AZUFRE	<ul style="list-style-type: none"> • Presente como sulfato en los lodos

Fuente: Fuente Curso Manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento. Culiacán, Sinaloa, Octubre de 2006.

Así mismo puede contener un gran número de microorganismos, incluso patógenos, entre ellos bacterias aerobias, virus y protozoarios. Generalmente, los lodos presentan una apariencia desagradable y mal olor, por contener fragmentos de desperdicios sólidos y fecales. (Wild, 1992).

De acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002, los lodos residuales para este trabajo de investigación se clasifican como de calase “C” por el aprovechamiento que tendrá, esto se observa en al siguiente tabla.

Tabla 2.2.- Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coniformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 200 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) huevos de helmitos viables

NMP numero mas probable

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002, 4.7 límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en lodos y biosólidos.

Tabla 2.3.- Aprovechamiento de biosólidos

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación • Los establecidos para clase B y C
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto directo durante su aplicación • Los establecidos para clase C
Excelente o bueno	C	<ul style="list-style-type: none"> • Usos forestales • Mejoramientos de suelos • Usos agrícolas

Fuente: NOM-004-SEMARNAT-2002, 4.8 aprovechamiento de biosólidos, se establece en función del tipo clase, y su contenido de humedad hasta el 85%.

2.1.3 Disposición final de los lodos residuales

La producción de lodo, procedente de la depuración de aguas residuales doméstica o urbana está planteando serios problemas para su almacenamiento y, sobre todo, para su eliminación. Las cantidades generadas de lodos residuales son enormes, por tanto se han buscado alternativas para su disposición, entre ellas están:

- a. Relleno: los lodos se depositan en áreas que tiene una pendiente entre 1 y 20°, alternando con capas de suelo, se toman ciertas tanto físicas como químicas y la profundidad de las aguas subterráneas para evitar escurrimientos y lixiviación de los contaminantes, sin embargo no es muy recomendable esta práctica por la aceleración en la descomposición de la basura.

- b. Incineración: su objetivo es reducir hasta un 90% el volumen original de los lodos sometiéndolos a una temperatura de 760°C, las cenizas resultantes se utilizan como relleno. Sin embargo , esto podría estar concentrando cantidades de metales pesados en las cenizas resultantes, las que al acumularse en depósitos, crearían zonas con altas cargas de dichos elementos, que invariablemente causan contaminaciones en los sitios de disposición final y/o en lugares vecinos (Cuevas *et. al.* 2006)., lográndose una reducción del 90% del volumen total de los lodos alimentados.

La incineración es el proceso de estabilización de sólidos más completa, ya que oxida completamente toda la materia orgánica, el olor es eliminado y los patógenos destruidos.

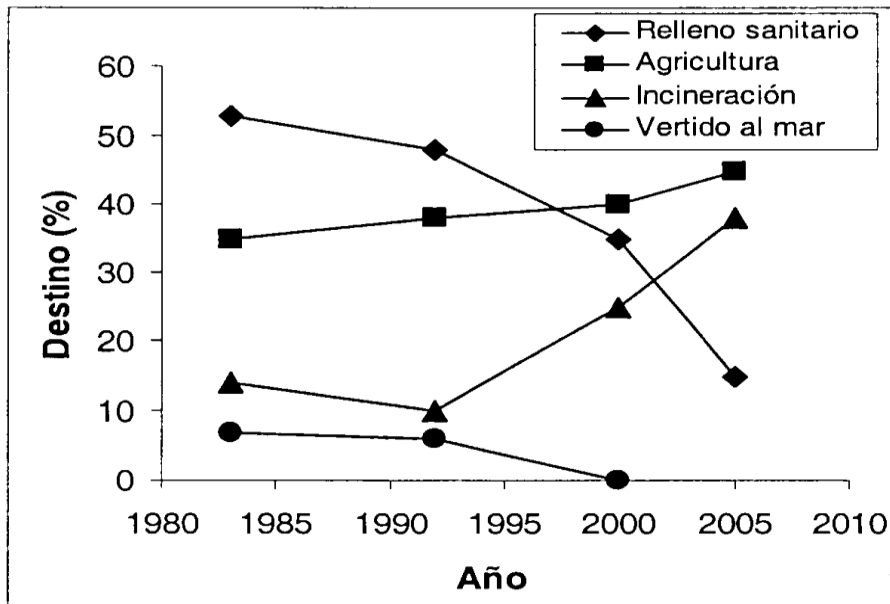
- c. Fertilizantes: La aplicación de lodos al suelo parece ser un buen método para reciclar estos desechos, ya que un 80% del material es reutilizable, además de generar mejoras en la productividad y recuperación de suelos degradados (Marambio y Ortega, 2003).

- d. Composta: su formación es un proceso en el que el lodo es mezclado con materiales como residuos de madera, cortezas, pajas, basura, etc., logrando su descomposición en algunas semanas. Continuamente se emplean pilas de lodo que provee Dióxido de Carbono para su disposición y de temperaturas oscilantes entre 55 y 60°C que destruyen un porcentaje elevado de patógenos (Giusquiani et al., 1992).

- e. Aplicación en campo: El reuso agrícola, dentro de criterios seguros, es una de las posibilidades de menor impacto ambiental y costos de operación. La idea de valorizar los biosólidos en agricultura nace del concepto de que este es más un recurso que un residuo, dadas sus propiedades de mejorador del suelo y su contenido de nutrientes.

En la siguiente figura 2.1. se puede identificar varias de las opciones al destino final de los lodos residuales siendo la agricultura y la incineración los más utilizados actualmente.

Figura 2.1. Disposiciones finales de los lodos residuales



Fuente: Marambio y Ortega, 2003.

2.1.4 Aplicación de los lodos residuales

La disposición se ha convertido en un problema difícil y costoso para los organismos encargados del control de calidad ambiental. Es por esto que la aplicación de los lodos residuales al suelo ha sido vista como una alternativa que puede proporcionarnos un método, ambientalmente aceptable, para manejar estos productos de desecho (Acosta, 1995).

Se han encontrado que aplicando estos lodos residuales al suelo se han obtenido beneficios tanto de tipo ambiental como económico debido a que estos lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo, y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de nutrientes. (Acosta, 1995).

Los lodos residuales son comparables con los abonos de granja en cuanto a su riqueza nutrimental para las plantas y su disponibilidad; así mismo, los compuestos nitrogenados de los lodos, a diferencia de los abonos, se pierden con mayor facilidad por el proceso de digestión quedando un compuesto nitrogenado de baja disponibilidad; por otro lado el potasio es eliminado de los lodos por procesos de lavado; mientras que en los abonos se conserva.

De acuerdo con Jacko (1970), algunas de las ventajas que presenta la aplicación de lodos residuales al suelo son:

- a. Provee al suelo de las propiedades físicas y químicas de un sistema coloidal (formación de agregados, intercambio iónico)
- b. Provee de una alta concentración de nutrimentos, principalmente N que son liberados del lodo por la acción metabólica de las bacterias.
- c. El lodo estabilizado es recomendable debido a que existe una disminución de patógenos y asegura un manipuleo saludable para el hombre cuando es aplicado al suelo.
- d. Son una fuente de P para el suelo.
- e. Retiene la humedad estimulando así el sistema radicular y la aireación.

Otros autores:

- f. Además de proporcionar beneficio a la planta, el suelo también es beneficiado cuando presenta deficiencia de macronutrientes como es el caso de nitrógeno, las principales causas de dicha deficiencia son las

- actividades antropogénicas y la erosión (Valdéz *et al.*, 2008).
- g. La adición de materia orgánica contribuye a mejorar la estructura física del suelo, evitar la erosión, Incrementar la retención de agua, favorecer el desarrollo de vegetación y el intercambio de aire a las raíces de las plantas, así como incrementar la capacidad de intercambio de nutrientes planta-suelo, es también fuente de nutrimentos para las plantas mejorando la infiltración, aeración y agregación de las partículas del suelo y entre otras cosas, repercute en la productividad del suelo, formación de humus, densidad, agregación, porosidad y retención de agua (Morales, 2005).
- h. Es importante señalar que la composición de los lodos residuales depende de las características de las aguas residuales (domesticas e industriales), el proceso de tratamiento realizado a las aguas residuales y el tratamiento que se realiza al lodo (con o sin digestión, lechos de secado, secado mecánico, etc.) (CIMAB, 2008)

La posibilidad de reutilizar materiales orgánicos ricos en nutrientes hace de la aplicación de lodos residuales en suelos agrícolas y forestales una alternativa importante (Salcedo *et. al.* 2007). Esta alta concentración de nutrientes que presentan estos residuos (Nitrógeno, Fósforo, Materia orgánica) puede ser aprovechada para el desarrollo primordial de las plantas (Valdéz *et al.*, 2008).

La aplicación en bosques es una opción practicada desde hace mas de 20 años en Estados Unidos y constituye una ventaja por el bajo riesgo al no tratar productos de consumo, de esta forma han llegado a aplicaciones hasta de 448

toneladas de lodo residual municipal, previamente tratado en Florida (Joquela et al, 1990).

Sitios de reclamo, son llamadas así las superficies de minas explotadas que han perdido la tierra superficial generando así severos cambios que impiden la germinación de plantas por falta de nutrimentos, materia orgánica, pH bajo, baja capacidad de carga, poca infiltración, permeabilidad y niveles altos de metales pesados. El empleo de los lodos residuales puede minimizar la erosión, facilitar la regeneración paisajista de los sitios (Lue-Hing, 1995).

En la agricultura los experimentos han sido múltiples y diversos, siendo estos en cultivos de tabaco, en pasto, maíz y forraje, midiendo la adición de nitrógeno en suelos enmendados, evaluando materia orgánica y metales pesados (Lindenmann, 1988; Giusquiani, 1992).

Actualmente en México la disposición final de los lodos residuales se basan en verterlos en rellenos sanitarios, barrancas, basureros, o hasta en cierto caso a cielo abierto. En cuanto a los suelos forestales, la aplicación de lodos puede acortar el tiempo de aprovechamiento de la madera y de obtención de productos forestales, debido a que aceleran los ciclos de crecimiento de los árboles. La aplicación de estos lodos en suelos forestales puede acortar el tiempo de aprovechamiento de la madera y de la obtención de productos forestales debido a que se aceleran los ciclos de crecimiento de los árboles, especialmente en suelos con productividad marginal (EPA, 1994. Salcedo, et. al. 2007).

Es por eso que en muchos países han encontrado que aplicando estos lodos residuales al suelo se han obtenido beneficios tanto de tipo ambiental como económico debido a que estos lodos proporcionan material orgánico, mejoran la estructura del suelo, y ofrecen un gran potencial para el reciclaje de nutrientes. (Acosta, 1995).

De igual forma, buscando solución alternativa al gran volumen de biosólido producido, se empleó como aditivo en los cementos Pórtland, encontrándose que su presencia provocaba la disminución de fuerza mecánica de la mezcla, asimismo incremento la porosidad, redujo la densidad y retardo el proceso de hidratación del cemento (Yague, *et. al.* 2002), lo que ocasiono que se buscaran otras opciones más viables, que se mencionan a continuación.

- a) Diversas investigaciones indican que los lodos tienen reusos industriales como combustibles, base de pavimentos en carreteras, banquetas de asfalto, las cenizas se usan como materia prima de cerámicos.
- b) La aplicación de lodos activados en suelos agrícolas como una opción de solución la han abrazado varios países, basándose en que su aplicación trae enormes beneficios, como son el suministro de nitrógeno, fósforo, nutrientes secundarios y micronutrientes a las cosechas, mejorando además las propiedades físicas del suelo e incrementado la materia orgánica del mismo suelo y como resultado final la productividad del suelo se ve notablemente acrecentada. (Reyes, *et. al.* 1996)

CAPITULO III

VERMICOMPOSTA

3.1 Vermicomposta

3.1.1 Definición

Se define como una actividad agrícola en la cual, por medio de lombrices de tierra, se transforman todo tipo de residuos orgánicos obteniéndose un fertilizante bioorgánico, cuya adición a los cultivos propicia un aumento en la producción y reduce los impactos de los métodos de la disposición en el ambiente (Delgado, 2000).

También llamada como una eco- tecnología sencilla, viable y productiva para la fabricación intensiva de abono orgánico, por la calidad del producto que genera. A diferencia de otras técnicas convencionales, el proceso de vermicompostaje toma provecho de las cualidades biológicas y fisiológicas de las lombrices para la descomposición aeróbica de la materia orgánica. El abono de lombrices es el conjunto de excretas o heces fecales, las cuales tienen la misma apariencia y olor de la tierra negra y fresca. Es un sustrato de gran uniformidad, contenido nutrimental y una excelente estructura física, porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de humedad y durante el proceso no se generan malos olores (Ligia Ancona Méndez, 2006).

El proceso de vermicomposteo a finalizado cuando el olor sea agradable, y la temperatura alcanzada haya sido elevada, de tal manera que se hayan eliminado los organismos patógenos, bajo esta etapa de maduración es posible disponer de estos lodos de forma segura (Wren- Jarvis, 1998).

Para llevar a cabo una buena elaboración de vermicomposta se deben considerar los siguientes factores:

- Relación C/N de los residuos adecuada, entre 25 y 30.
- Tamaño de los residuos, preferir material entre 10 y 20 mm.
- Humedad, 20 a 35 % en base a peso.
- pH recomendable entre 6,5 – 7,5.

3.1.2 Comparación de la vermicomposta contra el composteo

Algunas veces estos dos procesos son confundidos, por lo cual se presentan algunas diferencias significativas:

- El compostaje es una biooxidación acelerada de materia orgánica mediante una etapa termófila (45 a 65°C). Los microorganismos liberan calor, agua y dióxido de carbono y el material orgánico obtenido es lo que denominamos humus. En contraste el vermicomposteo también es un proceso de estabilización y biooxidación de material orgánico que involucra a las lombrices sin una etapa termófila. Este produce reducción de microorganismos patógenos. (Capistran, 1999)
- El compostaje conduce a la mineralización de nitrógeno, el vermicomposteo hace que este proceso sea en mayor cantidad y más rápido.

- El vermicomposteo provoca una disminución mayor de metales pesados que el proceso de composteo.
- Los residuos orgánicos pueden ser procesados rápidamente por las lombrices generando material estable con potencial como acondicionador de suelos y abono para el crecimiento de plantas.

Lo mas trascendental es que hay que reconocer que ambas son técnicas de reducción de residuos orgánicos y por tanto ayudan a minimizar los problemas ambientales que provoca su eliminación, ya que pueden aplicarse a gran escala. (Ruiz Figueroa, 2009)

3.1.3 Agente que realiza el vermicomposteo

En el proceso de vermicomposteo el factor determinante es la lombriz (ver figura 3.1), la cual es la que realiza la actividad principal, existen mas de 2500 variedades de lombrices criollas, sin embargo experimentalmente la lombriz roja, es la que se utiliza para reproducirla en medios controlados de ahí que se presentan las características primordiales de la misma a continuación:

Nombre: Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*).

Características:

- Es de color rojo oscuro.
- Respira por medio de su piel.
- Mide de 6 a 8 cm de largo, de 3 a 5 milímetros de diámetro

- No soporta la luz solar
- Puede llegar a producir, bajo ciertas condiciones, hasta 1.300 lombrices al año.
- Es un eficiente "fertilizador" porque el HUMUS que produce, aumenta la disponibilidad de nutrientes aprovechables por las plantas.
- Las lombrices adultas pesan aproximadamente 1 gramo y producen 1 gramo diario de abono, es decir, que comen una cantidad equivalente a su propio peso diariamente, lo cual hace muy interesante a la lombricultura.
- Separarlas del lombricomposteo es un proceso muy sencillo. Solo hay que dejarlas uno o dos días sin alimento (no agregar alimento) y después poner alimento nuevo a un lado del lugar donde se encuentran.

Figura3.1. Lombriz Roja Californiana



Fuente: imagen obtenida en Google (Año 2012)

3.1.4 Aprovechamiento del producto del vermicomposteo

El humus de lombriz es el producto que resulta de la transformación de la materia orgánica por medio de la lombriz (se trabaja con densidades de población de 50,000 individuos/m² con lo que se transforman grandes cantidades de materia orgánica en un lapso de tiempo más corto). Las características de este producto se analizan desde el aspecto físico y químico:

Características físicas: el humus ejerce una acción favorable en el suelo ya que permite buena circulación de aire y agua. Se obtiene aumento en la permeabilidad y una mayor capacidad de retención de agua.

Características químicas: con el humus se aumenta la capacidad del cambio de iones del suelo, lo que regula la nutrición de la planta. Forma de igual manera complejos fosfo/húmicos lo que mantiene el fósforo asimilable por las plantas.

Este producto tiene un efecto directo sobre el suelo y sus características, entre las cuales tenemos:

- Facilita la rápida asimilación de nutrientes.
- La incorporación de humus desempeña un trascendental papel en la fertilidad y condiciones físico-químicas del suelo.
- Facilita la disponibilidad de los macros y micros nutrientes indispensables para la vida de las plantas.
- Al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo, evita la erosión y la desertificación.

- Aumenta la capacidad del suelo para retener agua.
- El suelo en el cual se desarrollan las raíces y del cual extraen el agua y los elementos nutritivos que necesita la planta además de servirle de sostén, es la parte superficial de la corteza terrestre, es un sistema complejo y heterogéneo mezcla de materiales sólidos, líquidos, gaseosos y una parte orgánica.
- Sirve de sostén para el suelo en el cual se desarrollan las raíces y del cual extraen el agua y los elementos nutritivos que necesita la planta
- Mantiene la humedad constante por más tiempo, provocando que el pH sea neutro.

3.1.5 Importancia ecológica

La aplicación de desechos orgánicos en fresco o vermicompostado ha sido de gran interés debido al aporte nutrimental, acondicionamiento físico del suelo y su bajo costo (Hue, 1988). Los residuos orgánicos pueden mejorar la disponibilidad de nutrimentos por relacionarse con los compuestos orgánicos en particular por el bajo peso molecular de compuestos alifáticos los cuales interactúan fuertemente con los minerales del suelo; los compuestos alifáticos, tienen un impacto directo en las concentraciones de los aniones y cationes del suelo por acidificación.

La materia orgánica disuelta en la vermicomposta favorece el buen crecimiento de las plantas debido a que mantiene suficientes niveles de concentración de

Fe, Mn, Cu y Zn en solución; además la MO disuelta esta relacionan con la disponibilidad de C y N y el buen crecimiento de las plantas (Chafetz, 1998).

Generalmente el mejoramiento de las propiedades físico-químicas de los suelos es inducido por la aplicación de altas tasas de composta, razón por la cual no es sorprendente que se incremente el contenido de materia orgánica y nutrimentos para las plantas (Dick y McCoy, 1993). Además, la materia orgánica migra hacia los horizontes más profundos del suelo, más abajo de donde fue incorporado el abono orgánico, contribuyendo a mejorar algunas propiedades de fertilidad de las capas más profundas. Por ejemplo, las concentraciones de nitrógeno y carbono son incrementadas gradualmente por adiciones de la composta. Al respecto, Dick y McCoy (1993) revisaron diferentes estudios, los cuales dan cuenta de ello y documentan el mejoramiento de la capacidad de retención de nutrimentos minerales aplicados en los fertilizantes, reflejándose posteriormente en el crecimiento de las plantas.

Según Epstein (1976) citado por Dick y McCoy (1993) las bases intercambiables también tienden a incrementarse cuando se aplican compostas al suelo. Esto fue ratificado en los trabajos realizados por Paino et. Al. (1996) en cuyo estudio se evidencia el cambio de la saturación de bases en mezclas de suelos inceptisoles y oxisoles con compostas de diferente edad.

3.2 Variables fisicoquímicas para evaluar el proceso de la vermicomposta

Para la caracterización fisicoquímica del humus obtenido del vermicomposteo se recurre a los siguientes parámetros:

- *pH*

Al medirse en el suelo indica el grado de saturación de bases que dependen de la arcilla dominante. El pH es un factor importante en la movilidad de iones, ya que incide en la precipitación y absorción de metales pesados (Porta, 1999).

El pH influye en el suelo o sustrato de varios aspectos, el más significativo es la disponibilidad de nutrientes; es decir, influye en la absorción de la cantidad de nutrientes como son P, K, Fe, Na, S, Cu y B, que puedan tomar las raíces de las plantas, (Porta, 1999).

En la vermicomposta el pH posee un valor neutro y mejora las características estructurales del terreno, desliga suelos arcillosos y agrega suelos arenosos. Amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo (Moreno, 2000). Al término del proceso el pH se estabiliza entre 7 y 8, lo que permite la degradación y la maduración de la MO. Un valor superior a 8 provoca pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco (Rodríguez y Cordova, 2006).

El pH varía a lo largo del proceso. En una primera fase puede bajar por la formación de ácidos, para volver a subir posteriormente. Aumentos fuertes de pH pueden facilitar la pérdida de nitrógeno en forma amoniaca; si se produce

acidificación, se corrige con la adición de cal apagada o por el contrario, se alcaliniza, se añaden sales ácidas.

- *Materia Orgánica (MO)*

La materia orgánica proviene de los derivados de plantas, y organismos vivos o muertos del suelo (restos de cultivos, maleza, hierba, hojas, árboles, gusanos, bacterias, hongos, etc.); la materia orgánica es uno de los principales factores que influyen en la movilidad de los metales pesados (Bohn, 1993).

La materia orgánica no solo es una fuente de alimentación para los microorganismos que habitan en el suelo, también presenta gran influencia sobre muchas características físicas y químicas del suelo (Martínez, 2004):

- a) Aumenta la capacidad de retención de agua.
- b) Regula el pH a través de su capacidad amortiguadora.
- c) Favorece la retención de humedad por el suelo.
- d) Favorece la disponibilidad de N, P y S, a través de los procesos de mineralización.
- e) Influye en el balance hídrico y en la erosión.

Después de la aplicación, por ejemplo, de materiales leñosos u otros residuos orgánicos que tienen un alto contenido de carbono y un bajo contenido de nitrógeno –o sea una relación C/N alta- los organismos consumen el nitrógeno disponible en el suelo, inmovilizándolo. Como resultado, durante algún tiempo habrá poco nitrógeno disponible para las plantas. Con la descomposición

gradual de la materia orgánica, la población de organismos se reduce y el nitrógeno vuelve a estar disponible para las plantas, estableciendo una relación C/N entre 10 y 12. Para evitar la competencia por el nitrógeno entre los organismos y las plantas, es conveniente esperar que los residuos orgánicos alcancen un estado avanzado de descomposición antes de la siembra de un nuevo cultivo.

La materia orgánica agregada al suelo normalmente incluye hojas, raíces, residuos de los cultivos y compuestos orgánicos correctivos. Como que muchos de los residuos vegetales se aplican en la superficie o en la capa superior del suelo, el contenido de materia orgánica de esta capa tiende a ser más alto y a decrecer con la profundidad.

El contenido de nutrientes de la materia orgánica es importante para las plantas. Por medio de la actividad de la flora y la fauna presentes en el suelo esos nutrientes son transformados en sustancias inorgánicas y pasan a estar disponibles para las plantas. A medida que los rendimientos aumentan, el uso correcto de fertilizantes minerales y las masas de las raíces aumentan el contenido de materia orgánica del suelo en razón de la mayor cantidad de residuos que se incorporan. La materia orgánica también puede ser agregada usando abonos verdes o residuos orgánicos como estiércol o composte.

La materia orgánica favorece la formación de una estructura estable de agregados en el suelo por medio de la estrecha asociación de las arcillas con la materia orgánica. Esta asociación incrementa la capacidad de retención de

agua ya que puede absorber de tres a cinco veces más de su propio peso, lo cual es especialmente importante en el caso de los suelos arenosos. La materia orgánica incrementa la retención de los nutrientes del suelo disponibles para las plantas debido a su capacidad de intercambio de cationes –la CIC del humus varía entre 1 y 5 meq/g. (Manual on integrated soil management and conservation practices (FAO, 2000))

La materia orgánica es parte fundamental del proceso de vermicomposteo ya que es el alimento de las lombrices. La Norma Mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, estima un valor entre 20% y 50% de MO en base seca.

- *Capacidad de Intercambio Catiónico*

Se define como la medida de la cantidad de cargas negativas del suelo; también como la suma total de cationes intercambiables que un suelo puede absorber y que es fuente importante de nutrimentos para las plantas (Porta, 1999).

Los cationes intercambiables proceden de la meteorización del material originario, de la mineralización de la materia orgánica y de aportes externos superficiales y subterráneos (Bohn, 1993).

Los suelos difieren en la cantidad de cationes absorbidos por unidad de peso. Entre mas alto sea el contenido de arcilla y de humus en el suelo, mayor será la capacidad de intercambio, ya que estos coloides estén cargados

negativamente por lo que tendrán una mayor capacidad de adsorción de cationes (Aguilera, 1996).

La CIC indica el grado de incremento en la madurez de la composta y la estabilidad de la materia orgánica (Singh *et al.*, 2005). LA composta a diferencia de un componente mineral del suelo, poseen una alta capacidad de adsorción de cationes y de capacidad de intercambio con otros iones, encontrando una CIC del humus de 150 meq/100g, mientras que se incrementa el proceso de humificación y madurez de la vermicomposta la CIC se acerca a 400 cmol kg⁻¹ (Mathur *et al.*, 1993).

- *Carbono*

El carbono total es la suma de carbono orgánico e inorgánico. El carbono orgánico se halla principalmente en la materia orgánica mientras el carbono inorgánico se encuentra en forma de carbonatos minerales. No todos los suelos contienen carbono inorgánico, debido a que en su pedogénesis el carbonato originalmente presente en el material parental puede perderse por lixiviación. Sin embargo, en suelos formados sobre material calcáreo en condiciones áridas y semiáridas, frecuentemente la cantidad de carbono inorgánico supera la de carbono orgánico.

- *Nitrógeno*

El nitrógeno es un nutrimento vital para las plantas, que lo utilizan en forma de síntesis de proteínas para su crecimiento. De los suelos absorben en forma iónica de nitrato (NO⁻³) y amonio (NH⁺⁴) (Salisbury, 1994).

El nitrógeno en el suelo se encuentra en cinco fracciones o categorías:

1. Nitrógeno de MO: se presenta como $\text{NH}_2 - \text{R}$ los componentes orgánicos que contienen nitrógeno son aminoácidos y hexosaminas.
2. Nitrógeno mineral en la solución del suelo: se presenta como NH_4^+ , a pH bajo puede presentarse como NO_2^- la forma principal es NO_3^- . el nitrógeno inorgánico constituye menos del 5% del total de nitrógeno en los suelos.
3. Nitrógeno en residuos de plantas en el suelo: los residuos contienen nitrógeno hasta que los microorganismos lo descomponen integrándolo al suelo como amonio y parte del se incorpora a formas de materia orgánica.
4. Nitrógeno fijado en arcillas minerales: se fija en forma de amonio como el potasio, pues son similares en carga molecular.
5. Nitrógeno gaseoso en la atmosfera del suelo: la desnitrificación del nitrato, produce óxidos de nitrógeno, presentes en el espacio poroso del suelo. La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realizara mediante el método Kjeldhal.

- *Fósforo*

El contenido de fósforo orgánico de los suelos es muy variable, generalmente puede constituir desde el 20 al 80% del fósforo total presente en la capa arable del suelo, el resto se encuentra asociado a la fracción inorgánica del suelo como: arcillas, óxidos de Fe y Al y precipitado como fosfatos de calcio y

magnesio. El fósforo orgánico en el suelo es muy variable pero puede fluctuar normalmente entre 600 y 1.500 mg/kg (Sierra, 1998).

3.3 Estudios realizados aplicando vermicomposta

Zhao y Fun-Zhen (1992) demostraron que aplicaciones de fertilizantes inorgánicos minerales en combinación con compost de lombrices incrementaron la absorción de nutrientes y la producción neta de trigo y caña de azúcar, y que la pérdida de N del suelo se redujo notablemente cuando dicho abono fue la fuente de materia orgánica.

La sustentación y la productividad hortícola están asociadas a la disponibilidad suficiente de materia orgánica por lo que se fomenta el uso del compost de lombrices, ya que éstos aumentan la fertilidad del suelo sin contaminarlo, e incrementan la cantidad y calidad de los productos. Teniendo en cuenta la disponibilidad de desechos orgánicos en el nordeste argentino, se seleccionaron distintos residuos orgánicos para la elaboración de compost de lombrices, el que ejerció una acción fertilizante y además contribuyó al mejoramiento físico-químico de los suelos (Castillo *et al.*, 1999).

La vermicomposta o humus de lombriz se utiliza como mejorador de suelo en cultivos hortícolas y como sustrato no contaminante (Urrestarazu *et al.*, 2001).

La vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladoras de crecimiento, posee gran CIC, así como un alto contenido de ácidos húmicos, además de gran capacidad de retención de humedad, porosidad elevada que

facilita la aireación y drenaje del suelo y de los medios de crecimiento (Orozco *et al.*, 1996; Ndegwa *et al.*, 2000; Castillo *et al.*, 2000).

3.4 Estudios de caso realizando vermicomposta de lodos residuales

- Salas y Ramírez (2001), puntualizan la necesidad de desarrollar tecnologías adecuadas para la producción de compostes orgánicos de buena calidad que posibiliten su comercialización y correcta utilización en la agricultura; añaden que para tal efecto es necesario contar, entre otras cosas, con métodos que evalúen la calidad de los abonos orgánicos, en especial, aquellos que estimen las concentraciones de elementos disponibles a las plantas.
- Desde el punto de vista microbiológico, se ha puntualizado que el vermicompost posee una gran riqueza de microorganismos así como un efecto supresor sobre algunos patógenos del suelo (Domínguez *et al.* 1997).
- De ahí que cuando se incorpore el producto de la vermicomposta sea de gran ayuda para los suelos tanto agrícolas como forestales en el incremento de su fertilidad.
- En lo que toca a los suelos forestales solo se ha realizado un estudio en el cual se evaluó el lodo como abono en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en el estado de Jalisco, en dicha investigación se valoró el crecimiento de maíz y *Pinus douglasiana* que al final se

concluyo que el crecimiento de ambas especies se vio mejorada notablemente. (Salcedo et. al. 2007)

- En lo concerniente en el Estado de México no se han realizado estudios de relacionados con suelos forestales, en cuanto a su mejoría en su fertilidad, empleando lodos ya sea composteados o vermicomposteados.
- Parsa (1970) aplico lodos residuales como fuente de Zn para suelos deficientes de este, obteniendo mejores resultados en el suelo con la aplicación de los lodos que empleando ZnSO₄.
- Day et al. (1983), reporto que los lodos incrementan el valor nutrimental del suelo, en cuanto al contenido de Ca, Mg, K, P y Carbono Organico.
- Se emplearon lodos residuales como una fuente para restablecer los nutrimentos y población microbiana perdidos por actividades mineras, Thorne (1998).
- Brofas (2000), emplearon los lodos residuales para recuperar los suelos de una mina bauxita calcárea, observando que se producía un incremento en la capacidad e retención de agua, así también en el porcentaje de MO, N, P; también se observo un aumento de densidad y cobertura vegetal.

- Canet y otros (1996) han reportado que el uso de lodos, como fuente de materia orgánica, mejora las propiedades tanto físicas como químicas de suelos agrícolas, como consecuencia del incremento de la materia orgánica, disminución de la densidad aparente, mayor formación y estabilidad de agregados, mejor retención de humedad, incremento en el tamaño de los poros.

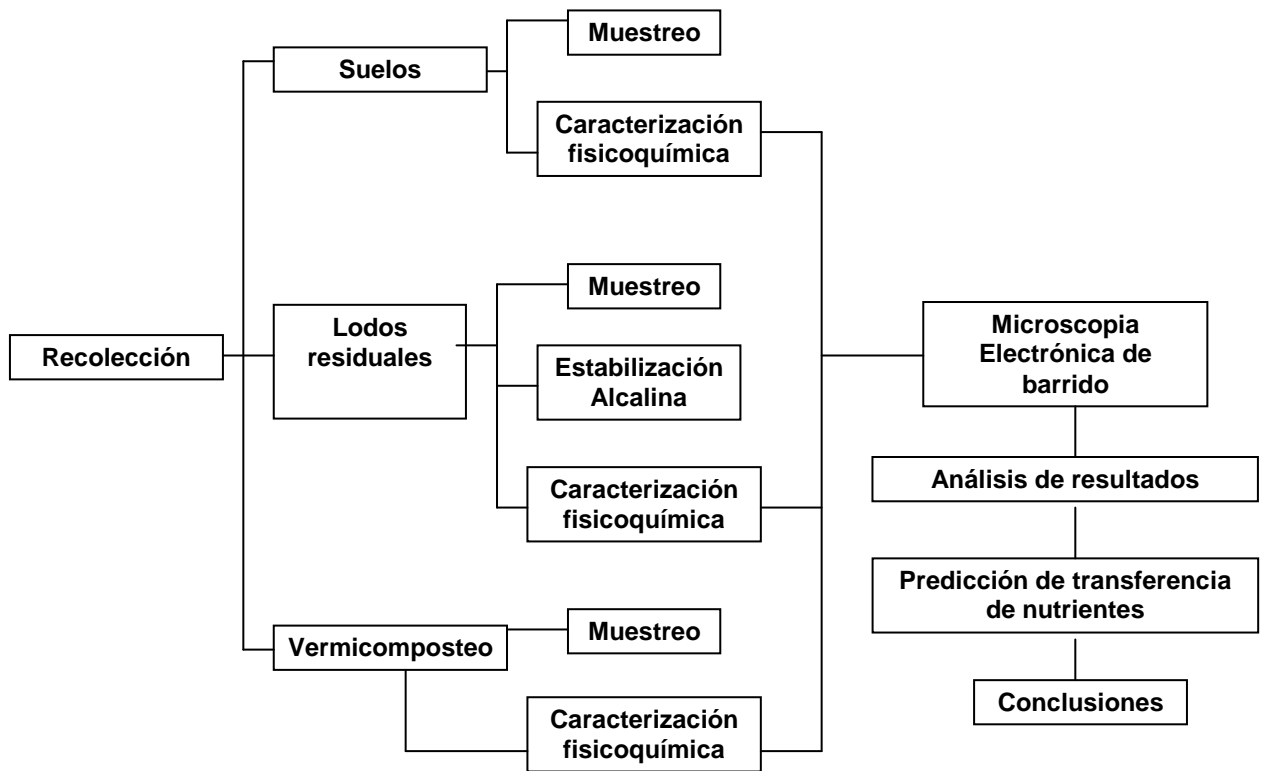
CAPITULO IV

METODOLOGÍA

El siguiente diagrama muestra la metodología utilizada en la realización del presente proyecto de investigación, posteriormente se desglosa detalladamente cada una de las etapas señaladas.

4.1 Diseño experimental

Figura 4.1.- Diseño Experimental



Fuente: Propia del Autor (Año 2012)

4.2 Estudio del suelo

4.2.1 Ubicación de la toma de muestra de suelo

Figura 4.2 Parque Nacional Nevado de Toluca



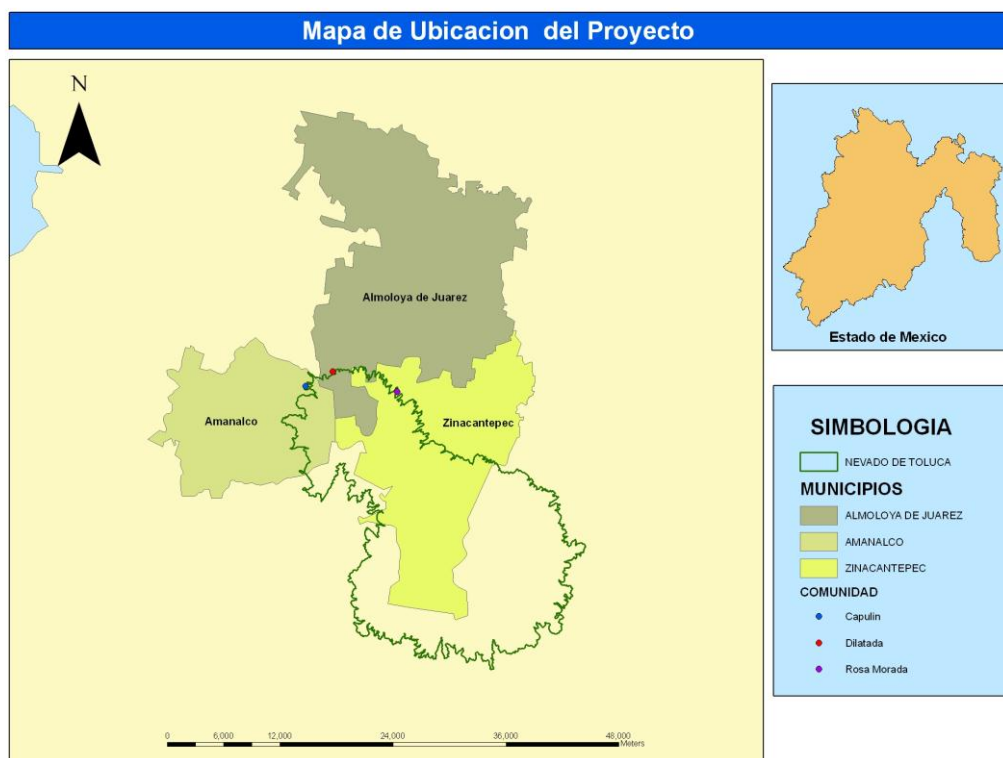
Fuente: fotografía propia del autor (Año 2012)

En esta investigación se tomaron como referencia 3 comunidades de la ladera norte del Parque Nacional Nevado de Toluca el cual se localiza en la provincia fisiográfica montañosa como parte del Sistema Volcánico Transversal ubicado entre los 18°59´ y 19°13´ de latitud norte y los 99°37´ y 99°58´ de longitud oeste, cuenta con una superficie de 53,913 hectáreas aproximadamente y en una altura que va desde los 2800 a los 4660 msnm.

El Parque Nacional Nevado de Toluca presenta climas del tipo frío de altura, semifrío y templado, destacan ecosistemas de bosques de coníferas, bosques latifoliadas, pastizales, pastizal inducido, matorral, entre otros.

En una primera etapa se tomaron muestras de suelo en el Parque Nacional Nevado de Toluca en las comunidades Dilatada la cual pertenece al municipio de Almoloya de Juárez ubicado en las coordenadas 19°17'58.56" latitud norte y 99°54'5.23" latitud Oeste; comunidad Rosa Morada perteneciente al municipio de Zinacantepec con coordenada geográfica 19°16'49.65" latitud Norte y 99°50'9.80" latitud Oeste y comunidad el Capulín ubicado en el municipio de Amanalco con coordenada 19°18'12.75" latitud Norte y 99°57'30.14" latitud Oeste.

Figura 4.3 Mapa de ubicación de las zonas de muestreo



Fuente.- Propia del Autor (Año 2012)

Las parcelas seleccionadas correspondieron a tres tipos diferentes de suelo; pradera, cultivo y bosque, las cuales cumplieron con las siguientes características:

- a) Cultivadas en forma continua durante un período de cinco años, como mínimo
- b) Ubicadas por arriba de los 3000 msnm.

4.2.2.- Recolección de muestras

Se tomó una muestra compuesta de cada zona, a una profundidad de 0-20 cm, cada muestra pesó aproximadamente 15 Kg.

La obtención de muestras de pradera y bajo cultivo se realizó de acuerdo al método de zig-zag, mientras que las muestras de bosque se empleo el método descrito por Reyes- Reyes et al. (2003).

Las muestras fueron colocadas en bolsas de plástico y trasladadas al laboratorio del “Instituto de Ciencias Agrícolas y Rurales” (ICAR), para la determinación de los parámetros fisicoquímicos señalados en las normas oficiales mexicanas NOM-004-SEMARNAT-2002 y NOM-021-SEMARNAT-2000.

De las muestras de suelos de cada tipo de parcela se tomaron porciones de 1Kg, se mezclaron y se obtuvieron 2 muestras totales de 5Kg.

Una vez trasladadas las muestras al ICAR se realizó un proceso de secado, para ello una cantidad considerable de cada muestra se colocó en charolas extendidas, facilitando también la eliminación de raíces e insectos que pudiera contener el suelo y posteriormente tamizar.

Para lo cual se tomó una muestra de cada tipo de suelo, se homogeneizó y se pasó por un tamiz de 10 y 20mm dejando lista la muestra para los respectivos análisis fisicoquímicos.

4.2.3 Caracterización fisicoquímica del suelo

Para la caracterización de los suelos muestreados de las comunidades ya mencionadas se recurrieron a los siguientes parámetros, esto con la finalidad de sean de acuerdo a la normatividad ya establecida.

- *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-SEMARNAT-2000 AS-07, que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Se pesó 0.5gr de suelo seco el cual fue pasado por un tamiz de 10 mm y colocado en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. procesando a su vez un blanco como reactivos por triplicado.

Posteriormente se adicionó exactamente 10 ml de dicromato de potasio 1 normal (1N) girando el matraz cuidadosamente para hacer que el reactivo entrara en contacto con el suelo.

Se agrego cuidadosamente con una bureta 20 ml de acido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) a la suspensión, se giró nuevamente el matraz y se agito durante un minuto.

Se dejó reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto. Posteriormente al tiempo de reposo se añadió 200 ml de agua destilada y 5 ml de acido fosfórico concentrado (H_3PO_4) y se añadió de 5 a 10 gotas de indicador de difenilamina.

Por último se tituló con una disolución de sulfato ferroso 1.0M, agregándolo gota a gota hasta llegar a un punto final verde claro.

La fórmula que se utilizó para la obtención de la materia orgánica del suelo fue la siguiente:

$$\% MO = 10 \left[1 - \frac{\text{Gasto Problema}}{\text{Gasto Blanco}} \right] FC$$

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000

Donde:

Problema = volumen del sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

Blanco = volumen del sulfato ferroso gastado para valorar el blanco (ml)

FC = factor de corrección obtenido con la fórmula siguiente:

$$FC = (N) \left(\frac{12}{4000} \right) \left(\frac{1.72}{0.077} \right) \left(\frac{100}{\text{Peso Muestra (g)}} \right)$$

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000

Donde:

N = Normalidad (1.16)

1.72 = se considera un factor de 1.72, ya que la materia orgánica del suelo contiene en promedio 58% de carbono, así:

$$\frac{100}{58} = 1.72$$

100 = es el factor que se utiliza para expresar los resultados en porcentaje

La formula que se utilizó para la obtención del carbono orgánico del suelo fue la siguiente:

$$\% C_{org} = \left(\frac{\text{Blanco} - \text{Problema}}{\text{Peso Muestra (g)}} \right) (N)(0.39)$$

Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000

Donde:

Problema = volumen del sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

Blanco = volumen del sulfato ferroso gastado para valorar el blanco (ml)

1.16= Normalidad del Fe^{2+}

0.39= este factor resulta de multiplicar:

$$\left(\frac{12}{4000} \right) \left(\frac{1}{0.77} \right) (100)$$

Donde:

12/4000 es el peso equivalente del Carbono, 1/0.77 es un factor de corrección debido a que se supone que el método solo oxida 77% del carbono y 100 es la conversión a porcentaje.

- *Determinación de la Textura del suelo*

El método para la determinación de la textura del suelo se realizó a través del método de Bouyoucos, contenido en la norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 (AS-09) que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis.

Se pesaron 120g de suelo (previamente pasados por un tamiz de 10 mm) en un vaso de precipitados de 500ml se agregaron 40ml de peróxido de hidrogeno y se pusieron a evaporar hasta llegar a su sequedad, se agregaron otros 40ml y se repitió la operación hasta que el suelo ya no efervesciera por la reacción con el peróxido, esto con la finalidad de eliminar la materia orgánica presente en el suelo.

Posteriormente ya seco el suelo se pesó 100g de muestra y se colocó en un vaso de precipitados de 250ml, se adicionó agua hasta cubrir la superficie con una lámina de 2 cm. Se agregó 5 ml de oxalato de sodio y 5 ml de metasilicato de sodio dejándolo reposar durante 15 minutos.

A continuación se pasaron las muestras de los vasos de precipitados a copas de agitador mecánico, pasando todo el material con ayuda de una piceta, se activaron los agitadores durante 5 minutos, al finalizar el tiempo de agitación se pasó el contenido a una probeta de 1000ml con ayuda de una piceta.

Se agregó agua destilada hasta completar un litro con un hidrómetro de Bouyoucos dentro, después se sacó el hidrómetro, se agitó la probeta

volviendo a introducir el hidrómetro y se tomo la lectura a los 40 segundos y a las 2 horas.

Los porcentajes de arena, limo y arcilla se obtuvieron con las siguientes formulas y posteriormente se determinaron en un triangulo de texturas:

$$\% \text{ arcilla} + \text{ limo} = \text{lectura } 40'' \text{ (2)}$$

$$\% \text{ arena} = 100 - (\% \text{ arcilla} + \text{ limo})$$

$$\% \text{ arcilla} = \text{lectura a las 2 hrs (2)}$$

$$\% \text{ limo} = (\% \text{ arcilla} + \text{ limo}) - \% \text{ arcilla}$$

- Determinación del Nitrógeno Total en el suelo

La determinación de Nitrógeno total en el suelo se realizó mediante el método Kjeldhal (AS-08).

El proceso se desarrolló en dos etapas:

a) Digestión:

Para este proceso los tipos de suelo secados al aire y previamente molido y pasados por un tamiz de 20mm, se pesaron 0.5g sobre un papel filtro delgado, posteriormente la muestra fue envuelta en el mismo papel y se introdujeron en el matraz Kjeldhal de 800ml, agregando una pastilla catalizadora de cobre $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y 12 ml de ácido sulfúrico concentrado, prendiendo después el aparato extractor de humos (CO_2 y SO_2).

Se colocó el matraz en el tren de digestión (parte inferior del aparato Kjeldhal), se encendió la parrilla del tren de digestión y se dejó a una temperatura de 338°C durante 1 hora 15 minutos.

La digestión se consideró terminada cuando la solución apareció en un color gris, azul verdoso o ligeramente amarillo. Terminado este proceso se apagó la parrilla, dejando prendido el extractor de humos, se dejó enfriar el contenido hasta una temperatura aproximada entre 40 y 50°C (que es el punto de formación de cristales, los cuales se disuelven lentamente).

Por medio del ácido sulfúrico se destruyó la materia orgánica. Este actuó como oxidante, los gases de H_2SO_4 que se formaron a una temperatura de 338°C se disociaron en forma de SO_3 y H_2O . El SO_3 se descompuso en SO_2 y oxígeno, el oxígeno oxidó el Carbono y el Hidrógeno de la materia orgánica para convertirlos en CO_2 y H_2O . El Nitrógeno se convirtió en NH_3 que con el ácido Sulfúrico formó el Sulfato de Amonio.

b) Destilación:

Se realizó con hidróxido de Sodio (NaOH) mediante el cual el sulfato de Amonio se destiló como amoníaco y recibió en una solución de ácido Bórico (H_3BO_4). Posteriormente el NH_4^+ se tituló con ácido Sulfúrico.

La fórmula que se utilizó para la obtención del nitrógeno total del suelo fue la siguiente:

$$\% N = 14.01 \left(\frac{\text{Problema Muestra} - \text{Problema Blanco}}{\text{Peso Muestra (gr)} \times 10} \right) (0.1 N)$$

Fuente: Bremner J M. Total nitrogen. *Agronomy* 9:1149-78,

Donde:

14.01= Equivalente del Nitrógeno

Problema= volumen del sulfato ferroso gastado para valorar la muestra

Blanco= volumen del sulfato ferroso gastado para valorar el blanco

0.1N= Normalidad del acido

- *Determinación de pH*

Las mediciones para la determinación de pH se realizaron por triplicado siguiendo la metodología AS-02 de la NOM-021-SEMARNAT-2000, empleando un agitador mecánico a 1,500rpm. La clasificación de las muestras se creó en base al criterio establecido por la norma mencionada. Se analizó una proporción 10g: 20 ml de agua destilada equilibrada a pH de 7.03

Se pesaron 10g de muestra y se adicionaron 20mL de agua, agitando manualmente durante 5 minutos y luego se interrumpe 5 minutos, este procedimiento se repitió hasta completar media hora de procedimiento, tras lo cual se dejó reposar 15 minutos y se volvió a agitar. Cuando ya estaba calibrado el potenciómetro, con las soluciones buffer, se tomó el pH en el sobrenadante y se registró la lectura una vez que ésta permaneció constante.

- *Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables*

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. Para la

cuantificación de Plata residual y las bases Intercambiables se cuantificaron por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

Se puede hacer una evaluación de la disponibilidad de nutrientes en un suelo según su Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables.

Existen factores que influyen en los procesos de intercambio como: composición de la solución externa (la fuerza de adsorción de cationes aumenta cuando lo hace su valencia), selectividad del complejo de cambio (preferencia de un cambiador por determinados iones) y cantidad de cargas dependientes de pH.

Mientras mayor sea la cantidad de sitios de intercambio que tenga un suelo mayor será la cantidad de iones retenidos que pueden ser liberados al medio.

El procedimiento para dicha determinación fue el siguiente:

Se pesó poco más de 1g de muestra (seca y tamizada a malla 10mm), se colocó en un tubo de centrífuga y agregó 10mL de CaCl_2 1N, se tapó y agitó verticalmente 5 min. Posteriormente se centrifugó 5 min. a 3000rpm, desechando el sobrenadante y repitiendo la secuencia un total de cinco veces. Se realizó un lavado tres veces con 10mL de Etanol, siguiendo el procedimiento ocupado para CaCl_2 y secar las muestras a 35°C durante cinco días.

En un tubo para centrifuga fue pesado 1g de la muestra seca, adicionando 10ml de NaCl 1N, se agitó y centrifugó como se hace con CaCl_2 hasta cinco saturaciones. Este decantado se recolectó en matraces volumétricos de 50mL (provistos de un embudo y papel filtro) acidificándolo con 1ml de HNO_3 y aforando posteriormente con agua desionizada. Se determinó el calcio en las muestras por flamometria, con previa calibración del equipo, empleando un analizador digital de flama Cole-Parmer modelo 2655-00.

Bases Intercambiables:

Se tomaron 4g de muestra y se adicionó 50ml de Etilenglicol/ Etanol, agitar a 2000rpm durante 1 hora. Dejando centrifugar por 5 minutos a 3000rpm, se realizó un segundo lavado y secado de las muestras a 35°C por 5 días.

Posteriormente se pesó 1g de muestra seca en un tubo de ensaye, agregando 5ml de Acetato de Amonio 1N, se agitó verticalmente por 5 minutos y adicionar otros 5ml de Acetato. Centrifugar 5 minutos a 3000rpm, recolectar el sobrenadante en un matraz volumétrico de 50ml, previa filtración.

Se repitió el proceso 5 veces en total tras lo cual se acidificó con 5ml de HNO_3 y se afora. Se analizó Na, Ca y K por flamometria, previa calibración del equipo.

- *Determinación de Metales Totales y Metales Lixiviados*

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. Digeriendo con ácido nítrico/ ácido clorhídrico. Se obtuvo el extracto para analizar metales lixiviados del análisis de Capacidad de Retención de Agua, haciendo pasar 50ml de agua neutra destilada a 25g aproximadamente de muestra y dejando drenar por 16 horas.

Se inició pesando 1g de muestra en un vaso de precipitado de 100ml y añadiendo 10ml de HNO₃ concentrado, se calentó con agitación hasta reflujo de vapores, llegando casi a sequedad.

Posteriormente se adicionaron otros 10ml de ácido, volviendo a digerir hasta tener 2ml aproximadamente de ácido. Se dejó enfriar para después adicionar 15ml de agua y 10ml de HCl 1:1, se calentó por 15 minutos. Se dejó enfriar y se filtró, se recolectó la solución en matraces volumétricos de 50ml aforando con agua (solución A), se determinó Na, Ca y K. posteriormente fueron tomados 25mL de la solución A y se evaporaron en baño maría a 80°C por tres horas o hasta obtener 4ml de concentrado, se adicionó 500µL de solución. La₂O₃ y aforó a 5ml con agua desionizada (solución B).

Los metales pesados se analizaron de la solución B, utilizando un espectrofotómetro de Absorción Atómica PHILIPS modelo PU 9100X, Aire/Acetileno como combustible, según:

Tabla 4.1

Elemento	Longitud de onda (λ , nm)	Elemento	Longitud de onda (λ , nm)
Cobre	324.8	Magnesio	285.2
Cadmio	228.8	Plomo	283.37
Hierro	248.3	Manganeso	

Fuente.- Propia del autor (Año 2012)r

- *Determinación % Capacidad de Retención de Agua*

Para esta determinación primero se pesó papel filtro No.42, se añadió 25g de muestra seca al aire, filtro y se registrando el peso. Se colocó en un embudo y adicionó 50ml de agua en descargas de 10ml cada 5 minutos, se cubrió con papel aluminio y se dejó reposar 16 horas tras lo cual se pesó la muestra húmeda con el papel corrieron los blancos.

La fórmula utilizada para dicha determinación fue la siguiente:

$$CRA = \frac{(PMD - P_{pfn} - PM + (FH_2O \times Pm))}{Pm \times (1 - FH_2O)}$$

Donde:

PMD: peso de la muestra drenada

Ppfn: peso del blanco

Pm: peso de la muestra

FH²O: humedad como fracción

4.3 Lodo vermicomposteado

4.3.1 Recolecta del lodo

Los lodos activados fueron proporcionados por la planta de tratamiento de aguas residuales RECICLAGUA, el lugar específico de muestreo fue en la sección de bandas, donde se exprime el lodo después del tratamiento biológico y este envía al incinerador., en un total de 6 muestras en una cantidad de 1 Kg, las cuales se colocaron en envases de 19 L, posteriormente se trasladaron a las instalaciones del laboratorio Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales ICAR, antes Centro de Investigación en Ciencias agropecuarias CICA.

4.3.2 Caracterización fisicoquímica del lodo residual

Para cada muestra de lodo se realizaron análisis fisicoquímicos para determinar sus características, dichas características fueron las siguientes: pH, Materia Orgánica, Carbono Orgánico, Nitrógeno Total, Metales Totales y Metales Lixiviados, Capacidad de Retención de Agua, Capacidad de Intercambio Catiónico y Bases Intercambiables. Se seguirán los mismos procedimientos ya descritos anteriormente.

4.3.3 Preparación de muestras

Para llevar a cabo esta actividad, se colocaron muestra de Lodo provenientes de la Empresa Tratadora de Aguas Residuales RECICLAGUA S. A. de C. V., se detecto que el pH de estas muestras era por encima del neutro, con lo cual en estas condiciones las lombrices del Vermicomposteo no sobrevivirían. Por lo cual se preparo una solución de ácido acético al 10 % y a cada una de las muestras de lodo se fue adicionando pequeños volúmenes de esta solución,

mezclándolas de manera mecánica con a fin de disminuir el pH de básico a neutro.

4.3.4 Proceso de vermicomposteo de lodo residual

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 500ml de una solución preparada *in situ* de Acido Acético al 10% y se homogenizó por alrededor de media hora dando valores de pH de 6.7 y 6.8.

Se agregó posteriormente 10ml 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

Se estabilizó el pH de una cubeta de lodo residual (lodo directo prelombricomposteo 1), inicialmente en 8.4, para lo cual se utilizó acido acético al 10% y una solución de cal al 1%, se homogeneizó por lo menos media hora resultando un valor de 7.97. Este lodo estabilizado (lodo vermicomposteo 1) se depositó sobre la mezcla composta/lombriz (tal y como se adquirió solo retirándole todo el forraje posible) formando un rectángulo de 10 centímetros de altura aproximadamente y dejando un espacio de 5-10 centímetros entre el borde del lodo estabilizado y las paredes del recipiente. Se tapó con cartón previamente humedecido para proteger del sol, se secó y guardó una parte de este primer lodo para análisis (lodo seco vermicomposteo 1).

Las muestras de lodos se colocaron en camas diseñadas para el proceso de vermicomposteo, dichas camas se construyeron en contenedores de madera de 0.50 m X 0.50 m X 0.20 m se colocó una película de polietileno, evitando con ello que las lombrices emigren y se pueda recolectar la lombricomposta.

Para realizar el proceso de vermicomposteo se vigilarán los parámetros de pH que debe tener un valor de 7.5-8, una humedad del 80% y una temperatura de 18 a 25 °C.

Se colocará primero una capa de lodo de 10 centímetros sobre la cama al inicio, posteriormente se incorporarán las lombrices de la especie *Eisenia Fetida* en un número aproximado de 250 lombrices.

Se agregarán capas de lodo cada 15 días, el proceso dura de 3 a 4 meses. Al término de dicho periodo se recolectará la lombricomposta, cuidando tener un 30% de humedad.

4.3.5 Acondicionamiento y Preparación de Contenedores para el Vermicomposteo

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

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

4.3.6 Incorporación de residuos orgánicos a los lodos vermicomposteados

A la par del vermicomposteo tradicional, se realizo un vermicomposteo en el cual al lodo residual se le incorporaron restos de comida cuyo origen es orgánico (50% de origen vegetal y 50% de origen animal), en un proporción de 10 y 20 % en peso de residuos orgánicos cuyo origen fueron restos de comidas (frutas, vegetales, piel de pollo, etc.), cabe señalar que con la adición del lodo cada 15 días, así mismo se agregaran los correspondientes 10 % de residuos orgánicos señalados, se tomaran muestras y se caracterizaran dichos productos con los parámetros ya señalados.

Se cuidaron las mismas condiciones del vermicomposteo tradicional, esto con la finalidad de incrementar los nutrimentos para la lombriz californiana que realizo el vermicomposteo y establecer si hay un aumento en cuanto a las cantidades de las variables analizadas en las caracterizaciones fisicoquímicas realizadas.

4.3.7 Pruebas de caracterización de la lombricomposta

Una vez generado la lombricomposta de los lodos residuales se procedió a caracterizarla, para lo cual se conto con el apoyo de los laboratorios de la Facultad de Química de la UAEM y del ICAR.

Los parámetros que se determinaron fueron: a) pH, b) Materia orgánica, c) Carbón orgánico, d) Nitrógeno, e) Metales.

Las valoraciones de carbono y nitrógeno se realizarán al primer mes a fin de observar si la relación es la correcta, de no ser así se incorporarán a los lodos materia orgánica (residuos orgánicos, de los cuales ya están reportadas tablas que indican las proporciones de carbono y nitrógeno que aportan cada residuo) a fin de adecuar la relación carbono-nitrógeno.

4.3.8 Caracterización de los suelos con los productos del vermicomposteo.

Se tomaron en cada tipo de suelo muestras compuestas, y se les agregó los productos del vermicomposteo del cada porcentaje, en una proporción de 10% en peso.

4.4 Microscopia Electrónica de Barrido

En este punto cabe señalar que la técnica de Microscopia es una herramienta alternativa para corroborar los análisis de laboratorio que se han señalado previamente en esta sección de Metodología. Por lo cual se realizaron las determinaciones para:

a) Suelo, b) Lodo residual, c) humus de la vermicomposta y d) del suelo después de haber sido incorporado el humus.

Todas las muestras de lodos residuales sin estabilizar, los lodos estabilizados alcalinamente y el producto de vermicomposteo se secaron con la finalidad 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, esto con la finalidad de obtener las imágenes de las muestras mencionadas en una ampliación de X1000 10µm, así como el microanálisis correspondiente señalándonos los elementos que constituyen a dichos muestras.

4.5 Estudio de predominio de especies

En este punto cabe señalar que la técnica de Microscopía es una herramienta alternativa, para corroborar los análisis de laboratorio que se han señalado previamente en esta sección de Metodología.

Las muestras de lodos residuales sin estabilizar, los lodos estabilizados alcalinamente y el producto de vermicomposteo se secaron con la finalidad 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, esto con la finalidad de obtener las imágenes de las muestras mencionadas, así como el microanálisis correspondiente señalándonos los elementos que constituyen a dichos muestras.

4.5.1 Predicción de la transferencia de nutrientes de lodo vermicompostado a suelos forestales

Una vez realizadas las pruebas de caracterización fisicoquímica tanto de los suelos del PNNT y de los Lodos residuales, con estos resultados y mediante el programa de computación Medusa, se realizaron los estudios de predominio de especies en función del pH. Esto con la finalidad de predecir como se va a llevar a cabo la transferencia de nutrientes de los dos diferentes tipos de vermicomposta a los suelos forestales que se recolectaron del PNNT.

Para realizar dicha predicción se generaron los diagramas de predominio de especies para los elementos de carbono, nitrógeno y fosforo, que son determinantes en los nutrientes que necesita el suelo.

CAPITULO V

RESULTADOS

5.1 Caracterización de los diferentes tipos de suelos

Como se menciona en capítulos anteriores, derivado de las muestras obtenidas en campo y posteriormente adicionadas al humus como resultado de la biodigestión de los lodos residuales se procedió a realizar la caracterización por cada uno de sus parámetros.

5.1.1.- Comunidad Rosa Morada

5.1.1.1.- Clase textural

Los resultados de la determinación de textura de suelo se muestran en el cuadro 5.1, dicha análisis se realizó tomando dos porciones de suelo de cada uso, es decir, dos de bosque, dos de cultivo y dos de pradera.

Cuadro 5.1.- Resultados de textura de suelos de la comunidad “Rosa Morada”

Descripción	% Arena	% Limo	Arcilla	Clase Textural
Bosque 1	6	86	8	Limo
Bosque 2	18	72.2	9.8	Franco limoso
Cultivo 1	12	81.6	6.36	Limo
Cultivo 2	3	91	5	Limo

Fuente: Propia del autor,(Año 2012)

Continúa Tabla 5.1

Descripción	% Arena	% Limo	Arcilla	Clase Textural
Pradera 1	16	74	10	Franco limoso
Pradera 2	8.36	86	8.36	Limo

Fuente: Propia del autor,(Año 2012)

Los tres tipos de uso de suelo en la comunidad Rosa Morada mostraron textura limosa y franco limosa. Los cuales tienen las siguientes características:

- Los suelos limosos poseen una plasticidad y adhesividad bajas, capacidad media de retención de agua y poca actividad química.
- Son muy compactos pero no tanto como los suelos arcillosos, resultan ser producto de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento.

5.1.1.2.- Materia orgánica y carbono

Para el suelo de la comunidad rosa morada, tanto de bosque, cultivo y pradera se detectó un contenido bajo de materia orgánica y carbono, esto nos lleva a establecer que los suelos se ven afectados negativamente en la formación de agregados, en la unión de las arcillas en la formación de complejos, en la penetración del agua y en su retención, en el crecimiento de la plantas, y en el suministro de fósforo, azufre y nitrógeno (Buckman, 1985). Los resultados de estas pruebas se muestran en el Cuadro 5.2.

Cuadro 5.2.- Resultados de materia orgánica y carbono de suelos de la comunidad "Rosa Morada"

Descripción	% Materia Orgánica		% Carbono Orgánico
Bosque 1	I.-6.99 II.-6.21 III.-7.77	7.0	3.6
Bosque 2	I.-3.72 II.-3.72 III.- 3.87	3.7	7.1
Cultivo 1	I.-4.03 II.-3.72 III.-4.34	4.0	2.4
Cultivo 2	I.-3.1 II.-3.72 III.-3.87	3.5	2.1
Pradera 1	I.- 6.21 II.-6.99 III.-5.43	6.2	3.0
Pradera 2	I.-7.75 II.-6.2 III.-8.21	7.3	4.6

Fuente: Propia del autor, Año 2012

Cabe destacar que la materia orgánica en el suelo también tiende a aumentar la cantidad de agua que este mismo pueda contener y la proporción de esta agua utilizable por las plantas. Siendo también la principal fuente de energía para los microorganismos, resaltando que sin ella la actividad bioquímica sería prácticamente nula (Buckman, 1985).

5.1.1.3.- Nitrógeno total

El porcentaje de nitrógeno detectado en los suelos de la comunidad Rosa Morada es bajo, de acuerdo con Buckman (1985), la materia orgánica es la fuente que proporciona el nitrógeno al suelo, esta aseveración se corrobora con base en los resultados obtenidos, ya que el nitrógeno calculado en dicho tipo

de suelos es muy bajo, esto afecta de manera desfavorable al suelo ya que más que cualquier otro nutriente, el nitrógeno en el suelo controla el ritmo de crecimiento de los cultivos.

Una deficiencia o un exceso pueden afectar severamente el rendimiento de la cosecha, afectar directamente en el color de las hojas de las plantas, puede también alentar el ritmo de crecimiento de las mismas, o viceversa hacer que las plantas maduren prematuramente (Davies, 1987).

Cuadro 5.3.- Resultados de nitrógeno total de suelos de la comunidad "Rosa Morada"

Descripción	% Nitrógeno Total	Relación C/N
Bosque 1	0.2521	14.2
Bosque 2	0.2421	1.9
Cultivo 1	0.2661	9.0
Cultivo 2	0.1821	11.5
Pradera 1	0.3782	7.9
Pradera 2	0.3782	12.1

Fuente: Propia del autor, año 2012

Los resultados del porcentaje de Nitrógeno total y la relación C/N estas pruebas se muestran en el cuadro 5.3. La relación carbono nitrógeno es alta significa que el proceso de descomposición es lento y que se requiere de nitrógeno adicional para acelerar el proceso de descomposición. En contraste cuando una relación carbono-nitrógeno es baja lo que indica que el material tiene alto

contenido de nitrógeno y en el proceso de descomposición se pierde nitrógeno en forma de amoniaco sobre todo cuando la temperatura se eleva y el pH es bajo (SAGARPA, 2007).

5.1.1.4.- pH

Con respecto al pH, todas las muestras de la comunidad presentaron ser moderadamente ácidos, lo que nos lleva a determinar que si el suelo tiene un pH muy ácido ($\text{pH} < 5,5$) escasearán algunos nutrientes esenciales para las plantas como Calcio, Magnesio, Fósforo, Molibdeno y Boro y la estructura no suele ser buena.

En cambio si el suelo es básico o alcalino ($\text{pH} > 8$) es muy probable que escasee en el Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre y Boro (www.infojardin.com, 2009). Los resultados de la determinación de pH se muestran en el cuadro 5.4.

Cuadro 5.4.- Resultados de pH de suelos de la comunidad "Rosa Morada".

Descripción	pH
Bosque 1	6.46
Bosque 2	5.54
Cultivo 1	6.01
Cultivo 2	5.35
Pradera 1	5.97
Pradera 2	5.84

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.1.5.- Humedad y capacidad de retención de agua

El rango de Humedad y porcentaje de Capacidad de Retención de Agua es bajo para la comunidad Rosa Morada. Dicha determinación se muestra en el cuadro 5.5.

Cuadro 5.5.- Porcentaje de retención de agua de suelos de la comunidad "Rosa Morada".

Descripción	% Humedad	% Capacidad de Retención de Agua
Bosque 1	12.68	108.89
Bosque 2	9.16	104.90
Cultivo 1	7.07	74.21
Cultivo 2	8.21	68.30
Pradera 1	8.37	95.13
Pradera 2	6.06	87.64

Fuente: Propia del autor, Año 2012

La capacidad de retención de agua es el intervalo de humedad disponible que se define como el agua del suelo que puede ser absorbida a un ritmo adecuado para permitir el crecimiento normal de las plantas (González Rebollar, 1999).

Los suelos de la comunidad Rosa Morada son limosos lo cual permite aseverar que la humedad es mínima.

5.1.1.6.- Micro y macronutrientes

En los tres tipos de uso de suelo (bosque, cultivo y pradera) se detectaron contenidos deficientes de nutrientes, de acuerdo con Buckman (1985), el crecimiento de las plantas puede ser retardado por varias causas, una de ellas

es la escasez de nutrimentos en el suelo. Es por eso que la aplicación de lodos al suelo aumentaría la cantidad de nutrientes ya que los lodos contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes (Cuevas *et al.*, 2006). El plomo y cadmio se encuentran en contenidos normales lo que significa que no representan un riesgo para el suelo y las plantas que en el se encuentran (Cuadro 5.6).

Cuadro 5.6.- Concentración de nutrientes de suelo para la comunidad "Rosa Morada"

Uso	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Cu (mg/g)	Pb (mg/g)	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Cd (mg/g)
Bosque 1	0.080	1.093	0.411	0.126	0.642	0.055	4.919	0.004
Bosque 2	0.094	0.955	0.471	0.049	0.480	0.048	6.280	ND
Cultivo 1	0.320	1.206	0.994	0.038	0.361	0.048	6.478	0.002
Cultivo 2	0.115	0.305	0.246	0.066	0.393	0.042	8.741	0.006
Pradera 1	0.102	0.323	0.285	0.097	0.414	0.059	8.077	ND
Pradera 2	0.075	0.040	0.243	0.122	0.639	0.050	8.059	0.006

Fuente: Propia del autor, Año 2012

5.1.2.- Comunidad Dilatada

5.1.2.1.- Clase textural

La clase textural que presentaron los suelos de Dilatada fue Franco limoso, franco arenoso y franco arcilloso, las características de los dos primeros están indicadas en el apartado V.1.1. Los franco arcillosos para la agricultura son

húmedos y pesados, a diferencia de los anteriores, éstos tienen una alta plasticidad y adhesividad, así como una alta capacidad de retención de agua.

Los suelos arenosos poseen partículas de forma irregular de 0,2 a 0,02 mm de diámetro, baja adhesividad y plasticidad, poca capacidad de retención de agua la cual rápidamente se hunde a capas más profundas. El suelo franco arenoso refiere a un suelo que tiene bastante arena y suficiente cantidad de arcilla y limo, en este tipo de suelo, los granos se ven y se sienten. Al tacto este suelo es algo cohesivo, pudiendo ser moldeado en la forma de una esfera (Cuadro 5.7).

Cuadro 5.7.- Resultados de textura de suelos de la comunidad "Dilatada"

Descripción	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Bosque 1	34	61.6	4.36	Franco limoso
Bosque 2	37.44	51.28	11.28	Franco limoso
Cultivo 1	37.2	47.2	15.6	Franco
Cultivo 2	65.6	20	14.36	Franco arenoso
Pradera 1	29.6	34	36.36	Franco arcilloso
Pradera 2	31.2	63.2	5.6	Franco limoso

Fuente: Propia del autor, Año 2012

5.1.2.2.- Materia orgánica y carbono

En la comunidad de Dilatada para suelos de cultivo y pradera se detectó un contenido bajo de materia orgánica, la interpretación de estos resultados se puede corroborar basándose en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, únicamente se detectó un contenido de materia orgánica alto en los suelos de bosque lo que significa que a diferencia de los suelos de bosque de rosa morada y cultivo y pradera de Dilatada, éstos tienen un beneficio mayor para sus microorganismos (Buckman, 1985).

Cabe destacar que de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica y carbono orgánico en suelos volcánicos es (<6.0) bajo (>16.1) muy alto (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Cuadro 5.8.- Resultados de materia orgánica y carbono de suelos de la comunidad "Dilatada"

Descripción	% Materia Orgánica		% Carbono Orgánico
Bosque 1	I.-16.3	16.5	6.0
	II.-16.3		
	III.-17.0		
Bosque 2	I.-10.8	10.5	5.6
	II.-10.8		
	III.-10.8		
Cultivo 1	I.-5.42	5.1	3.2
	II.-4.9		
	III.-5.27		

Fuente: Propia del autor, Año 2012

Continúa tabla 5.8

Descripción	% Materia Orgánica		% Carbono Orgánico
Cultivo 2	I.-6.66 II.-6.2 III.-6.51	6.4	4.0
Pradera 1	I.-4.6 II.-4.03 III.-4.49	4.3	2.6
Pradera 2	I.-5.11 II.-5.11 III.-4.9	5.0	3.1

Fuente: Propia del autor, Año 2012

5.1.2.3.- Nitrógeno total

Los tres tipos de suelos en dicha comunidad presentaron un contenido muy bajo de nitrógeno. Davies (1987) menciona que este elemento es de vital importancia para el crecimiento de las plantas, por lo tanto cuando es deficiente impacta negativamente al suelo y las cosechas. En el apartado 5.1.1.3. Se puede apreciar la interpretación que se da a dicha aseveración. Los resultados de la determinación de porcentaje de nitrógeno total relación C/N se concentran en el cuadro 5.9.

Cuadro 5.9.- Resultados de nitrógeno total de suelos de la comunidad "Dilatada"

Descripción	%Nitrógeno Total	Relación C/N
Bosque 1	0.3319	18
Bosque 2	0.3279	17
Cultivo 1	0.1389	23
Cultivo 2	0.1421	28.1
Pradera 1	0.0553	47
Pradera 2	0.0667	46.4

Fuente: Propia del autor, Año 2012

En este caso el parámetro en la Relación Carbono-Nitrógeno es alto lo que significa que el proceso de descomposición es lento y que se requiere de nitrógeno adicional para acelerar el proceso de descomposición (SAGARPA, 2007).

5.1.2.4.- pH

Un suelo ideal es aquel que cuenta con un pH neutro, entre 6 y 7 y el suelo de bosque presenta dicha característica, el suelo de cultivo y pradera presentaron un pH moderadamente ácido cuyas características se indican en el apartado 5.1.1.4.

Duchaufor (1984) menciona que la disponibilidad de los nutrientes en el suelo se incrementa cuando el pH es neutro o se acerca a la neutralidad (Cuadro 5.10).

Cuadro 5.10.- Resultados de pH de suelos de la comunidad "Dilatada".

Descripción	pH
Bosque 1	6.86
Bosque 2	6.53
Cultivo 1	5.76
Cultivo 2	5.43
Pradera 1	5.62
Pradera 2	5.45

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.2.5.- Humedad y capacidad de retención de agua

El rango de Humedad y porcentaje de Capacidad de Retención de Agua es bajo para suelos limosos y medio para suelos arenosos y arcillosos, lo cual se puede comprobar con lo mencionado en los apartados 5.1.1.5 y 5.1.2.1. Los resultados de la determinación de humedad y capacidad de retención de agua se concentran en el cuadro 5.11.

Cuadro 5.11.- Porcentaje de retención de agua de suelos de la comunidad "Dilatada".

Descripción	% Humedad	% Capacidad de Retención de Agua
Bosque 1	12.03	113.17
Bosque 2	13.21	111.80
Cultivo 1	5.17	69.91
Cultivo 2	5.70	65.98
Pradera 1	14.09	151.79
Pradera 2	4.84	78.26

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.2.6.- Micro y macronutrientes

Al igual que en los suelos de la comunidad Rosa Morada, en la comunidad Dilatada se detectaron contenidos deficientes de nutrientes. De acuerdo con Buckman (1985), esto podría retrasar el crecimiento de las plantas (Cuadro 5.12).

Cuadro 5.12.- Concentración de nutrientes de suelo para la comunidad "Dilatada"

Tipo	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Cu (mg/g)	Pb (mg/g)	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Cd (mg/g)
Bosque1	0.084	1.073	0.229	0.017	0.372	0.018	6.670	0.002
Bosque2	0.127	0.538	0.266	0.110	0.590	0.035	6.890	0.002
Cultivo 1	0.445	1.931	1.235	0.137	0.278	0.063	4.558	0.003
Cultivo 2	0.312	0.397	0.326	0.073	0.211	0.037	6.532	No detectable
Pradera1	0.157	0.277	0.453	0.080	0.734	0.034	9.000	0.006
Pradera2	0.151	1.183	0.225	0.084	0.388	0.047	7.741	No detectable

Fuente: Propia del autor, año 2012

Los nutrientes son sustancias necesarias para que las plantas puedan desarrollarse y crecer. La falta de estas sustancias provoca una disminución en la fertilidad del suelo y crecimiento de las plantas (Báscones, 2008).

El plomo y cadmio se encuentran en contenidos normales lo que significa que no representan un riesgo para el suelo y las plantas que en el se encuentran.

5.1.3.- Comunidad El Capulín

5.1.3.1.- Clase textural

La clase textural detectada en los suelos de esta comunidad es Franco limosa al igual que lo mencionado en el apartado 5.1.1.3, donde se menciona que Los suelos limosos poseen una plasticidad y adhesividad bajas, capacidad media de retención de agua y poca actividad química. Estos suelos son muy compactos pero no tanto como los suelos arcillosos, resultan ser producto de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento (Cuadro 5.13).

Cuadro 5.13.- Resultados de Textura de Suelos de la comunidad “El Capulín”

Descripción	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clase Textural
Bosque 1	12.4	75.6	12	Franco limoso
Bosque 2	49.08	36.56	14.36	Franco limoso
Cultivo 1	20	49.64	30.36	Franco limo arcilloso
Cultivo 2	22.6	60	17.4	Franco limoso
Pradera 1	13.08	70.12	16	Franco limoso
Pradera 2	24.27	60.13	15.6	Franco limoso

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.3.2.- Materia orgánica y carbono

Para el caso de suelos de bosque se detectó un contenido muy alto de materia orgánica, los suelos de cultivo y pradera mostraron un contenido bajo se muestran en los apartados 5.1.1.2 y 5.1.2.2. Los resultados de estas pruebas se muestran en el cuadro 5.14.

Cuadro 5.14.- Resultados de Materia Orgánica y Carbono de Suelos de la comunidad “El Capulín”

Descripción	% Materia Orgánica		% Carbono Orgánico
Bosque 1	I.-24.8 II.-24.8 III.-24.8	24.8	8.4
Bosque 2	I.-27.9 II.-30.3 III.-28.7	28.9	11.5
Cultivo 1	I.-3.87 II.-3.87 III.-3.87	3.8	2.3
Cultivo 2	I.-2.94 II.-2.94 III.-2.94	2.9	1.7
Pradera 1	I.-4.03 II.-4.03 III.-4.03	4.0	2.4
Pradera 2	I.-5.11 II.-5.11 III.-5.11	5.1	3.2

Fuente: Propia del autor, año 2012

La materia orgánica aumenta la cantidad de agua que este mismo pueda contener y la proporción de esta agua utilizable por las plantas. Siendo también la principal fuente de energía para los microorganismos (Buckman, 1985).

5.1.3.3.- Nitrógeno total

Al igual que en los suelos de las comunidades Rosa Morada y Dilatada, los suelos de El Capulín demostraron tener un contenido muy bajo de nitrógeno, característica que en el apartado 5.1.1.3 se puede observar.

En este caso la Relación C/N es alta, significa que el proceso de descomposición es lento y que se requiere de nitrógeno adicional para acelerar el proceso de descomposición (SAGARPA, 2007). Los resultados de estas pruebas se muestran en el cuadro 5.15.

Cuadro 5.15.- Resultados de Nitrógeno total de Suelos de la comunidad "El Capulín"

Descripción	% Nitrógeno Total	Relación C/N
Bosque 1	0.3304	25.4
Bosque 2	0.3474	33.1
Cultivo 1	0.0558	41.2
Cultivo 2	0.0557	30.5
Pradera 1	0.0559	42.9
Pradera 2	0.1377	23.2

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.3.4.- pH

Fue posible detectar que al igual que en las comunidades antes mencionadas, los suelos presentaron un pH moderadamente ácido, si el suelo tiene un pH muy ácido ($\text{pH} < 5,5$) escasearán algunos nutrientes esenciales para las plantas como Calcio, Magnesio, Fósforo, Molibdeno y Boro y la estructura no suele ser buena. Si el pH es inferior a 6, la actividad microbiana se ve entorpecida (Duchaufor, 1984). Los resultados de estas determinaciones se muestran en el cuadro 5.16.

Cuadro 5.16.- Resultados de pH de Suelos de la comunidad "El Capulín".

Descripción	pH
Bosque 1	5.78
Bosque 2	5.75
Cultivo 1	5.61
Cultivo 2	5.58
Pradera 1	5.62
Pradera 2	5.61

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.3.5.- Humedad y capacidad de retención de agua

Al igual que en las comunidades Rosa Morada y Dilatada, en El Capulín se detectó un rango de Humedad y Capacidad de Retención de Agua bajo, lo cual se puede comprobar con lo mencionado en el apartado 5.1.1.5. Los resultados de dicha determinación se concentran en el cuadro 5.17.

Cuadro 5.17.- Porcentaje de Retención de Agua de Suelos de la comunidad "El Capulín".

Descripción	% Humedad	% Capacidad de Retención de Agua
Bosque 1	12.64	116.91
Bosque 2	15.05	127.43
Cultivo 1	6.47	62.22
Cultivo 2	6.92	85.43
Pradera 1	6.37	83.06
Pradera 2	5.19	82.12

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.1.3.6.- Micro y macronutrientes

Al igual que en las comunidades Rosa Morada y Dilatada, los suelos de la comunidad El Capulín en los tres tipos de uso de suelo (bosque, cultivo y pradera) se detectaron contenidos deficientes de nutrientes, de acuerdo con

Buckman (1985), el crecimiento de las plantas puede ser retardado por varias causas, una de ellas es la escasez de nutrimentos en el suelo. Es por eso que la aplicación de lodos al suelo aumentaría la cantidad de nutrientes ya que los lodos contienen gran cantidad de materia orgánica, microorganismos, macro y micro nutrientes (Cuevas *et al.*, 2006).

El plomo y cadmio se encuentran en contenidos normales lo que significa que no representan un riesgo para el suelo y las plantas que en el se encuentran. Dichas determinaciones se concentran en el cuadro 5.18.

Cuadro 5.18.- Concentración de nutrientes de suelo para la comunidad “El Capulín”

Tipo	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)
Bosque 1	0.142	0.439	0.401	0.088	0.397	0.030	8.501	No detectable
Bosque 2	0.137	0.338	0.410	0.079	0.372	0.031	7.956	No detectable
Cultivo 1	0.497	2.267	1.559	0.111	0.266	0.028	5.084	0.007
Cultivo 2	0.501	1.783	1.357	0.103	0.243	0.029	5.11	No detectable
Pradera 1	0.074	0.544	0.233	0.156	0.606	0.021	8.847	No detectable
Pradera 2	0.070	0.570	0.230	0.145	0.598	0.019	8.509	No detectable

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.2.- Lodos estabilizados

5.2.1.- Materia orgánica, carbono, nitrógeno total, pH y capacidad de retención de agua en lodos estabilizados

Los lodos estabilizados poseen un muy alto contenido de materia orgánica y carbono de acuerdo con la NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, sanidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis (NOM-021-SEMARNAT-2000).

En cuanto al nitrógeno, utilizando el método descrito en la NOM-021-SEMARNAT-2000, los lodos estabilizados dieron como resultado ser ricos en cuanto a su contenido.

El lodo estabilizado presentó un pH de 9.77, lo que significa que se trata de un lodo fuertemente alcalino. Los resultados de estas pruebas se muestran en el cuadro 5.19.

Cuadro 5.19.- Resultados de materia orgánica, carbono y nitrógeno total en lodos estabilizados

Muestra	% MO		%C O	%N Total	C/N	pH	Humedad	%CRA
Lodo Estabilizado	I.- 31	31	19	17.88	1.062	9.77	13.00	43.75
	II.- 31							
	III.- 31							

Fuente: Propia del autor, año 2012

Esta aseveración se puede corroborar de acuerdo a lo mencionado por Castrejón (2002), donde los lodos 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.

Por tal motivo la aplicación de lodos al suelo es también una de las formas más sustentables de disposición de los lodos residuales es su aplicación sobre el suelo, lo cual constituye un método práctico y representa una de las alternativas más atractivas ante la dificultad de obtener terrenos suficientes para hacer rellenos sanitarios (Romero, 2000).

5.2.2.- Determinación de metales totales

Se detectaron parámetros por debajo de los límites máximos permisibles de concentración de cada metal en biosólidos según la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMERNAT-2002. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro 5.20.

Cuadro 5.20.- Valores promedio de metales en lodos estabilizados

Muestra	Na (mg/Kg)	K (mg/Kg)	Ca (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Cd (mg/Kg)
Lodo Estabilizado	4.897	2.374	58.266	0.154	0.110	0.007	2.640	95.905

Fuente: propia del autor, año 2012

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).

5.3.- Producto de vermicomposteo

5.3.1.- Resultados de análisis de producto de vermicomposteo

El producto del vermicomposteo presentó un pH neutro, un contenido alto de carbono, materia orgánica y nitrógeno, lo que significa un beneficio significativo al agregarse a suelos forestales. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 5.21.

Cuadro 5.21.- Análisis fisicoquímico del producto de vermicomposteo

Parámetro	Valor
Humedad	30-60%
pH	6.8-7.2
Nitrógeno	1-2.6%
Fósforo	2-8%
Potasio	1.7%
Calcio	3%
Magnesio	2%
Materia orgánica	65%
Carbono orgánico	30%
Relación C/N	9%

Fuente: Propia del autor, Año 2012

Continúa tabla 5.21

Parámetro	Valor
Sodio	0.02%
Hierro	0.02%
Manganeso	0.006%

5.3.2.- Determinación metales totales

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 el cuadro 5.22.

Cuadro 5.22.- Valores promedio de metales en lodos estabilizados

Muestra	Na (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cd (mg/kg)
Lodo Vermicomposteado	5.13	3.70	16.51 7	0.119	0.176	0.011	3.811	34.769

Fuente: propia del autor, año 2012

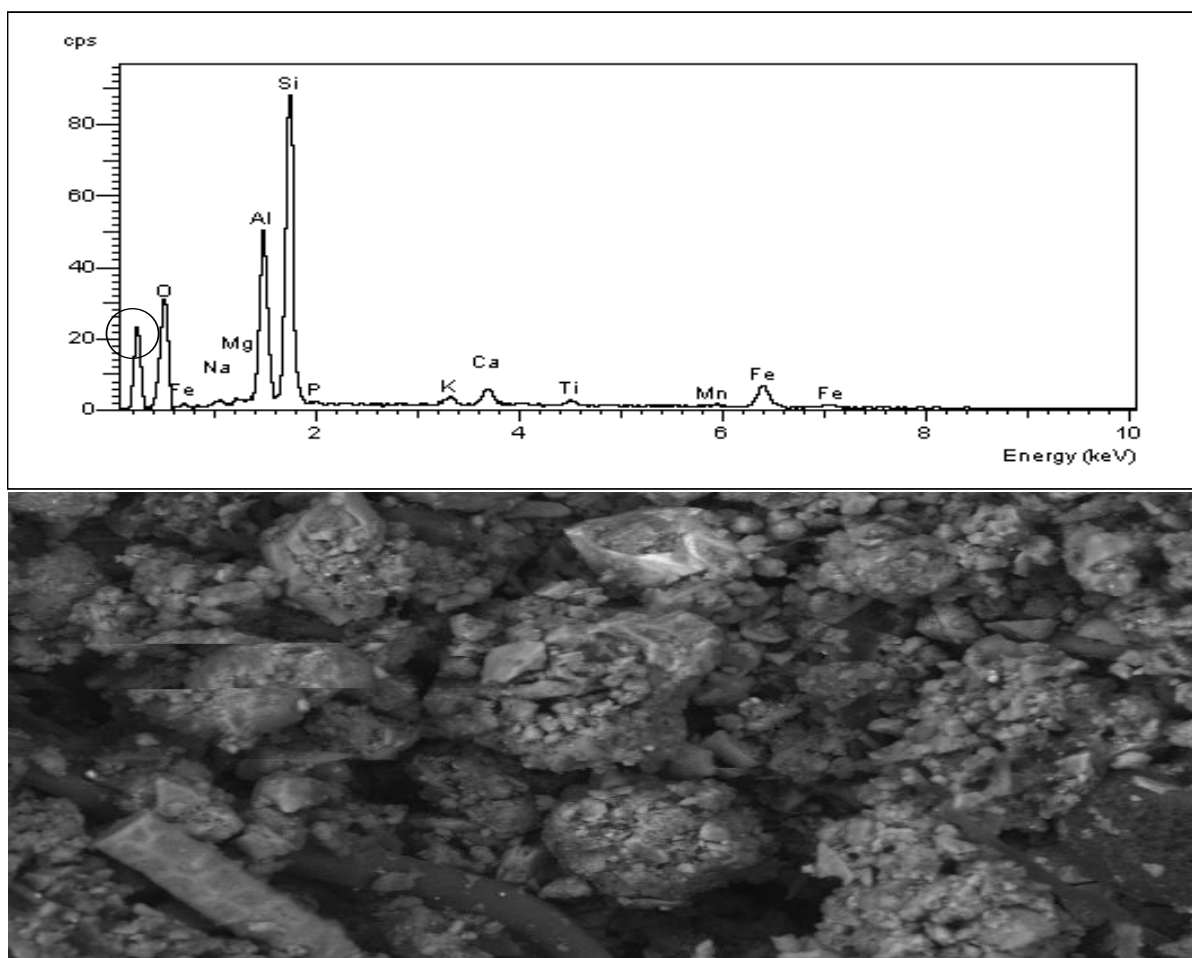
5.4.- Microscopias electrónicas de suelos, lodos y producto de vermicomposteo

5.41.- Suelos

En las Figuras 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5 y 5.6 se muestran las microscopias y morfologías correspondientes a las comunidades Rosa Morada, Dilatada y el Capulín, en el orden de Bosque, Cultivo y pradera que a continuación se muestran:

En la figura 5.1 correspondiente al microanálisis realizado al suelo de bosque de la comunidad Rosa morada se observa el pico característico del carbono (encerrado en un círculo), como puede apreciarse la altura del pico es directamente proporcional a la concentración del elemento, esto significa que dichos suelos contienen todavía una cantidad apreciable de carbono y por lógica de materia orgánica, ya que estos suelos no han experimentado todavía un cambio de uso del suelo.

Figura 5.1.- Microscopia y morfología de suelo de bosque de la comunidad Rosa Morada.



Fuente: propia del autor, año 2012

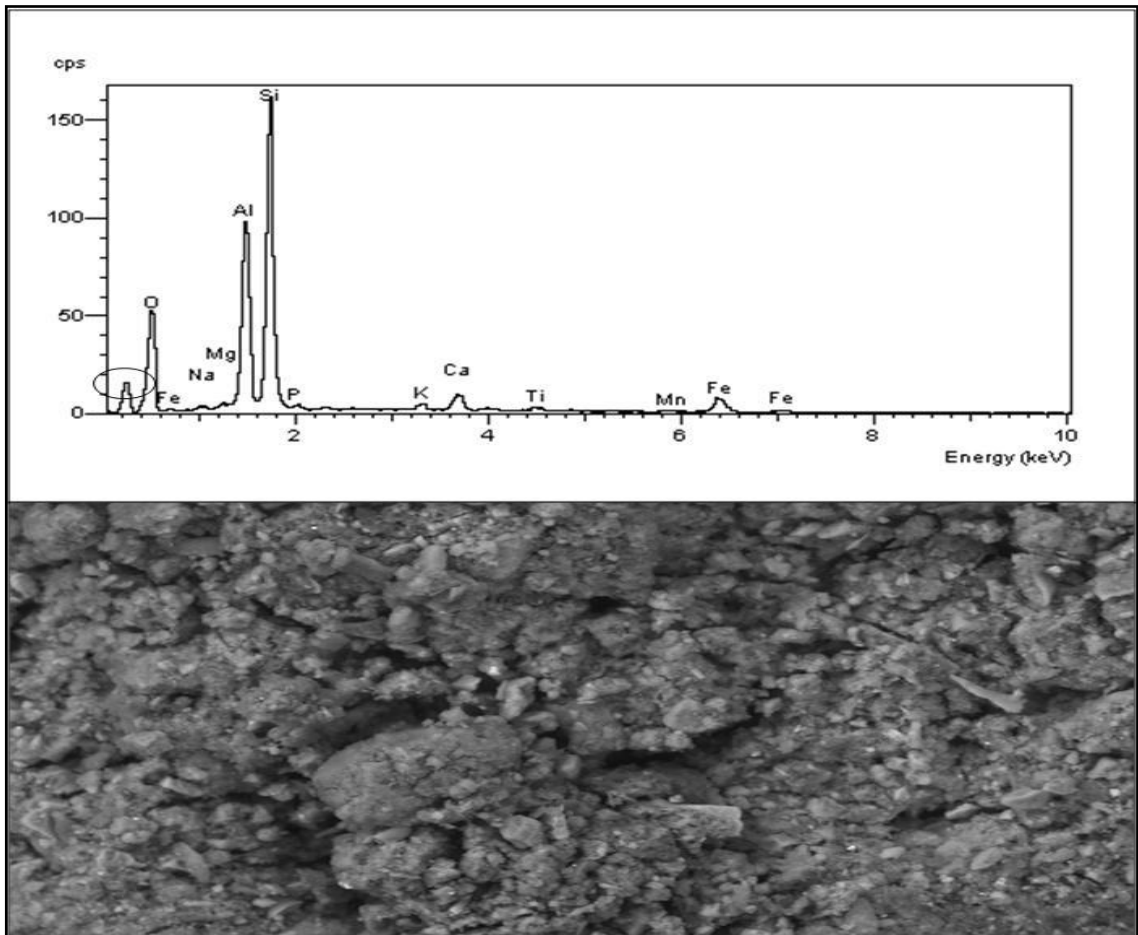
De igual manera se aprecian el hierro (Fe), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y manganeso (Mn), los cuales son macro y micronutrientes que se encuentran en muy bajas proporciones y estas sustancias son necesarias para que las plantas puedan desarrollarse y crecer (Báscones, 2008).

}

Cabe aclarar que el aluminio (Al) y el silicio (Si) están presentes porque son propios del suelo ya que los suelos del Parque Nacional Nevado de Toluca son andosoles.

En cuanto a la morfología de este tipo de suelo se puede apreciar que tienen agregados en pequeños tamaños de forma irregular, así como también pequeñas partículas irregulares alrededor de los agregados.

Figura 5.2.- Microscopía y morfología de suelo de cultivo de la comunidad Rosa Morada.



Fuente: propia del autor, año 2012

La figura 5.2 muestra el microanálisis realizado al suelo de cultivo de la comunidad Rosa Morada, al igual que en la figura 5.1, se puede percibir el pico correspondiente al elemento carbono en menor altura, lo que significa que en este tipo de suelos se tiene carbono y materia orgánica en menor concentración en comparación con los suelos forestales, esto, posiblemente es

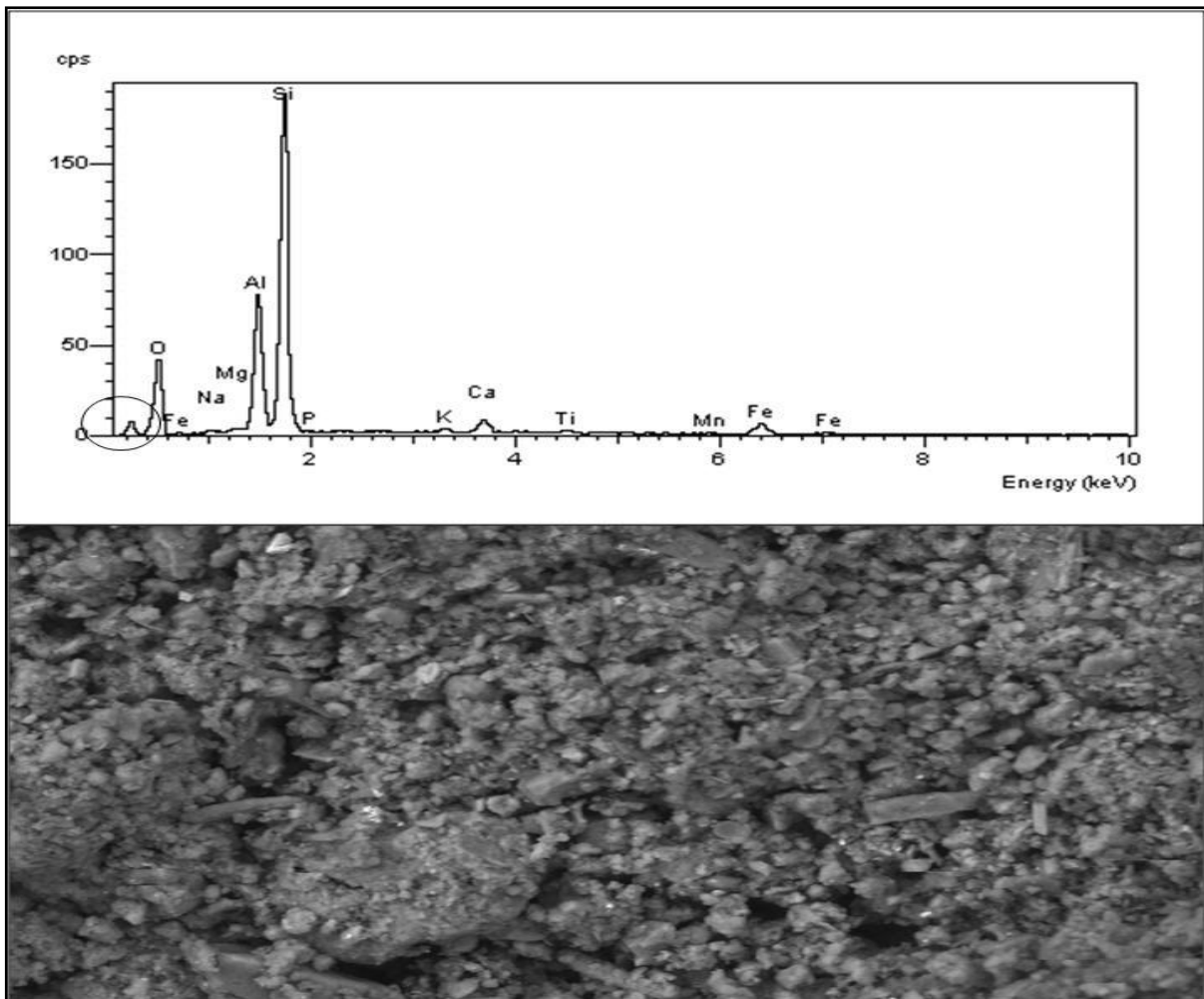
resultado del cambio de uso de suelo y los trabajos que realizan los pobladores de la comunidad.

Semejante a lo mostrado en la figura 5.1, en la figura 5.2 se aprecian los elementos Hierro (Fe), Sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y manganeso (Mn), en cantidades bajas, esto indica la pérdida de nutrientes y por lo tanto la afectación que recibirían los cultivos por falta de los mismos.

La morfología de este suelos muestra grandes y pequeños agregados de forma irregular con partículas pequeñas a su alrededor.

A continuación se presenta en la figura 5.3 el microanálisis correspondiente a los suelos de pradera de la comunidad Rosa Morada se puede apreciar el pico referente al carbono presenta todavía concentraciones más bajas en comparación con los otros dos tipos de suelos, por tal motivo la materia orgánica en este tipo de suelo también es baja.

Figura 5.3.- Microscopia y morfología de suelo de pradera de la comunidad Rosa Morada.



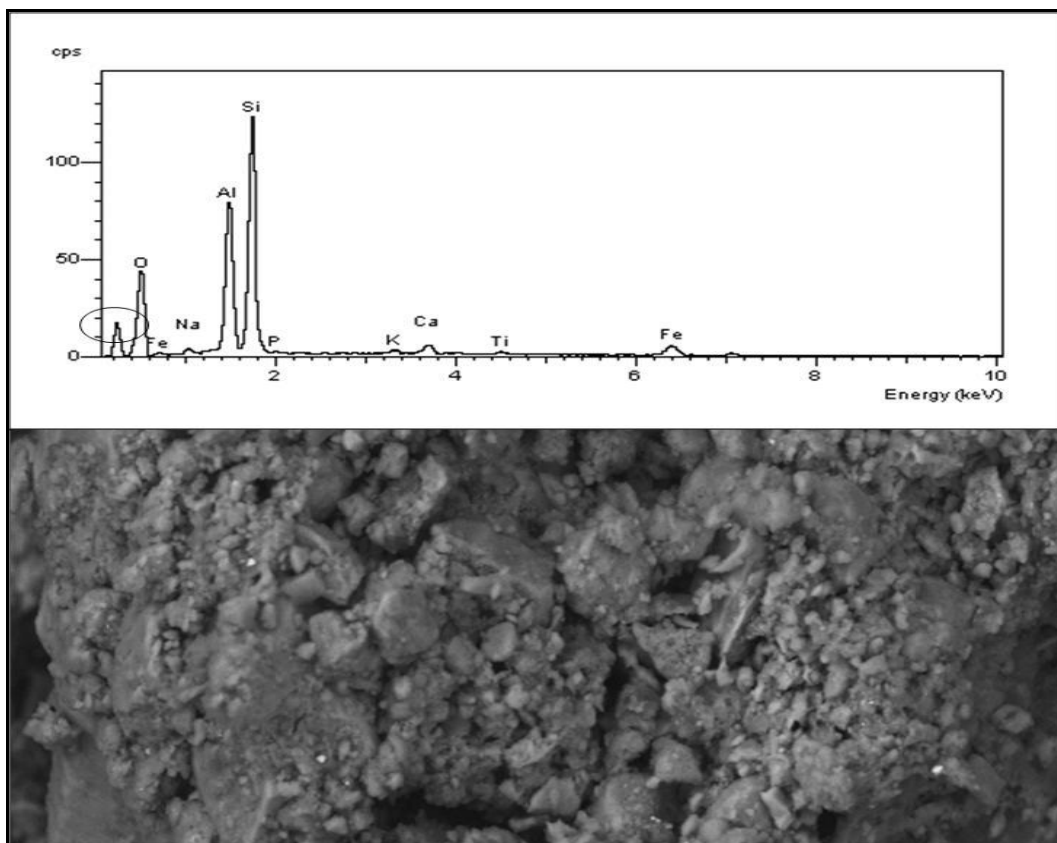
Fuente: propia del autor, año 2012

Se detectaron también contenidos bajos de macro y micronutrientes como el hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), y manganeso (Mn), lo que indica la necesidad de estos elementos para el adecuado crecimiento de las especies vegetales (Báscones, 2008).

Con respecto a la morfología, este tipo de suelo presenta agregados pequeños en forma irregular, estos agregados son ligeramente de menor tamaño que los presentes en los suelos forestales y de cultivo.

A continuación en la figura 5.4 se puede apreciar el microanálisis correspondiente a los suelos de bosque de la comunidad Dilatada. El cual muestra una pequeña cantidad de carbono y por lo tanto poco contenido de materia orgánica.

Figura 5.4.- Microscopia y morfología de suelo de bosque de la comunidad Dilatada.



Fuente: propia del autor, año 2012

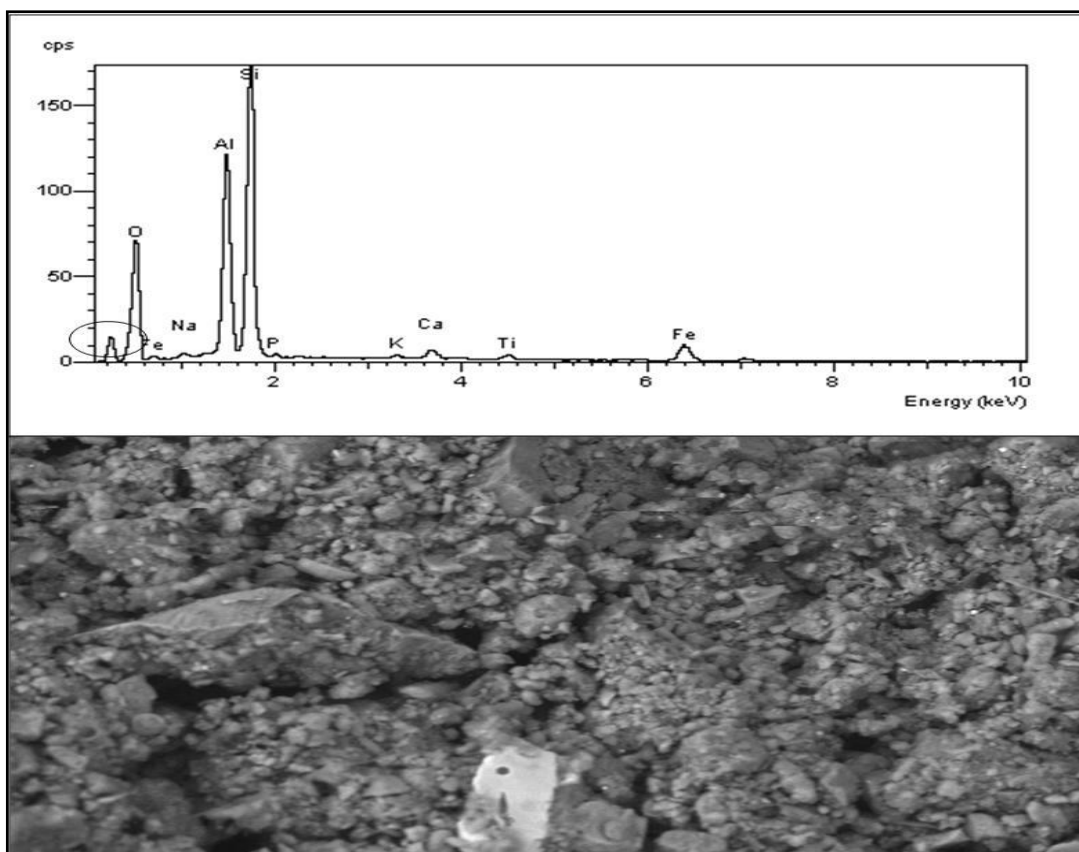
El microanálisis del suelo de bosque de la comunidad Dilatada indica un bajo contenido de nutrientes, se encontraron niveles deficientes de hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), y manganeso (Mn). El aluminio (Al) y el silicio (Si) se encuentran presentes en la figura puesto a que

son elementos propios de los andosoles y estos son los tipos de suelo presentes en el Parque Nacional Nevado de Toluca.

La morfología de los suelos forestales de la comunidad de Dilatada muestra agregados pequeños y de forma irregular.

En la figura 5.5 muestra el microanálisis del suelo de cultivo de la comunidad Dilatada, muestra el pico representativo del carbono en baja proporción, lo cual significa que la cantidad de materia orgánica también es baja.

Figura 5.5.- Microscopia y morfología de suelo de cultivo de la comunidad Dilatada.

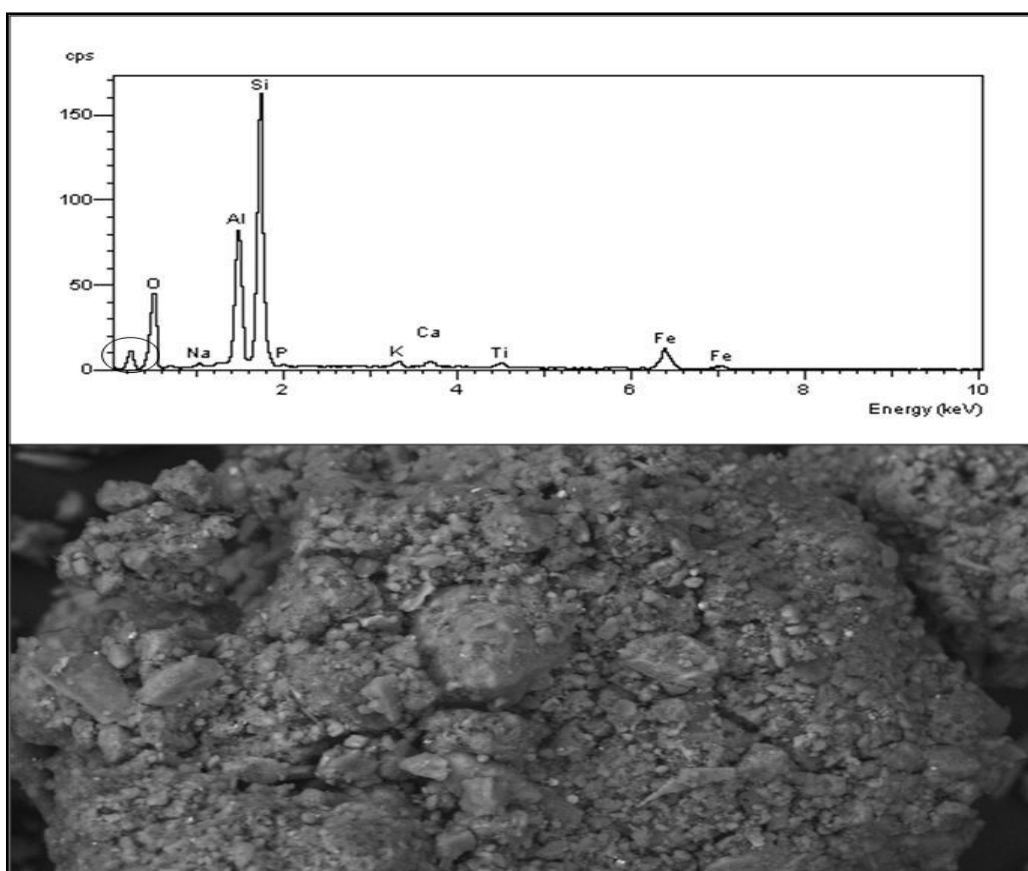


Fuente: propia del autor, año 2012

Los suelos de cultivo de la comunidad Dilatada presentaron un contenido bajo en cuanto a macro y micronutrientes de igual forma que los suelos de Rosa Morada, lo cual indica la pérdida de los mismos por diferentes causas principalmente el cambio de uso de suelo. Respecto a la morfología en estos suelos se pueden apreciar agregados de tamaño y forma irregular.

La figura 5.6 describe el microanálisis realizado al suelo de pradera de la comunidad Dilatada, de la misma forma que en las figuras anteriores se observa el pico representativo del carbono, que muestra estar en bajas proporciones por consiguiente la materia orgánica también se encuentra en la misma situación.

Figura 5.6.- Microscopia y morfología de suelo de pradera de la comunidad Dilatada.



Fuente: propia del autor, año 2012

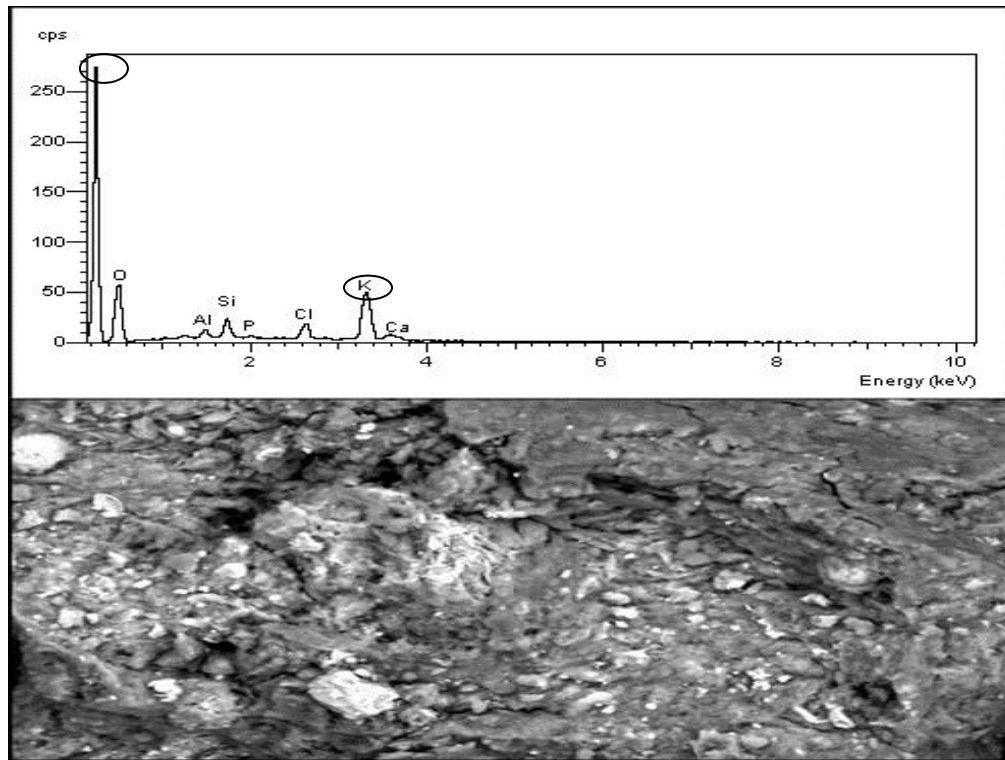
Los macro y micronutrientes se encuentran en muy bajas proporciones, estos nutrientes son: hierro (Fe), sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P), Potasio (K), calcio (Ca) y Manganeseo (Mn), lo que significa que los suelos podrían verse afectados negativamente y de igual forma el desarrollo de las plantas. En la morfología los agregados presentes en este tipo de suelo se aprecian con un tamaño mayor y una forma irregular.

El comportamiento de las microscopías de los suelos de la comunidad El Capulín en cuanto al carbono y materia orgánica son similares a los mostrados en los suelos de Rosa Morada y Dilatada, lo que significa que el suelo de la comunidad El Capulín tiene una deficiencia de macro y micronutrientes

5.4.2.- Lodos residuales

En la Figura 5.7 se muestra las microscopias y morfologías correspondientes al Lodo estabilizado, lo cuál arrojó el siguiente resultado en la microscopia:

Figura 5.7.- Microscopia y morfología del lodo estabilizado



Fuente: propia del autor, año 2012

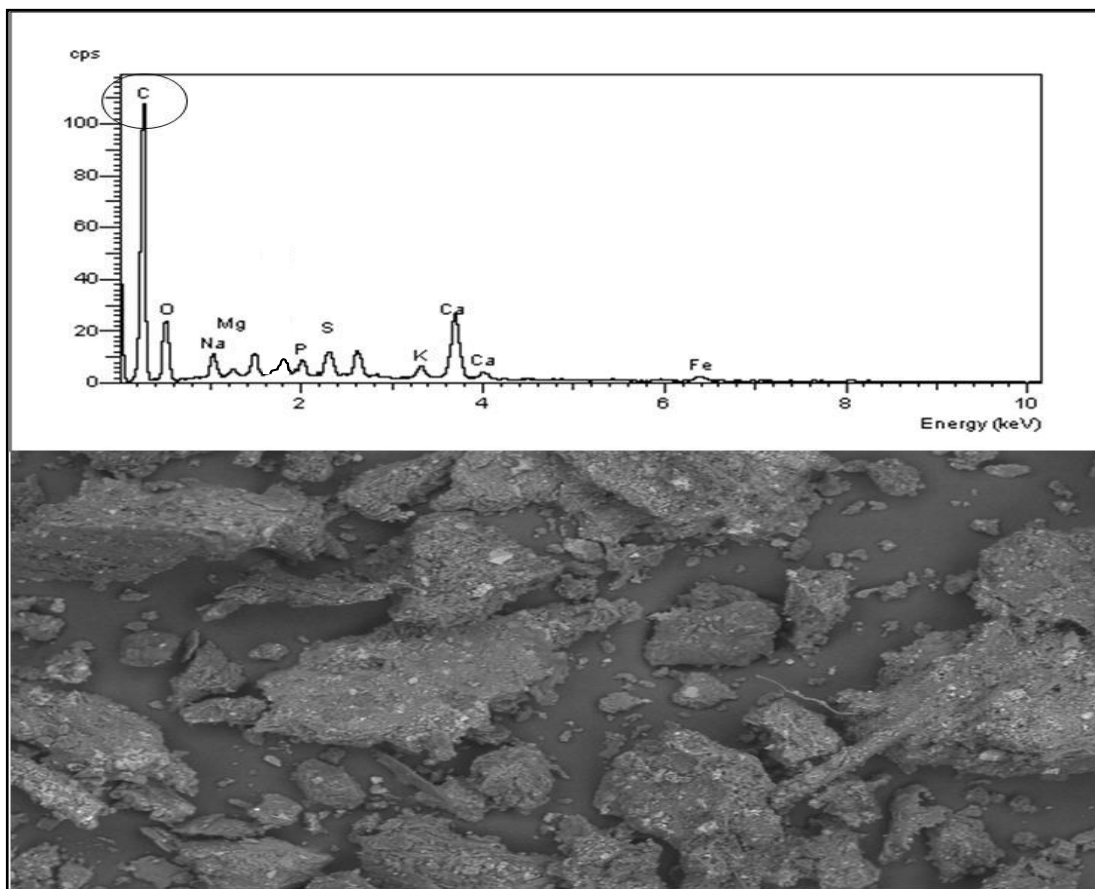
En cuanto a los lodos estabilizados la microscopia mostro un contenido alto de carbono como se puede apreciar en el pico encerrado en un círculo, lo que resulta un contenido igualmente alto de materia orgánica, también el elemento de potasio se encuentra encerrado en un circulo lo que indica que una importante cantidad de este elemento esta presente en los lodos estabilizados y si estos fueran incorporados a los suelos, las especies vegetales que en ellos se encuentran se verían beneficiados en cuanto a la permeabilidad y resistencia de las planta.

En la morfología se aprecian partes blancas, esto debido al elemento calcio, producto de la estabilización alcalina que se realizo para dichos lodos y se puede observar también la presencia de macro y micronutrientes.

5.4.3.- Producto de vermicomposteo

En la Figura 5.8 se muestra la microscopía y morfologías correspondientes al humus del vermicomposteo que a continuación se muestra.

Figura 5.8.- Microscopía y morfología del producto del Vermicomposteo



Fuente: propia del autor, año 2012

Con respecto al producto de vermicomposteo, en la Figura 5.11 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).

Con respecto a la morfología el producto de vermicomposteo presenta agregados grandes y de forma irregular.

5.5 Caracterización del producto de vermicomposteo

En la Tabla 5.23 se muestran los resultados de la caracterización tanto del humus del lodo crudo como de los lodos con los residuos orgánicos añadidos, ambos vermicomposteados.

Tabla 5.23.- Resultados de la caracterización fisicoquímica de los humus del vermicomposteo de lodos residuales

Parámetro	Valor		
	Humus de Lodo vermicomposteado	Humus Lodo con Residuo Orgánico 10 %	Humus Lodo con Residuo Orgánico 20 %
Humedad	60	72.6	74.4
pH	6.8-7.2	6.8	6.9
Nitrógeno	2.6	2.93	3.32
Fósforo	8	9.28	10.08
Magnesio	2	2.28	2.58
Materia Orgánica	65	72.15	80.6
Carbono Orgánico	30	33.6	38.1
Relación C/N	9	10.35	10.89

Fuente: Propia del autor, año 2012

En estos resultados se muestra claramente el efecto que tiene la adición de los restos de residuos orgánicos sobre los valores de los parámetros fisicoquímicos determinados en los tres diferentes humus que fueron generados en la vermicomposta. Este efecto es directamente proporcional a la cantidad adicionada a de residuos de comida orgánica. Esto se aprecia en los porcentajes de incremento que se observan en las diferentes pruebas, excepto en la variable del pH.

En Tabla 5.26 se muestran los resultados de la cuantificación de elementos señalados por la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT- 2000, que establece la fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. En cada caso se corrobora que ninguno de los elementos en cuanto a su concentración se

considera peligroso para la fertilidad del suelo en caso que estos humus sean agregados a los suelos de cultivo de la comunidad Rosa Morada.

Tabla 5.24.- Resultados de la determinación de los elementos considerados como micro y macro nutrimentos.

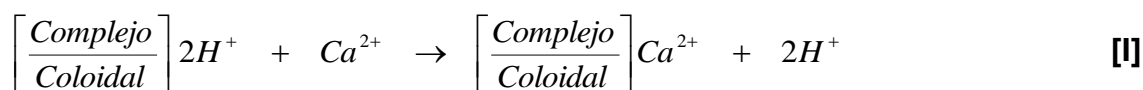
Elemento (mgKg ⁻¹)	Humus de Lodo Crudo	Humus Lodo con Residuo Orgánico 10 %	Humus Lodo con Residuo Orgánico 20 %
Na	0.02	0.022	0.025
K	1.7	1.92	2.12
Ca	3	3.42	3.63
Mn	0.006	0.007	0.007
Fe	0.02	0.023	0.025

Fuente: Propia del autor, año 2012

5.6 Estudio de Predominio de Especies

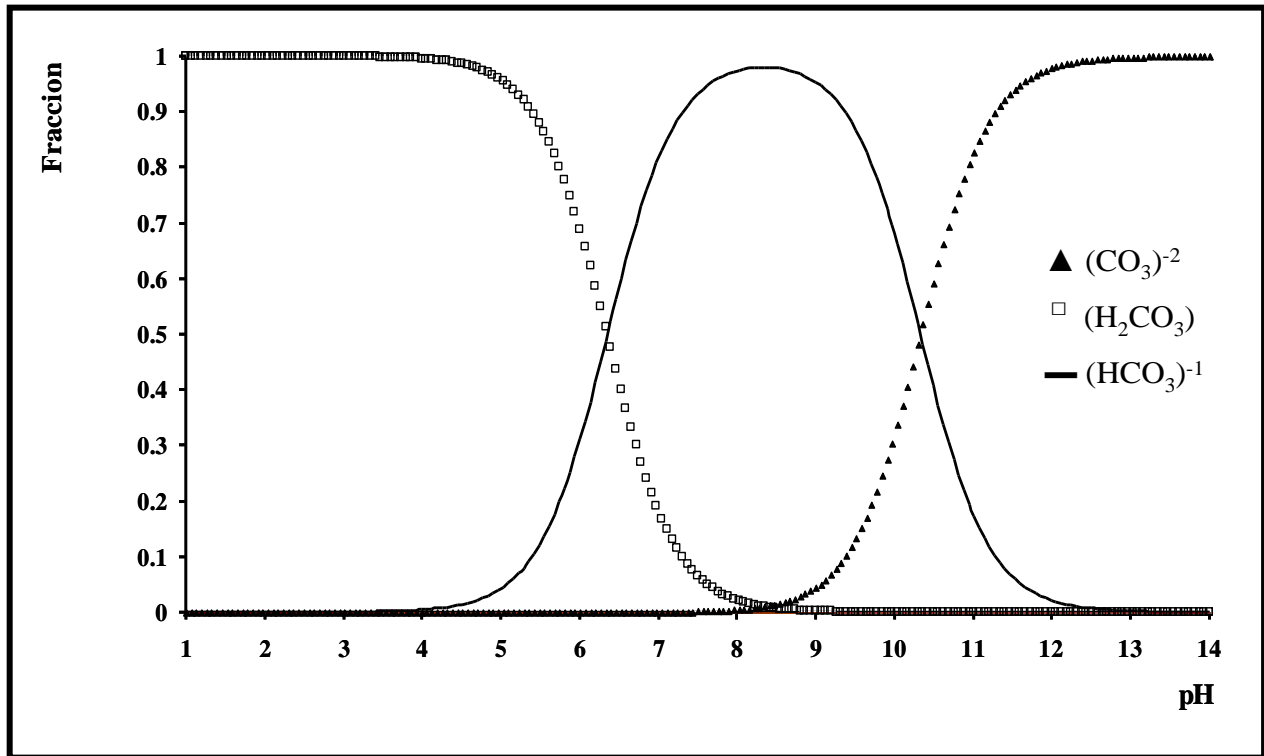
El pH sigue es el factor determinante para poder proponer qué es lo que sucederá al momento de incorporar el producto de la vermicomposta en los suelos forestales. Dado que el pH mostrado para los suelos de cultivo es moderadamente ácido (6.8-7.2), al momento de incorporar la vermicomposta el pH de dicha 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 esta 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 5.25. 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 5.25.- Grafica del estudio de Predominio de Especies, valores de pH



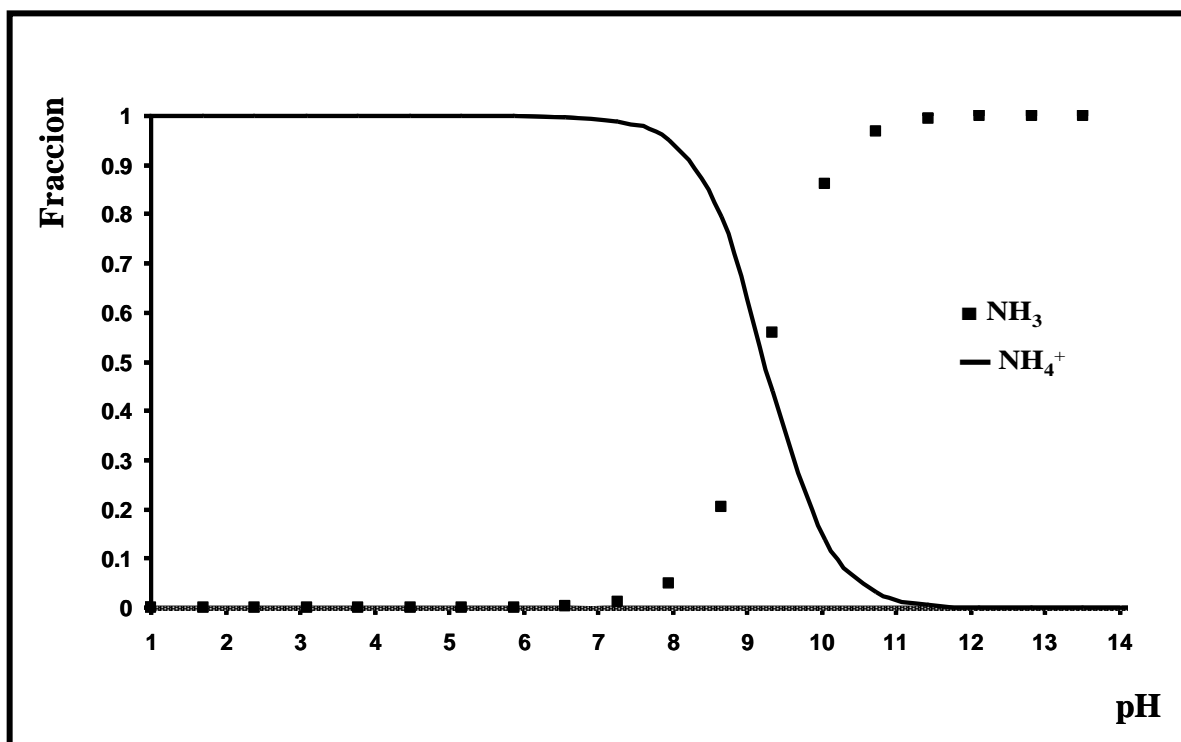
Fuente: Elaboración propia del autor, año 2012

En cuanto al nitrógeno, el contexto se complica un tanto más, ya que como se observo en la Tabla 5.25 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 (NH₄⁺), nitrato (NO₃⁻)¹) y nitrito (NO₂⁻¹), esto se puede apreciar en la Figura 4.

En la Figura 5.26 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 (NH₄⁺), 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 (NH₃), 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.

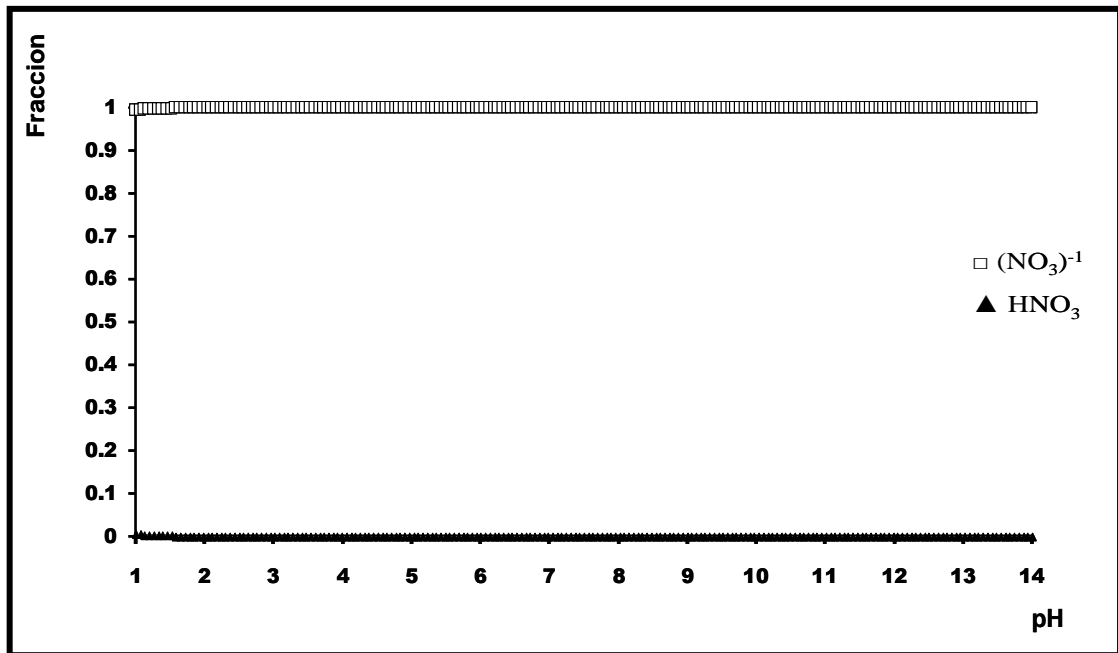
Figura 5.26.- Diagrama de predominio para el nitrógeno, en forma de amonio



Fuente: propia del autor, año 2012

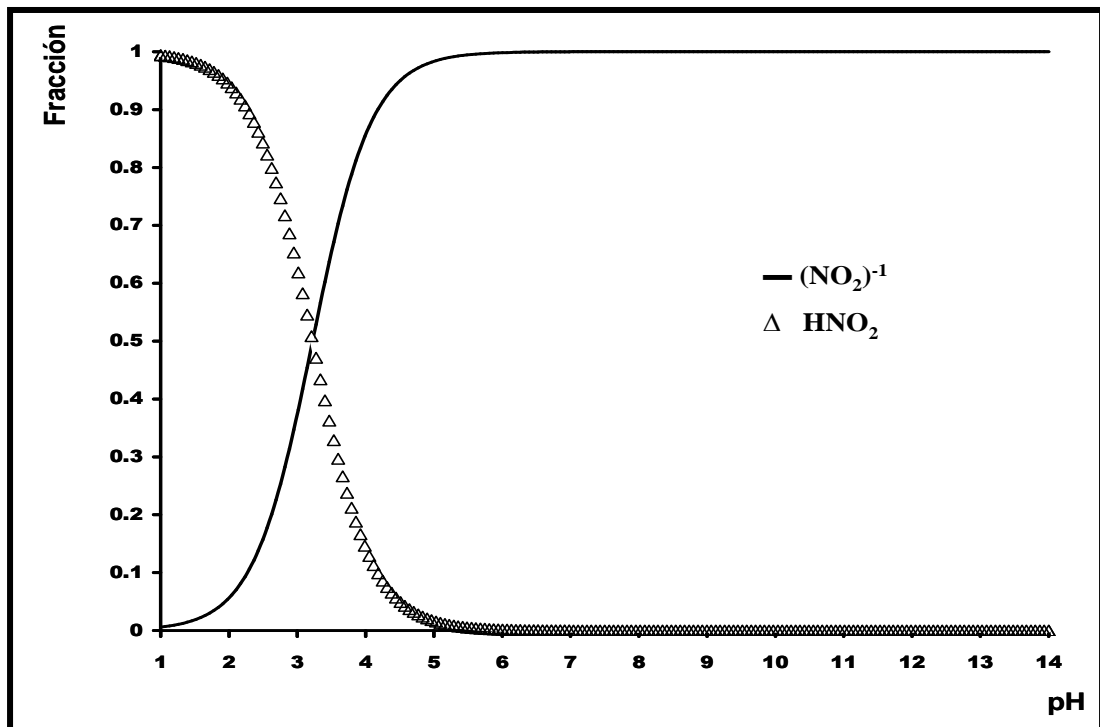
Se realizaron los mismos análisis para las especies del nitrógeno en forma de nitrato y nitrito. En ambos análisis se pudo constatar que al pH propuesto, las especies que predominaron fueron respectivamente el nitrato sobre el ácido nítrico y el nitrito sobre al ácido nitroso. Esto aprecia en las Figuras 5.27 y 5.28.

Figura 5.27 Diagrama de predominio para el nitrógeno en forma de nitrito



Fuente: Propia del autor, año 2012

Figura 5.28 Diagrama de predominio del nitrógeno en forma de nitrato

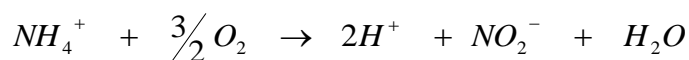


Fuente: propia del autor, año 2012

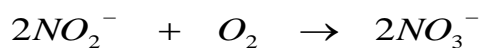
En las Figuras 5.27 y 5.28 correspondientes se puede apreciar que las dos especies alcanzan casi el 100 % de predominio, lo cual ayudo a predecir que reacciones experimentaran ambas especies químicas en el ambiente edáfico citado.

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]



[II]



[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]



[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.

5.7 Predicción de transferencia de nutrientes

En las predicciones de transferencia de nutrientes debemos de considerar los dos tipos de vermicomposteo de los lodos residuales, uno de manera cruda y otro que contiene un porcentaje en peso de residuos orgánicos. Los resultados de las correspondientes caracterizaciones fisicoquímicas muestran que los niveles de los nutrientes son más altos en el humus generado del lodo con residuos orgánicos incorporados, con esto se espera que la cantidad de nutrientes que sean transferidos a los suelos estudiados sea en mayor proporción comparado con el otro tipo de humus generado del lodo crudo.

Por otro lado hay que considerar también el origen de los lodos residuales, en este caso particular como se mencionó estos fueron recolectados de una planta tratadora de aguas residuales, cuyas aguas contienen gran cantidad de

sustancias químicas de naturaleza orgánica, las cuales son consideradas como residuos de varios procesos industriales entre los cuales podemos citar a las farmacéuticas, alimentos, colorantes, polímeros, papel, etc. Esto da una idea de la gran diversidad de componentes orgánicos fueron metabolizados en un inicio por la lombriz californiana al realizar el vermicomposteo de dichos lodos,

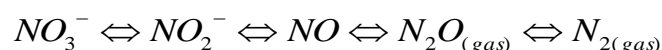
Al momento de agregar el humus este experimentará varias reacciones metabólicas, de inicio el grupo de bacterias no esporógenas utilizarán los materiales orgánicos más asequibles, aminoácido, proteínas, disacáridos etc. Posteriormente aparecerán las bacterias esporógenas que metabolizaran compuestos más complejos que pudieran encontrarse en el humus. Para ser más específicos con la adición del humus de la vermicomposta se propone los siguientes escenarios que se presentaran en los suelos al momento de adicionar el humus y que a continuación se enlistan:

- La presencia de materia orgánica será fuente de energía para los microorganismos y microfauna.
- Se espera que las reacciones de condensación y polimerización se incrementen resultando finalmente en el aumento de la concentración de ácido fúlvicos y húmicos, cuya proporción variara dependiendo de las condiciones externas que se presenten en el suelo.
- Con la adición de la vermicomposta se espera que la concentración de materia orgánica aumente en los suelos señalados, esto traerá efectos

positivos en sus propiedades químicas, físicas y biológicas. Este último tiene una función nutricional ya que actuara como una fuente de N, P y S para el crecimiento de las plantas, afectará profundamente la actividad de la microflora y la microfauna de igual manera promoverá una buena estructura, con lo cual mejora las labores de labranza, aireación y la retención de humedad.

- La acción microbiana puede mineralizar o inmovilizar el nitrógeno, si la relación carbono: nitrógeno es de 32:1 constituye un punto de equilibrio para la descomposición de los materiales orgánicos, este caso si se agrega el humus la proporción de C:N será mayor entonces una parte del nitrógeno será inmovilizado.
- Se espera un incremento en la producción del humus, el cual tendrá un rol indirecto en el suelo a través de sus efectos sobre la absorción de micro nutrientes por las plantas y la performance de los herbicidas y otros productos químicos de uso agrícola.
- Las propiedades químicas del suelo mejorarán en cuanto a la retención de agua, lo cual ayudará en la prevención de desecamiento, aumentará la formación de complejos con cationes polivalentes lo cual mejorara la disponibilidad de los micronutrientes para la plantas.
- La acción buffer se fortalecerá, ya que la materia orgánica mantendrá un valor de pH constante.

- La capacidad de intercambio (CIC) aumentará drásticamente, debido a la presencia de la materia orgánica.
- Aumentará la mineralización, esto generara CO_2 , $(\text{NH}_4)^+$, $(\text{NO}_3)^-$, $(\text{PO}_4)^{-3}$, $(\text{SO}_4)^{-2}$.
- Se puede presentar un efecto de descomposición llamado “*priming*” el cual se caracteriza por incremento en la emisión y pérdida de CO_2 por parte de los suelos, debido a una descomposición de la materia orgánica cuyo origen es la actividad microbiana inducida por el incremento de la materia orgánica. Cabe señalar que si la calidad de la materia orgánica es buena en grado de pureza será proporcional a la cantidad de CO_2 liberado del suelo.
- A la par de la mineralización, también se presenta la desnitrificación, esto debido principalmente a que el pH del suelo es neutro, hay presencia de materia orgánica, esto como se indico hay presencia de microorganismos, esto se deriva en una transformación del nitrato, esto se presentara ya que las bacterias tomaran al nitrato como aceptor de electrones para su respiración reemplazando al oxígeno. La reacción química que se propone es la siguiente:



Con lo cual el nitrógeno es emitido a la atmosfera en forma de nitrógeno diatómico.

- Afectará positivamente a la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de los fertilizantes por parte de los suelos.

- En función del tiempo, se formarán complejos los cuales unirán partículas de suelos en unidades llamadas agregados, con su presencia el agua se podrá infiltrar y percolar a través del suelo. De igual manera esto mantendrá la estructura porosa frente a la acción dispersante del agua.

- Se incrementara el tamaño de los poros, esto facilitara el intercambio de gases entre el suelo y la atmosfera, permitiendo el aporte del O₂ para las plantas.

- En cuanto a los micronutrientes de los elementos de potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc, estos estarán disponibles en el rango de pH que se propone para el crecimiento de plantas verdes, si se propone incorporar este humus de vermicomposta a los suelos que fueron utilizados para la agricultura.

5.8 Caracterización de los suelos con los productos del vermicomposteo

En la tabla 5.29 se muestran los resultados de la agregación de el producto vermicomposteadado a los diferentes tipos de suelo muestreados en los distintos parámetros caracterizados.

Tabla 5.29

Resultados de la caracterización fisicoquímica de los humus del vermicomposteo de lodos residuales en las muestras de suelo

Comunidad	Suelo	MO		C		%N		C/N		pH		HUMEDAD	
		%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20
Rosa Morada	Bosque1	7.72	7.80	3.9	3.98	3.18	3.57	19.37	19.64	6.6	6.9	92.05	93.24
	Bosque2	4.42	4.50	7.4	7.5	3.17	3.56	7.07	7.34	5.8	6.2	66.50	66.52
	Cultivo1	4.72	4.80	2.7	2.8	3.19	3.58	14.19	14.45	6.3	6.5	51.3	53.12
	Cultivo2	4.22	4.30	2.4	2.5	3.11	3.5	16.6	16.90	5.6	5.9	59.60	60.04
	Pradera1	6.92	7.72	3.3	3.4	3.3	3.69	13.07	13.34	6.4	6.7	60.76	62.50
	Pradera2	8.02	8.03	4.9	5.1	3.3	3.69	17.27	17.54	6.2	6.6	43.99	44.021
Dilatada	Bosque1	17.22	17.30	6.3	6.4	3.26	3.65	23.17	23.44	7.0	7.1	87.33	89.56
	Bosque2	11.22	11.30	5.9	6.1	3.25	3.64	22.18	22.44	6.9	7.0	95.90	95.82
	Cultivo1	5.82	5.90	3.5	3.6	3.06	3.21	28.17	28.42	6.1	6.4	37.53	38.42
	Cultivo2	7.12	7.2	4.3	4.6	3.07	3.12	33.23	33.56	5.6	5.9	41.38	44.13
	Pradera1	5.02	5.10	2.9	3.3	2.98	3.16	52.14	52.55	5.7	5.9	46.97	48.33
	Pradera2	5.72	5.80	3.4	3.5	2.99	3.22	51.57	54.84	5.8	5.9	50.23	51.41

Fuente: propia del autor, año 2012

Continúa tabla 5.29

Comunidad	Suelo	MO		C		%N		C/N		pH		HUMEDAD	
		%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20	%10	%20
El Capulín	Bosque1	25.52	25.60	8.7	9.5	3.26	3.32	30.42	30.83	6.1	6.3	87.29	88.92
	Bosque2	30.52	30.60	11.8	12.6	3.27	3.45	38.20	38.57	6.1	6.5	91.76	91.89
	Cultivo1	4.52	4.60	2.6	3.1	2.98	3.6	46.38	46.64	5.7	6.2	46.24	48.52
	Cultivo2	3.62	3.70	11.0	12.3	2.98	3.75	35.60	35.91	5.5	5.7	37.97	38.65
	Pradera1	4.72	4.80	2.7	2.9	2.98	3.37	48.07	48.33	5.9	6.1	35.13	36.11
	Pradera2	5.82	5.90	3.5	3.6	3.06	3.14	28.35	28.66	5.8	6.1	37.84	38.76

Fuente: propia del autor, año 2012

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Derivado del análisis de resultados arrojados de la caracterización del producto del vermicomposteo y de la predicción en cuanto a la transferencia de nutrientes a los tres tipos de suelo, se concluye lo siguiente:

- El lodo residual proveniente de la planta Tratadora de Agua Reciclada, al ser sometido a un proceso de vermicomposteo aporta una gran cantidad de componentes orgánicos, y gracias a la biodigestión de la lombriz se neutralizan aquellos metales pesados y/o sustancias patógenas que aun se pudieron quedar después del tratamiento.
- Los niveles de nutrientes es mayor en el humus generado a partir de lodos con residuos orgánicos incorporados, ya que los resultados muestran un incremento en la cantidad de materia orgánica, así como de micro y macro nutrientes.
- El producto de humus vermicompostado generó un aumento en el porcentaje de propiedades químicas, físicas y biológicas de las muestras de suelo para este estudio.
- El humus mejorado incorporado al suelo, principalmente en los suelos de cultivo se ven favorecidos por el aumento de Materia Orgánica, la cual cubre la función nutricional de las plantas e implica la regeneración de suelos erosionados.

- La transferencia de nutrientes del humus mejorado a los suelos de las 3 comunidades (Rosa morada, El Capulín y Dilatada) presentan aumento en sus niveles de MO, C, N, y C/N, el pH se mantiene neutro, lo cuál implica un beneficio a los tres tipos de suelos.
- En el caso de las muestras de suelo “Bosque” en las tres comunidades se observa un ligero aumento de nutrientes, no obstante y debido al impacto que se ha generado actualmente por la presión poblacional, y al ser este un ecosistema frágil, solo es cuestión de tiempo para que se pierda condiciones que guardan estos suelos,.
- En la Comunidad de El Capulín se observaron en mayor porcentaje la transferencia de nutrientes en bosques, en cultivo y en pradera.
- La capacidad de intercambio (CIC) aumento, debido a la presencia de Materia Orgánica en mayor cantidad.
- La presencia de Potasio derivado de la Vermicomposta del lodo mejorado, genera una mejora a la permeabilidad del suelo, favoreciendo en primer lugar al crecimiento de la planta y a la recarga de mantos acuíferos.

- Se facilita el intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera, permitiendo el aporte de oxígeno a las plantas.
- La aportación significativa de micro nutrientes a los suelos degradados, erosionados, propicia su recuperación paulatina y fortalece la planta.
- Los suelos forestales del Parque Nacional Nevado de Toluca se ven afectados por diversas actividades antropogénicas el cambio de uso de suelo, el sobre pastoreo, incendios, tala clandestina, etc. El continuo desgaste, erosión y pérdida de nutrientes, genera un problema grave. La implementación de técnicas de bioremedación como lo es la transferencia de nutrientes a partir del vermicomposteo de lodos residuales es una alternativa sustentable para la recuperación de suelos, con lo cual se podrán continuar los procesos biológicos, químicos y físicos del ecosistema.
- Así mismo la aplicación del humus mejorado, contribuirá al crecimiento y adición de nutrientes en áreas agrícolas.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta G., Yudith M. (1995). Aplicación de los Lodos Provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (TAS) de Maraven-Cardón para el Mejoramiento del Suelo. Tesis de Grado. Mg. Sc. Universidad del Zulia. Maracaibo. Venezuela.

Aguilera Herrera Nicolás (1989). Tratado de Edafología de México. Tomo I. Laboratorio de Investigación de Edafología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. Pp. 215

Anderson, D. L. (1992). The sugarcane plant and magnesium. *Sugar Journal* 55 (1):12.

Barrios Pérez José Antonio. Tratamiento y aplicación de lodos residuales en México. Sexto Congreso de Químicos Farmacéuticos Universidad Autónoma de Nuevo León. Agosto de 2004.

Báscones Elena Merino (2008). Análisis de Suelo y Consejos de Abonado. INEA. Laboratorio de Análisis Agrícola. Provincial de Valladolid. <http://www.inea.uva.es/web/materiales/pdf/analisis%20de%20suelosconsejo%20de%20abonados.pdf>. 2008. Consulta 18 de marzo de 2008.

Blanco Edith, Carmen Cárdenas, Víctor A. Granadillo, Daisy Isea, Judith Sepúlveda, José Delgado (2005). Caracterización inicial de lodos sobrenadantes residuales

provenientes de las lagunas de estabilización de LUZ para su utilización en el acondicionamiento de suelos. CIENCIA 13(1), 85-93, 2005 Maracaibo, Venezuela.

Blum, W. E. H (1998). Problems of Soil Conservation. Council of Europe, Strasbourg. Nature and Environmental. Series 39:62.

Brady NC, Weil RW (1999). The nature and properties of soils. 12a. ed. Prentice Hall. N.J. USA. 750 pp.

Brady & Weil, (2002). Pools de la Materia Orgánica del Suelo.

Cai, Mulin., Junxin, Liu. and Yuangsong, Wei (2004) "Enhanced Biohydrogen Production from Sewage Sludge with Alkaline Pretreatment" *Environ. Sci. Technol.* 38, 3195-3202

Cardosa Vigueros, Ramírez Camperos. (2002). Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for México. *Water Sci Technol.* Vol. (46):153-158.

Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB), la Habana Cuba.

www.sidsnet.org/docshare/other/20031105173627_Vertimiento_de_lodos_residuales_a_l_mar.ppt. 26 de septiembre de 2008.

Cepeda Dávila Juan Manuel (1985). Química de Suelos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. Pp. 245

Chávez Valdez Manuel (2002). Evaluación de las características fisicoquímicas del follaje de maíz, cultivado en suelo mejorado con lodos residuales municipales. Tesis de maestría. Facultad de Química. Universidad Autónoma del Estado de México. Toluca México.

Cotler Ávalos. Helena (2003). Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña Conservación de ecosistemas templados de montaña. Instituto Nacional de Ecología, México.

CSR. Consultoría Agrícola y Medioambiental (2006). *Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la Utilización de los Lodos de Depuración en el Sector Agrario.* (BOE 262/1990 de 01-11-1990, pág. 32339)

Cuevas B. José, Oscar Seguel S., Achim Ellies Sch., José Dörner F. (2006). Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial

referencias a la adición de lodos urbanos. R.C.Suelo Nutr. Veg. 6 (2) 2006 (1- 12) J.Soil Sc. Plant. Nutr.6 (2) 2006 (1- 12).

Dalal RC, Mayer RJ (1986) Long –term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in southern Queensland. II. Total organic carbon and its rate of loss from the soil profile. *Aust. J. Soil Res.* 24: 281-292.

Davies Bryan, David Eagle, Brian Finney (1987). Manejo del suelo. 4ª edición. Ed. El Ateneo, Buenos Aires Argentina.

Davis, R.D. (1996). The impact of EU and UK Environmental Pressures on the Future of Sludge Treatment and Disposal. *Water Environ. Manage* 10:65-69

Del Álamo Jiménez José Carlos (2007). Bosques y Cambio Climático: La función de los bosques como sumideros de carbono y su contribución al cumplimiento del Protocolo de Kioto por parte de España. Ponencia: Foro de Bosques y Cambio Climático. España.

Duchaufor, P. H. (1984). Edafología: I: Edafogenesis y clasificación. Versión española por T. Carballas (CSIC). T- Masson ed; Barcelona.

FitzPatrick, E. A. (1996). Introducción a la ciencia de los suelos. Trillas, México D.F.

Genevini P.L.; Vismara R.; Mezzanotte V. (1986). Utilizzo agricolo dei fanghi di depurazione. Ingegneria ambientale, 5. Milano.

GLAUB, J.C. AND GOLUEKE, C.G. (1989). Organics Wastes and Composts for soils. Ar. Soil Res. Rehabil; vol.3, nº 2.

González-Fernández, P., Rafaela Ordóñez Fernández J. V., Giráldez Cervera Manuel Ángel Aguilar Torres (2002). Utilización de lodos de depuradoras en la conservación del suelo de los olivares y como enmienda orgánica. CIFA-Alameda del Obispo. Córdoba.

González Guerrero Martha Alicia, Leopoldo Fernando Villafaña Esquivel (2004). Notas de Química del Suelo, UAEM. Facultad de Planeación Urbana y Regional.

Guerrero Andrés (2000). El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos. 2ª reimpresión. Mundi-prensa. España.

Gutiérrez, C.M.A. (1995). Potasio y calcio aplicado al suelo y su influencia en la productividad y calidad en hortalizas. Instituto Tecnológico de Sonora, Cd. Obregón, Son.

Instituto Nacional de Ecología (INE) (2002). Estimación del Costo de Oportunidad del Uso de Suelo Forestal en Ejidos a Nivel Nacional Centro Empresarial de Asesoría, S.C. Dirección General de Investigación en Política y Economía Ambiental.

Jenkinson, D. S; Ladd, J. N. (1981). Microbial Biomass in Soils: measurement and turnover. *In: E. A. Paul & J. N. Ladd (eds.), Soil Biochemistry Vol. 5.* Marcel Dekker New York, pp. 415-417.

Kern, J. S. y M. G. Johnson (1993). Conservation tillage impacts on national and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57:200-210.

Lal, R. (1999). Global carbon pools and fluxes and the impact of agricultural intensification and judicious land use, 45-55 En: *World Soils Resources Report, Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean.* Proceedings of an IFAD/FAO Expert Consultation, FAO, 113 p.

Lavado Raúl S., Miguel A. Taboada (2002). Factibilidad de valorización agrícola de biosólidos de plantas depuradoras. Manual de procedimientos para la aplicación en el campo. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Legret M.; Divet L.; Juste C. (1988). Migration et speciation des metaux lourds dans un sol soumis à des epandages de boues de station d'epuration à très forte charge en Cd et Ni. Wat. Res., 22 (8), 953-959.

Lewis, D. L., Gattie, D. K., Novak, M. E., Sánchez, S. AND Pumphrey, C. (2002). Interacciones of pathogens and irritant chemicals in land-applied sewage sludges (biosolids). BMC Public Health 2: 11- 18. In: <http://www.biomedcentral.com/1471-2458/2/11>

Llorente Isidro Miguel (2002). Formaciones Superficiales, Resumen del Manual de Edafología. P. H. Douchafour, 1987. Universidad de Salamanca

Marambio, C. Y Ortega, R. (2003). Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile. Revista Agronomía y Forestal UC 20: 20-23.

Medina-Méndez J, VH Volke-Haller, J. González-Ríos, A. Galvis-Spínola, M. J. Santiago-Cruz, J. I. Cortés-Flores (2006). Cambios en las propiedades físicas del suelo a través del tiempo en los sistemas de maíz bajo temporal y mango bajo riego en luvisoles del Estado de Campeche. Universidad y Ciencia 22 (2):175-189.

Morales Rojo Paola Mariel (2005). Digestión Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento de Aguas y su aprovechamiento. Tesis de Licenciatura. Ingeniería Química con área en Ingeniería Ambiental. Universidad de las Américas Puebla.

Norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Protección ambiental. Lodos y Biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. Viernes 15 de agosto de 2003.

Nriagu, J. AND Pacyna, M. (1988). Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333: 134-139.

Ottaviani M.; Santarsiero A.; De Fulvio S. (1991). Hygienic, technical and legislative aspects of agricultural sewage sludge usage. *Acta Chim. Hung.* 128 (4 - 5), 535-543.

Pankhurst, C. E. (1997). Biodiversity of Soil Organisms as an Indicator of Soil Health. *In*: C. E. Pankhurst & B. M. Doube, V. V. R. S. Gupta (eds.), *Biological Indicators of Soil Health*. Chap. 12. CAB Int., U. K., pp. 297-324.

Pritchett, W. L. (1990) *Suelos Forestales. Propiedades, conservación y mejoramiento*. Limusa Noriega, México.

Quid (1983). *Gran enciclopedia universal QUID ilustrada*, Promesa, México.

Reed G. P., N. P. Paterson, Y. Zhuo, D. R. Dugwell and R. Kandiyoti (2005) "Trace Element Distribution in Sewage Sludge Gasification: Source and Temperature Effects" *Energy & Fuels*. 19, 298-304

Reyes J., Martínez S., Sastre A., Bigeriego M. y M. Porcel (1996) "Resultados preeliminares de la aplicación de lodos de depuradora como fertilizante y su implicación en la migración de nitratos a través de una zona no saturada". *Geogaceta* 20: 1284-1288

Rodríguez, S.A. (1992). Fertilizantes, nutrición vegetal. AGT editor. Segunda reimpresión. México, D.F.

Salcedo-Pérez Eduardo, Antonio Vázquez-Alarcón, Laksmi Krishnamurthy, Francisco Zamora-Natera, Efrén Hernández-Álvarez, Ramón Rodríguez Macías (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. INCI v.32 n.2 Caracas feb. 2007.

Sampat, A. Gavande (1991). Física de Suelos, principios y aplicación. 7ª Edición, Limusa Noriega, México.

Schnitzer M. (1991). Soil organic matter - The next 75 years. *Soil Sci.*, 151 (1), 41-58.

Seames Wayne S., Art Fernandez and Jost O. L. Wendt (2002) "A study of Fine Particulate Emissions from Combustion of Treated Pulverized Municipal Sewage Sludge" *Environ. Sci. Technol.* 36, 2772-2776

Sombroek, W. G., F. O. Nachtergaele y A. Hebel. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical soils. *Ambio* (12)7: 417-426.

Tester C.F. (1990). Organic amendment effects on physical and chemical properties of a sandy soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54(3), 827-831.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (1994) "Biosolids Recycled beneficial technology for a better environment" EPA 832-R-094-009.

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2000) "Biosolids Technology Fact Sheet. In-Vessel Composting of Biosolids" EPA 832-F-00-061

United States Environmental Protection Agency (EPA) (2000) "Biosolids Technology Fact Sheet. Land Application of Biosolids" EPA 832-F-00-061

Vaca, P. R., Quinto, C. L., García, V. E., Morquecho, C. A. Lugo. (1993) "Determinación de Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn en Zea mays y suelo enmendado con lodos residuales". *Fac. de Ciencias, UAEM. Toluca México* pp. 3-33.

Valdéz Pérez M. A., Ramos Valdivia A. C., Franco Hernández M. O., Flores Cotera L. B., Dendooven L. (2008). Biosólidos estabilizados y vermicomposta de biosólidos como fuente de nitrógeno en cultivos de frijol. http://64.233.179.104/scholar?hl=es&lr=lang_es&scoring=r&q=cache:KfAKVGneSakJ:www.femisca.org/publicaciones/XVcongreso/XVCNIS085.pdf+reciclagua. Jueves 10 de julio de 2008.

Vanhala, P; Kapanen, A; Fritze, H; Maarit Niemi, R. (1998). Microbial Activity and Biomass in Four Finnish Conifers Forest Soils – Spatial Variability and Effect on Heavy Metals. *Boreal Environment Research* 3:287-294.

Weetman, G.F.; Webber, B. (1972). The influence of wood harvesting the nutrients status of two spruce stands. *Can. J. For. Res.*, 2, 315-369

Winkler M. (1994). *Tratamientos Biológicos de Aguas de Desechos*, 3era Edición, Editorial Limusa, México D.F. (México), p. 334.