



UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA DE
NICARAGUA,
MANAGUA

UNAN-MANAGUA

Facultad Regional Multidisciplinaria, FAREM–Estelí
**Propuesta para el aprovechamiento de lodos del sistema
de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí,
I semestre 2017**

Trabajo de seminario de graduación para optar

al grado de

Ingeniero Ambiental

Autor

Claudia del Socorro López Calero

Yolanda Patricia Herrera González

Tutor

M.Sc. Kenny López Benavides

Estelí, Enero 2018



Tema:

Propuesta para el aprovechamiento de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, I semestre 2017



RESUMEN

La investigación se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí. El montaje del experimento se instaló en la estación experimental para el estudio del trópico seco “El Limón” UNAN-Managua/ FAREM-Estelí; el cual tuvo como propósito realizar una propuesta de aprovechamiento de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, como alternativa para la generación de biocompost.

Se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA) cinco bloques con tres réplicas cada uno, a los cuales se les introdujo diferentes tipos de sustratos: tratamientos experimentales como: Estiércol Bovino, Desperdicios de Frutas (Papaya, Sandía), Estiércol Ovino, Pasto Forrajero, la Combinación de los antes mencionados, utilizando la lombriz *Eisenia foetida* (Roja Californiana). En el experimento se procedió a evaluar las siguientes variables: Porcentaje de Materia Orgánica, Huevos de Helminto, Coliformes Termo Tolerantes, Nitrógeno Total, Fosforo Total, PH, Temperatura, y el Porcentaje de Humedad.

En el proceso se monitoreó el experimento obteniendo como resultado lo siguiente: la lombriz *Eisenia foetida* (roja californiana) puede sobrevivir en los cinco sustratos, con una mejor adaptación y humificación en el sustrato correspondiente a Estiércol Bovino, debido al alto porcentaje de materia orgánica que posee. En dicho sustrato, hay una producción de lombrices adecuada y aportación de nutrientes en el humus que permite la obtención de un abono de buena calidad.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado en primera instancia a Dios nuestro señor quien nos ha dado la salud, sabiduría, paciencia, tolerancia, y esmero.

A nuestros queridos padres que, con su apoyo incondicional, sacrificio y esfuerzo para con nosotros, ayuda que nos han permitido elaborar con éxito y honores este importante trabajo, el cual es la base de nuestras metas futuras.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradecemos a Dios por la oportunidad que nos dio por haber concluido este trabajo de investigación.

A nuestros padres por su apoyo incondicional a lo largo de nuestros estudios, a nuestros asesores, M.Sc. Kenny López Benavides y M.Sc. Edgardo Javier palacios.

A nuestros colaboradores Jeyner Vallecillo y Hawarth Acuña, por darnos la oportunidad de trabajar con ellos esta investigación y porque nos brindaron sus conocimientos y su apoyo incondicional.

A la Empresa Nacional de Acueductos y Alcantarillado (ENACAL) por su colaboración en la extracción de los Lodos Residuales del Sistema de tratamiento de Aguas Residuales.

Al Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua (CIRA) Por su valiosa colaboración dentro del marco del convenio en el descuento en nuestros análisis de laboratorio.

Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	10
II.	OBJETIVOS.....	12
2.1	GENERAL.....	12
2.2	ESPECÍFICOS.....	12
III.	MARCO TEÓRICO.....	13
3.1	ASPECTOS GENERALES DE LOS LODOS RESIDUALES.....	13
3.1.1	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	13
3.1.2	Producción de Lodos en las STAR.....	13
3.1.3	Lodos residuales.....	13
3.1.4	Compostaje de lodos.....	14
3.1.5	Compostaje.....	14
3.1.6	Lombriz.....	14
3.1.7	Lombricompostaje o lombricultura.....	14
3.2	PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICO Y BIOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL APROVECHABLE DEL LODO RESIDUAL.....	15
3.2.1	Humedad.....	15
3.2.2	Riego.....	15
3.2.3	Temperatura.....	15
3.2.4	Aireación.....	15
3.2.5	Materia Orgánica (MO).....	16
3.2.6	Nitrógeno Total (NT).....	16
3.2.7	Fósforo Total (FT).....	17
IV.	HIPÓTESIS.....	18
V.	MATERIALES Y MÉTODO.....	19
5.1	Área de Estudio.....	19
5.2	Instalación de los tratamientos experimentales.....	19
5.3	Tipo de Estudio.....	20
5.6	Diseño de caseta.....	20
5.7	Diseño experimental.....	21
5.8	Métodos de análisis de laboratorio.....	22
5.9	Método de análisis estadístico.....	23
5.10	Control del pH.....	23
5.11	Control de temperatura.....	23

5.12 Oxigenación y volteo	24
5.13 Alimentación	24
5.14 Riego.....	24
VI. RESULTADOS Y DISCUSION	26
6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LODOS RESIDUALES.....	26
6.1.1 Dinámica del comportamiento de la materia orgánica.....	26
6.1.2. Dinámica del comportamiento del Nitrógeno total.....	26
6.1.4 Dinámica del comportamiento de Coliformes termo tolerantes (Coliformes fecales) 27	
6.1.5 Dinámica del comportamiento de la Temperatura promedio.....	28
6.1.6 Dinámica del comportamiento de pH promedio	29
6.1.7 Dinámica del comportamiento del % de Humedad media.....	29
6.1.8 Dinámica de la sobrevivencia de la lombriz Roja Californiana.....	30
6.1.9 Reproducción de la lombriz	31
6.1.9.1 Parámetros para la reproducción de la lombriz.....	31
VII. Efecto de la combinación del lodo residual con cinco sustratos en la sobrevivencia de la <i>Eisenia foetida</i> Savigny (lombriz roja californiana).	33
7.1 Características de los sustratos	33
7.2 Lodo residual más estiércol bovino	33
7.2.1 Estiércol fresco:.....	33
7.2.2 Estiércol maduro:	34
7.2.3 Estiércol viejo:	34
7.2.3 Estiércol ovino	34
7.3 Lodo residual más desperdicios de frutas (sandía, papaya).....	34
7.4 Lodo residual más pasto forrajero	35
7.4.1 Composición química del pasto forrajero	35
VIII. PROPUESTA	36
8.1 Nombre de la propuesta	36
8.2 Beneficiarios de la propuesta	36
8.3 Objetivo	36
8.4 Introducción	37
8.5 Proceso del compostaje de lodos	38
8.5.1 Definiciones del compostaje.....	38
8.5.3 Fases del compostaje.....	38

8.6 TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES	39
8.7 Tratamiento preliminar del lodo residual para la reducción de patógenos	41
8.7.1 Estabilización con cal.....	41
8.7.3 Principios y criterios para la estabilización con cal.....	42
IX. CONCLUSION	44
X. RECOMENDACIONES.....	45
IX. ANEXOS	46
Bibliografía.....	53

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) de la ciudad de Estelí, produce $8 m^3$ de lodos primarios por semana y es dispuesto sin tratamiento en un lecho de secado y deshidratados a orillas de la planta durante un periodo indefinido, seguido de este proceso son recolectados y trasladados fuera de las pilas a un predio baldío, introduciéndole cal, de esta manera van perdiendo el potencial de aprovechamiento.

Debido a la crisis ambiental que enfrentan actualmente Nicaragua y el mundo, es de gran importancia ir en la búsqueda de alternativas para el tratamiento y disposición final de los lodos generados por los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

Es por ello que proponemos un aprovechamiento de los lodos residuales para que de esta manera los lodos residuales sean transformados a vermicomposta o lombricompostaje que ayudara a los agricultores locales a usarlo como abono para sus plantas y de esta manera ayudar al medio ambiente.

El composteo es un proceso biológico aerobio de oxidación de materia orgánica, realizada por una sucesión dinámica de microorganismos de cuya actividad se genera calor que hace que la temperatura ascienda por arriba de los $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante varios días consecutivos. Esto destruye a los patógenos y da origen a un producto estable e inocuo, de color marrón oscuro, inodoro o con olor a humus, llamado composta, usada para mejorar la calidad del suelo agrícola (Villamizar, 2004).

En Nicaragua no existe ninguna norma obligatoria que rijan el tratamiento de los lodos provenientes STAR, por lo que se acudirá a normativas extranjeras principalmente la de México (NOM-004), que rige el tratamiento de estos lodos; hay que destacar que estas normativas utilizadas presentan parámetros que varían de acuerdo al clima, temperatura y la zona donde se ubica el STAR (Villamizar, 2004).

Es muy importante tomar en cuenta que Estelí es uno de los departamentos en el cual se practican las actividades agrícolas y ganadera teniendo en cuenta la tarea de mejorar la producción agropecuaria elaborando abonos orgánicos provenientes de los sólidos producido por el STAR.

La agricultura entra en el siglo XXI, cargada de problemas nuevos, incógnitas que no sabemos si vamos a ser capaces de resolver, los cambios socioeconómicos del presente siglo han llevado a una progresiva intensificación de la producción agraria. Los elevados consumos de agua, la fuerte mecanización y la utilización de

productos químicos, constituye elemento característico de esta nueva agricultura llamada industrial o química. (Olalla, 2000)

II. OBJETIVOS

2.1 GENERAL

Evaluar las características físicas, químicas, biológicas en lodos residuales como materia prima, para la generación de biocompost y la sobrevivencia de *Eisenia foetida*.

2.2 ESPECÍFICOS

2.2.1. Determinar el potencial aprovechable de los lodos, a partir de sus características físicas, químicas y biológicas.

2.2.2. Determinar el efecto de la combinación del lodo residual con cinco sustratos en la sobrevivencia de la *Eisenia foetida* Savigny (lombriz roja californiana).

2.2.3 Formular una propuesta de aprovechamiento de lodos residuales para la generación de biocompost.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 ASPECTOS GENERALES DE LOS LODOS RESIDUALES

3.1.1 Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

El diseño del Sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, está conformado por una laguna de secado para lodos, un lecho de secado de lodos, tres reactores anaeróbicos abiertos, tres lagunas facultativas y tres lagunas de maduración todas estas lagunas construidas de forma paralelas. (ENACAL, 2016)

El proyecto se realizó utilizando el cumplimiento de los objetivos, los cuales fueron planteados para seguir un orden de actividades en un tiempo determinado. El inicio del proyecto se dio por la necesidad de aprovechar los lodos generados en el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) de la ciudad de Estelí; para desarrollar el proyecto se llevó a cabo un estudio previo de localización, área de construcción y variables medio ambientales que pueden influir en los lombricultivos como son temperatura, humedad, luminosidad, pluviosidad, etc.

3.1.2 Producción de Lodos en las STAR

Las diferentes actividades productivas y domésticas producen grandes cantidades de aguas residuales, las cuales contienen una diversidad amplia de contaminantes. Estas aguas deben ser procesadas en las STAR para su reúso o disposición con una calidad mayor. La calidad se mejora al eliminar los contaminantes. Dichos contaminantes son eliminados en diferentes puntos del proceso en forma de lodos, siendo éstos un concentrado de los compuestos más dañinos que constituyen dichas aguas. Las aguas residuales presentan cada una ciertas características particulares que van a determinar cuál será el tratamiento más adecuado a aplicar en cada caso (Trejos & Agudelo, 2012).

3.1.3 Lodos residuales

Son sólidos acumulados separados de las aguas residuales generados en los sistemas de tratamiento de aguas residuales. El lodo es gris pegajoso, de olor ofensivo, proveniente de los sedimentadores primarios, generalmente fácil de digerir (Trejos & Agudelo, 2012).

3.1.4 Compostaje de lodos

Uno de los tratamientos que desde siempre se ha aplicado para estabilizar la materia orgánica es el compostaje. Es un sistema de fundamento sencillo, versátil y puede aplicarse a diferentes tipos de materiales; se le considera económico y ecológico. Se ha comprobado que existe el peligro de confundir sencillez de descontrol o improvisación. El compostaje exige unas condiciones de trabajo que debe cuidarse y unas señales de alerta que tienen que saber interpretar, en caso contrario deja de ser económico y ambientalmente aceptable.

Aunque la mayoría de materiales orgánicos se puedan compostar, frecuentemente no se aplica el proceso adecuadamente o no se hace sobre los materiales convenientes para el producto que se pretende obtener. (Inversanet, 2016)

3.1.5 Compostaje

El composteo es la descomposición de la materia orgánica por microorganismos en un ambiente con condiciones controladas, facilitando un incremento de la temperatura (entre 55° y 60° C) para destruir los patógenos. Los niveles de oxigenación y humedad de este proceso también son controlados para reducir la eventual producción de malos olores. Durante el proceso, la materia orgánica es degradada hasta un humus con excelentes propiedades para el suelo, con un pH de 6.5 a 8, que favorece el crecimiento saludable de las plantas y tiene la capacidad de retención de agua.

La composta se puede obtener mediante la descomposición de la materia orgánica en condiciones aerobias o anaerobias. La descomposición aerobia es más utilizada que la anaerobia, debido a que esta última genera olores desagradables y requiere infraestructura y conocimientos técnicos residuos.

3.1.6 Lombriz

La lombriz *Eisenia foetida*, está calificada en el reino animal como anélido terrestre clase de los oligoquetos. Vive en ambiente húmedo, no soporta la luz solar; una lombriz expuesta a los rayosa del sol muere en unos poco minutos, se nutre de restos orgánicos de la industria, de todo tipo de desechos agropecuarios (estiércol, rastrojo de cultivo, residuos de hortalizas y frutas), siendo una excelente productora de humus. (Villamizar 2004)

3.1.7 Lombricompostaje o lombricultura

La lombricultura es una biotecnología que utiliza una especie domesticada de lombriz, ya que esta recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. Se trata de una interesante actividad zootécnica que permite perfeccionar todos los sistemas de producción

agrícola. La lombricultura constituye un medio de descontaminación ambiental, al utilizar una serie de materiales biodegradables, a los que da un valor agregado para la utilización final. (Villamizar, 2004)

Una de las ventajas de Lombricompostaje es su uso como fertilizante orgánico que libera lentamente sus elementos nutritivos, su aplicación puede contribuir considerablemente al aprovechamiento y reciclaje productivo de estos desechos orgánicos (González, 2007).

3.2 PARÁMETROS FÍSICOS QUÍMICO Y BIOLÓGICOS PARA LA EVALUACIÓN DEL POTENCIAL APROVECHABLE DEL LODO RESIDUAL

3.2.1 Humedad

Una humedad de alrededor del 70% es la ideal en la elaboración de Lombricompostaje. Arriba de este rango, se considera una humedad excesiva que resulta en el desarrollo de condiciones anaeróbicas. Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz ya que un déficit de humedad origina una oxigenación deficiente. Las lombrices toman el alimento succionando, por tanto, la existencia de humedad les facilita dicha operación. (Trejos & Agudelo, 2012)

3.2.2 Riego

Si los contenidos de sales y de sodio en el agua de riego son muy elevados darán lugar a una disminución en el valor nutritivo del lombricultivo. Se debe tener en cuenta que los riegos no produzcan encharcamientos, ya que un exceso de agua desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica. (Trejos & Agudelo, 2012)

3.2.3 Temperatura

El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre 12- 25° C; y para la formación de cocones entre 12 y 15° C. Durante el verano si la temperatura es muy elevada, se recurrirá a riegos más frecuentes, manteniendo las camas libres de plagas, procurando que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos. (Trejos & Agudelo, 2012)

3.2.4 Aireación

Es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices, ya que, si ésta no es la adecuada, el consumo de alimento se reduce, además del apareamiento y reproducción debido a la compactación.

La lombriz absorbe el oxígeno a través de su piel y requiere un ambiente que permita el flujo de aire y la disipación de calor, previniendo el desarrollo de condiciones anaeróbicas. El oxígeno también afecta la tasa de descomposición y la producción de olor.

3.2.5 Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica está constituida por restos y productos de descomposición de plantas, animales y restos orgánicos contenidos en el lodo residual. Por lo tanto, el porcentaje de materia orgánica presente en el vermicompost está estrechamente vinculado con su fertilidad ya que influye en la capacidad del intercambio catiónico del suelo (Macz de la Cruz 2013)

Los principales elementos nutritivos como nitrógeno, azufre y boro se derivan casi totalmente de la materia orgánica en descomposición. La fracción de la materia orgánica más resistente a esta descomposición es llamada humus, compuesta principalmente por lignina, aminoácidos, carbohidratos, celulosa, grasa y resinas. Aproximadamente el 56% del humus es carbono, 35% oxígeno, 3.55% hidrógenos, y 5% nitrógeno. Su coloración es casi negra de un olor fresco y de estructura parecida al suelo.

3.2.6 Nitrógeno Total (NT)

Los compuestos nitrogenados se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza. La fuente de nitrógeno incluye además de la degradación natural de la materia orgánica, fertilizantes, productos de limpieza y tratamiento de agua potable. Debido a que el nitrógeno es un elemento nutritivo para organismos fotosintéticos, es importante el monitoreo y control de descargas del mismo ambiente.

El nitrógeno total está compuesto por el nitrógeno amoniacal más nitrógeno orgánico, y este está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato y amonio. La medición de este, proporciona una idea de las reservas del suelo en nitrógeno y se obtiene la relación carbono- nitrógeno, que tiene la importancia para conocer el grado de evolución de la materia orgánica y disponibilidad del nitrógeno para los microorganismos y plantas (Macz de la Cruz 2013).

Es el elemento más importante en la nutrición vegetal; forma parte de las proteínas, ácidos nucleícos y otros compuestos de la célula vegetal y además es el único elemento del que no se dispone como mineral en la roca madre.

Las plantas lo absorben, principalmente a través de las raíces, la formación de proteínas origina el crecimiento de las hojas y el aumento de la extensión de su

Superficie verde, incrementándose de este modo la fotosíntesis y estimulándose el crecimiento. Conforme aumenta el aporte de nitrógeno, también aumenta la relación existente entre la cantidad de proteína y el material de la pared celular. Esto da lugar a hojas más suculentas con un mayor contenido en agua. Si el aporte de nitrógeno es excesivo, las células de las hojas aumentan de tamaño y su pared disminuye de grosor y es por eso que las hojas son fácilmente dañadas por el viento, por la lluvia, por las heladas, por los hongos e insectos. (Macz de la Cruz 2013).

3.2.7 Fósforo Total (FT)

Las raíces de las plantas absorben el fósforo en forma de iones ortofosfato. Tiene un papel absolutamente indispensable para la planta, por formar parte del núcleo de las células, es indispensable en la división celular y de aquí que sea sobre todo importante a nivel de los puntos de crecimiento de la planta, es decir en el tejido de los meristemas. El fósforo es asimismo indispensable para la planta por su intervención en diversas reacciones enzimáticas, como por ejemplo en la fascinante y compleja reacción de la conversión del agua y dióxido de carbono en azúcares y almidones en el proceso conocido como fotosíntesis. (Macz de la Cruz 2013).

IV. HIPÓTESIS

H_i: La Lombriz *Eisenia foetida* es tolerante a características físicas, químicas y biológicas de los lodos residuales provenientes de los sistemas de tratamientos de aguas residuales

V. MATERIALES Y MÉTODO

5.1 Área de Estudio

El estudio se realizó en el primer semestre del año 2017, en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí se ubicada en la salida norte de la ciudad en el kilómetro 150 a orillas de la carretera panamericana de Estelí.

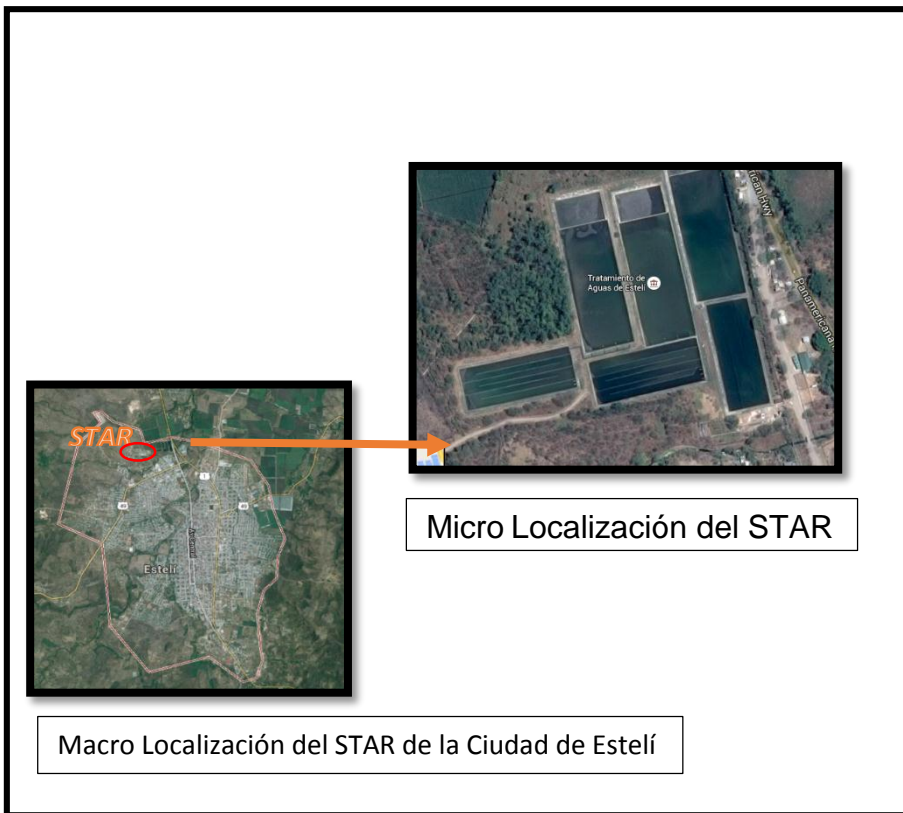


Figura N°2 Mapa Planta de tratamiento de aguas residuales Estelí

5.2 Instalación de los tratamientos experimentales

La instalación del tratamiento experimental se realizó en la Estación Experimental para el Estudio del Trópico Seco “El Limón”. Adscrita a la UNAN – Managua / FAREM – Estelí, Nicaragua, ubicada con coordenadas ($13^{\circ}05'31''$ N, $86^{\circ}21'14''$ O), a 890 m.s.n.m. La temperatura media anual es de $22,3^{\circ}\text{C}$ ($16 - 33^{\circ}\text{C}$) y la precipitación media anual es de 804 mm, concentrada en la época lluviosa (mayo-octubre). El suelo es franco - arcilloso con abundantes rocas blandas (López *et al*, 2017). El trabajo experimental tuvo una duración de 3 meses, en los meses de abril, mayo y junio.

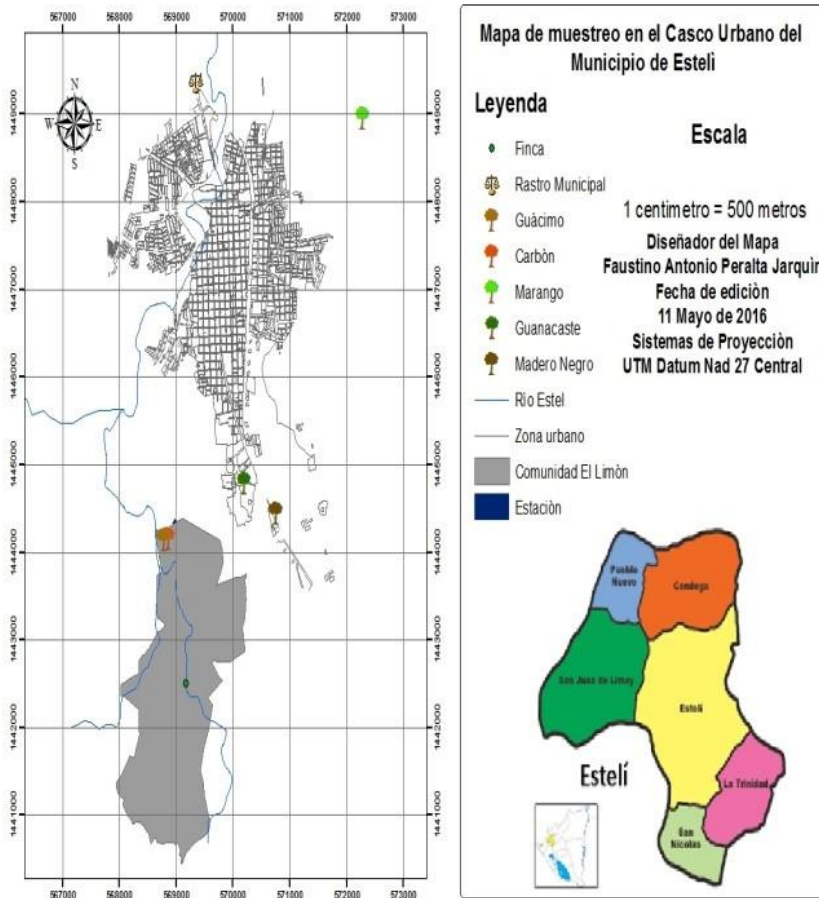


Figura N^o2 Mapa Estación Experimental para el estudio del trópico seco el Limón

5.3 Tipo de Estudio

La investigación según su enfoque filosófico, es de tipo cuantitativa porque la recolección de datos se realizó a través de mediciones de las variables de interés (pH, temperatura, conductividad eléctrica, porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica, huevos de helminto, Coliformes termo tolerantes). El procesamiento estadístico que utilizamos fue la varianza de Kruskal Wallis.

El proyecto responde a la línea de investigación en el área de contaminación de suelos y aguas de la Estación Experimental para el estudio del trópico seco “El Limón” UNAN-Managua/FAREM-Estelí.

5.6 Diseño de caseta

Para el estudio experimental se diseñó e instaló una caseta a base de madera, con techo de zinc y paredes cubiertas con plástico, a la misma se le colocó una cortina de malla para la ventilación del viento.

La caseta tiene un metro y medio de ancho, dos metros de largo y una altura aproximada de dos metros.

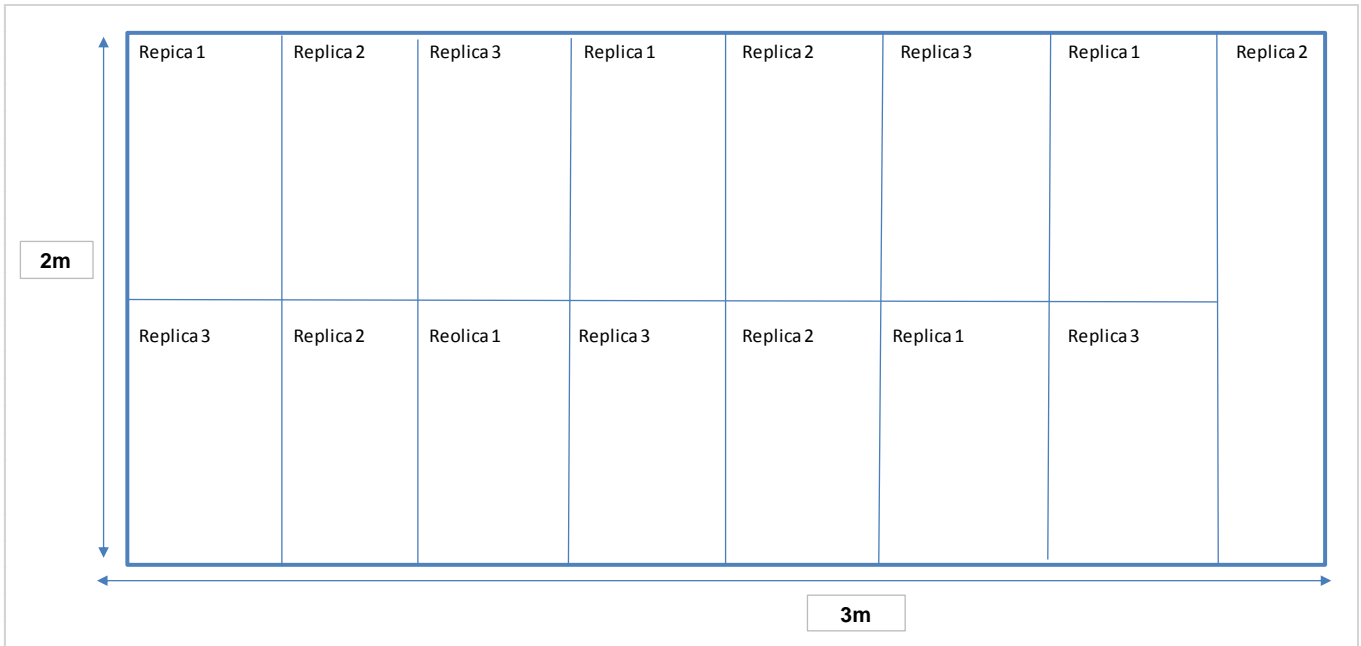
5.7 Diseño experimental

El diseño que se utilizó fue el diseño completo al azar, utilizando 5 tratamientos. Para la debida ejecución se instaló una mesa de 3m de largo, 3m de ancho y 10cm de profundidad delimitado y dividido por madera para formar 15 unidades experimentales con un tamaño de 0.5m de largo, 0.4m de ancho y 10cm de profundidad.

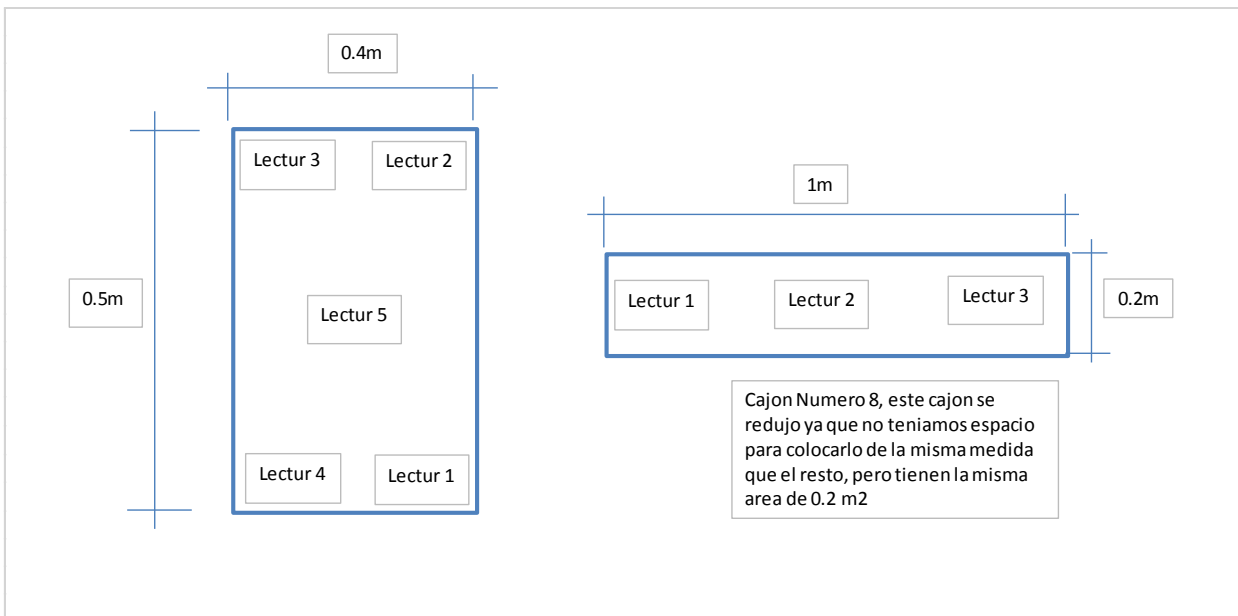
El diseño de bloques completos al azar (BCA), es necesario diseñar experimentos en los que pueda controlarse sistemáticamente la variabilidad producida por diversas fuentes extrañas. La palabra "completo" indica que todos los tratamientos son probados en cada bloque. Si se usa este diseño, los bloques forman una unidad experimental más homogénea con la cual compararlos. Esta estrategia de diseño mejora efectivamente la precisión en las comparaciones al eliminar la variabilidad entre las probetas. El orden en cada bloque se determina aleatoriamente. Dicho diseño es quizás el diseño experimental más ampliamente utilizado. En la práctica las situaciones en las que este diseño se aplica son muy numerosas y pueden detectarse fácilmente.

A menudo, las unidades de equipo de prueba o maquinaria son diferentes en sus características de operación y constituyen un factor típico que es necesario controlar. Lotes de materia prima, personas o tiempo, también constituyen fuentes de variabilidad en un experimento, las cuales pueden ser controladas sistemáticamente mediante el análisis por bloques. (Medina, 2004)

Esquema N^o1. Representación gráfica del montaje experimental del factor bloque.



Esquema N^o2. Representación de los cajones.



5.8 Métodos de análisis de laboratorio

El Porcentaje de Materia Orgánica, Nitrógeno Total, Fosforo Total, Coliformes Termo Tolerantes y Huevos de Helminto se realizaron cada mes durante tres meses, en el laboratorio CIRA. En función de la previsión contenida en la norma

C López Calero, Y Herrera González

técnica nicaragüense (NTN 04 001-05), en laboratorio de microbiología se hizo constar que la muestra codificada como MB-0880 fue captada, preservada y transportada a este laboratorio por el cliente. Siendo procesada de acuerdo a los procedimientos operativos normalizados establecidos por el laboratorio para el aseguramiento de la calidad de la información presentada en este reporte. Los procedimientos en mención son los descritos en el manual de procedimiento operativo normalizado del laboratorio de microbióloga.

5.9 Método de análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos, se seleccionó el modelo de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), el cual consiste en colectar datos en base a un diseño completamente aleatorio con más de 2 muestras ($k > 2$), sería posible probar la diferencia entre los grupos, de forma no-paramétrica. Para esto, se usa el modelo de Kruskal-Wallis (Kruskal & Wallis, 1952), frecuentemente, denominado como análisis de varianza por rangos.

Esta prueba tiene el poder estadístico de 95% de ANOVA de una vía (Andrews, 1954). La prueba de Kruskal-Wallis se aplica cuando las k muestras no proceden de una población normal y/o cuando las varianzas de k poblaciones son heterogéneas. (Alcalá, 2004-2005)

5.10 Control del pH

La medición de pH se hizo con lectura directa utilizando un Higrómetro portátil (pH- metro para suelos) dicho aparato se ha desarrollado con el fin de determinar de forma directa el valor pH del suelo. Para ello debe penetrar el electrodo en la tierra previamente y leer el valor en la pantalla digital. El control se hizo en cinco puntos de cada replicas, tres veces por semana durante tres meses.

5.11 Control de temperatura

Para el análisis de temperatura se tomó en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperaturas mayores a 26° C: a temperaturas mayores a la mencionada se debe voltear u oxigenar el cultivo proporcionándole oxigenación y liberación de calor.
- Temperaturas menores a 22°C: en caso que las temperaturas descieran por debajo de lo mencionado se debe proceder a cubrir el cultivo con sustrato alimenticio para aislar de la temperatura exterior. (Trejos & Agudelo, 2012)

La temperatura se tomó de forma directa con un termómetro de campo. La toma de temperatura se realizó tres veces por semana en un periodo total de tres meses.

5.12 Oxigenación y volteo

La oxigenación y volteo se realizó semanalmente teniendo en cuenta una adecuada distribución de tareas y tiempos. El proceso de oxigenación y volteo es de vital importancia en el cultivo, ya que por medio de los volteos se le da al cultivo el oxígeno requerido para los microorganismos que intervienen en el proceso de estabilización y generación de abono orgánico. (Trejos & Agudelo, 2012)

5.13 Alimentación

La alimentación se hizo cada 15 días por un periodo de tres meses. El alimento se ubicó en capas sucesivas de 5 a 10 cm de espesor. Para el desarrollo del proyecto se utilizó cinco tipos diferentes de alimento distribuidos en cada una de las camas instaladas: Lodos más Estiércol Bobino; Lodo más Pasto Forrajero, Lodo más desperdicios de frutas (papaya y sandia), Lodo más Estiércol Ovino y Lodo más la combinación de los sustratos antes mencionados.(Trejos & Agudelo, 2012).

5.14 Riego

El riego se realizó de manera directa, con manguera o regadera una vez por semana en un lapso de tres meses, para llevar un buen control del agua esparcida. El riego no se realizó de forma excesiva ya que puede arrastrar proteínas y provocar la

5.16 Extracción de la lombriz

Al cabo de dos meses la lombriz transformó el lodo en abono orgánico. El método utilizado para la separación de la lombriz es dejar la cama sin alimento por un período de 8 días para causar de esta manera estrés (hambre) en la lombriz. Se procedió a colocar comida en un rincón de los dos extremos de la cama, de esta manera las lombrices se desplazan en búsqueda del alimento y allí se sacan manualmente; cuando el lombricultivo es a gran escala se procede a colocar costales de malla ancha con el alimento y de esta manera las lombrices quedaron atrapada dentro del costal. (Trejos & Agudelo, 2012).

5.17 Procesamiento final del abono

El abono orgánico se elaboró a base de lodo residual y utilizando como alimentos cinco sustratos (Estiércol bovino, Estiércol ovino, Desperdicios de frutas papaya y sandia, pasto forrajero y la combinación de los antes mencionados),durante un periodo de tres meses, llevando un monitoreo de control de ciertos parámetros (Ph, Temperatura, humedad) así mismo se realizó análisis de laboratorio para

determinar el potencial del lodo (porcentaje de materia orgánica, fosforo total, nitrógeno total, huevos de helminto, Coliformes termotolerantes), obteniendo un producto orgánico con características distintas al abono actualmente comercial(color, olor, y partículas más pequeñas).

Una vez separada la lombriz del abono, por medio del zarandeo o separación manual, se procedió a extender el abono en un lugar abierto para su debido secado, el abono no debe quedar del todo seco, se debe conservar como mínimo un 30% de humedad por un periodo de 8 días aproximadamente(Trejos & Agudelo, 2012).

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DE LODOS RESIDUALES

6.1.1 Dinámica del comportamiento de la materia orgánica

El comportamiento del porcentaje de materia orgánica (MO) en los cinco sustratos (estiércol bovino, estiércol ovino, desperdicio de frutas (sandía, papaya), pasto forrajero y la combinación de los antes mencionados), donde en el primer mes presentaron un incremento de 13,40% debido a que era lodo residual puro (sin sustrato), en el segundo y tercer mes ya incorporados los sustratos y el microorganismo reflejó una disminución del 13,31 %.

En el mes de abril se obtuvo un valor inicial de 13,40%, disminuyendo el valor de esta variable en los dos últimos meses con un porcentaje final del 13,31% en el experimento. (Ver tabla 1)

6.1.2. Dinámica del comportamiento del Nitrógeno total

La dinámica del nitrógeno total, se observa que en el primer mes de análisis presentó un mayor porcentaje (2,456%), una vez depositada la lombriz y los sustratos descendió a un valor de (1,820%), en el último mes incrementó (1,960%).

Según Hernández (2009), El nitrógeno total (NT) puede incrementar en la etapa final del composteo por efecto de la pérdida de materia orgánica o disminuir N-NH₃, por el lavado de sustratos durante el proceso. De acuerdo con la literatura el vermicomposta tiene un marcado efecto sobre la transformación del N en los materiales iniciales. La mineralización del nitrógeno es mayor en presencia de lombrices, lo que sugiere que esta produce condiciones que favorecen la nitrificación, excretando también una cantidad importante en forma de amonio y muco-proteínas.

En el mes de abril se obtuvo un valor inicial de 2,456, disminuyendo con un valor de 1,820 esta variable en el último mes incremento con un valor de 1,960. (Ver tabla1)

6.1.3 Dinámica del comportamiento del Fósforo Total

El fósforo en el experimento presento una tendencia a incrementarse en el primer mes obtuvimos un valor de 0,095, en el segundo mes se muestra cómo va incrementando su valor 2: 0,175, mientras que en el tercer mes aumento más que el anterior mes 3: 2,688.

Según Pérez Láinez En estudios realizados mencionan que el aumento de fosforo durante el proceso de compostaje es resultado del efecto de la concentración causada por la degradación. (Ver tabla 1)

6.1.4 Dinámica del comportamiento de Coliformes termo tolerantes (Coliformes fecales)

Durante los tres meses de análisis el abono presento un incremento de Coliformes fecales.

Según Alma Delia los Coliformes son organismos mesofílicos cuyo crecimiento optimo se encuentra entre una Temperatura de 25 y 40 °C, En las condiciones mínimas de nutrientes, humedad, temperatura y pH pueden multiplicarse cada 20 minutos además se ha documentado que al estar expuestos en temperaturas de 55 °C mueren. (Ver tabla 1)

Tabla1. Resultados microbiológico y químico de las características de lodos residuales

RESULTADOS ANALITICOS QUIMICOS Y MICROBIOLOGICO						
MES ES	FECHA	PARAMETROS	METODO	LIMITE DE DETECCION	RESULTA DOS	UNIDADES
ABRIL	25/04/2017	Materia Orgánica total	Materia Orgánica Oxidable	0,1-13,13	13,40	%
		Nitrógeno Kjeldhal	Kjeldhal	0,028	2.456	%
		Fosforo Total	Ácido ascórbico	0,01	0,095	mg.g
		Coliformes Termo tolerantes	1680	<0.1803	1,00E+00	NMP\g(peso seco)
		Huevos de Helmintos	NOM-004-SEMARNAT2002		AND	H\2gST
MAYO	24/05/2017	Materia Orgánica total	Materia Orgánica Oxidable	0,1-13,13	13,31	%
		Nitrógeno Kjeldhal	Kjeldhal	0,028	1.820	%
		Fosforo Total	Ácido ascórbico	0,01	0,175	mg.g
		Coliformes Termo tolerantes	1680	<0.1803	1,34E+05	NMP\g(peso seco)
		Huevos de Helmintos	NOM-004-SEMARNAT2002		AND	H\2gST
JUNIO	26/06/2017	Materia Orgánica total	Materia Orgánica Oxidable	0,1-13,13	13,31	%
		Nitrógeno Kjeldhal	Kjeldhal	0,028	1.960	%
		Fosforo Total	Ácido ascórbico	0,01	2.688	mg.g
		Coliformes Termo	1680	<0.1803	1,20E+04	NMP\g(peso

C López Calero, Y Herrera González

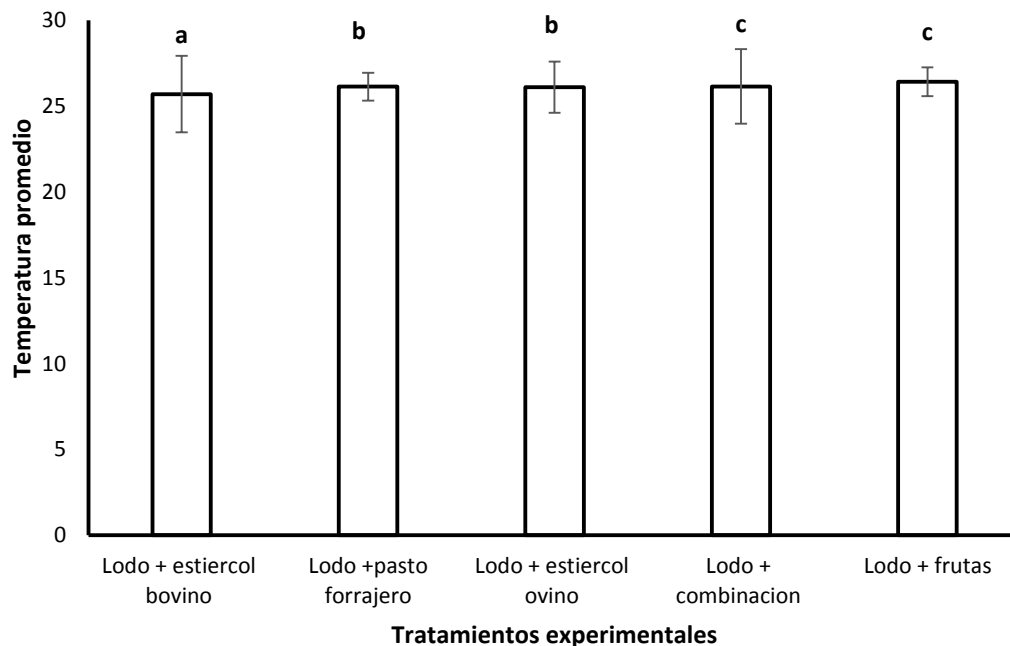
	tolerantes			seco)
	Huevos de Helminfos	NOM-004-SEMARNAT2002	AND	H\2gST

6.1.5 Dinámica del comportamiento de la Temperatura promedio

La temperatura ideal, estaría alrededor de los 25 °C este valor puede variar dependiendo si hay variaciones en las estaciones y del tipo de clima (seco o húmedo) de la zona donde se practique el vermicomposta.

De acuerdo a (Hernandez, 2009) En época de temperatura elevada (38°C) se controlan periódicamente por aspersiones de agua a fin de asegurar que la temperatura no fuera el adecuado para un buen desarrollo de la lombriz debido a que los valores deseables para la Eisenia foetida oscilan entre los 19 y 30 °C (temperaturas superiores a este valor afectan la dinámica poblacional de esta especie).

En nuestros resultados obtenidos en el tratamiento experimental, la temperatura promedio se encuentra entre los valores establecidos para el composteo donde se obtuvo un valor promedio de 25 °C durante el proceso de compostaje, obtuvimos una desviación estándar significativa tomando en cuenta las temperaturas del área de estudio oscilan 22,3°C (16 - 33°C) y el control de la humedad. (ver gráfica N⁰¹)



Grafica No. 1. Temperatura promedio de los tratamientos experimentales

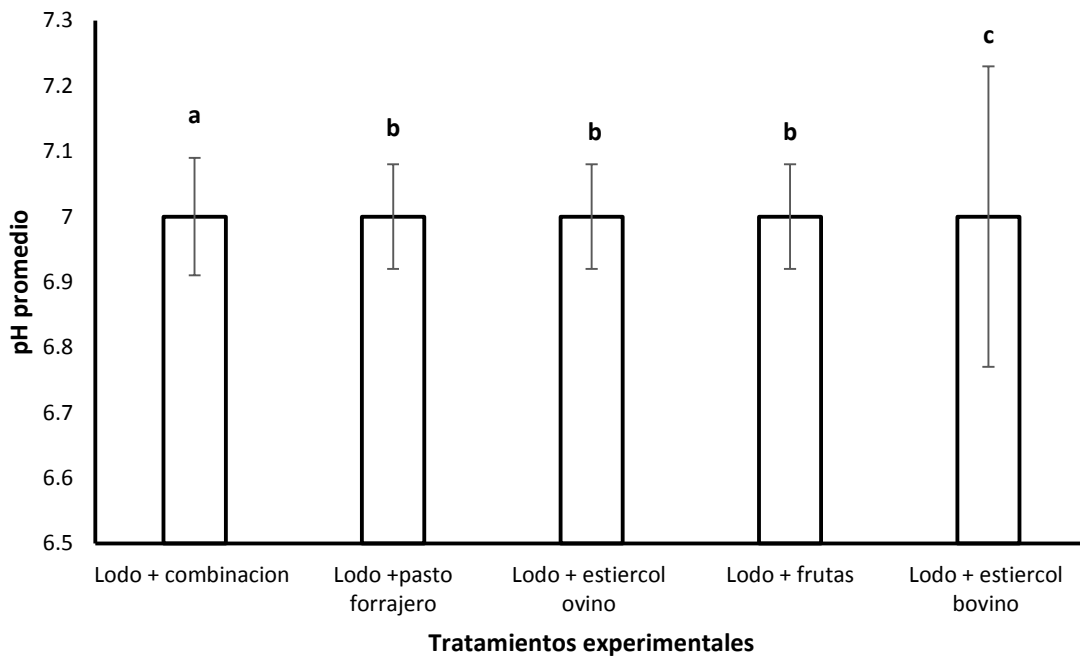
C López Calero, Y Herrera González

6.1.6 Dinámica del comportamiento de pH promedio

Referente a las condiciones óptimas de un lombricultivo, indica que el pH recomendado es de 7,0 ya que las lombrices pueden llegar a soportar pH ácidos hasta de 5,5 y alcalinos de 8,5, arriesgando de esta manera la productividad de lombriz.

Según (Vera Ana) En el lombricompostaje, las lombrices llevan a cabo un proceso fisiológico de digestión de los residuos orgánicos, sin dejar fuera la participación de los microorganismos. De esta manera la materia orgánica contenida en los lodos residuales en fragmentada, descompuesta y estabilizada.

De acuerdo con nuestros resultados obtenidos durante el proceso de experimentación nos encontramos con un pH totalmente neutro esto debido según la literatura a la actividad de la lombriz ya que esta estabiliza a neutro los valores de pH, así mismo airea el sustrato y favorece la proliferación de una importante población microbiana. (ver grafica N^o2)



Grafica No. 2. pH promedio de los tratamientos experimentales

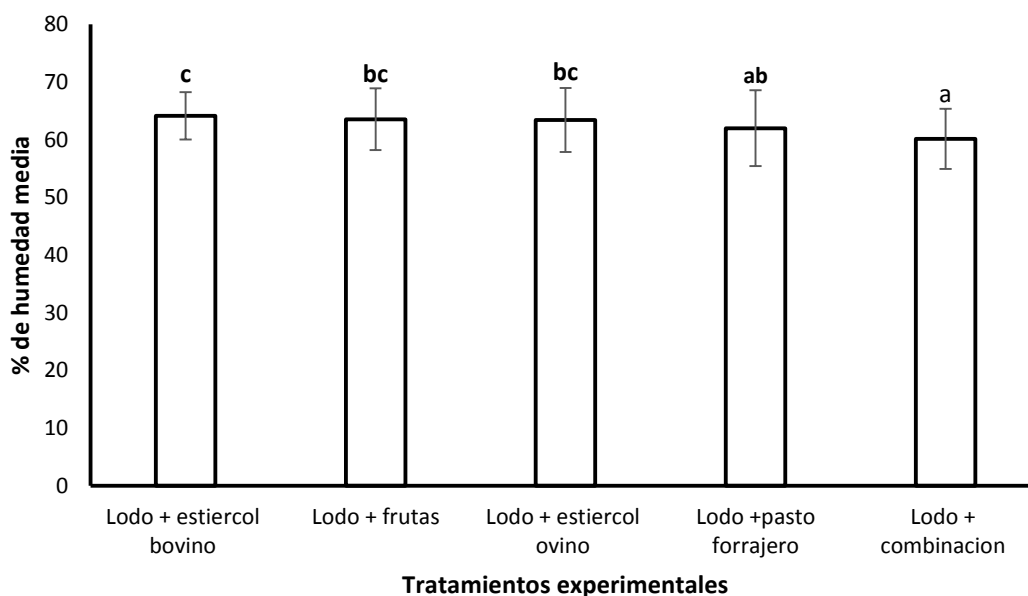
6.1.7 Dinámica del comportamiento del % de Humedad media

La humedad media es un factor de gran importancia, la cual esta afecta directamente la tasa de crecimiento de las lombrices. Según (Ivaro Chavez Porras, 2014), estos organismos toleran un rango entre 50-90% para los distintos

tipos de sustrato, el rango óptimo para la reproducción de la lombriz roja californiana ve de 75-90%, en términos generales.

Una humedad de alrededor del 70% es la ideal en la elaboración de lombricompostaje. Arriba de este rango, se considera una humedad excesiva que resulta en el desarrollo de condiciones anaeróbicas. Si la humedad no es adecuada puede dar lugar a la muerte de la lombriz ya que un déficit de humedad origina una oxigenación deficiente. Las lombrices toman el alimento succionando, por tanto, la existencia de humedad les facilita dicha operación. (Trejos & Agudelo, 2012).

De acuerdo a la literatura consultada y el análisis estadístico de nuestro resultado en el tratamiento experimental nos encontramos en un rango óptimo con un valor promedio de 65 % de humedad media, lo cual es un valor adecuado para la sobrevivencia y reproducción de la lombriz. (ver gráfica N⁰³).



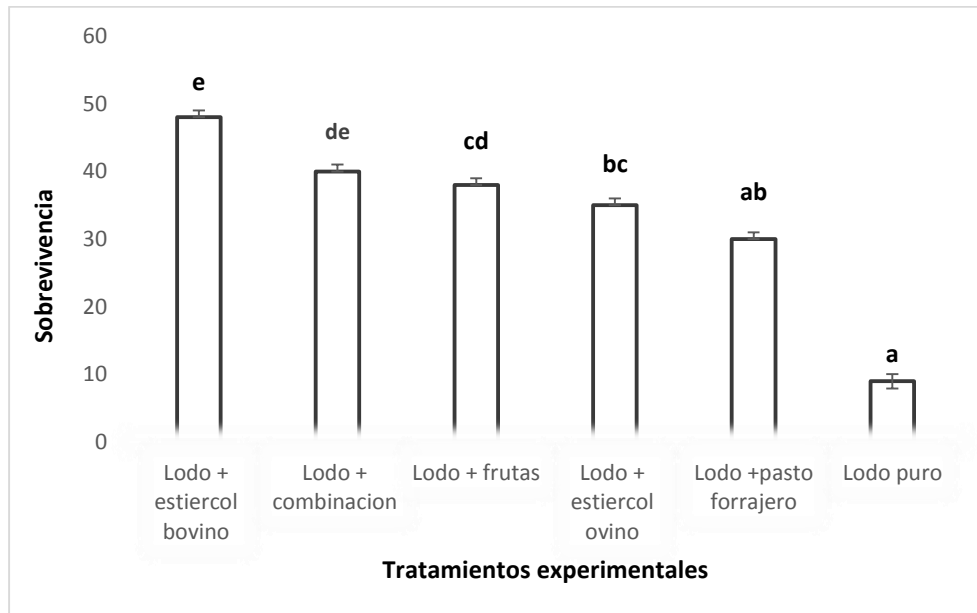
Grafica No. 3. Porcentaje de humedad media de los tratamientos experimentales

6.1.8 Dinámica de la sobrevivencia de la lombriz Roja Californiana

Se puede observar en los tratamientos experimentales, que tuvimos una variación en la sobrevivencia con una cantidad adecuada, en el tratamiento de lodo puro obtuvimos un 9% de lombrices que sobrevivieron al lodo puro sin sustrato, en el lodo + pasto forrajero con un 30%, el lodo + estiércol ovino obtuvimos un 35% de lombrices que sobrevivieron, lodo + frutas con el 38% de sobrevivencia y el lodo + estiércol bovino obtuvimos un 40% de sobrevivencia el cual es la cantidad adecuada para el vermicomposta. (ver gráfica N⁰⁴)

C López Calero, Y Herrera González

Según (Ivaro Chavez Porras, 2014), la excesiva población de lombrices en un sustrato que tenga incluso la composición ideal, genera problemas de competencia que afectan su tasa de crecimiento, por lo tanto en nuestro experimento, tenemos una cantidad adecuada para su reproducción, fertilidad, mejoramiento y remediación.



Grafica No. 4. Sobrevivencia de la Lombriz Eisenia foetida en los tratamientos experimentales

6.1.9 Reproducción de la lombriz

6.1.9.1 Parámetros para la reproducción de la lombriz

Humedad

Es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción. El sustrato debe estar entre el 70 y 80%. Una humedad del sustrato superior al 85 % hace que las lombrices entren en un período de latencia y se afecta la producción. Debajo de 70 % de humedad es una condición desfavorable. Niveles de humedad inferiores al 55 % son mortales para las lombrices. La prueba para medir el porcentaje de humedad en el sustrato se conoce como prueba de puño, la cual consiste en tomar una cantidad del sustrato con el puño de una mano, posteriormente se le aplica fuerza, lo normal de un brazo, y si salen de 8 a 10 gotas es que la humedad está en un 80 % aproximadamente. En cualquier caso, es mejor utilizar un medidor de humedad.

Temperatura

La temperatura del medio, óptima para la lombriz (*Eisenia Foétida*) es aquélla que se acerca lo más posible a la de su propio cuerpo (19°C). Por lo tanto, el lecho no puede estar expuesto durante el día a la acción directa de los rayos solares, ni durante la noche a los fríos de la misma.

pH

Antes de incorporar estiércol a los lechos en forma de sustrato como alimento es necesario comprobar su acidez. El alimento de las lombrices deberá tener un pH entre 6.5 y 7.3.

Un pH de 7, indica una sustancia neutra, exenta de acidez. Para la prueba con el papel tornasol se coge una muestra muy húmeda de estiércol con la mano; se introduce una tira de dicho papel en medio del estiércol y se mantiene la mano cerrada durante 20-30 segundos; se abre la mano y se espera otros 20-30 segundos, la tira de papel cambiará de color. Es importante realizar esta prueba cada vez que se recibe una nueva cantidad de material orgánico con la finalidad de controlar su maduración y su estado de descomposición.

En nuestro experimento contamos con una reproducción de 95 lombrices por cada uno de los bloques con sus respectivas réplicas lo cual hace un total de 15 bloques dando un consolidado de 1,425 lombrices en un periodo de dos meses después de inoculada.

VII. Efecto de la combinación del lodo residual con cinco sustratos en la sobrevivencia de la *Eisenia foetida* Savigny (lombriz roja californiana).

7.1 Características de los sustratos

El manejo de estiércol o sustrato es el elemento de mayor importancia dentro del cultivo de lombrices, puesto que, si se entrega estabilizado o maduro a las lombrices, se asegura que el pie de cría se reproduzca aceleradamente y en poco tiempo se habrá multiplicado.

7.2 Lodo residual más estiércol bovino

Según (Macz de la cruz, 2013) Es aceptable para utilizarlo como alimento durante la producción. Es de óptimas condiciones y el más abundante en zonas ganaderas. Este estiércol presenta una condición de fácil manejo, debido a su menor compactación y acidificación. Contiene enzimas que ayudan a facilitar la acción bacteriana al pasar por el tracto digestivo de la lombriz. El contenido de nitrógeno depende del tipo de alimentación suministrado a los animales, ya sea forrajes, mezcla con leguminosas o con complemento a base de concentrados.

Se requiere de un período previo de maduración mínimo entre 15-20 días dependiendo de las condiciones climáticas del lugar, en especial de la temperatura, antes de su uso como alimento para la lombriz. En climas con estaciones secas calurosas el estiércol sufre una deshidratación importante que paraliza su maduración, facilita el manejo y transporte, pero requiere de una profunda rehidratación para su empleo en el compostaje.

Este puede ser usado sin necesidad de ser mezclado. Debido a su alto contenido de celulosa es también utilizable como sustrato inicial y como alimento durante la producción y reproducción. Este es el sustrato que más se utiliza y en el que predominan innumerables estudios relacionados a la fermentación y estabilización rápida. Como también por su alto contenido nutricional.

Según (Macz de la cruz, 2013) el estiércol bovino tiene un manejo similar a otros sustratos, como pulpa de café, excreta de conejo, entre otros. A estos hay que conocerles la edad para ser suministrados a las lombrices y se pueden encontrar en las siguientes condiciones:

7.2.1 Estiércol fresco:

Es el que recién acabado reproducir por el bovino. Tiene una consistencia pastosa, de color verde encendido, olor insoportable, debido a que su pH es altamente alcalino de (8.5) lo cual no es recomendable para las lombrices.

7.2.2 Estiércol maduro:

Tiene más o menos 10-18 días de haber sido producido por el animal, su consistencia es semi pastosa, de color verde oscuro o pardo, de olor soportable, pH estable calculando entre (7.0-8.0). Este es el sustrato adecuado puesto que presenta las condiciones óptimas para la crianza de lombrices, aunque a veces le tenemos que agregar agua para estabilizar su humedad y por ende su temperatura.

7.2.3 Estiércol viejo:

Como la palabra lo dice es un estiércol que tiene más de 20 días de haber sido producido. De consistencia pastosa y dura, desboronándose al apartarse con la mano. No presenta prácticamente ningún olor. Este no es un sustrato que pueda ser usado para la crianza de lombrices puesto que su pH es altamente ácido (< que 5.5) y puede entrar en un periodo de dormancia y ocurrir el desarrollo de un platelminto conocido como planaria.

De acuerdo con nuestros análisis estadísticos de las variables a medir y la observación directa durante el experimento podemos estimar que el estiércol bovino mezclado con lodo residual es uno de los mejores sustratos para la adaptación y humificación de la lombriz obteniendo así un humus de buena calidad.

7.2.3 Estiércol ovino

Es un producto bastante bueno, pero difícil de encontrar. Por sus características de consistencia y compactación, debe ser regado y mezclado a fondo con otros materiales, es conveniente esperar de 3-4 meses para que llegue a su perfecta maduración.

Los resultados obtenidos en el periodo de experimentación fueron insatisfactorios debido que no se le dio al sustrato el tiempo establecido para su maduración. Dando de esta manera una larga adaptación a la lombriz debido a que el lodo residual estaba en perfecta condición de estabilización.

7.3 Lodo residual más desperdicios de frutas (sandía, papaya)

Todos aquellos materiales que se obtienen de la cocina como alimento, cascara, pulpas de frutas, y otros constituyen un buen alimento para las lombrices. Estos tienen que alcanzar un apropiado grado de putrefacción y de marchitez, habiendo superado ya la fase de fermentación, caracterizada por la producción de calor y gas metano que podría causar graves daños a la misma.

Debido a las condiciones en las que se debe encontrar dicho sustrato y analizando nuestros resultados y la observación del experimento nos encontramos que debido

C López Calero, Y Herrera González

a que los desperdicios de frutas no se encontraba en su total fermentación, se fue un poco más difícil a las lombrices su adaptación y succión del alimento, por lo contrario se hizo un poco más satisfactorio la adaptación de las lombrices debido a que el lodo residual si estaba en sus óptimas condiciones y por ende contenía un alto porcentaje de materia orgánica de la cual también es alimento para las lombrices.

7.4 Lodo residual más pasto forrajero

Pasto

Son plantas gramíneas y leguminosas que se desarrollan en el potrero y sirven para la alimentación del ganado.

Forraje

Son gramíneas o leguminosas procesadas para ser suministradas como alimento a los animales sea verde, seco o procesado.

7.4.1 Composición química del pasto forrajero

Se refiere a la cantidad de nutrientes orgánicos y minerales presentes, así como la existencia de factores o constituyentes que influyen sobre la calidad de los pastos forrajeros como proteínas, proteína cruda, carbohidratos y minerales.

En dependencia de la composición del pasto y acorde a nuestros análisis se pudo observar que a la lombriz se le hizo difícil la succión de dicho sustrato debido al tamaño de las partículas.

VIII. PROPUESTA

8.1 Nombre de la propuesta

Propuesta para el aprovechamiento de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí

8.2 Beneficiarios de la propuesta

Con el desarrollo de esta propuesta se verán beneficiados indirectamente los productores interesados en elaborar abono orgánico a base de lodo residual, al igual las instituciones o empresas interesadas en emprender la comercialización de dicho producto.

8.3 Objetivo

Dar un mejor uso y aprovechamiento a los lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales

8.4 Introducción

En el proceso de depuración de las aguas se genera un producto, el lodo, que puede contener a la vez componentes muy valiosos, como materia orgánica y Fito nutrientes (macro y micro), y componentes problemáticos, como metales pesados, contaminantes orgánicos y patógenos. Esta composición no sorprende dado su origen, pero es evidente que con un mejor control de las aguas vertidas y de los métodos de depuración, se puede potenciar el valor de los componentes útiles y disminuir la peligrosidad de los otros.

Nicaragua es un país lleno de agricultura y ganadería, rico en suelos fértiles que ayudan al rendimiento, calidad y producción de los cultivos. Sin embargo, el uso inadecuado y el abuso de plaguicidas en campos cultivados han modificado la biodiversidad (alta resistencia a plaguicidas), cambios en la textura y disponibilidad de nutriente del suelo, contaminación de fuentes de agua y a afectaciones al ser humano. Estos plaguicidas presentan, alta toxicidad, gran capacidad de persistencia ambiental, Pueden almacenarse en tejidos grasos, Vio acumulación en las cadenas alimenticias, capacidad de trasladarse a largas distancias, y producir productos sanos y saludables mejorando la textura y calidad del suelo

Sin embargo, surge una nueva alternativa: la elaboración de abono orgánico, la que constituye una práctica importante para la eliminación de algunos desechos orgánicos generados por la agroindustria, así como la conversión de estos subproductos en materiales que puedan utilizarse para mejorar el nivel de fertilidad de los suelos el mantenimiento y conservación de la biodiversidad.

La lombricultura es una biotecnología que utiliza una especie domesticada de lombrices (*Esenia foetida*) como una herramienta de trabajo. Bajo ciertas condiciones, recicla todo tipo de materia orgánica y se obtiene como fruto de ésta, fundamentalmente productos como el humus.

8.5 Proceso del compostaje de lodos

8.5.1 Definiciones del compostaje

Existen múltiples definiciones del compostaje, aunque muchas de ellas incompletas

Proceso biológico controlado de transformación y valorización de substratos orgánicos en un producto estabilizado, higienizado, parecido a tierra vegetal y rico en sustancias húmicas.

Descomposición biológica y estabilización de substratos orgánicos en las condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termófilas, resultado de una generación de energía calorífica de origen biológico, de la que se obtiene un producto final suficientemente estable para el almacenamiento la utilización en los suelos sin impactos negativos sobre el entorno.

Compostar (transformación biológica de los residuos en condiciones controladas) es gestionar los residuos orgánicos de una manera respetuosa con el entorno, involucrando y responsabilizando a la sociedad que los produce y dando al compost el destino adecuado.

8.5.3 Fases del compostaje

El compostaje se desarrolla en dos fases (descomposición y maduración) que deben diferenciarse, claramente y tenerse en cuenta en el diseño de una planta por sencilla que sea, estableciendo, para cada una de ellas, dinámicas de control adecuadas.

La fase de descomposición depende totalmente del tipo de material a tratar y de las características del sistema a aplicar. Puede dividirse en tres etapas: una inicial mesofílica durante la cual diversas familias de microorganismos inician la descomposición de los compuestos fácilmente degradables, provocando un incremento de la temperatura y en la que el pH desciende debido a la formación de ácidos orgánicos.

La etapa termofílica en la que van apareciendo los microorganismos termofílicos y en la que la temperatura supera los 40°C. Si se alcanza los 60°C los hongos se inactivan y la descomposición es llevada a cabo por actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Las sustancias fácilmente degradables, como azúcares, grasa, almidón y proteínas, son rápidamente consumidos y la mayoría de patógenos humanos y vegetales son destruidos; el pH se va alcalinizando al liberar amoníaco las proteínas; a su vez la celulosa y ligninas son parcialmente alteradas. En la tercera etapa, la temperatura empieza a disminuir, hongos termofílicos re invaden el material a compostar y la celulosa y hemicelulosa siguen

C López Calero, Y Herrera González

sufriendo cierta transformación. Estas tres etapas duran de unas pocas semanas a varios meses dependiendo del material a compostar y de las condiciones de trabajo. La fase de descomposición es la más exigente del proceso y el no realizarla en condiciones adecuadas condiciona la continuación del proceso, la aparición de problemas de lixiviados y malos olores, además de influir en la calidad del producto final.

8.6 TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES

En el tratamiento de lodos residuales existe una gama de bioprocesos disponibles, los dos de los más eficientes para convertir lodos residuales en productos útiles son: el compostaje y la lombricultura, son las modalidades frecuentes de destino final de estos residuos.

Compostaje

(Juárez Uribe 2010) definen al compostaje como: “proceso manejado, que controla la transformación y descomposición biológica del material biodegradable en una sustancia parecida al humus llamada compost”.

Ventajas del compostaje de lodos

Al respecto, (Juárez Uribe 2010), dice que el proceso de compostaje permite obtener la estabilización del lodo, así mismo produce una reducción significativa en su contenido de Coliformes fecales y remoción de agentes patógenos, siendo los riesgos sanitarios mínimos para el hombre, animales y vegetales.

El compost obtenido puede ser utilizado como mejorador de suelos para el cultivo de bosques y pastizales, así como también, en parques y jardines.

El proceso de compostaje además de ser una alternativa para el manejo de lodos mucho más económica que la disposición de los mismos en un relleno sanitario, favorece la conservación del medio ambiente, al reducir la formación de gas metano en las áreas donde se realiza el proceso, el cual puede contribuir al calentamiento global sino es apropiadamente capturado y reutilizado. La utilización del compost trae consigo, también muchos beneficios ambientales, entre ellos tenemos: la mejora del suelo y de la planta, por la reducción del uso de fertilizantes y pesticidas; evita la contaminación del agua superficial y subterránea al no permitir el desplazamiento en el suelo de fertilizantes, metales pesados, químicos orgánicos, y pesticidas; previene la erosión de los suelos; y puede ser utilizado como biorremediador de suelos contaminados.

Lombricultura

Es una tecnología basada en la cría intensiva de lombrices para la producción de humus a partir de un sustrato. Es un proceso de descomposición natural, similar al

compostaje, en el que el material orgánico, además de ser atacado por los microorganismos (hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras, etc.) existentes en el medio natural, también lo es por el complejo sistema digestivo de la lombriz.

En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad. Esta transformación hace que los niveles de pérdida de nutrientes como nitrógeno, potasio, etc., sean mínimos con relación a los sistemas tradicionales de compostaje. El resultado son dos productos de alta calidad: el humus y las lombrices.

Ventajas y desventajas de la lombricultura

Tolerancia a los factores ambientales (pH, temperatura, humedad), potencial reproductor y capacidad de apiñamiento

La cría de lombrices no requiere grandes inversiones, espacios, infraestructura ni tiempo.

A través del humus de lombriz se restauran tierras que han sido devastadas por la erosión continua producida por ciertas explotaciones agrícolas, el uso continuo de fertilizantes artificiales, y muchos otros factores degradantes.

La lombricultura provoca una disminución de metales pesados, y el producto final contiene hormonas que acelera el crecimiento de las plantas, Los residuos orgánicos pueden ser procesados rápidamente por los gusanos. Se convierten en un material estable, no tóxico, con buena estructura, que tiene un potencial alto como acondicionador de suelo y abono de valor para el crecimiento de plantas.

La desventaja de la lombricultura radica en la sanidad de las lombrices ya que pueden verse afectadas por la presencia de bacterias, lesiones e infecciones producidas por acción de insectos o parásitos, la presencia de moscas y mosquitos, ciempiés u hormigas, también hay que tener cuidado con los depredadores directos más frecuentes como pájaros, ratas, ratones, escarabajos, ácaros, gorgojos, babosas, etc.

(soliva y Huerta 2004 Mencionan que la calidad agronómica de la vermicomposta la ubica como un material rico en materia orgánica (60%), rico en nutrimentos, con un alto valor de capacidad de intercambio catiónica (60,2 meq/100g), lo que nos indica que si este desecho se utiliza en agricultura proporcionara un incremento en la fertilidad de suelo. El único problema que se presentó en la vermicomposta desde un punto de vista agronómico fue su valor de C.E (4,0 mmhos/cm), el cual puede tener efecto negativo en cultivos sensibles a la salinidad.

8.7 Tratamiento preliminar del lodo residual para la reducción de patógenos

8.7.1 Estabilización con cal

La normatividad define estabilización como los procesos físicos, químicos o biológicos a los que se someten los lodos para acondicionarlos para su aprovechamiento o disposición final y así evitar o reducir sus efectos contaminantes al medio ambiente. (NOM-004-SEMARNAT, 2002)

La estabilización de lodo se lleva a cabo principalmente para: reducir la presencia de patógenos, eliminar los olores desagradables y reducir o eliminar su potencial de putrefacción. La supervivencia de microorganismos patógenos y la proliferación de olores en el lodo se producen cuando se permite que los microorganismos se desarrollen sobre la fracción del mismo.

Los medios de estabilización más eficaces para eliminar el desarrollo de estas condiciones son: la reducción biológica del contenido de materia volátil; la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para hacer el lodo inadecuado para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor con el objetivo de desinfectar o esterilizar el lodo.

Las técnicas de estabilización de lodos más recurridas son: la digestión aerobia, la digestión anaerobia, la estabilización con cal, el tratamiento térmico y el compostaje (Rivera, 2010) A continuación se analiza las técnicas utilizadas en este trabajo, la estabilización con cal.

Estabilización con cal la estabilización química de los lodos es una técnica muy usada y económica. El cloro y la cal son los principales reactivos estudiados para la estabilización, siendo el primero poco empleado en la práctica; en cambio, la cal es el álcali más barato, usado en el tratamiento del agua residual. La estabilización con cal tiene por objeto eliminar patógenos, reducir olores y reduce la cantidad de agua, aun cuando durante el proceso se incrementa el contenido de sólidos.

Es importante mencionar que este método no reduce el contenido de materia orgánica (sólidos volátiles), por lo que el término estabilización es relativo. Tradicionalmente la cal ha sido empleada para tratar lodos en instalaciones privadas pequeñas, acondicionar el lodo antes de su deshidratación, incrementar el pH en digestores con problemas y remover el fósforo en el tratamiento terciario.

8.7.2 Este tipo de estabilización se suele usar:

1. Como sistema complementario de estabilización, durante los periodos en que las instalaciones de otros sistemas (como la digestión o la incineración) están fuera de servicio. 2. Como sistema complementario a los procesos de digestión, cuando hay una cantidad de lodos mayor a la cantidad prevista en el diseño de las instalaciones. 3. En plantas de pequeño tamaño, donde una inversión y la consiguiente explotación de las instalaciones de otro sistema de estabilización no resulten rentables.

Al añadir cal a los lodos residuales, y mantener el pH a 12.4 por un mínimo de dos horas se disminuye la concentración de microorganismos patógenos, disminuye la humedad del lodo y elimina el mal olor propio de estos residuos. Una dosis común implica agregar de 226.8 a 272.16 kg de cal viva por tonelada de lodos, este proceso es tan efectivo como la digestión aeróbica y anaeróbica, pero a un costo mucho menor.

Con este método en conjunto, con un tratamiento de digestión, se obtienen biosólidos tipo A y B, cuya utilización como acondicionador de suelos agrícolas está regulado y aceptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, de acuerdo al Código de Regulaciones Federales. (Rivera, 2010)

8.7.3 Principios y criterios para la estabilización con cal

El principio es muy sencillo: el incremento del pH ocasiona la desnaturalización de proteínas y ácidos nucleicos que inactiva a los patógenos y además modifica las características físicas y químicas de los lodos. ((Rivera, 2010)

El control de olor se produce como resultado de la inhibición de los procesos biológicos que generan subproductos de este tipo. De hecho, la elevación del pH provoca la desorción de algunos gases (a pH > 10.5 se libera amoníaco).

Los criterios por definir son el pH, tiempo de contacto y dosis de cal. La cantidad de cal debe ser suficiente para suministrar una alcalinidad residual y mantener un pH elevado por varios días. En general, se recomienda tener un pH de 12 durante mínimo 2 horas, y se requiere elevar el pH por arriba de 12 en los lodos para lograrlo.

No es necesario mantener los lodos las dos horas en el tanque de contacto siempre y cuando se monitorea el pH. El decaimiento del pH ocurre por la disolución del CO₂ de la atmósfera generando un ácido débil (H₂CO₃) que en forma lenta consume la alcalinidad. Llegado cierto punto, la actividad biológica se reinicia y en caso de ocurrir reacciones anaerobias, la producción de ácidos orgánicos disminuirá aún más el pH.

Esta propuesta de estabilización con cal está diseñada para tratar los lodos antes de inocular la lombriz y el sustrato, en cuanto a nuestros resultados nos dimos cuenta que requiere de este tratamiento debido a que la lombriz no procesa los coliformes fecales.

IX. CONCLUSION

El estudio realizado al lodo generado en las pilas de oxidación de Estelí es altamente aprovechable por su facilidad de obtención e ilimitada producción, también es aprovechable por su gran contenido de materia orgánica por lo que funciona como elemento primordial para elaborar abono y a la vez de alimento para las lombrices; y se amplía la manipulación para sus diferentes aplicaciones.

Basado en la experimentación de combinar lodo residual con cinco sustratos: Estiércol ovino, estiércol bovino, pasto forrajero, desperdicios de frutas papaya y sandía, y la combinación de los sustratos antes mencionados; en la sobrevivencia de la *Eisenia foetida* Savigny (lombriz roja californiana), se encontró que la lombriz presenta una mejor adaptación, reproducción y humificación en el estiércol bovino mezclado con lodo residual debido a las características de dicho sustrato.

Finalizado el experimento y basado en los resultados, se formuló una propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales teniendo como base un tratamiento secundario que mitigue la proliferación de Coliformes fecales presentes.

Como un hecho relevante la lombriz *Eisenia foetida* tiene la facultad biológica de soportar y aclimatarse a las características que presentan los diferentes elementos residuales en la que es utilizada para la elaboración de humus; amplificando su utilización en el campo agrícola.

X. RECOMENDACIONES

1. Por su alto valor nutricional, se recomienda utilizar a la lombriz coqueta roja, en forma viva o de harina, en alimentación animal.
2. Realizar nuevas investigaciones en las cuales se prueben diversos métodos de pre tratamiento del aserrín para que este sea degradado con mayor facilidad por las lombrices.
3. Promover el uso en la Agricultura Orgánica del Lombrihumus como fertilizante; el cual por sus cualidades garantiza un manejo sostenible y sustentable del suelo, disminuyendo así el impacto nocivo de los agroquímicos utilizados al realizar fertilizaciones.
4. Darle a conocer a las comunidades los beneficios del compost para que puedan realizar este proceso ya sea mediante el compostaje doméstico o compostaje comunitario, reduciendo así la acumulación de desechos en sus sectores.
5. El sistema de compostaje es un método eficaz de transformación de residuos orgánicos hasta ahora no utilizados, en recursos que se enfoquen hacia una agricultura más racional, acorde con el respeto a la naturaleza y que sea más sostenible, lográndose mayor rentabilidad a mediano y largo plazo.

IX. ANEXOS



Fotos. 1 y 2. Elaboración de la caseta para la implementación del experimento.



Fotos. 3 y 4. Elaboración del diseño experimental en bloque.

C López Calero, Y Herrera González



Foto No. 5. Extraccion y recoleccion de la materia prima, para la elaboracion de biocompost.



Foto No. 6. Incoporacion de la materia prima al banco de bloque del tratamiento experimental.

C López Calero, Y Herrera González



Foto No.7. Introduccion de la lombriz roja californiana.



C López Calero, Y Herrera González

Foto No. 8 pesado de muestra para enviarlo al laboratorio CIRA-UNAN.



Fotos No.9.10 y 11. Introduccion de la los diferentes tratamientos experimetales al lodo.

C López Calero, Y Herrera González



Foto. No. 12 Toma de temperatura y pH al tratamiento experimental.



Foto No. 13. Oxigenacion y volteo de los tratamientos experimentales.

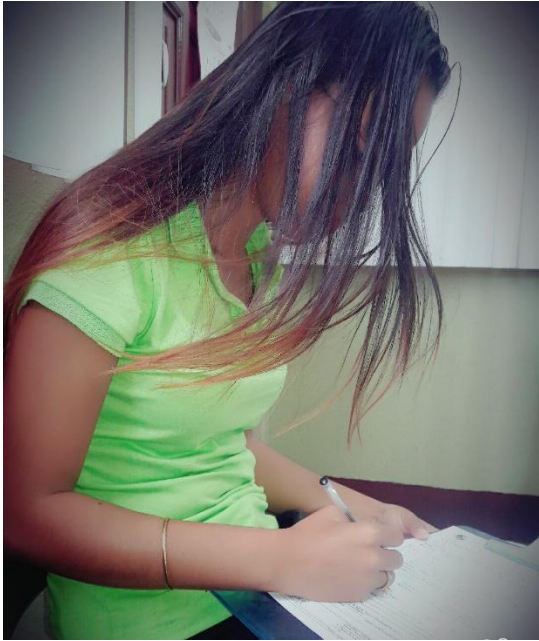
C López Calero, Y Herrera González



Foto No. 14. Tomar de temperatura ambiente en el lugar del experimentos.



Foto No. 15. Extraccion de la lombrices, en el abono ya procesado.



Fotos No. 16. Firmacion de contrato de los analisis en el Laboratorio CIRA-UNAN.



Foto. No 17. Con los compañeros de trabajo de la univerisdad UNI-Norte.

C López Calero, Y Herrera González

Bibliografía

- Blandon, S. B. (2010). *Trabajo de monografía*. Pereira.
- Blandon, S. B. (2010). Tratamiento y adecuada disposición de lodo domésticos e industriales . *Trabajo de monografía* . Pereira.
- Comisión Nacional de Normalización Técnica y Calidad. (10 de 05 de 2006). *NORMA TÉCNICA OBLIGATORIA NICARAGÜENSE NTON 05 027-05*. Managua: La gaceta. Obtenido de [http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/\(\\$All\)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023?OpenDocument](http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/($All)/3B3583B8C7D4EE32062579BC007B7023?OpenDocument)
- Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (20 de 06 de 2016). *ENACAL* . Obtenido de <http://www.enacal.com.ni/>: <http://www.enacal.com.ni/informacion/Wc3ab774abf487.htm>
- González, S. (2007). *Normativa Humus de Lombriz*. Lima: Mc Grahah Hill.
- Hernandez, Z. E. (Diciembre de 2009). Propuesta para el tratamiento de metales pesados en los lodo residuales de origen urbano, utilizando vermicomposteo. Altamira, Tamaulipas.
- Inversanet. (1 de 07 de 2016). *inversanet.wordpress.com*. Obtenido de [inversanet.wordpress.com](https://inversanet.wordpress.com/2011/09/07/ciclo-biologico-y-desarrollo-de-eisenia-foetida-lombriz-roja/): <https://inversanet.wordpress.com/2011/09/07/ciclo-biologico-y-desarrollo-de-eisenia-foetida-lombriz-roja/>
- Ivaro Chavez Porras, X. L. (2014). Estudio de la movilidad de NPK en los biosólidos, de la planta de agua potable, para el tratamiento de vermicompostaje. Bogotá.
- Jimenez, Y. V. (2004). Estudio de factibilidad para un cultivo de lombricultura en la ciudad de Barrancabermeja. Barrancabermeja.
- Marchorro, L. G. (mayo de 2004). Efecto de la densidad de siembra de lombriz coqueta Roja (*Eisenia Foetida*), en pulpa de café, sobre los aspectos productivos y reproductivos . Guatemala, Guatemala.
- Mariana Trejos Velez, N. A. (junio de 2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de agua residuales de la empresa

"comestibles la rosa" como alternativa para la generacion de bioslidos.
pereira, pereira.

MarianaTrejos Vlez, N. A. (Junio de 2012). Propuesta para el aprovechamiento de los lodos de la planta de tratamiento de agua residuales de la empresa"comestibles la rosa"como alternativapara la generacion de biosolido. Pereira.

Rivera, N. E. (2010). mejoramiento del suelo con biosolido proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la UNAM . Mexico .

Sastoque, J. E. (2015). Estrategias parael reuso de los lodos en las zona dos de la empresas de acueducto y alcantarillado de Bogota y Planta de tratamiento de aguas potables y residuales . *Trabajo de grado para obtener el titulo de especialista en planeacion ambiental*. Bogota , Bogota, Colombia.

Tenecela, X. (2012). Produccion de humus de lombriz mediante el aprovechamiento y manejo de los residuos organicos.

Trejos, M., & Agudelo, N. (2012). *Propuesta para el aprovechamiento de lodos*. Pereira: Limusa.