



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

COMPOSTAJE DE *Canavalia ensiformis* (L.) DC. (FABACEAE) Y SUS EFECTOS
COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO Y MEDIO DE CRIANZA DE *Eisenia andrei*
(BOUCHÉ, 1972) (LUMBRICIDAE)
(Modalidad: Tesis de Grado)

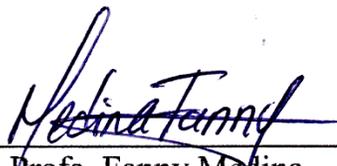
JUAN JOSÉ CENTENO FERRER

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR POR EL TÍTULO DE LICENCIADO EN BIOLOGÍA

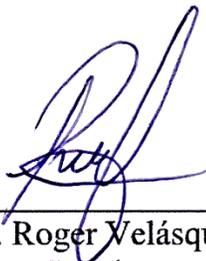
CUMANÁ, 2022

COMPOSTAJE DE *Canavalia ensiformis* (L.) DC. (FABACEAE) Y SUS EFECTOS
COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO Y MEDIO DE CRIANZA DE *Eisenia andrei*
(BOUCHÉ, 1972) (LUMBRICIDAE)

APROBADO POR:



Profa. Fanny Medina
Asesora



Prof. Roger Velásquez
Jurado



Prof. Víctor Franco
Jurado

ÍNDICE

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
LISTA DE TABLAS	III
LISTA DE FIGURAS.....	IV
RESUMEN	V
INTRODUCCIÓN	1
METODOLOGÍA	6
Área de estudio	6
Ensayo de compostaje	6
Análisis fisicoquímico del compost	8
Ensayos de germinación	9
Ensayo con lombrices rojas californianas (<i>Eisenia andrei</i>).....	10
Análisis estadísticos	11
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
1.- Temperatura y pH	12
2.- Volumen de la pila.....	16
3.- Textura, olor y color	18
4.- Factores bióticos asociados a las etapas del compostaje	20
5.- Características fisicoquímicas del compost obtenido	22
5.1.- Materia orgánica (MO).....	22
5.2.- Carbono orgánico	24
5.3.- pH final	25
5.4.- Conductividad eléctrica (CE)	26
5.5.- Relación carbono/nitrógeno.....	26
5.6.- Macronutrientes	27
5.7.- Micronutrientes.....	33
6.- Bioensayo de germinación.....	37
6.1.- Porcentaje relativo de germinación agronómica (PRGA)	38
6.2.- Germinación <i>in vitro</i>	39
7.- Ensayo con lombrices rojas californianas (<i>Eisenia andrei</i>)	40

CONCLUSIONES	47
RECOMENDACIONES.....	49
BIBLIOGRAFÍA	50
APÉNDICES	64
HOJA DE METADATOS	66

DEDICATORIA

*A Jehová dios por cada día de vida
y
A mis padres ojalá pudieran estar los dos viendo
este
momento*

AGRADECIMIENTOS

Primero agradezco a Jehová por darme la oportunidad de llegar a estudiar esta carrera donde aprendí que la perfección de la vida no puede ser solo azar.

A mis padres Juan Centeno y Yolanda Ferrer por estar siempre apoyándome durante toda mi carrera.

Al Prof. José Imery por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo, línea de investigación a la que quisiera dedicarme.

A mi asesora Fanny Medina por toda su ayuda en la redacción de esta tesis.

A Eudar Cabello un gran amigo, que hice desde mi primer semestre, por soportar en mis momentos de estrés y nunca negarse en ayudarme.

A Antonio Alvarado por su amistad y consejos; siempre dispuesto a ayudarme en lo que pudiera.

A Geraldine Rodríguez, gracias por ser mi compañera de tesis.

A Amieluz Ramos, una gran compañera de tesis que cada vez que perdía los ánimos me motivaba a seguir adelante con este trabajo, mil gracias.

A Beda Acuña una amiga incondicional que me brindó su apoyo en cada momento y a la familia Acuña por todo su trato amable que me ofrecieron.

A Katherine Betancourt por toda su ayuda brindada para lograr que pudiera redactar esta tesis.

A Constanza Bravo una amiga que siempre atesorare, mil gracias por los ánimos que me dabas.

A Sofía Cruz por escucharme siempre y por todo el cariño que me brindas.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de partida de la pila de compostaje con follaje de <i>Canavalia ensiformis</i> , en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.....	7
Tabla 2. Iniciadores comerciales del compostaje incorporados a la pila de biomasa con follaje de <i>Canavalia ensiformis</i> , en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre	7
Tabla 3. Microflora y macrofauna que participaron en el proceso del compostaje de la mezcla (<i>Canavalia ensiformis</i> + bagazo de caña de azúcar + gallinaza), en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.....	20
Tabla 4. Análisis fisicoquímicos del compost de <i>Canavalia ensiformis</i> , bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre	23
Tabla 5. Ensayo de germinación agronómico e <i>in vitro</i> de semillas de <i>Lycopersicum esculentum</i> en el compost de la mezcla de <i>Canavalia ensiformis</i> , bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre	37

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Variación de la temperatura ambiental (verde), de la pila (azul) y pH (rojo) en el proceso de compostaje de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 12
- Figura 2. Variación de volumen durante el proceso de compostaje de la biomasa de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre..... 17
- Figura 3. Número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje, (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 41
- Figura 4. Biomasa de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{60} y T_{120}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre..... 44
- Figura 5. Longitud de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje, (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre..... 46

RESUMEN

Se evaluó el proceso de compostaje del follaje de *Canavalia ensiformis* y su efecto sobre la morfología y reproducción de *Eisenia andrei*. En este estudio se caracterizó el proceso de compostaje aeróbico de *C. ensiformis* mediante apilamiento estático a cielo abierto con volteos semanales en un área de bosque muy seco tropical de la ciudad de Cumaná, estado Sucre. Para ello, se utilizó un diseño de pila cónica de 600 L de biomasa inicial, de un metro de alto. El sustrato se preparó con bagazo de caña de azúcar (35%), estiércol de gallinaza (10%) y *C. ensiformis* (55%) y al alcanzar los 120 días de maduración se colectó una muestra para la realización de análisis químico llevado a cabo por la empresa EDAFOFINCA. Los rangos de temperatura presentaron una curva normal, mostrando un pico de 57-65°C entre los días 7 y 21 de experimentación. Los valores de pH alcanzados estuvieron entre 5,17 a 8,10 con tendencia hacia la neutralidad en las fases finales del proceso de compostaje. Se alcanzó una reducción cercana al 90% del volumen inicial. El test de germinación *in vitro* arrojó un IG de 86,58 lo que demuestra que se obtuvo un compost maduro sin altas presencias de fitotoxinas. El compost a los 120 días es alcalino, con una elevada CE y concentración de K y Mn, valores aceptables de MO, relación C/N, C orgánico, N, P, Ca y S para los macronutrientes y de Na, Fe, Cu y Zn para los micronutrientes. El bioensayo con *E. andrei* mostró que el mayor número de individuos se contabilizó en el sustrato T₆₀, obteniendo una mayor presencia de lombrices juveniles. La biomasa de *E. andrei* no mostró diferencias estadísticamente significativas. Las lombrices rojas californianas adultas no cliteladas (ANC) y cliteladas (AC) exhibieron los mayores valores de biomasa y longitud en los sustratos alimenticios evaluados. El producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *Canavalia ensiformis*, gallinaza y bagazo de caña de azúcar, representa un compost maduro con escasa o nula presencia de sustancias fitotóxicas que puede ser empleado como medio de alimentación y crianza de *E. andrei*.

Palabras clave: pH, temperatura, índice de germinación, compostaje, *Eisenia andrei*, *Canavalia ensiformis*.

INTRODUCCIÓN

Anualmente, la industria agrícola produce grandes cantidades de materia orgánica que no es aprovechada, por lo que su descomposición van generando una serie de problemas ambientales (Romero *et al.*, 2015). A esto se suma el uso constante de agroquímicos para garantizar rendimientos elevados en las cosechas (Gordillo *et al.*, 2011); por ejemplo, en México en los últimos 40 años se ha incrementado el uso de fórmulas fertilizantes del tipo inorgánicas N-P-K, de 5×10^4 Mg a más de $5,5 \times 10^6$ Mg; sin embargo, la fertilización sigue siendo un problema dado que las plantas solo llegan a absorber entre 10 y 60% de los nutrimentos disponibles por esta vía (Peña *et al.*, 2001).

En condiciones tropicales, el daño a los suelos se hace más profundo, debido a que estos están sujetos a movilizaciones continuas que aceleran la pérdida de materia orgánica, además de su estructura y agregados, lo que va volviendo a los suelos más susceptibles a factores climáticos que los afectarían negativamente (García *et al.*, 2000).

La degradación de los suelos ha causado que en los últimos tiempos se vaya generando un interés por aplicar enmiendas orgánicas que mantengan buenas condiciones físico-químicas, así como la posible recuperación de suelos agotados (Gordillo *et al.*, 2011). Por tal razón, López *et al.* (2001) recomiendan que los abonos orgánicos sean utilizados en aquellos suelos que han sufrido una gran actividad agrícola que los ha llevado al deterioro de su estructura y de la capacidad de retener agua.

Los abonos verdes se basan en el empleo de materia vegetal no descompuesta o la utilización de plantas cultivadas para este fin, que se agregan a los suelos como coberturas o mediante cultivos rotativos (Álvarez *et al.*, 1995). Las cubiertas vegetales más recomendadas pertenecen a las familias Fabaceae, Poaceae y Brassicaceae, siendo la primera la más recomendada por las características de esta familia; sin embargo, se debe tomar en cuenta la capacidad de la planta de fijar N y almacenarlo en sus diferentes tejidos (Ovalles *et al.*, 2007).

Canavalia ensiformis es una planta herbácea, perteneciente a la familia de las fabáceas y originaria del nuevo mundo, antiguamente se cultivaba en América Tropical y formaba parte de la dieta de las personas, pero posteriormente se redujo su cultivo, a

pesar de las potencialidades que ofrece su utilización en los países tropicales. Es una planta anual o bianual, de alrededor de un metro de altura y muy ramificada. Sus frutos miden aproximadamente 30 cm de largo y 3,5 cm de ancho y los granos son generalmente de color blanco, con un peso superior a un gramo cada uno. Tiene un ciclo de cultivo de 170-240 días, su germinación es rápida (entre dos a tres días) y alcanza una altura de 60 a 130 cm. Sus raíces son pivotantes, formando nódulos; los tallos son de color púrpura, presentan flores de color blanco a rosado y frutos en forma de vainas aplastadas, ensiformis e indehiscentes. Cada vaina posee entre 12 a 20 semillas, teniendo una forma oblonga o redonda, algo aplastada y lisa de color blanco (Cáceres *et al.*, 1995).

El cultivo de *C. ensiformis* es ideal para climas tropicales debido a que la temperatura apropiada para su desarrollo oscila entre los 17 y 27°C, se adapta muy bien a sitios con precipitaciones de 711 a 4 919 mm y puede prosperar en múltiples condiciones edáficas, siendo su tipo de suelo predilecto los de pH cercanos a 6,5 (Hernández-Montiel *et al.*, 2017).

Los granos de *C. ensiformis* poseen una alta proporción de aminoácidos esenciales, a excepción del triptófano (García *et al.*, 2000). Su semilla se pueden cosechar a partir de los 180 días hasta los 300 días con un rendimiento promedio de 4 600 kg/ha (Sheahan, 2012). Su contenido de proteínas y energía metabolizada lo hace un recurso atractivo con niveles de 3,35 Mcal EM/kg de materia seca, entre 18,8 y 29,8% de proteína cruda, y entre 24,7-56,7% de almidón. A pesar de estos contenidos nutricionales, la harina de los granos de *C. ensiformis* presenta una serie de factores anti-nutricionales, los cuales restringen el aprovechamiento completo de los mismos. Por otra parte, resulta un beneficioso cultivo como abono verde, ya que aumenta la capacidad de retención de agua, reduce el lavado y la lixiviación de nutrientes así como favorece la actividad microbiana del suelo (Hernández-Montiel *et al.*, 2017).

El compostaje es un proceso en el cual materia de origen orgánico es transformada en un material con cualidades químicas, físicas y biológicas que lo hace beneficioso para las plantas, así como para la recuperación de los suelos (Acosta-Durán *et al.*, 2013). En este proceso de biodigestión se deben desarrollar cuatro etapas

marcadas por la temperatura (mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración) y reguladas por la acción de microorganismos, que al ir degradando las diferentes moléculas de la biomasa inicial, liberan energía que se acumula en forma de calor (Haug, 1980). Dicho proceso puede abarcar duraciones variables, determinadas por el tipo de materiales utilizados, el tamaño de partícula, aireación, temperatura y los diferentes microorganismos que hacen vida durante las diferentes fases del compostaje. En general, el tiempo de compostaje está cercano a los 170 días (Boulter *et al.*, 2000) y la actividad microbiana es fundamental (Muñoz, 2005).

El producto obtenido al final del proceso de compostaje, llamado compost, es un material estable que puede ser manipulado y utilizado sin afectar negativamente al hombre o al ambiente; conllevando más bien, a una serie de beneficios sobre la salud edáfica y crecimiento de las plantas, al mejorar las condiciones fisicoquímicas y la biología del suelo (Monsalve *et al.*, 2005).

Un compost inmaduro puede causar efectos nocivos en las plantas debido a metabolitos fitotóxicos no estabilizados. Los efectos de estos compuestos dependen de factores como el contenido de amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales (Bueno *et al.*, 2008). Estas sustancias, en elevadas concentraciones, pueden generar efectos perjudiciales en el desarrollo de las plantas, inhibiendo la germinación de semillas o el crecimiento de las raíces, por lo que es altamente riesgoso aplicarlo en los cultivos sin la debida evaluación preliminar (Varnero *et al.*, 2007).

En el occidente de Venezuela, se han desarrollado algunas experiencias de compostaje con diferentes desechos agroindustriales, tales como: café, bagazo de uva, bagazo de caña de azúcar, sábila, entre otros; obteniéndose productos que pueden ser utilizados como abono orgánico, debido al cambio que se produce en sus características físicas, químicas y organolépticas (Chandler *et al.*, 2008). Entre los beneficios de utilizar este tipo de abonos en la agricultura, se encuentra la reducción del uso de fertilizantes químicos, evitando de este modo la esterilización de los suelos y la contaminación de las fuentes de agua (Torres y Medina, 2009).

Por su parte el vermicompostaje es un proceso eco-tecnológico que no necesita un gran financiamiento, el cual permite la reducción de residuos orgánicos y su

estabilización por acción de lombrices y microorganismos asociados, la cual va a producir la vermicomposta; un material homogéneo, estable y de granulometría fina. Este proceso biotecnológico transforma residuos orgánicos en productos que pueden ser destinados a iniciativas de restauración de suelos, así como a la fertilización de los mismos (Villegas-Cornelio y Canepa, 2017).

La vermicomposta ha demostrado su utilidad en el crecimiento de las plantas tanto hortícolas como ornamentales, esto debido a que este producto es de absorción lenta por las plantas, ya que lo van absorbiendo a medida que es necesitado, además se cree que puede aportar enzimas libres y ácidos húmicos que ejercen un efecto positivo en el crecimiento vegetal más allá de aporte de nutrientes (Domínguez *et al.*, 2010).

Las lombrices participan ampliamente en varios procesos en los suelos, entre ellos: a) la fragmentación física del sustrato orgánico que facilita la acción de los microorganismos sobre ellos; b) la modificación, transporte e inoculación de la microflora presente en los residuos y c) la aireación del sustrato por medio de sus movimientos de excavación y deyección. La rapidez con que ocurren los cambios fisicoquímicos y bioquímicos producidos por la interacción de la lombriz con su entorno hacen del proceso de vermicompostaje un buen medio para estudiar las relaciones entre las lombrices de tierra y los microorganismos (Aira y Domínguez, 2010).

Las lombrices *Eisenia andrei* y *E. fetida* son dos especies estrechamente relacionadas, las cuales son las más usadas experimentalmente en la biodegradación de residuos orgánicos. Se caracterizan por ser especies ubicuas, capaces de colonizar residuos orgánicos de forma natural y soportar diversas condiciones de temperatura y humedad. El rango de temperatura óptima para el crecimiento y reproducción de estas lombrices va desde los 25 a 28°C y la temperatura crítica que puede producir la muerte de los individuos es de 33,3°C. La humedad óptima se encuentra entre un 80-85%, aun así, se ha observado la capacidad de sobrevivir a periodos de inmersión total por hasta seis meses (Domínguez *et al.*, 2010).

En las últimas décadas, trabajos sobre el reciclaje orgánico, llevados a cabo en el oriente de Venezuela, han tenido como propósito la valoración y gestión de los residuos hortícolas generados en mercados municipales, reconocimiento y caracterización de

materiales estructurantes ligno-celulósicos (Salazar, 2013), ventajas del uso de aceleradores microbiológicos (Márquez, 2015; Barrios *et al.*, 2016), estandarización de diferentes técnicas de aireación y manejo de la biomasa en compostaje (Campos, 2013; Rivas, 2013; Fernández, 2015) y estudio de los requerimientos de precompostaje para la alimentación de lombrices rojas californianas (Lobatón, 2015). No existen referencias científicas de aplicación de estas biotecnologías para el aprovechamiento de la *C. ensiformis* como fuente de biomasa para la producción de abonos orgánicos mediante compostaje y vermicompostaje. En este sentido, el presente trabajo persigue explorar el proceso de compostaje del follaje de esta leguminosa y sus efectos sobre la morfología y reproducción de *E. andrei*.

METODOLOGÍA

Área de estudio

La fase experimental se llevó a cabo en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre, el cual consta de un terreno cercado de 2 000 m² a cielo abierto, ubicado en calle Las Lucias, sector Alejandría, parcela N° 1, vía al Vivero Loló, Cumaná, estado Sucre. El Banco de Germoplasma se ubica geográficamente a 10°26'32''N y 64°09'14''O, con una temperatura ambiental entre 23-33°C y condiciones ambientales de un bosque seco tropical.

Ensayo de compostaje

La materia verde a compostar de *C. ensiformis* se obtuvo de la siembra de 360 semillas, además de plantas ya existentes que fueron podadas en la base del tallo a dos nudos por encima del suelo. Estas fueron incorporadas a una trituradora de martillos modelo B-616 de 3 600 rpm para cortar en fragmentos más pequeños que fueron depositados temporalmente en cuñetes plásticos de 20 L. Este triturado fresco de *C. ensiformis* requirió materiales estructurantes y niveladores del contenido de nutrientes para mejorar la porosidad y relación carbono/nitrógeno en la biomasa experimental. Para ello, se mezcló el follaje triturado de *C. ensiformis* con una fuente ligno-celulósica (bagazo de *Saccharum officinarum* seco y triturado) proveniente del trapiche “guarapos Mileida” ubicado en la Urbanización Sucre y estiércol de gallinas (*Gallus gallus domesticus*) proporcionado por la granja “Ovo Palomo, C.A”, Cumaná, estado Sucre (Tabla 1).

Los materiales de partida fueron mezclados por volteos manuales, empleando herramientas de jardinería (pico, pala y escardilla). La biomasa final fue depositada en una pila cónica de un metro de altura, dispuesta en un ambiente aislado de la lluvia y radiación solar directa. Se inocularon microorganismos contenidos en diferentes productos comerciales (Tabla 2), los cuales aceleraron el proceso de compostaje. Todos los microorganismos fueron resuspendidos inicialmente en 9 L de agua limpia y reposada, que se mezcló suavemente para diluir y se añadieron a la pila de biomasa.

Tabla 1. Materiales de partida de la pila de compostaje con follaje de *Canavalia ensiformis*, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Materiales	Volumen (L)	Humedad (%) ^a	Densidad (g/mL) ^b	Masa (kg)	Relación C/N ^c	Aporte C (kg)	Aporte N (kg)	Aporte H ₂ O (kg)
FTCe	330	65	0,92	304	22/1	102	4,62	197,34
BCA	230	10	0,35	80	104/1	72	0,69	8,05
Gallinaza	40	8	1,10	44	15/1	38	2,53	3,52
Final	600	49	0,71	428	27/1	212	7,84	208,91

FTCe: follaje triturado de *C. ensiformis*, BCA: Bagazo de caña de azúcar seco y triturado, ^a: %H= 100 x (peso húmedo-peso seco a 105°C por 24 h/peso húmedo), ^b: d= peso/volumen, a y b en muestras por triplicado, ^c: relación simplificada entre el contenido de carbono/nitrógeno según López y Boluda (2008). Aportes de C, N (en la materia seca) y H₂O a partir de cálculos propios.

Tabla 2. Iniciadores comerciales del compostaje incorporados a la pila de biomasa con follaje de *Canavalia ensiformis*, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Nombre comercial	Presentación	Dosis (mL)	Ingrediente activo
Dr. Earth	Sólido en polvo	40 mL	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>B. cereus</i> , <i>B. megaterium</i> , <i>Azotobacter vinelandi</i> , <i>Laptobacillus. acidphilus</i> , <i>Rhizobium japonicum</i> , <i>Aspergillus oryzae</i> .
Jobes Organic	Sólido granulado	40 mL	<i>Arthrobacter globiformis</i> , <i>A. simplex</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i> , <i>A. paspali</i> , <i>Azospirillum lipoferum</i> , <i>Streptomyces griseoflavus</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i> , <i>Glomus intraradices</i> , <i>G. etunicatum</i> , <i>Scleroderma cepa</i> , <i>S. cintrinum</i> , <i>S. seastrum</i> , <i>Pisolithus tinctorius</i> , <i>Nitrosopomilus maritimus</i> , <i>Laccaria bicolor</i> , <i>L. laccata</i> .
Ringer	Sólido Peletizado	40 mL	Microorganismos no reportados por el fabricante
Medina	Sólido en polvo	10 mL	Microorganismos no reportados por el fabricante
Compost Accelerator Sancor	Sólido granulado	20 mL	Microorganismos no reportados por el fabricante
Natural	Líquido	10 mL	Microorganismos no reportados por el fabricante

Una vez armada la pila de compostaje empezó el monitoreo diario de color, olor, signos de colonias de microorganismos, hongos y macrofauna asociados con cada una de las etapas del proceso de compostaje. Inicialmente, se registraron las observaciones diariamente (7:00-7:30 a.m.) por un periodo de dos semanas, empezando desde el día de montaje de la pila; posterior a esto, el monitoreo se hizo semanalmente. Se llevaron registros de pH y temperatura del núcleo de la pila de compostaje, tomados en tres puntos diferentes con ayuda de un pH-metro de campo con bulbo sensor al extremo de una varilla metálica de 25 cm de largo y de un termómetro bimetálico analógico MCA-TAYLOR, modelo 6097-1.

Para mantener la humedad de la pila de compostaje entre 50-70% v/v, semanalmente se determinó por triplicado el contenido de agua en muestras de 100 mL de biomasa fresca y luego de secar por 24 h en estufa a 105°C, empleando la fórmula: %Humedad= 100 x (masa húmeda - masa seca)/masa húmeda. El déficit de humedad se ajustó utilizando agua reposada aplicada con regadera manual.

Se aireó la pila semanalmente para extraer la saturación de gases de compostaje y elevar los niveles de oxígeno por encima del 5% v/v. Con esta operación se pudo conocer también la variación de volumen en la pila de compostaje, para lo cual se empleó una horca marca Truper, modelo 30323, de seis púas para desestructurar fácilmente la pila y depositar temporalmente la biomasa en cestas plásticas de 50 L. Luego de determinar el volumen total, la biomasa se vertió desde las cestas a una altura mínima de 1,5 m, tratando de que con esta acción se reestructure la pila en un nuevo cono, ajustando la proporcionalidad entre el diámetro de la circunferencia base y la altura del cono.

Análisis fisicoquímico del compost

Una muestra de 800 mL de a los 120 días (fase de maduración) compost fue pulverizada, envasada y enviada al Laboratorio certificado de Análisis de Suelos y Sustratos Orgánicos de EDAFOFINCA, C.A., ubicada en Cagua, estado Aragua, para que dicha empresa prestara el servicio de determinación del contenido de elementos

totales (C, N, P, K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Cu, Zn y Mn), relación C/N, pH en pasta saturada y en suspensión 1:5, conductividad eléctrica y materia orgánica.

Ensayos de germinación

La fitotoxicidad del compost del follaje de *C. ensiformis* se evaluó mediante la respuesta germinativa de semillas certificadas de *Lycopersicon esculentum* L. (híbrido F₁ caribeño) en ensayos agronómicos y pruebas de germinación *in vitro*, según Zucchini *et al.* (1981). Estos experimentos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Genética Vegetal del Departamento de Biología (EC-518, UDO-Sucre). En el primer caso, se mezcló una muestra del sustrato sólido al término del proceso de compostaje (tiempo equivalente al descrito en T₁₂₀ del ensayo con lombrices) en proporción 1:1 con arena lavada estéril y se depositó la mezcla dentro de bandejas de aluminio previamente perforadas y con capacidad de 1 L. Como tratamiento control se utilizó arena gruesa lavada del mismo tipo usada para los tratamientos con compost y desinfectada con Basamid de la casa fabricante de agroquímicos BASF. En cada bandeja se sembraron 50 semillas a unos 3 mm de profundidad. Se establecieron tres germinadores para el sustrato experimental y tres germinadores control, para registrar el porcentaje relativo de germinación agronómica (PRGA= 100 x número de plántulas en los germinadores con compost/número de plántulas en los germinadores solo con arena). Los germinadores se mantuvieron en condiciones de vivero y con humedad edáfica al 50%.

Para la germinación *in vitro* se tomó una alícuota de unos 600 mL del compost de *C. ensiformis* que fue previamente colocada en la estufa (24 h, 105°C) y luego pulverizada en trituradora Ika Labortechnik, modelo M20S3. Se mezclaron 4 g de polvo de compost con 100 mL de agua destilada y se agitó enérgicamente durante 1 h. Una fracción de esta suspensión se trasvasó a un tubo Falcon con capacidad de 14 mL y se centrifugó en un equipo Ependorf, modelo 5703 a 500 rpm durante 15 min a 25°C. Una vez centrifugada la muestra, con ayuda de una pipeta Pasteur se colocaron 4 mL de la solución en cápsulas de Petri con papel absorbente, previamente esterilizados en la estufa durante 24 h. Se colocaron 10 semillas en cada cápsula por triplicado e igualmente se estableció un control con agua destilada en las mismas medidas. Las cápsulas fueron mantenidas en una incubadora a temperatura de laboratorio (23-26°C) y

se observaron diariamente para hacer seguimiento de la germinación. A los 10 días se detuvo el crecimiento de las plántulas con la aplicación de etanol 70% v/v para determinar el índice de germinación (IG), según Zucconi *et al.* (1981). Previamente se calculó el porcentaje relativo de germinación ($PRG = 100 \times \text{semillas germinadas en la suspensión experimental del té de compost/semillas germinadas en el control}$) y el crecimiento relativo de la radícula ($CRR = 100 \times \text{longitud promedio de la radícula en la suspensión experimental del té de compost/longitud promedio de la radícula en el control}$). Se calculó entonces el índice de germinación ($IG = PRG \times CRR/100$).

Ensayo con lombrices rojas californianas (*Eisenia andrei*)

Esta fase del trabajo estuvo dividida en tres partes, en función del tiempo de compostaje de la biomasa experimental conteniendo el follaje de *C. ensiformis*. Se tomaron en cuenta las etapas en el avance del proceso de compostaje, según Bueno *et al.* (2008): etapa termófila (la temperatura inicial se elevó por encima de los 45°C), de enfriamiento (la temperatura descendió por debajo de los 45°C) y maduración (la temperatura de la pila se equilibró con el ambiente externo). Los tratamientos estuvieron definidos por el tiempo que transcurre la etapa termófila: T_{0A} = biomasa fresca recién mezclada (Tabla 1); T_{60} = biomasa en compostaje hasta la semana siguiente de finalizar la etapa termófila y entrar en enfriamiento sostenido; T_{120} = biomasa dejada en la pila de compostaje durante el doble del tiempo de la etapa termófila ($2 \times T_{60}$).

Para estimar los efectos independientes del follaje de *C. ensiformis*, sin los otros materiales de partida, se estableció un cuarto tratamiento (T_{0B}). Cada tratamiento estuvo integrado por un sustrato de fondo (25 L), proveniente de lumbricarios ya establecidos en la unidad de investigación por Andrade (2018), 125 lombrices cliteladas seleccionadas al momento de establecer la prueba y el sustrato experimental en T_{0A} , T_{60} o T_{120} (25 L) que se colocó por encima del medio original con las lombrices.

Para el T_{0B} se aplicaron 2,5 L de follaje de *C. ensiformis* triturado y conservado bajo refrigeración. Todos los ensayos se establecieron por duplicados y en cestas plásticas de 50 L, se mantuvieron bajo condiciones de laboratorio con humedad entre 60-80% v/v. En los tres primeros casos (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) los 25 L de biomasa

experimental se añadieron de una sola vez (al inicio); mientras que en T_{0B} se añadió semanalmente hasta que se acumuló 25 L (10 aplicaciones).

A los 90 días después de iniciado cada tratamiento, se contabilizaron los cocones y las lombrices en diferentes estadios de desarrollo (juveniles, adultas no cliteladas y adultas cliteladas). Se tomó por duplicado una muestra de 10 lombrices de cada clase, las cuales fueron pesadas y fotografiadas para determinar la longitud según metodología computarizada adaptada por Andrade (2018).

Análisis estadísticos

Las variables de seguimiento del proceso de compostaje (temperatura, pH y volumen) y las de los ensayos de germinación (porcentaje relativo de germinación agronómica y el índice de germinación *in vitro*), se analizaron con estadística descriptiva. Los tratamientos con lombrices (T_{0B}, T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀) se compararon tomando en cuenta las variables (número de lombrices y de cocones, biomasa y longitud de las lombrices) mediante ANOVA simple (Sokal y Rohlf, 1981) o con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis en las variables que no cumplieron con los supuestos. Finalmente, para los tratamientos significativos se realizó la prueba *a posteriori* de Duncan, con un nivel de significancia de 0,05, utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.- Temperatura y pH

En la Figura 1 se observa el comportamiento de la temperatura (ambiental y de la pila) y pH durante los 120 días que duró el proceso de compostaje en la pila de bagazo de caña de azúcar, gallinaza y *Canavalia ensiformis*.

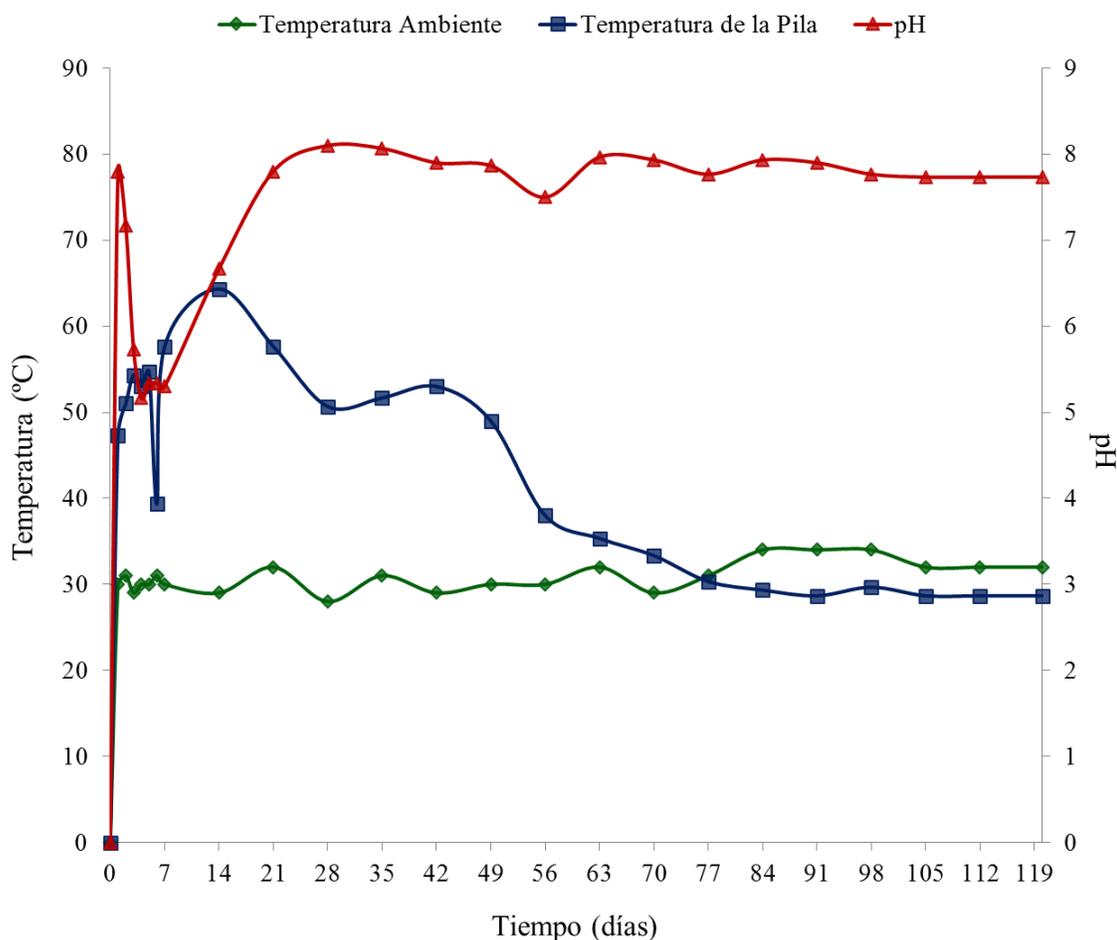


Figura 1. Variación de la temperatura ambiental (verde), de la pila (azul) y pH (rojo) en el proceso de compostaje de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

La temperatura es uno de los factores más importantes que rigen la tasa de las reacciones bioquímicas en el proceso de compostaje (Fontavine *et al.*, 2004). Se ha demostrado que pequeñas variaciones en esta variable afectan más la actividad

microbiana que pequeños cambios de pH, humedad o relación C/N (Bueno *et al.*, 2007). Durante el compostaje se pueden apreciar 4 etapas o fases de temperatura: mesófila, termófila o de higienización, de enfriamiento o mesófila II y maduración (Román *et al.*, 2013).

En este estudio, la pila de compostaje exhibió las 4 etapas clásicas (Figura 1): la fase mesófila con temperaturas entre 30-40°C, la termófila iniciada a partir del segundo día (40-65°C), la de enfriamiento caracterizada por un descenso paulatino de la temperatura (<40°C) y la de maduración donde la temperatura de la pila se iguala a la ambiental (28-31°C) (Sasek *et al.*, 2003). Patrones similares fueron reportados para compostajes de diferentes mezclas llevados a cabo en la misma zona por Salazar (2013).

La fase mesófila inicial presentó una duración de apenas 24 horas (Figura 1). De la Cruz *et al.* (2009) plantean que esta etapa es de muy breve duración, ya que se utilizan los azúcares y otros compuestos simples degradables por microorganismos mesófilos (hongos y bacterias acidificantes) haciendo que la temperatura se eleve hasta los 40°C; la activación de estos microorganismos pudo ser potenciada posiblemente por la buena carga de nutrientes en los materiales de partida: *Canavalia ensiformis* + bagazo de caña de azúcar + gallinaza. Además otros factores como la aireación, tamaño de partículas, relación C/N, entre otros que pudieron contribuir a la corta duración de esta etapa facilitando el comienzo de la fase termófila (Muñoz *et al.*, 2015).

La medición diaria de la temperatura interna de la pila, mostró que la fase termófila se alcanzó al segundo día de instalada la pila, extendiéndose esta fase hasta el día 55 de experimentación (Figura 1). Adicionalmente, se presentó un pico de temperaturas de 57-65°C durante los días 7 y 21 del ensayo, lo que garantiza la higienización del producto final, por lo que puede considerarse un compost libre de patógenos (Márquez, 2015). Al respecto, algunos autores indican que de 48 a 72 horas por encima de 55°C es lo más adecuado para lograr la eliminación de microorganismos dañinos (Hanajima *et al.*, 2011; EPSAR, 2018). Otros indican que por encima de 40°C durante tres días es suficiente para destruir los patógenos (Crockett *et al.*, 2001; Cai *et al.*, 2018). A pesar que los niveles de temperatura mencionado por los autores difieren entre sí, el rango de temperatura obtenido en este estudio cumplió los requisitos

establecidos, debido que estuvo expuesto a temperaturas entre los 57-65°C durante 14 días.

Por su parte, FAO (2007) y Román *et al.* (2013) señalan que el aspecto fundamental de la fase termófila es la destrucción de bacterias y patógenos debido a las altas temperaturas del material. El calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp; además eliminan quistes, huevos de helmintos, esporas de hongos y semillas de malezas.

Durante las primeras semanas del proceso de compostaje, la actividad microbiana presentó una mayor incidencia, debido a la presencia de materia rica en sustancias fácilmente biodegradables (fenoles, azúcares y ácidos orgánicos) que permiten el desarrollo intenso de los microorganismos descomponedores (Acosta, 2002). En esta investigación se puede inferir que el material fresco de *Canavalia ensiformis* fue el mayor proveedor de estas sustancias en la pila de compostaje.

La pila de compostaje de *C. ensiformis* empezó la fase de enfriamiento a partir del día 56; probablemente por la disminución de los nutrientes contenidos en los materiales fácilmente biodegradables, provocando así la estabilización final del proceso (Acosta *et al.*, 2003; Moreno y Mormeneo, 2008); esto a su vez conlleva la disminución de la actividad microbiana producto del declive de las poblaciones bacterianas (Martínez, 1996). Efecto que pudo ser apreciado en esta investigación, ya que se observó la desaparición gradual de halo blanco del interior de la pila, el cual posiblemente se debía a la presencia de actinobacterias.

En esta parte del proceso, prácticamente se ha transformado en totalidad la materia orgánica. Las fuentes de carbono y nitrógeno se han agotado y la temperatura comienza a descender. Por lo que es normal apreciar el crecimiento de algunos hongos y la reactivación de los microorganismos de la etapa mesófila, se vuelve a reactivar (Negro *et al.*, 2000).

Finalmente, el material en compostaje entró en fase de maduración y estabilización a partir del día 77, con temperaturas entre 28-31°C, para finalizar a los 120 días, con registros termicos similares al ambiente (Figura 1). Esta etapa puede abarcar de 1 a 4 meses, y tiene como fin curar el compost inmaduro, el cual puede

contener altos niveles de ácidos orgánicos, alta relación carbono-nitrógeno, valores extremos de pH, elevado contenido de sales; condiciones que pueden dañar o matar a las plantas si se aplica al suelo (Chen *et al.*, 2011).

Por otro lado, el pH es el primer indicador del estado nutricional del suelo, determina la presencia de microorganismos y los procesos bioquímicos en los que intervienen, junto con la disponibilidad de los nutrientes (Uribe *et al.*, 2001; Durán y Henríquez, 2007). En el compostaje, el pH tiene influencia directa, debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos, puesto que cada microorganismo tiene un valor óptimo en el que su crecimiento se ve favorecido, el cual representa una medida solo del pH extracelular, ya que el pH intracelular debe permanecer cercano a la neutralidad para prevenir la destrucción de las biomoléculas de la célula (Madigan *et al.*, 2009). Por lo tanto, en muchos casos se usa esta variable para estudiar la evolución del mismo (López, 2010).

Sánchez-Monedero *et al.* (2001) y Salazar (2013) señalan que la evolución del pH en el compostaje presenta tres fases. La primera es la mesófila se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos; eventualmente esta bajada inicial de pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formará una mayor cantidad de ácidos orgánicos. En una segunda etapa se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y a la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. Y en la tercera fase, el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tienen propiedades tampón.

Sundberg (2005) plantea que la variación en el pH durante el proceso de compostaje se debe a cambios constantes en la composición química del sustrato, además el pH está influenciado por tres sistemas acido-base: el sistema carbónico, con el dióxido (CO_2) que se forma durante la descomposición y que puede escapar en forma de gas; el sistema amonio (NH_4^+) - amoníaco (NH_3), el cual se obtiene cuando se descomponen las proteínas y el sistema de ácidos orgánicos como el acético y láctico. Estos sistemas se combinan para formar la curva típica del pH del compostaje, donde se

presenta un descenso en la fase inicial, un aumento en la fase de máxima actividad y por último la tendencia a la estabilización.

Como se aprecia en la Figura 1, el pH durante los días primeros 7 días se torna moderadamente ácido alcanzando valores cercanos a 5. Valderrama (2013) señala que al comienzo del proceso de compostaje generalmente el pH decrece por la acción de las bacterias acidificantes para luego ir incrementando a medida que avanza la descomposición.

El posterior aumento del pH, registrado en este estudio a partir del día 14, coincidió con el pico de la fase termófila, en la cual las elevadas temperaturas registradas permiten la volatilización de los ácidos orgánicos propiciando un aumento del pH (Fernández, 2015); a medida que el proceso de compostaje avanzó a la etapa de maduración, el pH tiende a la neutralidad situándose en este estudio en 7,73. Moreno y Moral (2008) señalan que este acercamiento a la neutralidad es propiciado por la formación de compuestos húmicos.

Suler y Finstein (1977) establecieron una relación directa entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con aireación adecuada conduce a productos finales (compost) con valores de pH próximos a la neutralidad. Por lo que se puede inferir que los volteos realizados en la pila ayudaron a mantener una buena curva de pH y una efectiva degradación de la materia por parte de los microorganismos aerobios.

2.- Volumen de la pila

En la Figura 2 se muestra la reducción del volumen de la pila cónica constituida por bagazo de caña de azúcar, *Canavalia ensiformis* y gallinaza, durante el proceso de compostaje. Inicialmente se contaba con un volumen de 600 L. la cual fue disminuyendo a medida que avanzaba el proceso de descomposición de los materiales, siendo más pronunciada la disminución de volumen en la segunda semana para una posterior pérdida más escalonada hasta la entrada de la fase de enfriamiento. En la fase de maduración el ritmo de descomposición disminuye, reflejándose en una baja o nula pérdida de volumen.

Desde el día 7 al 14 de experimentación se puede observar un descenso drástico del volumen de la pila de aproximadamente 250L. Fernández (2015) señala que descensos tan rápidos están ligados a la entrada a la fase termófila en donde se produce una intensa actividad de los microorganismos que atacan a los materiales más fáciles de digerir. En esta investigación se apreciar muy bien durante el pico de máxima temperatura de la fase termófila.

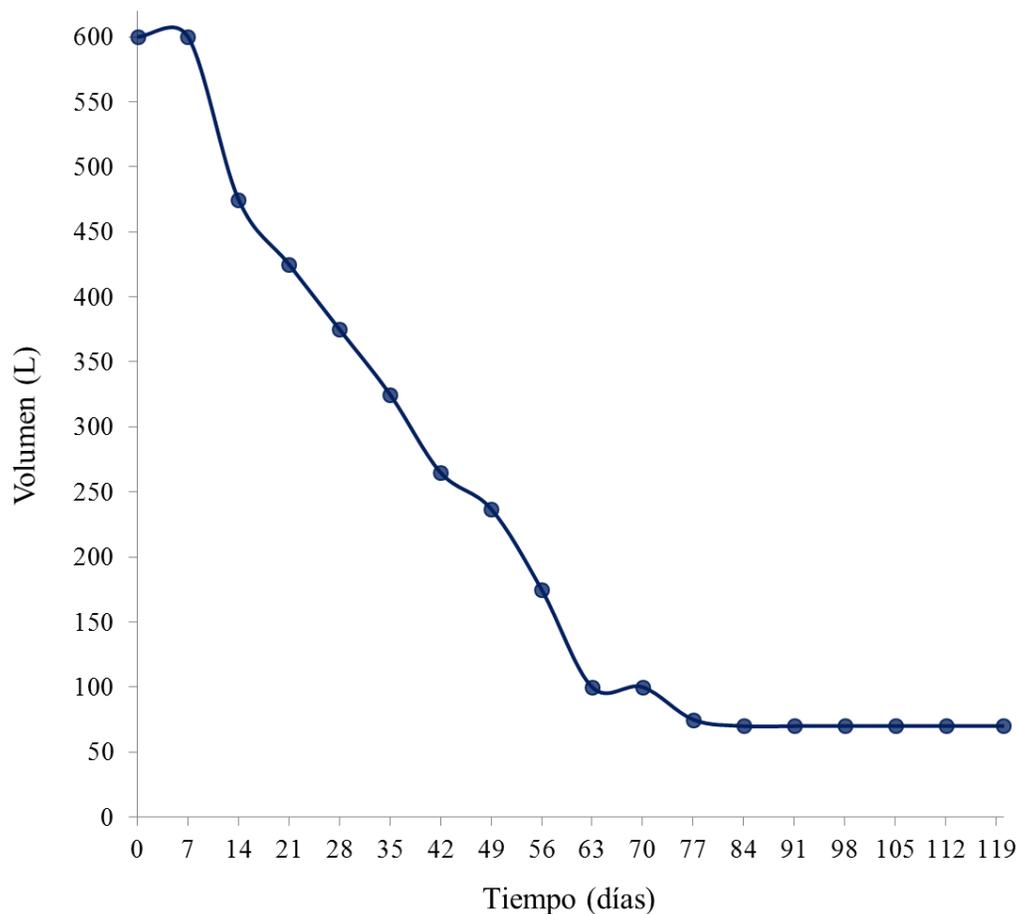


Figura 2. Variación de volumen durante el proceso de compostaje de la biomasa de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

A partir del día 14 hasta el día 63, el volumen continuo en descenso, sin embargo no se observó un decaimiento tan acusado como entre los días 7-14; cabe resaltar que para los días 35-42, la pila ya había perdido casi la mitad de su volumen inicial.

Resultados similares fueron observados por Fernández (2015) en sus tratamientos con aireación mecanizada y la combinación de mecanización / aire forzado, y por Márquez (2015) en su tratamiento a base de Jobs Organic, por lo que se puede inferir de los datos presentados por dichos autores que la pila de compostaje de *Canavalia*, bagazo de caña y gallinaza, presentaba una buena aireación y presencia de microorganismos que facilitaron la descomposición.

Al finalizar el proceso de compostaje se logró recuperar solo un 11,67% del volumen inicial, como se aprecia en la Figura 2. García *et al.* (1992), Mayea (1992) y Frioni (1996) señalan que las pilas de compostaje deben bajar de un tercio a un sexto o de un 20 a un 60% de su altura inicial; la pérdida de volumen es un parámetro físico indicador, pero sobre todo visual muy importante, porque brinda al operador información para conocer si el compost ha llegado a la madurez.

La Figura 2 evidencia que el proceso de compostaje en este estudio reunió las características internas adecuadas para su correcto funcionamiento. En los días 14 a 63 de experimentación la pérdida de volumen puede estar ligada a la aireación de la pila producto de los volteos semanales, que permitía a los microorganismos aerobios la readquisición de oxígeno (Moreno y Moral, 2008). El consumo de oxígeno se relaciona directamente con la actividad microbiana, por lo tanto si la aireación es insuficiente la fracción orgánica se descompone lentamente.

Por otro lado, si la humedad es excesivamente baja, se disminuye la actividad de los microorganismos y por tanto, la velocidad de descomposición biológica de la materia orgánica se ralentiza, pudiéndose llegar finalmente a la inhibición y el fracaso de este proceso, obteniéndose un producto biológicamente inestable (Saña y Soliva, 1987; Negro *et al.*, 2000; Singh *et al.*, 2010; Agnolucci *et al.*, 2013).

3.- Textura, olor y color

Durante todo el proceso de compostaje el color y olor pueden ser indicativos de los avances de la descomposición de los diferentes materiales que se buscan degradar. La presencia de olores desagradables puede indicar que el proceso está en fase inicial, ya que son generados por la descomposición de ácidos orgánicos, o por los procesos

anaerobios que producen amoníaco y ácido sulfhídrico; mientras que el color puede reflejar el grado de descomposición de los materiales a compostar (Moreno y Moral, 2008).

Los cambios de textura, olor y color que se produjeron durante el proceso de compostaje de la pila de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña y gallinaza fueron muy marcados. Durante la primera y la mitad de la segunda semana los materiales estructurales (*C. ensiformis* y bagazo de caña de azúcar) aún se encontraban visualmente diferenciables. En la fase mesófila (de corta duración) se podía observar cada uno de los materiales vegetales utilizados en el armado de pila de compostaje, los cuales eran fácilmente reconocibles dándole una tonalidad verde con marrón claro a la biomasa, además de contar con un olor a madera mojada y hojas trituradas provenientes del bagazo de caña de azúcar y el follaje de *Canavalia*, respectivamente.

Durante la fase termófila, inicialmente se percibieron olores lácticos, causados posiblemente por la fermentación inducida por bacterias del género *Bacillus* proveniente de los iniciadores microbiológicos, “Dr earth”, utilizados en el armado de la pila de compostaje.

Los cambios de color y olor observados en este estudio están acorde con lo reportado por García-Martínez y González (2005), quienes durante su estudio indicaron que al inicio del proceso el color del compost era marrón, tornándose cada vez más oscuro con el paso del tiempo; con respecto al olor, percibieron un olor a grasa rancia fuerte y penetrante, el cual luego de 3 semanas fue aminorando hasta ser imperceptible; efecto parecido a lo ocurrido con los olores lácticos detectados durante la primera semana en este trabajo.

En la fase de enfriamiento, maduración y hasta el final del proceso alcanzado a los 120 días de experimentación, la pila de compostaje exhibía una tonalidad marrón oscura, con un olor agradable a tierra mojada y una consistencia suelta. El olor puede ser atribuido a la presencia de actinobacterias del género *Streptomyces*, aportadas por los aceleradores comerciales, las cuales producen una serie de compuestos llamados geosminas responsables de dar ese olor similar a tierra húmeda (Brock y Madigan, 1996; Trautmann y Olynciw, 2000).

4.- Factores bióticos asociados a las etapas del compostaje

En la Tabla 3 se muestra el ciclo de aparición de la microflora y macrofauna relacionada a las diferentes fases del proceso de compostaje de *Canavalia ensiformis* + bagazo de caña de azúcar + gallinaza, observándose la aparición de una mayor variedad de organismos en la fase de enfriamiento, lo cual puede ser atribuido al descenso de la temperatura de la pila de compostaje de *C. ensiformis*, bagazo de caña gallinaza a menos de 40°C.

Tabla 3. Microbiota y macrobiota que participaron o hicieron presencia en la pila en algunas fases del proceso del compostaje de la mezcla (*Canavalia ensiformis* + bagazo de caña de azúcar + gallinaza), en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Organismos	Etapas del proceso de compostaje			
	Mesófila	Termófila	Enfriamiento	Maduración
Hongos sombreritos	-	*	-	-
Actinomicetos	-	*	*	*
Arañas	-	-	*	*
Moscas (larvas)	*	*	*	-
Avispas	-	*	*	-
Hormigas	-	*	*	*
Cochinillas	-	-	*	*

Presentes: * / ausentes: -

Los organismos presentes en el proceso de compostaje varían continuamente en función de los factores bióticos y abióticos, como la evolución de la temperatura, disponibilidad de nutrientes, concentración de oxígeno, contenido de agua, pH, clima, tipo de suelo, entre otros (Barrena, 2006); condiciones que durante el desarrollo del presente estudio promovieron el crecimiento y reproducción de una variedad de organismos que participaron en el proceso de descomposición de la materia orgánica de la pila de compostaje de *C. ensiformis*, bagazo de caña y gallinaza en un periodo de 120

días.

Para tener una idea del tipo de microbiota y macrobiota encargada de descomponer todos los materiales utilizados en este trabajo se optó por la utilización de parámetros como el pH y temperatura (monitoreo diarios) para establecer una relación entre estos y el tipo y actividad biológica de las poblaciones microbianas presentes en la pila de compostaje. Por lo tanto, en esta investigación a través de la dinámica de pH y temperatura de la pila fue posible corroborar la presencia de actinobacterias e invertebrados. Se presenció poca proliferación de insectos como la mosca doméstica (*Musca domestica*) y avispa (*Pepsis* sp.); estas últimas llegaron a la pila para colocar sus huevos, hecho que se pudo constatar mediante la observación de sus larvas en el interior de la misma. La poca presencia de moscas y larvas podría estar relacionada a que el proceso de compostaje contaba con condiciones aerobias. Estos resultados concuerdan con los reportados por otros investigadores, como Sánchez (2009), Salazar (2013) y Fernández (2015).

En todo el proceso de compostaje hasta su finalización, varió la presencia de diferentes organismos que hacían vida en la pila. Durante la etapa mesófila (inicial) que duró apenas 24 horas se observó la llegada de dípteros (cuando fue recién armada la pila), posiblemente atraídos por la humedad y los olores que emanaban de ella.

Durante la fase termófila (Tabla 3), la microflora mesófila fue sustituida rápidamente por la termófila, esto se corrobora con el aumento de la temperatura y el emparejamiento de esta con el pH, producto de la intensa actividad metabólica de la carga microbiana presente en los materiales de partida (Acosta *et al.*, 2006). La población de actinobacterias en la pila mostró una apariencia pegajosa, húmeda y con una coloración blanco intenso. Por otro lado, durante el séptimo día se observó la aparición de hongos sombreritos algunos formando dúos, con un buen desarrollo y llegando a sobrevivir hasta horas del mediodía, lo cual concuerda con lo reportado por Salazar (2013) para sus tratamientos que contenían bagazo de caña de azúcar como material estructurante. Así mismo, se observó la aparición de un halo en el interior de la pila de color blanco parecido a ceniza producto del desarrollo de actinomicetos; los cuales tienen un rol importante en la degradación de los componentes celulíticos y

pueden también degradar la lignina (Day y Shaw, 2001).

En cuanto a la macrofauna presente durante la fase termófila se evidenció la presencia de hormigas, avispas, larvas y adultos de moscas domésticas. Sin embargo el número de estos insectos en la pila de compostaje de *C. ensiformis*, bagazo de caña y gallinaza era reducido.

En la fase de enfriamiento se observó un aumento en la población de hormigas, avispas y moscas presentes en la pila y se registró la llegada de cochinillas y pequeñas arañas (Tabla 3). Según Magdoff y Weil (2004), en esta etapa la fase de enfriamiento, el avistamiento de los residuos no biodegradables es más intenso y continúa la acción de actinobacterias, hormigas, arañas, entre otros organismos.

En el periodo de maduración (Tabla 3), las actinobacterias adquieren mayor importancia en la formación de los ácidos húmicos y son frecuentemente productoras de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos; por su parte los macroorganismos, tales como rotíferos, hormigas, arañas, roedores, cochinillas, escarabajos, tijeretas, entre otros, incrementan su actividad, desempeñando la función de remover, excavar, moler, masticar y en general, romper físicamente el resto de los materiales compostados (Magdoff y Weil, 2004). En dicha fase de compostaje se pudo observar la aparición de una macrofauna representada por arañas, cochinillas, hormigas y reptiles de menor tamaño.

5.- Características fisicoquímicas del compost obtenido

En la Tabla 4 se observan los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), relación C/N y las distintas concentraciones de materia orgánica (MO), macro y micronutrientes contenidos en el compost final (120 días) de *Canavalia ensiformis*, baazo de caña y gallinaza. Se puede observar que el compost de esta investigación es alcalino, con una elevada CE y concentración de K y Mn, valores aceptables de MO, relación C/N, C orgánico, macroelementos como N, P, Ca y S y microelementos como Na, Fe, Cu y Zn.

5.1.- Materia orgánica (MO)

La materia orgánica contenida en el compost final de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña y gallinaza se ubicó en 63,4% (Tabla 4). Este valor se encuentra dentro del rango establecido por FAO (1997) de 25 a 80% de MO para un compost maduro y es superior a los reportados por Campos (2013) y Márquez (2015), para residuos vegetales compostados mecanizadamente (25,51-34,96%) y con aceleradores microbiológicos (36,20-38,62%), respectivamente.

La MO no solo es una fuente de alimentación para los microorganismos que habitan en la tierra, también presentan gran influencia sobre muchas características físicas y químicas del suelo, por ejemplo mejora su estabilidad, aumentando la porosidad y capacidad de retención de agua, y capacidad exploratoria del sistema radicular de las plantas, además de regular el pH a través de su capacidad amortiguadora, entre otros (Moscoso, 2003).

Tabla 4. Análisis fisicoquímicos del compost de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Determinaciones analíticas	Unidad		
Materia orgánica (MO)	%	63,40	N
Carbono orgánico	%	36,80	N
pH (suspensión 1:5)		8,41	
pH (pasta saturada)		8,19	
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	8,52	A
Relación C/N		15/1	N
Nitrógeno (N)	%	2,46	N
Fósforo (P)	%	3,21	N
Potasio (K)	%	3,19	A
Calcio (Ca)	%	5,04	N
Magnesio (Mg)	%	0,70	B
Azufre (S)	%	0,53	N
Sodio (Na)	%	0,33	N

Hierro (Fe)	mg/kg	3 600,00	N
Cobre (Cu)	mg/kg	115,00	N
Zinc (Zn)	mg/kg	330,00	N
Manganeso (Mn)	mg/kg	290,00	A

A: alto, N: normal y B: bajo.

La degradación de la materia orgánica en el suelo se debe a la acción de macro y microorganismos que a su vez forman parte de la cadena alimenticia de gran parte de la fauna edáfica (Hansen *et al.*, 2001; Trewavas, 2004). Por lo tanto, la más importante de sus funciones es la de suplir nutrientes, especialmente N, P y S, que son capturados y liberados por dos vías distintas una biológica y otra química (Fernández, 2015). Otro papel fundamental de la MO es la estimulación del desarrollo de los micro y macroorganismos como bacterias, hongos micorrízicos o lombrices, y es de este modo, una parte esencial del ecosistema, que influye en un gran número de procesos entre los que cabría destacar los ciclos biogeoquímicos, la formación de agregados o la solubilización de los minerales (Ahmad *et al.*, 2001; Garg *et al.*, 2008; Liu *et al.*, 2019).

En el compostaje evaluado, la MO va disminuyendo a medida que el proceso avanza; Defrieri *et al.* (2005) reportan un 40% de MO en su compost maduro, siendo este valor inferior al obtenido en este estudio por lo que se presume que la combinación *Canavalia*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza proporcionó una buena concentración inicial de la materia orgánica.

5.2.- Carbono orgánico

El contenido de carbono orgánico en el compost final de *Canavalia*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza se registró en 36,8% (Tabla 4). El compost obtenido tiene mayoritariamente un contenido de carbono orgánico mayor al 30%, valor aceptable para considerarlo enmienda orgánica en suelos (Legislación Europea, 2008). Adicionalmente, la NTC (Norma Técnica Colombiana) 5167 (2011) indica que este parámetro debe tener un valor total mínimo del 15% al finalizar el proceso, para que el compost sea considerado como maduro.

La concentración de carbono orgánico total de un compost es un indicador de la concentración de materia orgánica y se emplea como un índice de calidad del mismo (Masaguer y Benito, 2008). Stofella y Kahm (2005) reportan valores de carbono orgánico de 21,8; 20,1 y 16,8% en procesos de compostaje con residuos de comedor, abonos verdes y cascarillas de arroz, respectivamente; y mencionan que durante este proceso este elemento es la fuente primaria de energía mientras que el nitrógeno se hace imprescindible para el desarrollo microbiano. Adicionalmente, Breitenbeck y Schellinger (2004) señalan que durante el compostaje una parte del carbono es desprendida al ambiente en forma de CO₂. Lo expuesto anteriormente permite inferir que el bagazo de caña de azúcar; usado para estructurar la pila de *C. ensiformis*, es el proveedor principal de C orgánico tomando en cuenta su relación carbono/nitrógeno, siendo este contenido óptimo para proporcionar una buena fuente de energía para los microorganismos del compost así como para garantizar un nivel aceptable de C en el producto final.

5.3.- pH final

El compost de *C. ensiformis* al finalizar el proceso de compostaje (120 días) presentó un pH de 8,19 y 8,41 en suspensión 1:5 y pasta saturada, respectivamente (Tabla 4), lo que lo sitúa en básico, considerando la clasificación descrita por Rivera *et al.* (2017), en la cual se establecen tres categorías: neutros (pH= 6,6-7,3), ácidos (pH= 6,1-6,5) y básicos (pH= 7,4-8,45). Domínguez y Gómez-Brandón (2010) señalan que posiblemente los niveles alcalinos encontrados en el compost maduro, como el registrado en este trabajo, se debe al contenido de Ca en el producto final.

Gaind (2014) demuestra que los altos valores de pH están relacionados con un elevado contenido de calcio en los estiércoles utilizados y la mineralización del N orgánico, elemento mayoritariamente aportado por la gallinaza y *Canavalia*. A pesar de que el compost de *C. ensiformis* obtenido presente un pH final básico, se ajusta a lo establecido por la NTC 5167 (2011), que indica que los abonos orgánicos deben tener un pH entre 4 y 9.

El pH es uno de los principales indicativos del estado nutricional del suelo,

determina la presencia o ausencia de microorganismos y los procesos bioquímicos en los que intervienen junto con la disponibilidad de los nutrientes (Uribe *et al.*, 2001; Durán y Henríquez, 2007). De forma general, durante el proceso de compostaje el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos y a medida que el proceso avanza aumenta gradualmente hasta valores constantes de 6,0 a 8,5 dependiendo del material (Carrion y Franco, 2015).

5.4.- Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica de los residuos iniciales al igual que el de las mezclas es elevada, pues la CE de un compost maduro, está determinada tanto por la naturaleza y la composición del material de partida, en función de su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez-Monedero *et al.*, 2001; Sundberg *et al.*, 2004; Moreno y Moral, 2008; Rekasi *et al.*, 2019).

Para este estudio, la conductividad eléctrica se registró en 8,52 mS/cm (Tabla 4), lo cual se puede atribuir al contenido de bagazo de caña de azúcar y a los restos de *Canavalia*, que estaban constituidos mayoritariamente por ramas lignificadas, lo que tiende a acidificar el compost y elevar la conductividad eléctrica (Rojas y Zeledón, 2007). Se debe destacar que durante el proceso de compostaje no se presentaron lixiviados, que también puede contribuir al contenido de sales encontradas al finalizar el proceso, ya que la lixiviación puede reducir el contenido de sales por efecto de lavado (Martínez *et al.*, 2008). La CE de una enmienda orgánica al final del proceso de compostaje debe oscilar entre 5 y 8 mS/cm (Saviozzi *et al.*, 1997). Por lo tanto, se puede catalogar el nivel de CE del compost obtenido en este estudio como moderadamente alto.

5.5.- Relación carbono/nitrógeno

La relación C/N es uno de los aspectos fundamentales de la transformación de la

MO, debido a que el N es un elemento esencial para el crecimiento microbiano y la degradación de la materia orgánica. Cuando el N está presente en altas cantidades, los microorganismos tienen un sustrato adecuado para inducir mayor mineralización, ya que la microflora (bacterias, hongos y actinobacterias) satisface plenamente sus necesidades de este macronutriente, por lo que no representaría un factor limitante para ellos (Ferrera y Alarcón, 2001).

Schuldt *et al.* (2005) establecen que para que se lleve bien el proceso de compostaje es necesario una relación C/N inicial de 25:1 a 40:1 entre otras condiciones. Si la relación C/N es superior a 40, la actividad biológica disminuye, ya que los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono, con la consiguiente ralentización del proceso debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica. Por el contrario, si la relación C/N es muy baja el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez (Zhu, 2006; Biruntha *et al.*, 2020).

Al finalizar el proceso de compostaje de *C. ensiformis*, la relación C/N se ubicó en 15/1 (Tabla 4), valor adecuado según el rango propuesto por CONAMA (2000) y la Legislación Europea (2005) en el Decreto 824/2005, que sugieren que los valores de la relación C/N deben ser menor o igual a 20/1 al final del proceso. Castillo *et al.* (2002) y Soto (2003) sostienen que cuando se mezclan mayores cantidades de residuos de color marrón y menores de color verde, la relación C/N será alta, por lo que se puede deducir que los aportes de C y N de los residuos utilizados durante el proceso de compostaje de *C. ensiformis* fueron los ideales para el desarrollo de los microorganismos que aceleran este proceso y mejoran la calidad del sustrato final.

5.6.- Macronutrientes

Los abonos orgánicos pueden satisfacer la demanda nutricional de los cultivos, reduciendo significativamente el uso de fertilizantes químicos y mejorando la calidad de los vegetales consumidos (Rodríguez *et al.*, 2009). Además, los abonos orgánicos mejoran las características de suelos que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y su sobreexplotación (Márquez, 2015).

El contenido de nutrientes que será aportado por el compost viene dado

directamente por la cantidad de nutrientes contenidos en cada uno de los elementos compostados (Benzing, 2001). Así mismo, sus características químicas estarán sujetas al proceso de elaboración, actividad biológica y los tipos de materiales que se utilicen (Meléndez, 2003). En consecuencia, la calidad de las enmiendas orgánicas se determina a través de sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Lasaridi *et al.*, 2006).

5.6.1.- Nitrógeno (N)

El 95% del nitrógeno del suelo está almacenado en la materia orgánica y este es liberado en la medida en que los microorganismos la descomponen (Toledo, 2016). El compost final de *Canavalia ensiformis*, registró un nivel de N de 2,46% (Tabla 4). FAO (1991) señala que este elemento dentro de un compost maduro debe oscilar entre 0,4-3,5%. Romero *et al.* (2000) y Salas y Ramírez (2001) asocian las elevadas concentraciones de este macronutriente al tipo de materiales compostados, condiciones ambientales y a las técnicas usadas.

El contenido de N del producto final puede atribuirse mayormente a la *Canavalia* y gallinaza, ya que son materiales aportadores de este elemento. Salazar (2013) indica que los valores elevados de N están asociados al contenido de este macroelemento en el material vegetal empleado en el proceso de compostaje. Bonner y Galston (1961) resaltan que el N constituye de 1 a 5% de la biomasa seca de las hojas y una parte menor, pero importante de la biomasa seca de los demás tejidos vegetales. Por su parte, Canet (2007) establece que la alimentación de los animales es clave en el contenido de nutrientes del estiércol que producen; por lo tanto, si abunda el forraje, el nitrógeno es más abundante, mientras que las raíces y los tubérculos darán lugar a una mayor cantidad de potasio.

Carrion y Franco (2015) indican que estiércoles procedentes de animales en estabulación permanente son también más ricos en elementos minerales, lo que puede influir en los resultados finales de estas mezclas, no solo para el contenido de N sino de los demás elementos.

El N es un constituyente de cada uno de los aminoácidos, hace parte de la molécula de clorofila y de los ácidos nucleicos, además de estimular el crecimiento de

tallos y hojas, a su vez participa en la producción de proteínas en frutas y granos, y ayuda a que la planta utilice otros nutrientes como fósforo y potasio (Kováčik *et al.*, 2016). Este elemento es de gran movilidad en las plantas por lo que cuando existe una deficiencia del mismo, los primeros síntomas ocurren en hojas maduras, acompañado de pérdida de turgor y clorosis, seguida de la muerte de las hojas; además se observa una reducción del sistema radical (Suzuki *et al.*, 2003). Otro síntoma es la acumulación de compuestos fenólicos como flavonoides, antocianinas y cumarinas (Kováčik *et al.*, 2016).

Yáñez (2002) hace énfasis en la importancia del N durante todo el desarrollo de las plantas, un buen balance de este elemento en los tejidos producirá plantas vigorosas de buen tamaño, con coloración verde, bien ramificadas, con flores bien desarrolladas y frutos de buen tamaño. En las plantas, este elemento se distribuye en 3 grupos: más del 50% se halla en compuestos de alto contenido molecular (proteínas y ácidos nucleicos); el resto, en forma de N orgánico soluble (aminoácidos, amidas, aminas, etc.) y N inorgánico (principalmente iones nitrato y amonio). Su contenido en la biomasa seca total de la planta oscila entre 1,5 y 5% (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

5.6.2.- Fósforo (P)

El P es el segundo elemento, más requerido por las plantas y microorganismos, a pesar de ser abundante en sus formas orgánicas e inorgánicas, tiende a ser en el suelo un factor limitante en el desarrollo vegetal (Parry *et al.*, 2005; Medina, 2011; 2021). Es importante en la fotosíntesis, en la translocación de carbohidratos y síntesis de proteínas, siendo un catalizador o activador de ciertas enzimas que participan en la osmorregulación y en el mantenimiento del potencial de membrana (Pyo *et al.*, 2010).

El fósforo se encuentra disponible para la planta como ion fosfato, y se absorbe preferentemente como H_2PO_4^- en suelos con un pH inferior a 7, y como anión divalente HPO_4^{2-} en suelos básicos. Una parte importante del fosfato de la planta se encuentra en forma iónica libre: el 75% en las vacuolas, y el 25% restante en la matriz y los orgánulos citoplasmáticos, en equilibrio con los ciclos metabólicos (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

La disponibilidad del P para las plantas está condicionada por reacciones

fisicoquímicas y biológicas, así como el estado en su forma orgánica o inorgánica, siendo la segunda casi del exclusivo uso de las plantas, aun en suelos con un buen abastecimiento de este nutriente se hace indispensables reponerlo constantemente por la alta demanda que exige diariamente la planta (Quintero *et al.*, 2006).

El contenido de fósforo en este trabajo fue de 3,21% (Tabla 4), lo que lo sitúa como un valor óptimo según la escala propuesta en la NTC 5167 (2011) que establece un valor mínimo de 1%, y un máximo de 4% para los compost maduros. Adicionalmente, el porcentaje de P en este estudio es superior a los reportados por Salazar (2013) para diferentes mezclas de desechos vegetales, estiércoles, bagazo de caña y aserrín (0,52-1,62%) y dentro del rango establecido por Carrion y Franco (2015) en diferentes mezclas de desechos vegetales y tipos de estiércoles (1,3-7,2%).

Cuadros (2008) sugiere que se puede enriquecer el suelo o compost con fósforo si se le añade gallinaza, ceniza de huesos o rocas. Lo que explica que en este trabajo se encontrara un buen nivel de P debido a la utilización de la gallinaza como material estructurante de la pila de compostaje de *C. ensiformis*.

5.6.3.- Potasio (K)

El potasio muestra una gran movilidad en las plantas, translocándose entre la raíz y la parte aérea por el xilema y floema y dentro de la parte aérea de unas hojas a otras (Karley y White, 2009). Este elemento promueve una adecuada fotosíntesis, ya que afecta la apertura y cierre de los estomas (regulando a su vez la entrada de CO₂), tiene actividad directa en el transporte y translocación del nitrato y carbohidratos, es activador de muchas enzimas, confiere resistencia al ataque de hongos, heladas y a la falta de agua (Kraus y Warren, 2000; Britto y Kronzucker, 2002). Además, promueve el crecimiento de las raíces lo que permite una mayor área para la absorción de nutrientes y un buen desarrollo de hojas, frutos y semillas (Ribó, 2004).

Cuadros (2008) indica que el contenido de K oscila entre 0,2-2,6% en muestras de compost maduro, siendo el estiércol, cenizas de huesos, hojas de bananas, ente otros; los principales aportadores de este elemento. En este estudio, el K alcanzó una concentración de 3,19% (Tabla 4), que a pesar de ser un valor elevado concuerda con las

concentraciones reportadas por autores como Durán y Henríquez (2007), Berradre *et al.* (2009) y Castro *et al.* (2009), los cuales es sus investigaciones muestran valores iguales o superiores al 3%, que están directamente asociados con la naturaleza del material seleccionado.

La deficiencia de K en los cultivos se traduce en una mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz y en una debilidad de los tallos que hace a las plantas especialmente sensibles a la acción del viento, las lluvias, etc., principalmente en el caso de las monocotiledóneas. En las dicotiledóneas, los primeros síntomas de clorosis aparecen también en las hojas adultas, que posteriormente se hacen necróticas; el crecimiento se retrasa y se produce pérdida de turgencia y marchitamiento, mucho más acusados cuando existe un déficit hídrico (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

5.6.4.- Calcio (Ca)

Los niveles de calcio en los compost están ligados al origen de los materiales de partida. He *et al.* (2004) estable un intervalo de 2,1 y 7,5% de Ca para un compost maduro, mientras que Soliva y Giró (1992), señalan que este elemento puede oscilar entre 2 y 8%. En este estudio el valor del Ca se situó en 5,04% (Tabla 4), dentro de los intervalos propuestos por los autores antes mencionados.

El Ca es absorbido por las plantas en forma de Ca^{++} y es esencial para la formación y desarrollo inicial de todos sus órganos y tejidos, además de ser fundamental para la formación de los compuestos que constituyen parte de la pared celular como pectato de calcio, el cual se une a las paredes primarias de las células adyacentes y afecta la permeabilidad e integridad de la misma, y por ende, la absorción nutrimental, promoviendo o limitando el flujo de nutrientes hacia el interior de la raíz (FAO, 2002; Yáñez, 2002).

Las células de plantas deficientes en calcio presentan una débil pared celular, siendo fácilmente traspasadas por hongos y bacterias fitopatógenas. El Ca afecta negativamente la actividad de sustancias liberadas por los patógenos para disolver las paredes celulares de los tejidos de plantas (enzimas pectolíticas), como las liberadas por *Erwinia carotovora* (bacteria causante de la pudrición blanda), *Botrytis cinerea* y

Gloesporium perennans (Kraus y Warren, 2000; Toledo, 2016).

El calcio es abundante en la mayoría de los suelos, y rara vez se comporta como un factor limitante, salvo en suelos ácidos con lluvias abundantes, donde resulta necesario el aporte de sales cálcicas, principalmente carbonatos, que elevan el pH (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Un adecuado contenido de este elemento en el suelo tiene un efecto positivo en su estructura, ya que permite la formación de agregados, lo que, además de favorecer el desarrollo de las raíces, logra una mayor resistencia del sustrato a la erosión; esto gracias a que los agregados formados por el calcio permiten una mayor infiltración del agua (Dontsova y Norton, 1999).

5.6.5.- Magnesio (Mg)

El magnesio se absorbe como ion divalente (Mg^{2+}) y no es casi nunca un factor limitante para las plantas, salvo en los suelos muy ácidos o arenosos. Por lo que se comporta como un elemento muy móvil, tanto en la planta como en la célula (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Actúa principalmente en la síntesis de clorofila y la regulación del pH de la solución dentro de las plantas, también participa en la formación de compuestos de reservas en las semillas (Cid, 2010). La deficiencia de este elemento se representa con clorosis intervenal, necrosis en hojas viejas y una palidez del verde de los frutos en desarrollo (Yáñez, 2002).

La concentración de Mg en este estudio se ubicó en 0,70% (Tabla 4). El porcentaje de este elemento es inferior a los reportados por Márquez (2015) que oscilan entre 1,00 a 1,55% en compost de diferentes residuos vegetales, bagazo de caña y gallina con agregación de aceleradores microbiológicos y poli enzimáticos. El bajo valor de este elemento podría deberse a una baja concentración de Mg en los materiales compostados.

En los suelos el Mg tiende a perderse por lixiviación más fácilmente que otros elementos por ejemplo como el Ca, sin embargo si proviene de abonos orgánicos como el compost se puede reducir su pérdida por efecto de la lixiviación, lo que garantizaría una buen suministro de Mg en los suelos para los cultivos (Muñoz, 2005).

5.6.6.- Azufre (S)

La concentración de azufre resultante en el compost final se ubicó en 0,53% (Tabla 4). Este valor se encuentra dentro del rango normal sugerido por la FAO (1997), que establece valores inferiores al 1% para los compost maduros. La concentración de S estimada en este estudio sin embargo resultó superior a las reportadas por otros autores en compost obtenidos a partir de desechos orgánicos de diferente naturaleza (Castillo *et al.*, 1999; Durán y Henríquez, 2007; Castro *et al.*, 2009), resaltando la importancia del contenido de este elemento en los materiales originales usados para el compostaje.

El azufre se absorbe en forma de anión sulfato (SO_4^{2-}) y, en esta forma, se transporta por el xilema. También puede ser absorbido por los estomas de las hojas bajo la forma de dióxido de azufre (SO_2), contaminante atmosférico resultante de la combustión del carbón, la madera y el petróleo (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Este elemento es poco móvil dentro de la planta, por lo que su carencia se notará primero en las hojas más nuevas, las que adquieren una coloración verde pálido, debido a que cuando el azufre es escaso en el suelo, los nitratos se concentran en las hojas y se disminuye la formación de proteínas (Toledo, 2016).

5.7.- Micronutrientes

5.7.1.- Sodio (Na)

Este elemento es absorbido por las plantas desde el agua o el suelo en forma de ion monovalente (Na^+) y es especialmente necesario en ciertas especies de plantas tropicales denominadas C4 maíz, caña de azúcar, sorgo, amaranto (Toledo, 2016).

La concentración de Na registrada en el compost final de *C. ensiformis* fue de 0,33% (Tabla 4), la cual se encuentra dentro del rango recomendado para este micronutriente por Pravia y Sztern (1999) para un compost maduro ($\leq 0,05\%$). Sin embargo, la concentración de este nutriente se encuentra por debajo de los valores reportados por Fernández (2015) en compost de diferentes residuos vegetales, bagazo de caña de azúcar y gallinaza sometidos a diferentes métodos de aireación (0,45-0,59%) y

por Márquez (2015) en compost de diferentes residuos vegetales, bagazo de caña de azúcar y gallinaza con agregación de aceleradores microbiológicos y poli enzimáticos (0,60-0,74%); por lo que se puede inferir que la aplicación del compost final de *C. ensiformis* como abono orgánico no representa riesgo aparente de salinización para el suelo.

El sodio regula la presión osmótica a nivel celular permitiendo un eficiente uso del agua, activando parcialmente enzimas dentro del metabolismo de la planta (síntesis del almidón) y estimula el crecimiento a través del alargamiento celular (Hernández, 2003). En caso de deficiencia de potasio, el Na funciona como un soluto osmóticamente activo (Campos, 2013). Sin embargo, sorprende que no cumpla funciones tan vitales en las plantas y que sólo se haya reconocido como nutriente esencial en especies C4 donde parece que interviene en el acoplamiento del transporte de metabolitos (ácido pirúvico) entre el mesófilo y la vaina. Algo similar ocurre en las plantas CAM (Harrison, 1991; Azcón-Bieto y Talón, 2013). Por lo tanto, la contribución de este elemento en las plantas es dependiente de la especie vegetal en particular; ya que generalmente no cumple funciones tan vitales y la absorción de grandes cantidades de Na⁺ por las raíces puede crear dificultades para la toma de otros elementos como el potasio o fósforo (Mengel y Kirkby, 1978).

5.7.2.- Hierro (Fe)

El hierro está estrechamente relacionado con la producción de clorofila y por ende a la fotosíntesis. Este micronutriente es el constituyente de varias enzimas de óxido-reducción, entre las que se pueden mencionar: catalasas, peroxidasas y deshidrogenadas; participa en la síntesis de clorofila y proteínas; en la fijación del nitrógeno y en el proceso respiratorio de los vegetales; por lo que tiene influencia en el aspecto, color y vigor de las plantas (Castellanos *et al.*, 2000).

La concentración de Fe registrada en el compost final de *C. ensiformis* fue de 3600 mg/kg o 0,36% (Tabla 4), dentro del rango establecido como aceptable (0,3 a 3,0%) por Serapio y Bruzon (1996) para un compost maduro. El déficit de este elemento en las plantas, puede producir un amarillamiento intervenal y en ocasiones,

amarillamiento total en hojas jóvenes, sin que el tamaño de estas se vea afectado (Melgarejo, 2010). Cuando la carencia de Fe es mayor se puede presentar necrosis tanto en los ápices de los brotes como en el de las hojas (López-Millán *et al.*, 2013).

5.7.3.- Cobre (Cu)

El cobre a pesar de ser un micronutriente, su importancia en la nutrición mineral de las plantas puede compararse con la del N, debido a que es usado en la producción de semillas viables, en diferentes funciones enzimáticas, en la producción de aminoácidos y formación de la clorofila (Kaas, 1996; Cid, 2010). Junto al manganeso, este elemento se encuentra asociado con la producción de sustancias que proveen resistencia a las plantas, los fenoles, y con la inhibición de la actividad de sustancias fitotóxicas, como las enzimas aminopeptidasa y metilesterasa, producidas por los patógenos para degradar los tejidos de las plantas; también participa en la producción de lignina, sustancia que recubre la superficie externa de las plantas y dificulta la infección por fitopatógenos (Toledo, 2016).

El exceso del Cu en las plantas puede provocar la aparición de lesiones en las raíces, inhibición del crecimiento radicular y la formación de numerosas raíces secundarias cortas y de color pardo (Loué, 1988; Kaas, 1996); mientras que un déficit de este micronutriente acarrea la pérdida de lignificación y acumulación de fenoles (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

El nivel de cobre encontrado en este estudio fue de 115 mg/kg (Tabla 4). Esta concentración se encuentra por debajo del valor máximo (≤ 450 mg/kg) establecido para este elemento en un abono de uso hortícola (Abad, 1998) y es inferior a los valores reportados por Fernández (2015) en compost de mezclas de diferentes residuos vegetales sometidos a distintos sistemas de aireación (170-250 mg/kg).

5.7.4.- Zinc (Zn)

El zinc a pesar de ser un micronutriente es indispensable en los suelos de cultivos debido a que interviene en muchas funciones dentro de las plantas como la formación y

maduración de las semillas, síntesis de clorofila, absorción de nitrógeno, en la formación de auxinas, síntesis de proteínas, como agente catalítico en reacciones oxidantes y en el metabolismo de carbohidratos (Yáñez, 2002; Rojas y Zeledón, 2007). Es necesario en al menos 80 procesos enzimáticos, regularmente formando parte las estructuras de las enzimas (aunque no sufre cambios en su estado de oxidación), por ejemplo la alcohol-deshidrogenasa (que cataliza el paso del acetaldehído a etanol en la fermentación alcohólica) y las cinco anhidrasas carbónicas, descritas hasta el momento, que aceleran la hidratación reversible del dióxido de carbono a bicarbonato en la fotosíntesis, además junto al Cu, constituye algunos tipos de superóxidos diminutasas (SOD). También se puede mencionar su participación en la estabilidad del ribosoma y su presencia en la ARN polimerasa, lo que lo convierte en un regulador de la expresión génica (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Para este estudio se estimó una concentración de 330 mg/kg para el zinc (Tabla 4), la cual está dentro del rango establecido por Salazar (2013) como aceptable para enmiendas orgánicas (200-1800 mg/kg). La disponibilidad del Zn se reduce a medida que sube el pH del suelo, reduciéndose hasta 30 veces por cada unidad de pH entre 5,0-7,0; siendo las mayores deficiencias de este elemento observadas en pH entre 7,0-8,4 (Vogtmann *et al.*, 1993).

5.7.5.- Manganeso (Mn)

El Mn favorece la síntesis de clorofila, fotosíntesis y asimilación de nitratos; activa varias enzimas vegetales e interviene en la captación de CO₂, actúa en el metabolismo del hierro y en el de otras moléculas orgánicas (Yáñez, 2002). Se absorbe en forma de sulfato de manganeso y actúa como cofactor en la actividad de varias enzimas como la del complejo manganeso-proteína que transporta los electrones del agua al fotosistema II y de la Mn-SOD que protege a la planta de radicales superóxidos (Azcón-Bieto y Talón, 2013), por lo que está fuertemente ligado a la regulación del metabolismo hormonal, así mismo funge como activador de diversas enzimas entre las cuales se encuentran algunas del ciclo Krebs, por lo tanto, su concentración en el suelo es vital para la fertilidad del mismo (Yáñez, 2002).

Para este estudio se reporta un valor de 290 mg/kg de Mn; valor muy superior el reportado por Salazar (2013), el cual fue de 3,39 mg/kg para un tratamiento que contenía desechos vegetales y aserrín. También es superior a los reportados por Polo (2011), el cual informó de valores oscilantes de 0,062-0,49 mg/kg. Cabe resaltar, que la cantidad de Mn disponible en los suelos tiene relación con su pH; en sustratos ácidos se puede producir toxicidad, mientras que en alcalinos se puede producir una deficiencia de dicho elemento (He *et al.*, 2004). Sin embargo, la alcalinidad del compost maduro de *C. ensiformis* no fue limitante para el contenido de manganeso, ya que Tiquia *et al.* (2002) demostraron que la cantidad de Mn va a estar ligada a la buena selección de materiales a compostar, debido a que durante el proceso de compostaje no existe pérdida de este micronutriente.

6.- Bioensayo de germinación

Los efectos fitotóxicos de un material orgánico maduro se deben a diversos factores, entre los cuales destacan los contenidos de amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales (Zubillaga *et al.*, 2008). Para poder asegurar que los productos obtenidos del proceso de compostaje no tengan efecto fitotóxico se debe de realizar el test de fitotoxicidad (Carrion y Franco, 2015), donde se visualiza el efecto de estos productos en la germinación de especies vegetales sensibles a metabolitos fitotóxicos, los cuales debieran ser metabolizados o inmovilizados durante la fase de maduración del compost; resultando un sustrato biológicamente estable y con una baja o nula fitotoxicidad (Varnero *et al.*, 2007).

En la Tabla 5 se pueden apreciar los resultados del ensayo de germinación agronómica e *in vitro* de semillas de *Lycopersicum esculentum* en el compost maduro de *C. ensiformis* (120 días), donde se refleja que el sustrato final alcanzó un buen estado de madurez con escasa o nula presencia de agentes fitotóxicos.

Tabla 5. Ensayo de germinación agronómica *in vitro* de semillas de *Lycopersicum esculentum* en el compost de la mezcla de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de

azúcar y gallinaza, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Germinación agronómica (PRGA)	Germinación <i>in vitro</i>		
	PRG	CRR	IG
50%	92,93%	93,17%	86,58

PRGA: porcentaje relativo de germinación agronómica, PRG: porcentaje relativo de germinación, CRR: crecimiento relativo radicular e IG: índice de germinación.

6.1.- Porcentaje relativo de germinación agronómica (PRGA)

En la Tabla 5 se aprecia el PRGA de las semillas de *Lycopersicum esculentum* (50%) en el sustrato obtenido de la mezcla de *Canavalia ensiformis*, gallinaza y bagazo de caña de azúcar, luego de los 120 días de compostaje; tomando en cuenta la germinación como el proceso que comprende la brotación y los primeros estadios de la semilla.

La germinación de las semillas de *Lycopersicum esculentum* ocurrió al tercer día de iniciado el bioensayo con el sustrato a probar; las plántulas tuvieron un buen desarrollo caracterizado por su color verde intenso, hojas bien desarrolladas posiblemente por el contenido de N, P y K presente en el compost final; debido a que estos tres macronutrientes son fundamentales para la nutrición de las plántulas (Climent, 2011).

El PRGA obtenido fue inferior a los reportados por Fernández (2015), los cuales oscilaron en un rango de 66-88% en compost de diferentes residuos vegetales, bagazo de caña y gallinaza, sometidos a diferentes métodos de aireación. Sin embargo, el 50% de germinación agronómica de las semillas de *L. esculentum*, permite inferir que el producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *C. ensiformis*, gallinaza y bagazo de caña de azúcar obtenido en este estudio, puede ser utilizado como abono orgánico, debido a que Zucconi *et al.* (1985) sugieren que PRGA superiores o iguales al 50% permiten clasificar al producto final como un compost libre de sustancias perjudiciales para la germinación. Por otro lado, cabe destacar, que no se observó la presencia de malas hierbas, demostrando además que se llevó a cabo una efectiva etapa termófila que eliminó las semillas de malezas que pudieran haber estado presentes en el

material de compostaje (Shepherd *et al.*, 2007).

6.2.- Germinación *in vitro*

El porcentaje relativo de germinación (PRG) representa el número de semillas de *L. esculentum* germinadas en el extracto del compost obtenido luego de los 120 días con respecto a las semillas germinadas en el testigo (agua destilada), el cual fue de 92,93% (Tabla 5), este valor es similar a los obtenidos por Salazar (2013) para sus tratamientos a base de 80% desechos vegetales + 20% aserrín y 60% desechos vegetales +20% aserrín + 20% estiércol; y los reportados por Varnero *et al.* (2007) quienes utilizando extractos de tres residuos agroindustriales en fase de maduración y semillas de rabanito y lechuga, registraron valores de PRG del 80 y 90%, respectivamente. Comparando estos resultados con los obtenidos en este estudio se puede determinar que el sustrato obtenido ha alcanzado la madurez, lo que es apoyado por la Normativa Chilena de Composts (2004), que define como compost maduro al producto que alcanza un PRG superior al 80%.

Por su parte, el crecimiento relativo de la radícula (CRR) representa el porcentaje de crecimiento de la radícula de las semillas de *L. esculentum* tratadas con el te de compost de *C. ensiformis*, el cual mostró un valor de 93,17% (Tabla 5); siendo superior a los reportados por Carrion y Franco (2015) quienes mostraron valores entre 34 a 86% de CRR para todos sus tratamientos, y por Varnero *et al.* (2007) cuyos valores fueron inferiores a 80% del CRR; además relaciona sus resultados con la presencia de metabolitos fitotóxicos que si bien no impiden la germinación, limitan la elongación radicular lo que convierte este parámetro en uno más sensible que el PRG.

Zucconi *et al.* (1981) y Tiquia (2000) determinaron que el índice de germinación (IG) es el indicador más completo para saber si un compost se encuentra en etapa de maduración. En la Tabla 5 se muestra que el IG para las semillas de *L. esculentum* tratadas con el extracto acuoso del compost de *C. ensiformis* es de 86,58; siendo un valor aceptable para determinar que el sustrato obtenido presenta baja o nula concentración de sustancias que inhiban la germinación, de acuerdo a la clasificación establecida por Zucconi *et al.* (1981), donde valores del $IG \geq 80$ indican que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy bajas concentraciones; si el $IG \leq 50$ indicaría que hay fuerte

presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtienen valores entre 50 y 80, se puede presumir la presencia moderada de dichas sustancias. Sin embargo, Salazar (2013) indica que un abono para ser utilizado comercialmente en la producción de plántulas debe reportar valores del IG superiores a 90 para ser considerado satisfactorio. Por lo tanto, el producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, representa un compost maduro con escasa o nula presencia de sustancias fitotóxicas.

7.- Ensayo con lombrices rojas californianas (*Eisenia andrei*)

Las lombrices son representan organismos de pruebas útiles para monitorear la toxicidad que provocan varios compuestos (Fent, 1996). *Eisenia andrei* es considerada un bioindicador de la calidad de los suelos, ya que solo es capaz de reproducirse y desarrollarse en condiciones adecuadas de humedad (85%), temperatura (25 a 30°C) y pH del suelo (6,5 a 7,5) (Kaplan *et al.*, 1980).

En la Figura 3 se observa el número de ejemplares de *Eisenia andrei* en tres de sus estadios (juveniles, adultos no clitelados y adultos clitelados) después de ser sometidos a cuatro tratamientos alimenticios, tres a base de compost de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) y un cuarto tratamiento a base de *Canavalia* sola triturada (T_{0B}) por un lapso de tres meses. Los resultados revelaron diferencias no significativas en los tratamientos T_{0A} ($F_s = 0,0691$; $p > 0,05$) y T_{120} ($F_s = 0,5689$; $p > 0,05$), y diferencias estadísticamente significativas en T_{0B} ($F_s = 0,0002$; $p < 0,05$) y T_{60} ($F_s = 0,0170$; $p < 0,05$), siendo las adultas no clitelados (ANC) y los juveniles (J) los que registraron el mayor número de individuos, respectivamente.

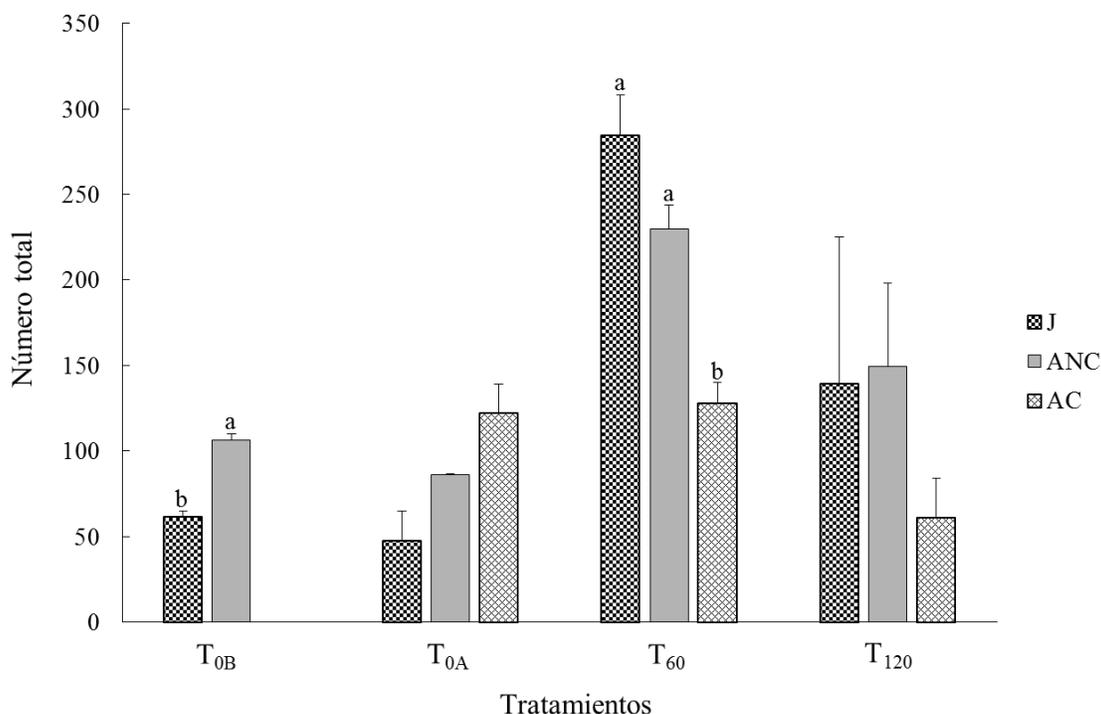


Figura 3. Número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje, (T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀) en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas. Los valores son los promedios \pm el error estándar (n=2). Las letras sobre las barras indican la existencia de diferencias significativas mientras que la ausencia de estas señala la existencia de diferencias estadísticamente no significativas.

Bollo (2001) señala que *Eisenia andrei* presenta una alta eficiencia reproductiva, cuanto duplica su población en condiciones ambientales óptimas cada tres meses. Por su parte, Tineo (1994) menciona que entre los factores limitantes del crecimiento se haya la temperatura del sustrato que debe estar entre 15-25°C. La humedad del sustrato adecuada para su sobrevivencia debe oscilar entre un 70-80%, aunque puede tolerar periodos de sequedad, mientras que el pH óptimo se encuentra entre ácido y neutro (6,5-7,5).

Las diferencias significativas encontradas en el tratamiento T₆₀, donde se encontró un mayor número de juveniles, puede atribuirse en primer lugar a que dicho tratamiento poseía un pH de 7,92 cercano al valor óptimo (6,5-7,5) requerido por *E. andrei* (Schuldt *et al.*, 2007); Domínguez y Gómez-Brandon (2010), a diferencia del tratamiento T₁₂₀ que poseía un pH de 8,42. Sin embargo, como se puede apreciar en la

Figura 3, el pH del producto final (120 días) no fue un factor limitante para la población juvenil y adulta no clitelada, ya que incrementaron su número con respecto a las contabilizadas en T_{0A}.

Las diferencias en el número de juveniles en los distintos sustratos alimenticios evaluados se puede atribuir a cambios en la temperatura del mismo, puesto que el rango ideal para estos organismos se ubica entre 15-25°C, lo más cercano posible a la temperatura corporal de la lombriz (19°C), aunque puede resistir bien temperaturas superiores de 30°C, pero lo hace a costa de una menor reproducción (Somarriba y Guzmán, 2004). Por lo tanto, el aumento de temperatura en el material pre-compostado (T_{0A}) por encima de 30°C, causa que el número de juveniles sea menor al registrado en el T_{0B}. En este último tratamiento, adicionalmente se debe acotar que *C. ensiformis* sola triturada es capaz de retener niveles óptimos de humedad para el desarrollo y reproducción de *E. andrei*, los cuales fueron mantenidos mediante la adición de 500 mL de agua en la cesta cada dos días.

En el caso de las lombrices adultas no cliteladas, las variaciones en el número de individuos contabilizados en los sustratos alimenticios evaluados puede deberse al propio ciclo reproductivo de la lombriz roja californiana en conjunto con las condiciones del medio proporcionado por el compost a los 60 días del proceso de compostaje (T₆₀), pues como explica Schuldt (2004) las lombrices multiplican la postura de cocones y el número de acoplamiento si las condiciones de los sustratos, como humedad, acidez, y microorganismos, son óptimas.

Por otro lado, es importante mencionar que las lombrices adultas cliteladas encontradas en los tratamientos T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀, se caracterizaron por presentar un clitelo bien definido, ser alargadas de 6,60 a 7 cm, carnosas, vigorosas, con una coloración rojo intenso, piel húmeda y con capacidad reproductiva; siendo estas características una clara señal de que el compost de la mezcla de *C. ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en los tres tiempos de compostaje proporciona las condiciones idóneas (principalmente temperatura, pH y humedad) y los nutrientes requeridos para garantizar el buen estado de las poblaciones y la reproducción de *E. andrei* durante los tres meses que duró el bioensayo.

En la Figura 4 se puede apreciar la biomasa de *Eisenia andrei* en tres de sus estadios (juveniles, adultos no clitelados y adultos clitelados) después de suministrarles los cuatro tratamientos alimenticios establecidos en esta investigación, tres a base del compost de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) y uno a base de *Canavalia* sola triturada (T_{0B}) por un lapso de tres meses; donde se registraron diferencias estadísticamente no significativas en la biomasa de los estadios de las lombrices rojas californianas alimentadas con los tratamientos T_{0B} (KW= 0,0950891; $p>0,05$), T_{0A} (KW= 0,156118; $p>0,05$), T_{60} (KW= 0,101701; $p>0,05$) y T_{120} (KW= 0,101701; $p>0,05$), siendo las adultas no cliteladas (ANC) y cliteladas (AC) las que exhiben los mayores valores de esta variable. Diacono y Montemurro (2010) señalan que el tipo de alimento que ingieren las lombrices influye en su crecimiento y desarrollo; principalmente en el incremento de su biomasa.

Los resultados de esta investigación son indicativos de que el compost de *C. ensiformis* + bagazo de caña de azúcar + gallinaza, en sus tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{60} y T_{120}), así como la *Canavalia* triturada (T_{0B}), suministran los nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de *Eisenia andrei*, lo que se refleja en la ganancia de biomasa en cada uno de sus estadios durante el tiempo de experimentación (tres meses).

Hernández *et al.* (2006) señalan que el incremento en el número de lombrices, y por ende su crecimiento poblacional exige y requiere la reposición frecuente de alimento. Adicionalmente, estos organismos son capaces de consumir el 100% de su masa en materia orgánica en descomposición, de la cual el 60% es excretado como abono orgánico y el 40% es asimilado y se convierte en la biomasa de la lombriz (Somarriba y Guzmán, 2004).

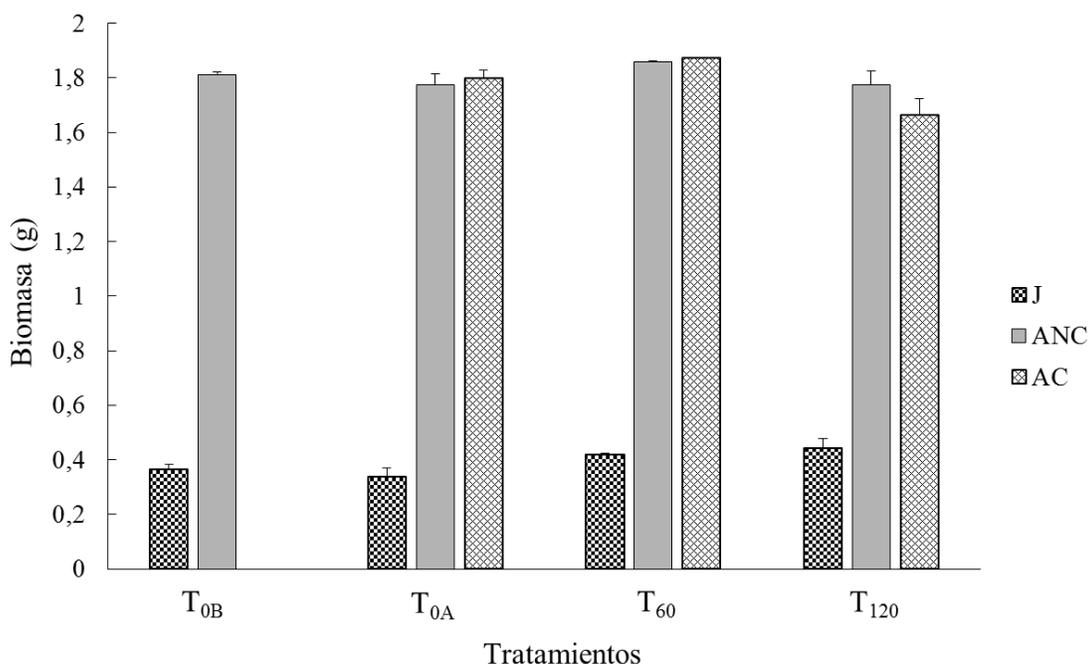


Figura 4. Biomasa de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas. Los valores son los promedios \pm el error estándar (n=2). La ausencia de letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente no significativas.

Por su parte, Andrade (2018) registró el incremento en la biomasa de *Eisenia andrei* alimentada con espirulina en sus diferentes formas, durante los primeros 15 días de experimentación para luego decaer, siendo una disminución drástica a partir del día 30 que se mantiene hasta el final de su ensayo; este comportamiento se atribuye al hecho que la población de lombrices rojas californianas en la unidad experimental presentaba una demanda nutricional que excedió la cantidad de nutrientes aportados por la dosis del tratamiento establecido en el ensayo. Aunque en este estudio solo se observó la biomasa final de las lombrices en cada uno de sus estadios, esta variable se encontraba dentro de los valores normales sugeridos para cada una de sus fases según Domínguez y Gómez-Bradon (2010), quienes establecen que la biomasa media de *Eisenia andrei* se ubica en 0,55 g.

La longitud de los ejemplares de *Eisenia andrei* en tres de sus estadios (juveniles, adultos no clitelados y adultos clitelados) después de suministrarles los cuatro

tratamientos alimenticios establecidos en esta investigación, tres a base del compost de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en tres tiempos de compostaje, y uno a base de *Canavalia* sola triturada por un lapso de tres meses (Figura 5), muestra diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos T_{0B} (KW= 6,28402 x 10⁻⁸; p<0,05), T_{0A} (KW= 2,8279 x 10⁻⁹; p<0,05), T₆₀ (KW= 2,11707 x 10⁻⁹; p<0,05) y T₁₂₀ (KW= 2,83462 x 10⁻⁹; p<0,05), siendo las adultas no cliteladas (ANC) y cliteladas (AC) las que exhiben las mayores longitudes en los sustratos alimenticios evaluados. Estas diferencias pueden ser atribuidas a las características propias del estadio de *E. andrei*, debido a que las lombrices adultas (cliteladas o no) exhiben mayor longitud y biomasa que las juveniles; las cuales son acentuadas por el contenido nutricional y las condiciones de humedad, temperatura y pH de los sustratos alimenticios empleados en este bioensayo.

Andrade (2018) reportó longitudes que oscilaban entre los 60-70 mm para los adultos a los 15 días después de la aplicación de los tratamientos, sin embargo al transcurrir del tiempo las longitudes comenzaron a disminuir, registrándose 50 mm en los adultos para el final de su ensayo. En esta investigación, al concluir el bioensayo (tres meses) se registraron en los ejemplares adultos no clitelados y clitelados longitudes similares a los valores máximos mostrados por dicho autor, siendo a su vez parecidos a los reportados por Calero *et al.* (2009); Juárez-Uribe (2010); Ccasani y Poma (2012) en otras especies de *Eisenia*.

Por tales razones, se puede intuir que el compost de *C. ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀) así como la *Canavalia* sola triturada (T_{0B}) pueden garantizar el crecimiento normal y la reproducción de las lombrices rojas californianas, debido a que aportan un buen suministro de nutrientes y reúnen las condiciones fisicoquímicas adecuadas, por lo que pueden ser considerados como suplementos alimenticios y medios de crianza de *E. andrei*.

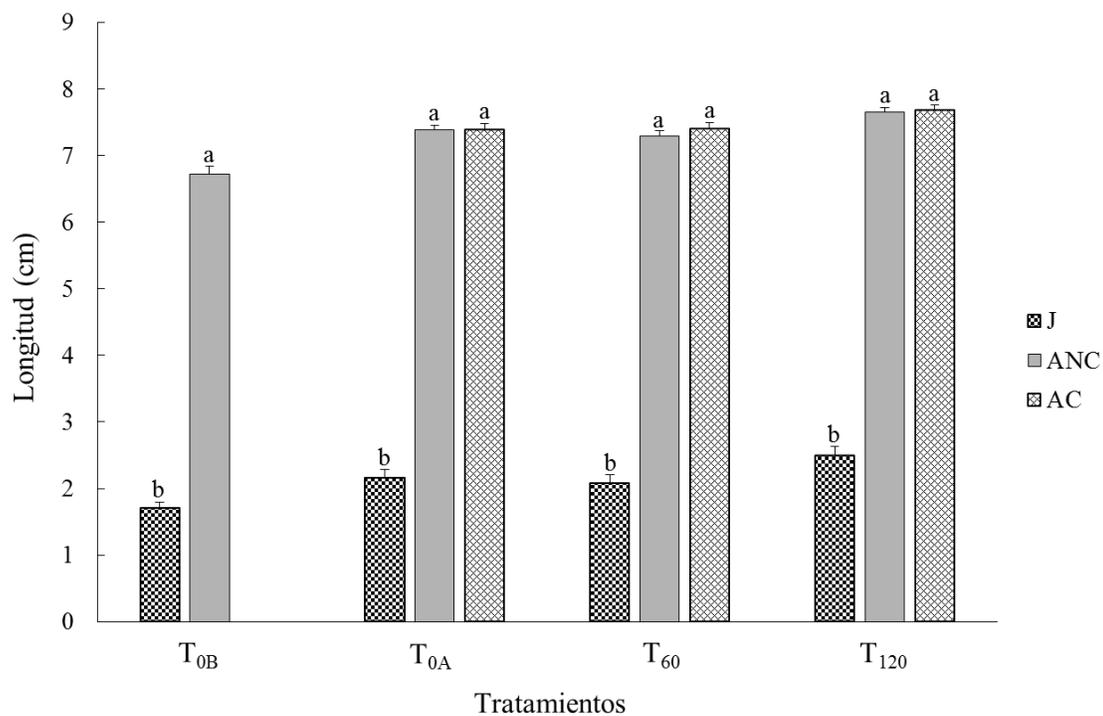


Figura 5. Longitud de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Canavalia* triturada (T_{0B}) o con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje, (T_{0A}, T₆₀ y T₁₂₀) en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas. Los valores son los promedios ± el error estándar (n=20). Las letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas.

CONCLUSIONES

El compost de *Canavalia enciformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza mostró una curva típica de pH y temperatura, donde se puede apreciar claramente las fases del proceso de compostaje (mesófila inicial, termófila, de enfriamiento y maduración).

La fase mesófila presentó una duración de 24 horas, caracterizándose por el fácil reconocimiento de los elementos estructurantes de la pila, una tonalidad verde con marrón claro y olor a madera mojada y hojas trituradas.

La fase termófila presentó un pico de temperaturas de 57-65°C durante los días 7 y 21 de experimentación que coincide con el descenso drástico del volumen de la pila.

A partir del día 56 de experimentación se inicia la fase de enfriamiento, caracterizada por temperaturas menores a 40°C que garantizan la presencia de una mayor diversidad de organismos asociados a la pila de compostaje de *C. ensiformis*.

La maduración y estabilización del compost de *C. ensiformis* se alcanzó a partir del día 77 de experimentación, con temperaturas entre 28-31°C, tonalidad marrón oscura, olor agradable a tierra mojada y consistencia suelta.

Al finalizar el proceso de compostaje se logró recuperar solo un 11,67% del volumen inicial de la pila de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza.

El análisis fisicoquímico mostró que el compost obtenido contiene niveles de macro y micronutrientes que lo convierte en un sustrato aceptable para uso agrícola.

El compost de *C. ensiformis* a los 120 días es alcalino, con una elevada CE y concentración de K y Mn, valores aceptables de MO, C orgánico, relación C/N, macroelementos como N, P, Ca y S y microelementos como Na, Fe, Cu y Zn.

Los análisis fitotóxicos mostraron que el compost final de *C. ensiformis* presenta escasa o nula existencia de sustancias fitotóxicas en la germinación y el desarrollo de las plántulas de *Lycopersicum esculentum*.

El tratamiento T₆₀ registra el mayor número de individuos juveniles de *Eisenia andrei*.

Las lombrices rojas californianas adultas no cliteladas (ANC) y cliteladas (AC) exhiben los mayores valores de biomasa y longitud en los sustratos alimenticios evaluados.

El compost de *C. ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{60} y T_{120}) así como *Canavalia* sola triturada (T_{0B}) pueden ser considerados como suplementos alimenticios y medios de crianza de *E. andrei*.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas microbiológicas a muestras de la pila en cada una de las fases del proceso de compostaje (mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración), de manera que se caractericen e identifiquen los microorganismos que actúan durante cada una de las etapas y se comparen con los presentes en los aceleradores comerciales.

Efectuar análisis microbiológico al compost final para cerciorarse sobre la eliminación o reducción de la población y diversidad de fitopatógenos asociados con la materia prima compostada.

Hacer un análisis fisicoquímico y los test de germinación agronómico e *in vitro* al tratamiento T₆₀ para conocer si es factible la utilización del compost de *C. ensiformis* a los 60 días de experimentación como enmienda de suelos agrícolas.

Determinar el efecto del compost de *C. ensiformis* a los 120 días sobre el crecimiento y desarrollo de plantas de interés agrícola cultivadas en suelos del estado Sucre inoculados o no con microorganismos benéficos (como bacterias promotoras del crecimiento vegetal y hongos micorrízicos) bajo condiciones de vivero y en el campo.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. 1998. Limitaciones y riesgos del uso agrícola de los residuos orgánicos. En: *Residuos orgánicos. Aprovechamiento agrícola como abono y sustrato*. Orozco, F. y Osorio, W. (eds). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Medellín, Colombia. Págs. 9-19.
- Acosta, Y. 2002. Mineralización del carbono, actividad enzimática y biomasa microbiana de un suelo de la región semiárida de Venezuela enmendado con residuos orgánicos. Tesis doctoral. Instituto Venezolano de Investigación Científica, Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- Acosta, Y.; Cayama, J.; Gómez, E.; Reyes, N.; Rojas, D. y García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 6(3): 220-227.
- Acosta, Y.; Paolini, J.; Flores, S.; Benzo, Z.; Elzauahre, M.; Toyo, L. y Senior, A. 2003. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza. *Multiciencia*, 3: 51-60.
- Acosta-Durán, C.; Solís-Pérez, O.; Villegas-Torres, O. y Cardoso-Viguera, L. 2013. Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1): 127-139.
- Agnolucci M.; Cristani, C.; Battini, F.; Palla, M.; Cardelli, R.; Saviozzi, A. y Nuti, M. 2013. Microbially-enhanced composting of olive mill solid waste (wet husk): bacterial and fungal community dynamics at industrial pilot and farm level. *Bioresource Technology*, 134: 10-16.
- Ahmad, R.; Kookana, R.; Alston, A. y Skjemstad, J. 2001. The nature of soil organic matter affects sorption of pesticide. 1. Relationships with carbon chemistry as determined by ¹³C CPMAS NMR spectroscopy. *Environmental Science and Technology*, 35: 878-884.
- Aira, M. y Domínguez, J. 2010. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentreñando la caja negra del vermicompostaje. *Acta zoológica Mexicana*, 2: 385-395.
- Álvarez, M.; García, M. y Treto, E. 1995. Los abonos verdes una alternativa natural y económica para la agricultura. *Cultivos tropicales*, 16(3): 9-24.
- Andrade, A. 2018. Morfometría y reproducción de *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) bajo alimentación suplementada con *Arthrospira maxima* (Setchell & Gardner, 1917). Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Editorial McGrawHill/Interamericana. Barcelona, España.
- Barrena, R. 2006. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicados de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Memoria de tesis. Departamento

- de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- Barrios, J.; Carrión, M.; Espinosa, L.; Romero, S. y Salazar, M. 2016. Evaluación del proceso tecnificado del abono orgánico “Bokashi” para mejorar la producción a escala semi-industrial en la comunidad de Cautaro, Parroquia Santa Inés, Municipio Sucre, Estado Sucre (2013-2016). Trabajo de grado. Programa Nacional de Formación en Procesos Químicos, Universidad Politécnica Territorial del Oeste de Sucre “Clodosbaldo Russián”. Cumaná, Venezuela.
- Benzing, A. 2001. *Agricultura orgánica*. Fundamentos para la región andina. Editorial Neckar-Verlag. Schwenningen, Alemania.
- Berradre, M.; Mejías, M.; Ferrer, J.; Chandler, C.; Páez, G.; Mármol, Z.; Ramones, E. y Fernández, V. 2009. Solid state fermentation of the wastes generated in the wine-making industry. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 26: 398-422.
- Biruntha, M.; Karmegam, N.; Archana, J.; Selvi, B.; Paul, J.; Balamuralikrishnan, B.; Chang, S. y Ravindran, B. 2020. Vermiconversion of biowastes with low-to-high C/N ratio into value added vermicompost. *Bioresource Technology*, 297: 122-398. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.122398.
- Bollo, E. 2001. *Lombricultura: una alternativa de reciclaje*. Editorial SobocGrafic. Quito, Ecuador.
- Bonner, J. y Galston, A. 1961. *Principios de fisiología vegetal*. Editorial Aguilar. Madrid, España.
- Boulter, J.; Bolaand, G. y Trevors, J. 2000. Compost: A study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16: 115-134.
- Breintenbeck, G. y Schellinger, D. 2004. Calculating the reduction in material mass and volume during composting. *Compost Science and Utilization*, 12: 365-371.
- Britto, D. y Kronzucker, H. 2002. NH₄⁺ toxicity in higher plants: a critical review. *Journal of Plant Physiology*, 159: 567-584.
- Brock, T. y Madigan, M. 1996. *Microbiología*. Sexta edición. Editorial Pretince Hall. Ciudad de México, México.
- Bueno, P.; Díaz, M. y Cabrera, F. 2007. Factores que afectan al proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España. Págs. 93-109.
- Bueno, M.; Díaz, B. y Cabrera, C. 2008. Factores que afectan el proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Moreno, C. y Moral, H. Mundi-Prensa. Madrid, España. Págs. 95-109. Recuperado de <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>.
- Cáceres, O.; González, E. y Delgado, R. 1995. *Canavalia ensiformis*: leguminosa forrajera promisoría para la agricultura tropical. *Pastos y forrajes*, 18(2): 107-119.

- Cai, L.; Gong, X.; Sun, X.; Li, S. y Yu, X. 2018. Comparison of chemical and microbiological changes during the aerobic composting and vermicomposting of green waste. *PLoS One*, 13(11): 207-494. DOI: 10.1371/journal.pone.0207494.
- Calero, B.; Martínez, F. y Morales, A. 2009. Premisas técnicas para el desarrollo óptimo del sistema de lombricultura. ACTAF. Instituto de Suelos. *Agricultura Orgánica*, 15: 1-35.
- Campos, M. 2013. Proceso de compostaje mecanizado para el manejo de desechos vegetales generados en el Mercado Municipal de Cumaná. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Canet, R. 2007. *Uso de la materia orgánica en la agricultura*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Madrid, España.
- Carrion, W. y Franco, M. 2015. Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá. Trabajo de grado. Programa De Zootecnia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca. Fusagasugá, Colombia.
- Castellanos, J.; Uvalle, J. y Aguilar, A. 2000. *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Segunda edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. Celaya, México.
- Castillo, A.; Eresue, M.; Rodríguez, L. y Rugama, J. 2002. *Manejo integrado de la fertilidad de los suelos en Nicaragua*. McGraw Hill. Managua, Nicaragua.
- Castillo, A.; Vásquez, E.; Subosky, S.; Rodríguez, M. y Sogar, N. 1999. Disponibilidad de nitrógeno, fósforo y potasio en suelos abonados con lombricompost. *Información Tecnológica*, 10: 179-182.
- Castro, A.; Henríquez, C. y Bertsch, F. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(1): 31-43.
- Ccasani, N. y Poma, A. 2012. Evaluación de la densidad poblacional, peso y longitud de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) alimentadas en estiércol y compost de bovino y ovino. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Zootecnia, Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú.
- Chandler, C.; Ferrer, J.; Marmol, Z.; Paéz, G.; Ramones, E. y Perozo, R. 2008. Efecto de la aireación en el compostaje del bagacillo de la caña de azúcar. *Multiciencias*, 43(1): 19-27.
- Chen, H.; Gao, B.; Li, H. y Ma, L. 2011. Effects of pH and ionic strength on sulfamethoxazole and ciprofloxacin transport in saturated porous media. *Journal of Contaminant Hydrology*, 126(1-2): 29-36. DOI: 10.1016/j.jconhyd.2011.06.002.
- Cid, S. 2010. "Los nutrientes en el compost". "Compostadores". <[http://www.compostadores.com/repositorio/Los nutrientes en el compostnl.pdf](http://www.compostadores.com/repositorio/Los%20nutrientes%20en%20el%20compostnl.pdf)> (12/8/2021).

- Climent, A. 2011. *Cultivo de la lechuga (Lactuca sativa)*. Educación Ambiental. Ciudad de México, México.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente). 2000. “Normas de calidad de compost”. “Lombricultura”. <<http://www.lombricultura.com>>. (31/06/2021).
- Crockett, E.; Dougherty, B. y McNamer, A. 2001. Effects of acclimation temperature on enzymatic capacities and mitochondrial membranes from the body wall of the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Comparative Biochemistry and Physiology and Physiology B-Biochemistry & Molecular Biology*, 130(3): 419-426. DOI: 10.1016/S1096-4959(01)00456-0.
- Cuadros, S. 2008. Compostaje y biometanización. Módulo: Contaminación por residuos. Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Escuela de negocios EOI. Madrid, España.
- Day, M. y Shaw, K. 2001. Biological, chemical and physical processes of composting. En: *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Stofella, P. y Kahn, B. (eds). Lewis Publishers. Boca Ratón, USA. Págs. 17-50.
- De la Cruz, L.; Botello, E.; Robledo, T.; Osorio, O.; Márquez, H. y Sánchez, H. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia*, 25(1): 59-67.
- Defrieri, R.; Jimenez, M.; Effron, D. y Palma, M. 2005. Utilization of chemical and microbiological parameters as maturity criteria during the composting process. *Agriscientia*, XXII(1): 25-31.
- Diacono, M. y Montemurro, F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 30: 401-422.
- Domínguez, J. y Gómez-Brandón, M. 2010. Ciclo de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana*, 2: 309-320.
- Domínguez, J.; Lazcano, C. y Gómez-Brandón, M. 2010. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. *Acta Zoológica Mexicana*, 2: 359-371.
- Dontsova, D. y Norton, D. 1999. Effects of exchangeable Ca:Mg ratio in soil clay flocculation, infiltration and erosion. En: *Sustaining the global farm*. Stott, D.; Mohtar, R. y Steinhardt, G. (eds). 10th International Soil Conservation Organization Meeting. Purdue University y USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. Indiana, USA. Págs. 580-585.
- Durán, L. y Henríquez, C. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 31(1): 41-51.
- EPSAR (Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana). 2018. “Abonos orgánicos”. <<http://www.epsar.gva.es>> (12/8/2021).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación).

1991. *Manejo del suelo: producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales*. Boletín 56. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1997. *China: reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura*. Boletín de suelos de la FAO. Roma, Italia.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. “Los fertilizantes y su uso”. “FAO”. <<http://www.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>> (20-03-2021).
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. Manual “Buenas Prácticas Agrícolas para la Agricultura Familiar”. FAO. Roma, Italia.
- Fent, K. 1996. Ecology of organotin compounds. *Critical Review in Toxicology*, 26: 1-117.
- Fernández, O. 2015. Procesos de compostaje en pilas suplementadas por dos técnicas (aireación forzada y mecanizada con frecuencia decreciente) para el tratamiento de residuos vegetales generados en el mercado municipal de Cumaná. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Ferrera, R. y Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sum*, 8(2): 175-183.
- Fontavine, V.; Effron, D.; Tortarolo, F. y Arrigo, N. 2004. Evaluation of parameters during composting process of two contrasting Graw materials. *Composts Science and Utilization*, 12: 268-272.
- Frioni, L. 1996. Microbiología del Suelo: Biodegradación de sustancias naturales y pesticidas. Seminario de Horticultura Orgánica. Bases técnicas para la gestión de cultivos a escala comercial. CEDAU. Montevideo, Uruguay.
- Gaind, S. 2014. Effect of fungal consortium and animal manure amendments on phosphorus fractions of paddy-straw compost. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 94(2014): 90-97.
- García, C.; Hernández, T.; Costa, F. y Pascual, J. 1992. Phytotoxicity due to the agricultural use of urban wastes. Germination experiments. *Journal of Agricultural and Food*, 59: 313-319.
- García, M.; Treto, E. y Álvarez, M. 2000. Los abonos verdes una alternativa para la economía del nitrógeno en el cultivo de la papa II, efectos de la interacción abono verde dosis de nitrógeno. *Cultivos Tropicales*, 21(1): 13-19.
- García-Martínez, I. y González, L. 2005. Análisis e identificación de bioestimulantes indólicos en una composta. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria*, 4(4): 7-13.
- Garg, V.; Gupta, R. y Yadav, A. 2008. Potential of vermicomposting technology in solid waste management. En: *Current developments in solid-state fermentation*.

- Pandey, A.; Socol, C. y Larroche, C. (eds). Springer. New York, USA. Págs. 468-511.
- Gordillo, F.; Peralta, E.; Chávez, E.; Contreras, V.; Campuzano, A. y Ruiz, O. 2011. Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar). *RIA*, 37(2): 140-149.
- Hanajima, D.; Fukumoto, Y.; Yasuda, T.; Suzuki, K.; Maeda, K. y Morioka, R. 2011. Bacterial community dynamics in aerated cow manure slurry at different aeration intensities. *Journal of Applied Microbiology*, 111(6): 1416-1425.
- Hansen, B.; Alrøe, H. y Kristensen, E. 2001. Approaches to assess the environmental impact of organic farming with particular regard to Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 83: 11-26.
- Harrison, T. 1991. *Harrison's principles of internal medicine*. Twelfth edition. Mc Graw Hill, Inc. New York, USA.
- Haug, R. 1980. *Compost engineering, principles and practice*. Editorial Ann Arbor Science, Industrial. Madrid, España.
- He, Z.; Yang, X.; Kahn, B.; Stofella, P. y Calvert, D. 2004. Ventajas que suponen la utilización de compost para la nutrición fosfórica, potásica, cálcica, magnésica y de micronutrientes. En: *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Stofella, P. y Kahn, B. (eds). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. Págs. 235-264.
- Hernández, A. 2003. *La composta, su elaboración y beneficio*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de agronomía. Buenavista, México.
- Hernández, J.; Contreras, C.; Palma, R.; Faria, A. y Pietrosevoli, S. 2006. Efecto de los restos de la industrialización de la palma aceitera sobre las etapas de crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia andrei*). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 23: 315-325.
- Hernández-Montiel, W.; Ramos-Juárez, J.; Aranda-Ibáñez, M.; Hernández-Mendo, O.; Munguía-Flores, V. y Oliva-Hernández, J. 2017. Uso potencial y limitantes de la leguminosa *Canavalia ensiformis* en la salud y productividad de los ovinos. *Ecosystem and Resource Agropecuary*, 4(10): 187-200.
- Juárez-Urbe, R. 2010. Reciclaje de lodos residuales de la industria del papel mediante lombricultura utilizando la especie "lombriz roja californiana" *Eisenia foética*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1658>.
- Kaas, C. 1996. *Fertilidad de suelos*. Editorial Universidad Nacional a Distancia. San José, Costa Rica.
- Kaplan, D.; Hartenstein, R.; Neuhauser, E. y Malecki, M. 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology*

and *Biochemistry*, 12: 347-352.

- Karley, A. y White, P. 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: potassium, magnesium, calcium. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 291-298.
- Kováčik, P.; Žofajová, A.; Šimanský, V. y Halászová, K. 2016. Spring barley yield parameters after lignite, sodium humate and nitrogen utilization. *Agriculture (Polnohospodárstvo)*, 62(3): 80-89. DOI: 10.1515/agri-2016-0009.
- Kraus, H. y Warren, S. 2000. Performance of turkey litter compost as a slow-release fertilizer in containerized plant production. *HortScience*, 35(1): 19-21.
- Lasaridi, K.; Protopapa, I.; Kotsuo, M.; Pilidis, G.; Manios, T. y Kyriacou, A. 2006. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management*, 80: 58-65.
- Legislación Europea. 2005. Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con la Corte y Memoria Democrática. Gobierno de España. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2005/07/08/824>.
- Legislación Europea. 2008. Orden APA/863/2008, de 25 de marzo, por la que se modifican los anexos I, II, III, y VI del Real Decreto 824/2005, de 8 de julio, sobre productos fertilizantes. Ministerio de la Presidencia, Relaciones con la Corte y Memoria Democrática. Gobierno de España. Recuperado de: <https://www.boe.es/eli/es/o/2008/03/25/apa863>.
- Liu, X.; Shen, F. y Qi, X. 2019. Adsorption recovery of phosphate from aqueous solution by CaO biochar composites prepared from eggshell and rice Straw. *Science of the Total Environment*, 666: 694-702.
- Lobatón, P. 2015. Compostaje y vermicompostaje de desechos vegetales generados en el mercado municipal de Cumaná. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- López, J.; Díaz, A.; Martínez, E. y Cepeda, R. 2001. Abonos orgánicos y sus efectos en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento de maíz. *Revista TERRA*, 19(4): 293-299.
- López, M. y Boluda, R. 2008. Residuos agrícolas. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España. Págs. 489-518.
- López, W. 2010. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis de maestría. Facultad de Biotecnología, Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada, Instituto Politécnico Nacional. Tlaxcala, México.
- López-Millán, A.; Grusak, M.; Abadía, A. y Abadía, J. 2013. Iron deficiency in plants: an insight from proteomic approaches. *Frontiers in Plant Science*, 4(254): 1-7.
- Loué, A. 1988. *Cobre y zinc*. Los microelementos en agricultura. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.

- Madigan, M.; Martinko, J.; Dunlap, P. y Clarck, D. 2009. *Brock. Biología de los microorganismos*. Duodécima edición. Pearson Educación, S.A. Madrid, España.
- Magdoff, F. y Weil, R. 2004. *Soil organic matter in sustainable agricultura*. CRC Press. Boca ratón, USA.
- Márquez, N. 2015. Evaluación de aceleradores comerciales (microbiológicos y polienzimático) en el compostaje de residuos vegetales generados en el Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Martínez, J. 1996. Manejo de desechos sólidos mediante compostaje en Córdoba Quindío. Trabajo de grado. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Martínez, R.; Miglierina, A.; Luna, M.; Konijnenburg, A. y Pellejero, G. 2008. Evaluación del compostaje de los residuos del procesamiento de la cebolla. *Revista Pilquen, Sección Agronomía, X(9): 1-8*.
- Masaguer, A. y Benito, M. 2008. Evaluación de la calidad del compost. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. Págs. 285-304.
- Mayea, S. 1992. *Tecnología para la producción de compost (biotierra) a partir de la inoculación con microorganismos de diversos restos vegetales*. CIDA MINAGRI. La Habana, Cuba.
- Medina, F. 2011. Efecto de las micorrizas arbusculares y la fertilización con fósforo en el crecimiento y desarrollo de plantas de *Petroselinum sativum* Mill. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Medina, F. 2021. Efecto de los hongos micorrízicos arbusculares nativos en el crecimiento vegetativo de tres especies vegetales. Trabajo para ascender a la categoría de Profesor Asistente. Departamento de Biología, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Meléndez, G. 2003. Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. En: *Abonos orgánicos: principios, características e impacto en la agricultura*. Meléndez, G. (ed). CIA. San José, Costa Rica. Págs. 50-63.
- Melgarejo, L (ed). 2010. *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Mengel, K. y Kirkby, E. 1978. *Principles of plant nutrition*. International Potash Institute. Worblaufen-Bern, Switzerland.
- Monsalve, M.; Delgado, E. y Giraldo, E. 2005. Modelación del compostaje de biosólidos en pila estática aireada. Trabajo de grado. Centro de Investigación en Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia.
- Moreno, C. y Mormeneo, B. 2008. Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Ediciones Mundi-

- Prensa. Barcelona, España. Págs. 111-140.
- Moreno, J. y Moral, R. 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Moscoso, F. 2003. Modificación de las propiedades bioquímicas en suelos enmendados con lodo de depuradora. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, España.
- Muñoz, J. 2005. Compostaje en Pescador, Cauca: tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de los problemas medioambientales. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería y Administración, Universidad Nacional de Colombia. Palmira, Colombia.
- Muñoz, J.; Muñoz, J. y Montes, C. 2015. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 3(1): 73-82.
- Negro, S.; Villa, F.; Ciria, P.; Cristobal, M.; De Benito, A.; Garcia, A.; Labrador, C.; Lacasta, C.; Lezaun, J.; Meco, R.; Pardo, G.; Solano, M.; Torres, C. y Zaragoza, C. 2000. Gestión y producción del compost. Dirección General de Tecnología. Centro de Técnicas Agrarias. Gobierno de Aragón. Departamento de Agricultura. Informaciones Técnicas Nº 88. Zaragoza, España.
- NTC (Norma Técnica Colombiana) 5167. 2011. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Bogotá, Colombia.
- Ovalles, C.; González, M.; Pozo, A.; Hirzel, J. y Hernaiz, V. 2007. Cubiertas vegetales en producción orgánica de frambuesas: efectos sobre el contenido de nutrientes del suelo y en el crecimiento y producción de plantas. *Agricultura técnica*, 67(3): 271-280.
- Parry, M.; Flexas, J. y Medrano, H. 2005. Prospects for crop production under drought: research priorities and future directions. *Annals of Applied Biology*, 147: 211-226.
- Peña, J.; Grageda, O. y Vera, J. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México, uso de las técnicas isotópicas. *Terra*, 20: 51-56.
- Polo, A. 2011. Evaluación de la calidad del humus producido por *Eisenia* spp. a partir de tres sustratos orgánicos. Utilidad en agricultura y ecotoxicología. Tesis de maestría. Postgrado en Biología Aplicada, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Pravia, M. y Sztern, D. 1999. *Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Montevideo, Uruguay.
- Pyo, Y.; Gierth, M.; Schroeder, J. y Cho, M. 2010. High-affinity K(+) transport in Arabidopsis: AtHAK5 and AKT1 are vital for seedling establishment and

- postgermination growth under low-potassium conditions. *Plant Physiology*, 153: 863-875.
- Quintero, C.; Arévalo, E.; Boschetti, N. y Spinelli, N. 2006. Clorosis en suelos calcáreo. Experiencias en el cultivo de arroz en Entre Ríos. En: *Micronutrientes en la agricultura*. Vázquez, M. (ed). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Entre Ríos, Argentina. Pag. 113-125.
- Rekasi, M.; Mazsu, N.; Draskovits, E.; Bernhardt, B.; Szabo, A.; Rivier, P.; Farkas, C.; Borsanyi, B.; Pirko, B. y Molnar, S. 2019. Comparing the agrochemical properties of compost and vermicomposts produced from municipal sewage sludge digestate. *Bioresource Technology*, 291: 121861. DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121861.
- Ribó, M. 2004. Balance de macronutrientes y materia orgánica en el suelo de agrosistemas hortícolas con manejo integrado ecológico. Tesis doctoral. Facultad de Farmacia, Departamento de Biología Vegetal, Universidad de Valencia. Valencia, España.
- Rivas, G. 2013. Proceso de compostaje en pilas suplementadas por aireación artificial para el tratamiento de residuos vegetales generados en el mercado municipal de Cumaná. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Rivera, R.; Martín, G.; Simó, J.; Pentón, G.; Joao, J.; García, M.; Ramírez, J.; González, P.; Ojeda, L.; Tamayo, Y. y Bustamante, C. 2017. Bases y beneficios del manejo conjunto de *Canavalia ensiformis* e inoculantes micorrízicos arbusculares en los sistemas de suministro de nutrientes de diferentes cultivos. Informe del megaproyecto Código: P131LH0010003. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Habana, Cuba. DOI: 10.13140/RG.2.2.29685.06884.
- Rodríguez, M.; Tavares, R. y Medina, A. 2009. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero. Tesis doctoral. Postgrado en Agroecología y Sustentabilidad, Colegio de Post-Graduados. Montecillo, México.
- Rojas, F. y Zeledón, E. 2007. Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características físicas, químicas y biológica del composta, Hacienda las Mercedes, Managua, 2005. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Departamento de Producción Vegetal, Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Román, P.; Martínez, M. y Pantoja, A. 2013. *Manual del compostaje del agricultor*. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile, Chile.
- Romero, L.; Jacobo, M.; Figueroa, U. y Muñoz, J. 2015. Fases del proceso de compostaje y dinámica de temperaturas en mezclas de estiércoles bovinos y rastrojo de maíz. *AGROFAZ Journal of Environmental and Agroecological*

- Sciences*, 15(2): 91-99.
- Romero, M.; Trinidad, A.; García, R. y Ferrera, R. 2000. Producción de papa y biomasa microbiana en suelo con abonos orgánicos y minerales. *Agrociencia*, 34(3): 261-269.
- Salas, E. y Ramírez, C. 2001. Bioensayo microbiano para estimar los nutrientes disponibles en los abonos orgánicos: calibración en el campo. *Agronomía Costarricense*, 25(2): 11-23.
- Salazar, C. 2013. Apilamiento estático con volteos a cielo abierto para el compostaje de residuos vegetales, generados en el Mercado Municipal de Cumana, estado Sucre. Trabajo de grado. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Sánchez, T. 2009. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Tropical*, 59(3): 309-316.
- Sánchez-Monedero, M.; Roig, A.; Paredes, C. y Bernal, M. 2001. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Bioresource Technology*, 78(3): 301-308.
- Saña, J. y Soliva, M. 1987. *El compostatge: Procés, sistemes i aplicacions*. Colecció de quaderns d'ecologia aplicada. Ed. Diputació de Barcelona. Barcelona, España.
- Sasek, V.; Bhatt, M.; Cajthaml, T.; Malachova, K. y Lednicka, D. 2003. Compost-mediated removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soil. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44(3): 336-342.
- Saviozzi, A.; Levi, R.; Riffaldi, R. y Vanni, G. 1997. Role of chemical constituents of wheat straw and pig slurry on their decomposition in soil. *Biology and Fertility of Soils*, 25: 401- 403.
- Schuldt, M. 2004. *Lombricultura fácil*. Work Graf. Buenos Aires. Argentina.
- Schuldt, M.; Christiansen, R.; Scaturice, L. y Mayo, J. 2005. Pruebas de aceptación de alimentos y contraste de dietas en lombricultura. *Revista Electrónica de Veterinaria*, VI(7): 1-13.
- Schuldt, M.; Christiansen, R.; Scaturice, L. y Mayo, J. 2007. Lombricultura, desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 8(8): 1-10.
- Serapio, F. y Bruzon, C. 1996. *Curso de abono y sustratos orgánicos*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Sheahan, C. 2012. *Plant guide for jack bean (Canavalia ensiformis)*. United States Department of Agriculture-Natural Resources Conservation Service. New Jersey, USA.
- Shepherd, M.; Liang, P.; Doyle, M. y Jiang, X. 2007. Survival of a virulent *Escherichia*

- coli* O157:H7 during composting on the field. *Journal of Food Protection*, 70: 2708-2716.
- Singh, R.; Hakimi, M.; Esa, N. e Iliyana, M. 2010. Composting of waste from palm oil mill: a sustainable waste management practice. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 9: 331-344.
- Sokal, R. y Rohlf, F. 1981. *Biometry: The principles and practice of statistics in biological research*. Segunda edición. Editorial W.H. Freeman y Company. New York, USA.
- Soliva, M. y Giró, F. 1992. Composting of three kinds of residues of very different origin. *Acta Horticulturae*, 302: 181-192.
- Somarriba, R. y Guzmán, F. 2004. *Guía de lombricultura*. Guía Técnica No. 4. Dirección de Investigación, Extensión y Postgrado (DIEP). Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.
- Soto, M. 2003. *Abonos orgánicos: El proceso de compostaje*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). San José, Costa Rica.
- Sundberg, C. 2005. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature. Tesis doctoral. Faculty of Natural Resources and Agricultural Sciences, Department of Biometry and Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala, Suecia.
- Sundberg, C.; Smars, S. y Jonsson, H. 2004. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technology*, 95(2): 145-150.
- Stofella, P. y Kahn, B. 2005. *Utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola*. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Suler, D. y Finstein, S. 1977. Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. *Applied and Environmental Microbiology Journal*, 33(2): 345-350.
- Suzuki, L.; Herrig, V.; Ferrarese, M.; Rodrigues, J. y Ferrarese-Filho, O. 2003. Simultaneous effects of ferulic and vanillic acids on peroxidase and phenylalanine ammonia-lyase in soybean (*Glycine max*) roots. *Phyton*, 43: 179-185.
- Tineo, B. 1994. Crianza y manejo de lombrices de tierra con fincas agrícolas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Programa de Manejo Integrado de Recursos Naturales; Área de manejo de cuencas. CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Tiquia, S. 2000. *Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig-on-litter system*. Proceedings of the International Composting Symposium (ICS'99). Nova Scotia, Canada. Págs. 625-647.
- Tiquia, S.; Richard, T. y Honeyman, M. 2002. Carbon, nutrient, and mass loss during

- composting. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 62: 15-24.
- Toledo, M. 2016. *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras: conceptos y métodos*. Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA). Tegucigalpa, Honduras.
- Torres, G. y Medina, V. 2009. Obtención de abono orgánico a partir de la fermentación en estado sólido de la concha de mango. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Química, Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo, Venezuela.
- Trautmann, T. y Olynciw, E. 2000. "Cornell composting science y engineering". <<http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>>. (20/08/2020).
- Trewavas, A., 2004. A critical assessment of organic farming-and-food assertions with particular respect to the UK and the potential environmental benefits of no-till agriculture. *Crop Protection*, 23: 757-781.
- Uribe, J.; Estrada, M.; Córdoba, S.; Hernández, L. y Bedoya, D. 2001. Evaluación de los microorganismos eficaces (E.M) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 14(2): 164-172.
- Valderrama, A. 2013. Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo. Trabajo de grado. Especialización en Biotecnología, Escuela de Ingenierías, Formación Avanzada, Universidad Pontificia Bolivariana. Medellín, Colombia.
- Varnero, M.; Rojas, C. y Orellana, R. 2007. Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*, 7(1): 28-37.
- Villegas-Cornelio, V. y Canepa, J. 2017. Vermicompostaje I: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 38(2): 393-406.
- Vogtmann, H.; Fricke, K. y Turk, T. 1993. Quality, physical characteristics, nutrient content, heavy metals and organic chemicals in biogenic waste compost. *Compost Science and Utilization*, 1(1): 69-87.
- Yáñez, J. 2002. *Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales*. Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Saltillo, México.
- Zhu, N. 2006. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Bioresource Technology*, 97: 1870-1875.
- Zubillaga, M.; Branzini, A., y Lavado, R. 2008. Problemas de fitotoxicidad en compost. *Revista Pilquen, Sección Agronomía*, X(9): 1-9.
- Zucconi, F.; Forte, M.; Manaco, A. y De Bertoldi, M. 1981. Biological evaluation of compost maturity. *BioCycle*, 22: 27-29.
- Zucconi, F.; Mónaco, A.; Forte, M. y De Bertoldi, M. 1985. Phytotoxins during the

stabilization of organic matter. En: *Composting of agricultural and other wastes*.
Gasser, J. (ed). Elsevier Applied Publishers. London, UK. Págs. 347-368.

APÉNDICES

Apéndice 1. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el sustrato alimenticio a base de *Canavalia* sola triturada (T_{0B}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no clitelada y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	2	106,5	a
J	2	62,0	b
AC	2	0,0	c

Apéndice 2. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₆₀, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no clitelada y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
J	2	284,5	a
ANC	2	230,0	a
AC	2	128,0	b

Apéndice 3. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el sustrato alimenticio a base de *Canavalia* sola triturada (T_{0B}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles y ANC: adultas no cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	20	6,7275	a
J	20	1,7085	b

Apéndice 4. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T_{0A}, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no clitelada y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	20	7,390	a
AC	20	7,388	a
J	20	2,167	b

Apéndice 5. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₆₀, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no clitelada y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	7,404	a
ANC	20	7,290	a
J	20	2,089	b

Apéndice 6. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Canavalia ensiformis*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₁₂₀, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no clitelada y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	7,679	a
ANC	20	7,655	a
J	20	2,494	b

HOJA DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	COMPOSTAJE DE <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) DC. (FABACEAE) Y SUS EFECTOS COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO Y MEDIO DE CRIANZA DE <i>Eisenia andrei</i> (BOUCHÉ, 1972) (LUMBRICIDAE)
Subtítulo	

Autor (es):

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Centeno F. Juan J	CVLAC	23 346 289
	e-mail	<i>juanjoseferrer01@gmail.com</i>
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

pH
Temperatura
Índice de germinación
Compostaje
<i>Eisenia andrei</i>
<i>Canavalia ensiformis</i>

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Biología

Resumen (abstract):

Se evaluó el proceso de compostaje del follaje de *Canavalia ensiformis* y su efecto sobre la morfología y reproducción de *Eisenia andrei*. En este estudio se caracterizó el proceso de compostaje aeróbico de *C. ensiformis* mediante apilamiento estático a cielo abierto con volteos semanales en un área de bosque muy seco tropical de la ciudad de Cumaná, estado Sucre. Para ello, se utilizó un diseño de pila cónica de 600 L de biomasa inicial, de un metro de alto. El sustrato se preparó con bagazo de caña de azúcar (35%), estiércol de gallinaza (10%) y *C. ensiformis* (55%) y al alcanzar los 120 días de maduración se colectó una muestra para la realización de análisis químico llevado a cabo por la empresa EDAFOFINCA. Los rangos de temperatura presentaron una curva normal, mostrando un pico de 57-65°C entre los días 7 y 21 de experimentación. Los valores de pH alcanzados estuvieron entre 5,17 a 8,10 con tendencia hacia la neutralidad en las fases finales del proceso de compostaje. Se alcanzó una reducción cercana al 90% del volumen inicial. El test de germinación *in vitro* arrojó un IG de 86,58 lo que demuestra que se obtuvo un compost maduro sin altas presencias de fitotoxinas. El compost a los 120 días es alcalino, con una elevada CE y concentración de K y Mn, valores aceptables de MO, relación C/N, C orgánico, N, P, Ca y S para los macronutrientes y de Na, Fe, Cu y Zn para los micronutrientes. El bioensayo con *E. andrei* mostró que el mayor número de individuos se contabilizó en el sustrato T₆₀, obteniendo una mayor presencia de lombrices juveniles. La biomasa de *E. andrei* no mostró diferencias estadísticamente significativas. Las lombrices rojas californianas adultas no cliteladas (ANC) y cliteladas (AC) exhibieron los mayores valores de biomasa y longitud en los sustratos alimenticios evaluados. El producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *Canavalia ensiformis*, gallinaza y bagazo de caña de azúcar, representa un compost maduro con escasa o nula presencia de sustancias fitotóxicas que puede ser empleado como medio de alimentación y crianza de *E. andrei*.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail	
Medina M. Fanny del V.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input checked="" type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	18 417 742
	e-mail	<i>medinamfanny_13@hotmail.com</i>
	e-mail	<i>medinamfanny1313@gmail.com</i>
Franco S. Víctor A.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	12 660 201
	e-mail	<i>prof.victor.franco@gmail.com</i>
	e-mail	
Velásquez A. Roger A.	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input checked="" type="checkbox"/>
	CVLAC	13 835 206
	e-mail	<i>roger.cieg@gmail.com</i>
	e-mail	
	ROL	CA <input type="checkbox"/> AS <input type="checkbox"/> TU <input type="checkbox"/> JU <input type="checkbox"/>
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2022	03	10

Lenguaje: spa .

.

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo (s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
TG-centenroj.doc	Word 1997-2003

Alcance:

Espacial: Nacional (Opcional)

Temporal: Temporal (Opcional)

Título o Grado asociado con el trabajo:

Licenciado en Biología

Nivel Asociado con el Trabajo: Licenciado

Área de Estudio: Biología

Institución (es) que garantiza (n) el Título o grado:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, NÚCLEO DE SUCRE

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CU N° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

Letdo el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE SISTEMA DE BIBLIOTECA	Cordialmente,	
RECIBIDO POR <i>Mazley</i>	<i>Juan A. Bolaños Cunele</i>	
FECHA <i>5/8/09</i> HORA <i>5:30</i>		

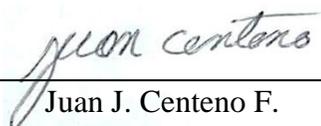
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

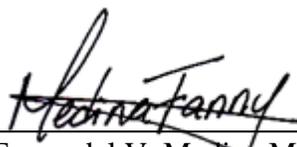
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “los Trabajos de Grado son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.



Juan J. Centeno F.
AUTOR



Fanny del V. Medina M.
TUTORA