



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO SUCRE
ESCUELA DE CIENCIAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA

COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE *Aloe vera* (L.) Burm. f.
(ASPHODELACEAE) Y SUS EFECTOS COMO SUPLEMENTO ALIMENTICIO Y
MEDIO DE CRIANZA DE *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) (LUMBRICIDAE)
(Modalidad: Tesis de Grado)

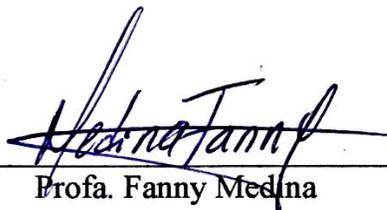
GERALDINE CAROLINA RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ

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

CUMANÁ, 2022

COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE *Aloe vera* (L.) Burm. f.
(ASPHODELACEAE) 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	7
Área de estudio	7
Experimento de compostaje	7
Análisis fisicoquímico del compost	10
Ensayos de germinación	10
Ensayo con lombrices rojas californianas (<i>Eisenia andrei</i>)	11
Análisis estadísticos	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	14
Factores abióticos asociados a la pila de compostaje.....	14
Temperatura y pH	15
Volumen de la pila de compostaje	18
Color	20
Olor	21
Factores bióticos asociados a la pila de compostaje.....	22
Examen fisicoquímico de la pila de compostaje de <i>Aloe vera</i>	24
pH final	25
Conductividad eléctrica (CE).....	26
Materia orgánica (MO)	27
Carbono orgánico.....	28
Nitrógeno (N).....	29
Relación C/N.....	30
Fósforo (P)	31
Potasio (K)	32
Calcio (Ca)	33

Magnesio (Mg).....	33
Sodio (Na).....	34
Azufre (S).....	35
Hierro (Fe)	35
Cobre (Cu)	36
Zinc (Zn).....	37
Manganeso (Mn).....	38
Ensayo de germinación	39
Porcentaje de germinación agronómica (PRGA).....	40
Índice de germinación (IG).....	40
Porcentaje relativo de germinación (PRG)	41
Crecimiento relativo de la radícula (CRR)	42
Ensayo con <i>Eisenia andrei</i>	42
CONCLUSIONES	52
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA	55
APÉNDICES	66
HOJA DE METADATOS	72

DEDICATORIA

A Dios, por mantenerme enfocada y acompañarme y guiarme en la vida.

A la virgen del Valle, por darme la oportunidad de continuar la carrera que elegí estudiar.

A mis padres Robert Rodríguez y Josefa Rodríguez, por el amor, apoyo y esfuerzo que siempre me han brindado.

A mi hermano, Robert Rodríguez, por su amor, apoyo y comprensión durante estos 29 años.

AGRADECIMIENTOS

A la profesora Fanny Medina, por su paciencia, consejos y mentoría estos últimos años.

A Juan Centeno, Eudar Cabello, Amieluz Ramos, Beda Acuña, Adriana Castillejo y Antonio Alvarado por su cariño y apoyo a lo largo de mi tiempo en la universidad.

Al profesor José Imery, por toda su ayuda y sabiduría impartida en mí.

A EDAFOFINCA CA, por su apoyo y aporte a este estudio.

Y a todas aquellas personas que de alguna u otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Materiales de partida que integran la pila de compostaje de residuos del cultivo de <i>Aloe vera</i> establecida en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo Sucre	8
Tabla 2. Iniciadores comerciales del compostaje incorporados a la pila de biomasa con residuos del cultivo de <i>Aloe vera</i> en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, núcleo Sucre	9
Tabla 3. Características de las pilas de desechos de <i>Aloe vera</i> durante las fases del compostaje en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.....	14
Tabla 4. Organismos observados en la pila de compostaje de <i>Aloe vera</i> , en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.....	23
Tabla 5. Análisis fisicoquímico del compostaje de <i>Aloe vera</i> , bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.....	25
Tabla 6. Ensayo de germinación agronómico e <i>in vitro</i> de semillas de <i>Lycopersicon esculentum</i> en el compost de <i>Aloe vera</i> en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre	39

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Temperatura ambiental, pH y temperatura de la pila de compostaje de *Aloe vera* en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 16
- Figura 2. Volumen de la pila de compostaje de *Aloe vera* en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 19
- Figura 3. Población de *Eisenia andrei* alimentada con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{45} y T_{90}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 44
- Figura 4. Biomasa de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{45} y T_{90}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 47
- Figura 5. Longitud de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A} , T_{45} y T_{90}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre 50

RESUMEN

Se evaluó las características fisicoquímicas del compost de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Asphodelaceae) y sus efectos sobre la morfología y reproducción de *Eisenia andrei*. En este estudio se caracterizó el proceso de compostaje aerobio de *A. vera* mediante el apilamiento a cielo abierto con volteos semanales en un área de bosque muy seco tropical de la ciudad de Cumana, estado Sucre. Para esto, se utilizó un diseño de pila cónica de 600 L, con una biomasa inicial de un metro de alto. El sustrato se preparó con bagazo de caña de azúcar (57%) estiércol de gallina (16%) y *Aloe vera* (27%), y al llegar a los 90 días de maduración, se tomó una muestra para la realización del análisis fisicoquímico, llevado a cabo por la empresa EDAFOFINCA. El proceso de compostaje de *A. vera* presentó una curva típica de temperatura y pH, mostrando un pico de 69-70°C entre los días 5 y 14 de experimentación y valores de pH que oscilaron entre 6,20 y 7,97, con tendencia a la alcalinidad durante las últimas semanas del proceso. Se alcanzó una reducción cercana al 84% del volumen inicial. El compost maduro de *A. vera* (90 días) es alcalino, con baja CE, relación C/N y concentración de Fe, valores aceptables de MO, C orgánico, N, P, Ca, Cu y Zn; y niveles elevados de K, Mg, Na, S y Mn. El test de germinación *in vitro* registró un IG de 93,15, lo que demuestra que se obtuvo un compost maduro, con baja o nula concentración de sustancias fitotóxicas. En el bioensayo con *Eisenia andrei*, se obtuvo que el mayor número de individuos juveniles fue contabilizado en el T_{0B} mientras que los adultos no clitelados fueron más abundantes en los tratamientos con el compost de *A. vera* (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀). La biomasa de *E. andrei* mostró diferencias estadísticamente no significativas. Las lombrices adultas no cliteladas (ANC) exhiben las mayores biomásas, mientras que las adultas cliteladas (AC) registran las mayores longitudes, en todos los sustratos alimenticios. El producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, es un producto maduro, estable y con baja o nula presencia de sustancias fitotóxicas que puede ser recomendado para el uso comercial como biofertilizante de tierras agrícolas y como sustrato alimenticio y de crianza de *E. andrei*.

Palabras clave: Sábila, agricultura, *Eisenia*, germinación, fitotoxicidad, biofertilizante.

INTRODUCCIÓN

La sábila, conocida científicamente como *Aloe vera* (L.) Burm. f. (= *A. barbadensis* Miller, 1768), es una especie suculenta de aprovechamiento medicinal, cosmético, ornamental, e incluso, es utilizada en la protección del ambiente (De Lucia *et al.*, 2009). Actualmente pertenece a la familia Asphodelaceae y es ampliamente reconocida por sus propiedades curativas para el alivio de diversos males, destacándose las enfermedades de la piel, daños por irradiación, afecciones de los ojos, desórdenes intestinales y por su actividad antiviral (Smith y Van-Wyk, 1991; Davis, 1997; Domínguez-Fernández *et al.*, 2012).

Las especies del género *Aloe* son principalmente hierbas perennes, arbustos o pequeños árboles, solitarios o agrupados, que presentan raíces gruesas, hojas distribuidas en espiral formando rosetas u ocasionalmente opuestas en plantas jóvenes, carnosas y generalmente suculentas; lámina lineal, lanceolada o triangular, base envainada; ápice usualmente espinoso; margen con dientes u ocasionalmente con finos pelos; superficie glabra, lisa o rugosa, algunas veces con una o ambas superficies espinosas, uniformemente coloreada de verde o presentando manchas blancas. Inflorescencias simples o ramificadas; pedúnculo grueso y erguido. Fruto tipo cápsula, subglobular, generalmente dehiscente hacia el ápice y semillas pequeñas aladas (Carter, 1994; Choi y Chung, 2003; Vega, 2005).

Aloe vera es una planta xerófila que se desarrolla en áreas de poca disponibilidad de agua (Vega, 2005). Químicamente, se caracteriza por la presencia de constituyentes fenólicos que son generalmente clasificados en dos grupos principales: las cromonas, como la aloensina y las antraquinonas (libres y glicosiladas) como la barbaloina, isobarbaloina y aloemodina; estos compuestos se encuentran en la capa interna de las células epidermales (Ni *et al.*, 2004). El hidroparénquima interno contiene el gel incoloro e insípido, rico en polisacáridos, glicoproteínas y aminoácidos (Larionova *et al.*, 1990; Yagi *et al.*, 1997). La aloína es el principal componente del acíbar, que la planta secreta como defensa para alejar a posibles depredadores por su olor y sabor desagradable. También interviene en el proceso de control de la transpiración en

condiciones de elevada insolación. En la fabricación de productos alimenticios a base de *Aloe vera*, estos no deben contener aloína dado sus propiedades laxantes y alergénicas (Reynolds, 2004).

Los abonos orgánicos son una importante alternativa de fertilización edáfica ya que suplen las necesidades biológicas del suelo, poseen propiedades fisicoquímicas que mejoran e incrementan la producción de cultivos, le proporcionan resistencia a enfermedades y plagas y además son de fácil elaboración pues pueden ser producidos a nivel de finca y representan precios menores en comparación a los fertilizantes químicos. Existe una gran variedad de abonos orgánicos, la diferencia entre estos radica en el producto y proceso que se aplica para su transformación en material orgánico. La elección del tipo de material a producir dependerá de diferentes factores, como la producción agropecuaria que se tenga, condiciones agroecológicas, presupuesto, tiempo y espacio, entre otros (Arango, 2017). Cuando se dispone de ellos adecuadamente, los residuos orgánicos representan una oportunidad para crear un circuito cerrado en favor de la sustentabilidad, con menor impacto ambiental y productos derivados aprovechables. Estos residuos pueden someterse a un manejo que produzca beneficios en materia de suministro de agua y generación de energía, así como de mitigación de los efectos del cambio climático y mejoramiento de la calidad del aire (CCA, 2017).

Anualmente, se produce una cantidad considerable de residuos de cosechas, pero sólo una cierta parte de esta es aprovechada directamente para la alimentación, tanto humana como animal, dejando una gran cantidad de mal llamados desechos, los cuales se convierten en potenciales contaminantes. Generalmente, estos son considerados un problema para el productor, ya que no conocen alternativas para usarlos apropiadamente (Villalba *et al.*, 2011).

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por su incremento y disposición inadecuada; asociados al aumento de la población humana, la industrialización y los hábitos de consumo (Bueno *et al.*, 2008). Los residuos orgánicos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados en las urbes, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya con su manejo adecuado, potenciando los productos finales de estos procesos y minimizando el impacto ambiental

que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales (Jaramillo y Zapata, 2008).

Las elevadas necesidades agroalimentarias y la sobrepoblación han llevado al uso intensivo de la tierra, provocando un agotamiento de los suelos debido a la explotación de grandes cantidades de elementos nutritivos, además de la desaparición progresiva de la fracción orgánica del suelo, debido a esta problemática, se consideró la utilización agrícola de los desechos orgánicos, la cual conduciría a una solución alternativa, donde el reciclaje de nutrientes aseguraría el funcionamiento más eficiente del sistema alimentario (Ramos, 2005).

El reciclaje orgánico genera motivación para la agricultura ecológica, conservación de los suelos agrícolas y el aprovechamiento de la materia orgánica y sus nutrientes (Abad, 1998). La gestión de los residuos para este fin, implicaría la solución de dos problemas ambientales: i) la reducción de una fuente potencial de contaminación y ii) el aprovechamiento de un recurso de bajo costo que permite mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo, aumentando su productividad. El uso agrícola de estos residuos, ya sea directamente o transformados en productos con alto contenido de materia orgánica estabilizada (compost), ha conducido a la valoración de estos materiales, fundamentalmente en lo relativo a su capacidad de mejorar la calidad y cantidad de la materia orgánica (valor como enmienda) y el contenido nutritivo (valor fertilizante) en suelos agrícolas agotados (Cuevas y Walter, 2004; Moreno y Moral, 2008; Muñoz, 2012).

El compostaje es el sistema que más respeta el ciclo de conservación de la materia y el que mayor aplicación encuentra en la agricultura. Es un proceso tecnológico industrializable, sin un grado de complejidad, técnico y económicamente viable, poco contaminante y con buena aceptación social, en comparación con los vertederos o las plantas incineradoras (Soliva, 2001). Román *et al.* (2013) define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes. Para la elaboración del compost son necesarios elementos fundamentales (residuos sólidos orgánicos) provenientes de vegetales, animales, procesos industriales o desechos urbanos, entre otros (Pravia y Sztern, 1999).

Patrones de consumo y estilos de vida de la sociedad actual, han incrementado los volúmenes de residuos. Más del 50% de los desechos generados en países de América Latina son orgánicos y de éstos, los provenientes del mercado y la jardinería constituyen un porcentaje importante. Actualmente, las municipalidades no cuentan con planes de manejo que permitan minimizar y valorizar los residuos, los cuales son dejados inadecuadamente en tiraderos a cielo abierto; siendo estos una fuente importante de gases con efecto invernadero. La elaboración de abonos orgánicos constituye una práctica importante para el reciclaje de algunos de los desechos generados por la agricultura y agroindustria, así como la conversión de estos subproductos en materiales que puedan utilizarse para la mejora de los suelos (Uribe, 2003).

El valor fertilizante de los residuos orgánicos, especialmente de los composts de lodos residuales, ha sido bien estudiado y se han obtenido resultados satisfactorios cuando estos han sido aplicados como enmiendas al suelo y también en ensayos comparativos de su efectividad con relación a los fertilizantes químicos (Roig *et al.*, 2012). La generación de residuos sólidos orgánicos en las actividades urbanas, agropecuarias e industriales, está estrechamente relacionado con el modelo productivo actual y representa una de las principales formas de deterioro del medio ambiente, al no existir un aprovechamiento racional o un reciclaje sistemático de los mismos (Moreno y Moral, 2008). Como alternativa, el compostaje es considerado un bien “ambiental/social”, por los beneficios ambientales aportados, a los que se le debe sumar que disminuye la cantidad de agroquímicos requeridos y se devuelve a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humus y tierras productivas (Pravia y Sztern, 1999).

Otra de las opciones que existen para el tratamiento de este tipo de desechos es la lombricultura (también llamada vermicultura), ya que las lombrices promueven una separación mecánica del sustrato, transformando las partes mejor asimilables en un vermicompost ya estabilizado, homogéneo, rico en nutrientes y de granulometría fina (Domínguez y Pérez-Lozada, 2010). Esta técnica consiste en la elaboración de abono orgánico a través de la utilización de alguna de las especies de lombrices de tierra. Entre estas, existen especies que son utilizadas con fines comerciales como *Eisenia andrei*,

Eudrilus eugeniae y *Helodrilus caliginosus*, por citar algunas (Ferruzi, 1993; Bollo, 1999). La adaptabilidad de las lombrices, su estado y multiplicación de estas especies anélidas, se ven afectados directamente por las características del sustrato o el material de crecimiento, el cual debe pasar por un periodo previo de maduración para que se desarrollen los microorganismos que integran la dieta de las lombrices, ya que estas son micrófagas (Schuldt, 2004).

La vermicultura trae consigo numerosos beneficios, como los agrícolas y pecuarios, además de los ecológicos, ya que su lento proceso de descomposición produce una reducción de los desperdicios orgánicos que ocasionan contaminación. Por todo ello, la investigación de la dinámica poblacional de lombrices en diferentes sustratos orgánicos producidos en una zona determinada representa uno de los puntos iniciales para el establecimiento del proceso de vermicomposta (Santamaria y Ferrera, 2002). Mediante el uso de la lombricultura, es posible convertir casi cualquier tipo de desecho orgánico en un producto final denominado genéricamente como “lombricompost” el cual es utilizado en la agricultura para mejorar tanto las propiedades químicas del suelo, como las propiedades físicas y biológicas, contribuyendo igualmente a la solución de problemas de contaminación (Henríquez y Cabalceta, 1999).

Acosta *et al.* (2012) estudiaron los indicadores de calidad bioquímica y de estabilidad de una biomasa durante el proceso de compostaje, ellos utilizaron una mezcla de lodo proveniente de un municipio del estado Zulia (occidente de Venezuela) con estiércol caprino y restos del procesamiento industrial de *A. vera*. Los autores sugieren que los residuos de la agroindustria de la sábila, junto con el estiércol caprino y el lodo, realizaron grandes cambios durante el compostaje, generándose compuestos capaces de activar la fauna microbiana, pero sólo utilizan los restos foliares y no exponen los detalles del proceso de compostaje de la biomasa que contiene los tejidos de *A. vera* ni la evaluación de calidad del compost final, mediante protocolos científicos internacionales.

En la región oriental de Venezuela, los trabajos más recientes sobre reciclaje orgánico se han orientado hacia la valoración y gestión de los residuos hortícolas de mercados municipales, reconocimiento y caracterización de materiales estructurantes ligno-celulósicos (Salazar, 2013), ventajas del uso de aceleradores microbiológicos

(Márquez, 2015; Barrios *et al.*, 2016), así como la 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). Sin embargo, no existen referencias científicas de la aplicación de estas biotecnologías para el aprovechamiento de los residuos de agrosistemas locales, entre los que destaca el *A. vera* con más de 800 ha cultivadas a lo largo de la península de Araya, estado Sucre (Imery, 2012). En este sentido, el presente trabajo persigue explorar el proceso de compostaje de los residuos del cultivo de *A. vera* y sus efectos-morfológicos y reproductivos sobre *E. andrei*.

METODOLOGÍA

Área de estudio

El ensayo de compostaje se realizó 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, 12 m s. n. m., con temperaturas ambientales propias de un bosque seco tropical, las cuales oscilan entre 23 y 33°C.

Experimento de compostaje

Dentro del perímetro de la estación de compostaje se encuentran cultivadas 2 890 plantas de *A. vera* aprovechadas para la venta de hojas frescas a la industria nacional de cosméticos y bebidas nutraceuticas. De esta plantación se utilizaron los desechos de su limpieza y mantenimiento (hojas secas, dañadas por plagas o enfermedades o sin valor comercial, rizomas y otros restos de plantas adultas extraídas por senescencia, podas de inflorescencias e hijuelos descartados). Estos residuos fueron separados en cestas plásticas, se registraron sus volúmenes y fueron incorporados 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. Esta suspensión triturada de *A. vera* requirió de la adición de materiales estructurantes y aportes de nitrógeno, para mejorar la porosidad y la relación carbono/nitrógeno en la biomasa experimental. Para ello, se mezclaron los residuos de *A. vera* 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). Se utilizó mayor volumen de bagazo de caña de azúcar con relación al de los residuos de *A. vera* debido a que el *Aloe* es un material altamente acuoso, por lo cual se recurrió a esta fuente ligno-celulósica para garantizar la estructura y niveles adecuados de humedad en la pila, que permitieran el correcto desarrollo de los

microorganismos involucrados en cada una de las etapas del proceso de compostaje.

Tabla 1. Materiales de partida que integran la pila de compostaje de residuos del cultivo de *Aloe vera* establecida en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo Sucre.

Materiales	Volumen (L)	Humedad (%) ¹	Densidad (g/mL) ²	Masa (kg)	Relación C/N ³	Aporte C (kg)	Aporte N (%)	Aporte H ₂ O (kg)
<i>Aloe vera</i>	160	90	0,96	154	35/1	15	0,43	138,24
BCA	340	10	0,35	119	104/1	106	1,02	11,90
Gallinaza	100	8	1,10	110	15/1	95	6,33	8,80
Final	600	42	0,64	383	28/1	216	7,77	158,94

BCA: Bagazo de caña de azúcar seco y triturado, ¹: %H= 100 x (masa húmeda-masa seca a 105°C por 24 h/masa húmeda), ²: d= masa/volumen, 1 y 2 en muestras por triplicado, ³: 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.

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 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 suspendidos inicialmente en 9 L de agua limpia y reposada, se mezclaron suavemente para diluir y se añadieron a la pila de biomasa.

Una vez armada la pila de compostaje se inició el monitoreo diario del color, olor, factores biológicos y abióticos 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. Se empleó la fórmula $\% \text{Humedad} = 100 \times (\text{masa húmeda} - \text{masa seca}) / \text{masa húmeda}$. El déficit de humedad se ajustó utilizando agua reposada aplicada con regadera manual.

Tabla 2. Iniciadores comerciales del compostaje incorporados a la pila de biomasa con residuos del cultivo de *Aloe vera* en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, núcleo 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

Se airea 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 compost fue pulverizada, envasada y enviada al Laboratorio certificado de Análisis de Suelos y Sustratos Orgánicos de la empresa EDAFOFINCA, C.A. en Cagua, estado Aragua, para determinar el contenido de elementos totales (C, N, P, K, Ca, S, Mg, 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 con residuos del cultivo de *A. vera* se evaluó mediante la respuesta germinativa de semillas certificadas de *Lycopersicon esculentum* (híbrido F₁ caribeño) en ensayos agronómicos y pruebas de germinación *in vitro*, según Zucconi *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 T₉₀ del ensayo con lombrices) en partes iguales con arena gruesa (lavada y desinfectada con Basamid de la casa fabricante de agroquímicos BASF) 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 estéril. En cada bandeja se sembraron 50 semillas de *L. esculentum* a unos 3 mm de profundidad. Se establecieron tres germinadores para el sustrato experimental y tres germinadores controles, 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 con solo arena). Los germinadores fueron mantenidos 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

A. vera al final del proceso de compostaje, que fue previamente colocada en la estufa (24 h, 105°C) y luego pulverizada en la trituradora Ika Labortechnik, modelo M20S3. Se mezcló 4 g de polvo de compost con 100 mL de agua destilada y fue agitado energicamente durante una hora. Una fracción de esta suspensión fue trasvasada a un tubo Falcon con capacidad de 14 mL y se centrifugó a 500 rpm durante 15 min a 25°C, en el equipo Ependorf modelo 5703. Una vez centrifugada la muestra, con ayuda de una pipeta graduada, 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 condiciones. Se mantuvieron las cápsulas en una incubadora a temperatura de laboratorio (23-26°C) y se realizaron observaciones diarias 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 (Zucconi *et al.*, 1981). Previamente se calculó el porcentaje relativo de germinación ($PRG = 100 \times \frac{\text{semillas germinadas en la suspensión experimental del té de compost}}{\text{semillas germinadas en el control}}$) y el crecimiento relativo de la radícula ($CRR = 100 \times \frac{\text{longitud promedio de la radícula en la suspensión experimental del té de compost}}{\text{longitud promedio de la radícula en el control}}$). Posteriormente, fue calculado 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 residuos del cultivo de *A. vera*. Se tomaron en cuenta las etapas del proceso de compostaje, según Bueno *et al.* (2008): fase termófila (la temperatura inicial de la pila se eleva por encima de los 45°C), de enfriamiento (la temperatura de la pila decae por debajo de los 45°C), y maduración (la temperatura de la biomasa experimental se equilibra con el ambiente externo). Los tratamientos estuvieron definidos por el tiempo que transcurra la etapa termófila: T_{0A} = biomasa fresca (*A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza) recién mezclada (Tabla 1); T_{45} = biomasa del compostaje a los 45 días de experimentación (tiempo que

representa la semana siguiente de finalizar la fase termófila, por lo que la biomasa ha entrado en la fase de enfriamiento sostenido); T_{90} = biomasa de la pila de compostaje durante el doble del tiempo de la etapa termófila ($2 \times T_{45}$).

Para estimar los efectos independientes de los residuos de *A. vera*, sin los otros materiales de partida (bagazo de caña de azúcar y gallinaza), 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_{45} o T_{90} (25 L) que se colocó por encima del medio original con las lombrices.

Para el T_{0B} se aplicaron 2,5 L de los residuos de *A. vera* triturados y conservados bajo refrigeración. Todos los ensayos se establecieron por triplicados en cestas plásticas de 50 L y se mantuvieron bajo condiciones de laboratorio con humedad entre 60-80%. En los tres primeros casos (T_{0A} , T_{45} y T_{90}) los 25 L de biomasa experimental se añadieron de una sola vez (al inicio); mientras que en T_{0B} se añadió semanalmente hasta acumular 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). Una muestra de 10 lombrices de cada clase fue pesada y fotografiada 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 e índice de germinación *in vitro*), se analizaron con estadística descriptiva. Los tratamientos con lombrices (T_{0B} , T_{0A} , T_{45} y T_{90}) se compararon tomando en cuenta las variables (número de lombrices y 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

Factores abióticos asociados a la pila de compostaje

En la Tabla 3 se muestran las características abióticas (temperatura, pH, aspecto, olor y consistencia) y los constituyentes aun visibles asociados a cada una de las fases del proceso de compostaje de la pila de desechos de *Aloe vera*. La temperatura y el pH reportados en cada etapa, al igual que el olor, aspecto y consistencia, son signos claros de que la pila de compostaje de *A. vera* atravesó cada fase de manera exitosa. Los constituyentes que se apreciaban en cada período demuestran que fueron degradados de la manera esperada.

Tabla 3. Características de las pilas de desechos de *Aloe vera* durante las fases del compostaje en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Características	Termófila	Enfriamiento	Maduración
Temperatura	42-70°C	34-40°C	29-32°C
pH	6,20-7,97	7,83-7,97	7,90-7,93
Aspecto	Marrón oscuro con partes beige	Marrón oscuro con puntos beige	Marrón oscuro
Olor	Orina	Madera vieja	Tierra mojada
Consistencia	Materiales levemente compactados, inicios de humificación	Pedazos pequeños fuertemente compactados, Humificación	Grandes trozos compactados, mayor humificación
Constituyentes visibles	Trozos medianos de caña de azúcar, pedazos pequeños de <i>Aloe vera</i>	Trozos pequeños de caña de azúcar	Ninguno

A. vera y la gallinaza se degradaron por completo entre la etapa termófila y mesófila, debido a que en la termófila los hongos pertenecientes al grupo de los actinomicetos, como *Streptomyces* y *Actinomyces*, degradan las ceras, polímeros y hemicelulosa, mientras que en la mesófila, las bacterias y hongos degradan las celulosas

y las ligninas; por lo tanto, el bagazo de caña de azúcar se degradará durante la etapa mesófila (Román *et al.*, 2013).

Temperatura y pH

La variación de la temperatura es uno de los factores más importantes que rige la tasa de reacciones bioquímicas en el proceso de compostaje (Fontavine *et al.*, 2004), además de ser utilizado como índice de desarrollo del proceso de descomposición de la materia orgánica durante el proceso (Thivierge y Seito, 2005). De acuerdo con Day y Shaw (2001), el compostaje se desarrolla a través de la actividad de microorganismos que se encuentran de manera natural en el ambiente, principalmente bacterias, hongos y actinomicetos, los cuales son esenciales para la descomposición de la materia orgánica. La mayoría de los sistemas son aeróbicos y la temperatura es el factor primario que afecta la actividad microbiana en el proceso de compostaje.

En la Figura 1 se refleja el comportamiento de la temperatura y el pH de la pila de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza durante el proceso de compostaje. En esta figura puede observarse como el compost de desechos de *A. vera* forma una curva clásica de temperatura, similar a la reportada por Salazar (2013), en la misma área de estudio. En la curva se puede apreciar una elevación de la temperatura correspondiente a la fase termófila, seguida de una caída de la misma, característica de la fase mesófila de enfriamiento, y una nivelación con la temperatura ambiente, propia de la fase de maduración.

La fase mesófila inicial de la pila de compostaje con *A. vera* solo se visualizó el primer día de ensayo y el registro térmico fue de 35°C (Figura 1). Fallas (2016) reporta resultados similares a los obtenidos en esta investigación y señala que la etapa mesófila suele durar de 1 a 3 días, e incluso horas, dependiendo de los materiales compostados.

La etapa termófila se evidenció desde el día 2 hasta el 34 de experimentación, reportándose temperaturas entre 42 y 70°C (Figura 1). El aumento en la temperatura de la pila de compostaje, característico de esta fase, puede ser atribuido al inicio de la actividad de los microorganismos termófilos, los cuales se encargan de degradar fuentes complejas de C (como la celulosa y lignina), N y compuestos solubles, provocando su

elevación por encima de los 60°C (Escobar *et al.*, 2011; Martínez, 2013). Adicionalmente, Domínguez-Fernández *et al.* (2012) señalan que el gel de *A. vera* es la fuente principal de los compuestos carbonados, que son degradados por la microfauna termófila provocando un aumento en la temperatura en la pila durante esta fase del proceso de compostaje; mientras que Salazar (2013) reporta que los tratamientos en los que utilizó bagazo de caña de azúcar como constituyente de la biomasa a compostar, se registraron los mayores valores en la temperatura (70°C). Por lo tanto, los valores registrados en esta investigación pueden ser atribuidos a la degradación de los compuestos carbonados presentes tanto de los desechos de *A. vera* como del bagazo de caña de azúcar, empleados en el armado de la pila de compostaje.

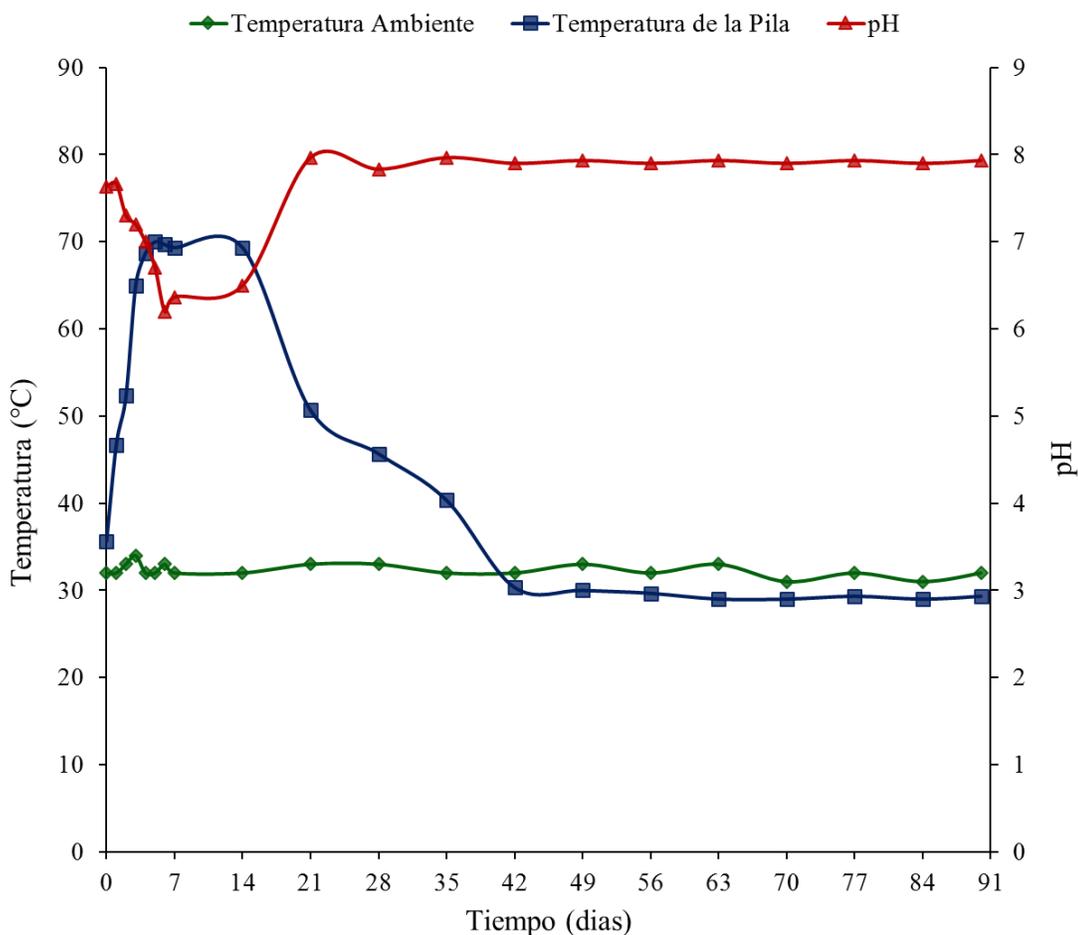


Figura 1. Temperatura ambiental, pH y temperatura de la pila de compostaje de *Aloe vera* en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

La fase mesófila de enfriamiento se visualizó entre los días 35 y 40 de experimentación, registrando temperaturas que oscilaban entre 34 y 40°C (Figura 1). En esta etapa los organismos termófilos han desaparecido casi por completo, debido a que las fuentes de C y N se han agotado, lo que genera un descenso en la temperatura, cercano a los 40° C, por ende, se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes la celulosa y lignina restantes en la pila (Álvarez, 2008).

La fase de maduración se pudo apreciar a partir del día 41, exhibiendo temperaturas de 29 hasta 32°C (Figura 1). En esta etapa del proceso de compostaje la temperatura de la pila se acerca a la ambiental (Navarro y Navarro, 2003), debido a que se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos (Román *et al.*, 2013). Adicionalmente, los organismos presentes en esta etapa son los invertebrados, quienes terminan el proceso de descomposición, permitiendo la obtención del compost maduro (Hargreaves *et al.*, 2008).

El pH tiene importancia directa en el proceso de compostaje debido a su influencia en los procesos microbianos; por lo que las investigaciones se fundamentan en esta variable para estudiar la evolución de este proceso. También es considerado el primer indicador del estado nutricional del suelo, ya que determina la presencia de microorganismos y los procesos bioquímicos en los que intervienen, junto con la disponibilidad de los nutrientes (Durán y Henríquez, 2007).

En la Figura 1 se observa que durante la fase termófila los valores de pH descendieron hasta 6,20 (día 6) y posteriormente se elevaron a 7,97 (día 21), lo que permite inferir que durante los primeros días del proceso la pila de *A. vera* comienza a acidificarse, debido a la presencia de ácidos orgánicos, producidos por la acción de los microorganismos termófilos sobre la materia orgánica más fácilmente oxidable (Hargreaves *et al.*, 2008; Román *et al.*, 2013).

Por su parte, en la etapa mesófila de enfriamiento el pH se estabiliza en valores que tienden a la neutralidad (7,8 en esta investigación) por la producción de compuestos húmicos, los cuales se comportan como buffer o tampón (Bueno *et al.*, 2008). Adicionalmente, se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que

utilizarán como nutrientes la celulosa y lignina restantes en la pila, provocando que el pH aumente (Álvarez, 2008).

El pH de la pila de compostaje de *A. vera* durante la fase de maduración oscilaba entre 7,90 y 7,93 (Figura 1). Navarro y Navarro (2003) establece que durante esta etapa la pila registra un valor de pH por encima de 7,5; el cual es considerado como un indicador de la adecuada descomposición de los residuos orgánicos. Carrión y Franco (2015) señalan que existe una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla; y que el compostaje con un pH final inferior a 7 es indicativo de que el compost atravesó procesos anaerobios y que el material aún no está maduro. Adicionalmente, Moreno y Moral (2008) indican que las bacterias prefieren valores de pH entre 6 y 7,5, si este desciende por debajo de 6, el proceso de descomposición por parte de las bacterias se detiene, por el contrario, valores cercanos o superiores a 9, favorecen la conversión del nitrógeno en amonio, afectando negativamente al crecimiento y la actividad de los microorganismos.

Volumen de la pila de compostaje

En la Figura 2 se muestra el descenso del volumen de la pila de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, durante el proceso de compostaje; donde se aprecia que a medida que ocurre el compostaje el volumen de la pila disminuye, teniendo una reducción considerable a partir de la segunda semana, ubicándola durante la etapa termófila, para pasar luego a un descenso menos pronunciado durante la fase de enfriamiento, hasta finalmente entrar en la fase de maduración y detenerse la reducción del volumen. Ávila y Moyano (2019) reportan que durante la etapa termófila se presenta una población de microorganismos conocidos como termófilos, que pueden sobrevivir a altas temperaturas y se encargan de descomponer la materia orgánica y romper lo más posible las cadenas de azúcares, aminoácidos y minerales, para alimentarse.

Los resultados de esta investigación reflejan que a partir del día 28 hasta el 49 de experimentación el descenso del volumen de la pila de *A. vera* continua, pero no es tan pronunciado como en las semanas anteriores; siendo este comportamiento similar a los reportados por Fernández (2015), en los tratamientos con aireación mecanizada y con la

combinación de mecanización y aire forzado; y por Márquez (2015) en las pilas de compostaje suplementadas con los acelerantes Jobs Organic y Dr. Earth. Por lo tanto, se puede inferir que en esta investigación el descenso del volumen de la pila puede ser causado por la combinación de la aireación y la acción de los aceleradores comerciales adicionados durante el armado de la misma.

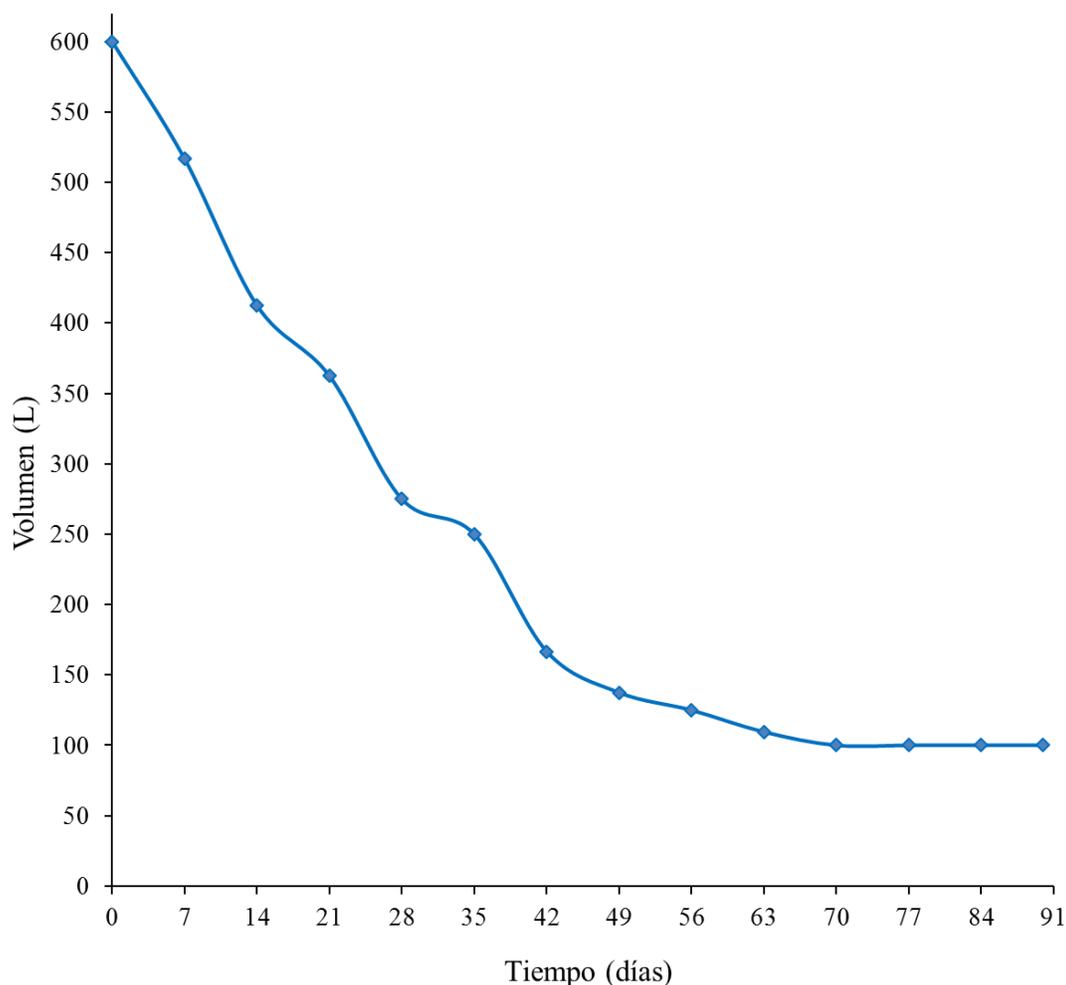


Figura 2. Volumen de la pila de compostaje de *Aloe vera* en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Al finalizar el proceso de compostaje se logró recuperar un 16,67% del volumen inicial (Figura 2). Mayea (1992) y Frioni (1996) reportan que las pilas de compostaje deben disminuir de un tercio a un sexto o de un 20% a un 60% de su altura inicial, y que

esto es un parámetro físico y visual que indica la madurez del compost. Por lo tanto el volumen final de la pila de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, es un claro indicativo de que el compost ha alcanzado la madurez a los 90 días de experimentación.

Durante el compostaje, el contenido de la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico. Este descenso ocurre fundamentalmente en dos etapas: a) se produce un rápido decrecimiento de carbohidratos, en el que se transforman las largas cadenas de carbohidratos en otras más cortas al formar compuestos simples; algunos de los cuales se reagrupan para formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos; b) una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos (Castaldi *et al.*, 2005); generalmente este último cambio no finaliza durante el tiempo que dura el compostaje sino que continua en el suelo (Bueno, 2003).

Color

Los constituyentes de la pila de compostaje tuvieron cambios físicos con respecto al tiempo; los más notorios fueron en la textura, apariencia, reducción del volumen, tamaño de las partículas, la coloración y el olor. Estos cambios se dieron como resultado de la actividad de los microorganismos asociados a cada etapa del proceso de compostaje, los cuales son los encargados de descomponer los componentes orgánicos de los residuos (Márquez, 2015).

En la etapa mesófila inicial, se evidenció en la pila de compostaje de *A. vera* una clara heterogeneidad entre cada una de las materias primas utilizadas (*A. vera*, gallinaza y bagazo de caña de azúcar), los cuales eran fácilmente visibles, dándole a la pila una tonalidad marrón claro, con pequeñas fibras beige (fibras de bagazo) y pequeños pedazos verdes (*A. vera* triturada).

Durante la fase termófila comenzó a percibirse un oscurecimiento de la pila. Adicionalmente, las fibras de bagazo de caña de azúcar y los pedazos de *A. vera* empezaban a ser menos perceptibles a la vista, y podía apreciarse en la base de esta indicios de humificación, en forma de pequeños terrones con textura arcillosa de color

marrón oscuro y lixiviación abundante.

En la fase de enfriamiento, el color de la pila fue marrón oscuro, con bastante humificación en la base, donde gran parte de esta tenía consistencia parecida a tierra mojada, y al apretarle, aun había un cierto grado de lixiviación. En esta fase aún se encontraban fragmentos diminutos de *A. vera* y bagazo de caña de azúcar.

Finalmente, durante la fase de maduración (etapa final del proceso de compostaje) ya no había evidencia de los constituyentes vegetales primarios, así mismo, toda la superficie de la pila presentaba humificación. Sin embargo, no presentaba lixiviación ni textura lodosa, en su lugar, la textura era arcillosa y no había ningún desprendimiento al apretar el producto final.

Los cambios en la coloración de la pila se fueron develando a medida que avanzaba el proceso de compostaje, observándose parches de color marrón oscuro en diferentes puntos de la pila, que se iban extendiendo con el paso de los días, debido a la humificación y transformación que iba transcurriendo. García y Torres (2011) establecen que el color de un compost maduro debe ser marrón oscuro, de consistencia pastosa, que al apretarlo sea sólido.

Canet (2007) y Carrión y Franco (2015) aseguran que un compost maduro al final del proceso debe presentar un color marrón oscuro, casi negro, debido al mayor grado de humificación, y que el color final depende principalmente del material inicial, por lo que enmiendas con mayor contenido de material verde al final del proceso tendrán una coloración cercana al negro, mientras que enmiendas con mayor contenido de estiércoles obtendrán una coloración más marrón al final del proceso.

Olor

Durante el proceso de compostaje existen indicadores que permiten monitorear el estado de descomposición alcanzado por los residuos, como el color y olor de la biomasa en compostaje (Márquez, 2015). Durante la fase mesófila inicial, la pila de compostaje despedía un leve olor a los materiales de partida (*A. vera* y gallinaza) debido a que estaban aún frescos y el proceso apenas comenzaba, por lo que la biomasa no empezaba a descomponerse. No obstante, este olor solo estuvo presente los primeros días del

proceso, ya que, en los últimos días de la primera semana de experimentación, el olor era casi imperceptible.

Al iniciar la fase termófila, se percibía un olor a orín, lo que es signo de un exceso de nitrógeno en la pila, debido al contenido de nitrógeno existente en la gallinaza empleada como constituyente de la biomasa a compostar. Este olor persistió durante toda la etapa termófila. Moreno y Moral (2008) indican que la presencia de olores desagradables puede indicar que el proceso está en fase inicial donde estos olores son causados por la descomposición de los ácidos orgánicos, o los procesos anaerobios sufridos por la pila, que producen amoníaco y ácido sulfhídrico.

Durante la fase de maduración y hasta el final del tiempo de experimentación, se percibía un olor a tierra mojada, el cual puede asociarse a la degradación de los constituyentes de la pila (Márquez, 2015), posiblemente como consecuencia de la presencia de actinobacterias del género *Streptomyces*, ya que estas colonias bacterianas producen una serie de metabolitos llamados geosminas responsables de dar ese olor característico a tierra mojada y una textura fina muy suave a la pila (Trautmann y Olynciw, 2000), que es un signo fiable de que el proceso de compostaje se ha dado de manera exitosa (Soliva, 2001; García y Torres, 2011).

Factores bióticos asociados a la pila de compostaje

En la Tabla 4 se enlistan los organismos asociados a cada etapa del compostaje de la pila de *A. vera*, donde se registra que las cucarachas, escarabajos, moscas y arañas estuvieron presentes durante las tres primeras etapas de este proceso (mesófila inicial, termófila y de enfriamiento), mientras que las colonias de actinomicetos son los únicos organismos presumiblemente presentes en la pila de *A. vera* durante la fase de maduración. Entre la fauna existente en el compost, los insectos juegan un papel muy importante en los procesos de transformación de la materia orgánica porque éstos ayudan, entre otras funciones, a triturar el material vegetal, para que otros realicen procesos de transformación (Arango y Agudelo, 2004).

Durante la fase mesófila inicial (de corta duración) se pudieron apreciar arañas, las cuales, según Arango y Agudelo (2004) suelen usar las pilas de compostaje como

refugio y lugar para depositar sus huevos, además de mantener equilibrada la población de insectos, al depredar otras especies, y moscas, que pueden ser atraídas por los olores característicos de los constituyentes de la pila, como lo es el olor del acíbar del *Aloe* (Rojas y Zeledón, 2007). También lograron observarse hormigas, escarabajos y cucarachas, estos insectos invaden la pila de compostaje en busca de algún material del cual alimentarse, en el caso de las hormigas, se alimentan de una amplia diversidad de elementos del compost, como hongos, semillas o restos de materia orgánica; en el caso de las cucarachas y los escarabajos, ayudan a triturar el material vegetal, contribuyen a la biodiversidad del edafón, generando tramas alimentarias que ayudan a la transformación y maduración de éste, además de ayudar como indicadores ecoclimáticos, de humedad y cantidad de luz, y de recursos alimenticios presente en el compost (Arango y Vera, 2004).

Tabla 4. Organismos observados en la pila de compostaje de *Aloe vera*, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Organismos	Etapas del proceso de compostaje			
	Mesófila	Termófila	Enfriamiento	Maduración
Cochinillas	-	-	*	-
Arañas	*	*	*	-
Actinomicetos	-	*	*	*
Moscas	*	*	*	-
Escarabajos	*	*	*	-
Hormigas	*	*	-	-
Cucarachas	*	*	*	-

*: presente y -: ausente.

Durante la fase termófila, la microfauna presente en la pila de compostaje son aquellos organismos que aumentan la temperatura de la misma, y disminuyen el pH, por su intensa actividad, al empezar a descomponer los materiales de partida (Acosta *et al.*, 2006). La población de actinobacterias, las cuales posiblemente colonizaron el interior

de la pila de *A. vera*, mostrando una apariencia blanquecina, similar a las cenizas, y una consistencia seca, fuertemente unida a los materiales aun apreciables (Márquez, 2015).

Durante la fase de enfriamiento se evidenció la llegada de cochinillas, quienes son omnívoras, por lo que se alimentan de los huevos y larvas de los organismos presentes en la pila durante la etapa termófila (arañas, moscas, escarabajos, hormigas y cucarachas) y de sus propios excrementos y los de otros organismos, aprovechando los restos y acelerando su transformación, lo que ayuda a conseguir compost en poco tiempo, y de muy buena calidad (Hernández, 2003). También se evidenció la presencia de lagartijas, que excavan pequeños túneles en los alrededores de la pila en busca de larvas de moscas para alimentarse de ellas.

Finalmente, en la etapa de maduración no existe evidencia de la presencia de macrofauna en la pila de *A. vera*. Al respecto, Carrión y Franco (2015) establecen que esta fase se caracteriza por el crecimiento de una nueva comunidad en la que predominan hongos y actinomicetos capaces de degradar compuestos complejos. Conforme avanza la maduración, la microfauna se hace más estable y compleja, apareciendo microorganismos típicos como *Arthrobacter*, además, a la actividad de hongos y bacterias se les unen otros organismos como los protozoos, nematodos y miriápodos, que contribuyen a la degradación y estabilización final de la materia orgánica (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2013).

Examen fisicoquímico de la pila de compostaje de *Aloe vera*

En la Tabla 5 se muestran los valores de pH, conductividad eléctrica (CE), relación C/N y las concentraciones de materia orgánica (MO) y de los micro (Na, Fe, Cu, Zn y Mn) y macroelementos (N, P, K, Ca, Mg y S) presentes en el compost de *Aloe vera* a los 90 días de experimentación; donde se puede apreciar que el pH del producto final es alcalino, con baja CE, relación C/N y concentración de Fe, valores aceptables de MO, C orgánico, N, P, Ca, Cu y Zn. Adicionalmente, registra valores elevados de K, Mg, Na, S y Mn.

Tabla 5. Análisis fisicoquímico del compostaje de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

Determinaciones analíticas	Unidad		
pH (suspensión 1:5)		9,13	
pH (pasta saturada)		8,94	
Conductividad eléctrica (CE)	mS/cm	4,82	B
Materia orgánica (MO)	%	58,10	N
Carbono orgánico	%	33,70	N
Nitrógeno	%	2,46	N
Relación C/N		13,70	B
Fósforo (P ₂ O ₅)	%	6,53	N
Potasio (K ₂ O)	%	4,28	A
Calcio (CaO)	%	4,25	N
Magnesio (Mg)	%	1,69	A
Sodio (Na)	%	0,64	A
Azufre (SO ₄)	%	0,50	A
Hierro (Fe)	mg/kg	2 250,00	B
Cobre (Cu)	mg/kg	170,00	N
Zinc (Zn)	mg/kg	790,00	N
Manganeso (Mn)	mg/kg	460,00	A

A: Alto, N: Normal, B: Bajo.

pH final

El pH final del compost de *A. vera* fue de 9,13 (Tabla 5), por lo que se considera un compostaje alcalino. Carrión y Franco (2015) establecen que los compost son alcalinos debido a que contienen menor proporción de iones intercambiables de hidrógeno y mayor concentración de iones calcio y magnesio, y en algunos casos también de sodio, por lo que la alcalinidad del compost de *A. vera* se puede atribuir a su elevada concentración de sodio y magnesio. Adicionalmente, Soto (2003) indica que el rango de valores aceptables para el compost final es de 5,5 a 9,0 y los óptimos de 6,5 a

8,0. En general, mientras el proceso de compostaje avanza el pH aumenta hasta valores entre 6,5 a 8 dependiendo del material (Carmona y Abad, 2008).

Resultados similares a los obtenidos en esta investigación fueron reportados por López *et al.* (2018) quienes en su primer experimento con compostaje bovino y ventilación manual reportaron un pH de 9,1 en el producto final y asocian este valor a la presencia de sales minerales en la dieta del ganado. Mientras que Márquez (2015) en su estudio reportó un pH de 7,59 para el compost de desechos vegetales, gallinaza, estiércol equino, bagazo de caña de azúcar, polvillo de aserrín y el acelerante Jobes Organics, siendo este tratamiento el que obtuvo el mayor valor de pH entre sus unidades experimentales establecidas con los mismos materiales estructurantes, pero con diferentes aceleradores comerciales (Dr. Earth, Jobes Organics, Bokashi, etc.).

Conductividad eléctrica (CE)

La CE está determinada por la naturaleza y composición del material, principalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones de amonio o nitrato formados durante el proceso de compostaje (Sánchez-Monedero *et al.*, 2001). Adicionalmente, es un excelente indicador de sales solubles presentes en los compost (Masaguer y Benito, 2008).

La CE reportada por el compost de *A. vera* fue de 4,82 mS/cm (Tabla 5), un valor inferior al reportado por Márquez (2015), quien registró que esta variable oscilaba entre 10,78 y 15,40 mS/cm, siendo el menor valor reportado en el tratamiento control (compostaje sin acelerantes comerciales) y el mayor, en las unidades experimentales donde se aplicó el acelerante Bio-wish Tech.

Por su parte, Fernández (2015) en el proceso compostaje de desechos vegetales del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre, obtuvo CE de 6,10 y 7,80 mS/cm, siendo el valor más bajo correspondiente al tratamiento con aireación mecanizada. Martínez *et al.* (2008) señalan que la lixiviación de sales, como consecuencia de las precipitaciones ocurridas durante la fase de descomposición, podría explicar la disminución de la CE en el producto final, por lo que se podría decir que el valor obtenido de la CE puede atribuirse a lixiviaciones ocurridas en la pila de compostaje

durante la fase termófila y mesófila de enfriamiento, en las cuales pudo haber ocurrido un lavado de sales.

Saviozzi *et al.* (1997) establecen que la CE de una enmienda orgánica al final del proceso de compostaje debe oscilar entre 5 y 8 mS/cm aproximadamente, no obstante, Masaguer y Benito (2008) determinan que la salinidad de un compost puede variar ampliamente en función de los materiales empleados en el proceso, y pueden alcanzar valores de 10 mS/cm o 10 dS/m. Bunt (1988) indica que un sustrato con una CE de 3,5 a 5,0 mS/cm, resulta elevada para la mayoría de las plantas de interés agrícola, por lo que solo especies vigorosas resisten esta condición.

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica registrada por el compost de *A. vera* fue de 58,10% (Tabla 5); siendo este valor superior al reportado por Fernández (2015) quien obtuvo que el contenido de MO oscilaban entre 29,04 y 34,39% en el compost de desechos vegetales a los que se les aplicaron dos métodos distintos de aireación (forzada y mecanizada), y por Márquez (2015) cuyos valores de MO estuvieron entre 36,20 y 38,67% en la pila de compostaje de desechos vegetales donde se les administró distintos aceleradores comerciales (Dr. Earth, Bokashi, Jobes organics, entre otros).

EGMASA (2010) establece que el rango de MO para un compost maduro varía entre 30 y 50%, por lo que el compost de *A. vera* exhibe un valor superior de este parámetro fisicoquímico. Sin embargo, Román *et al.* (2013) establecen que, para un compost estable, la MO debe de estar entre 25 a 80%. Acosta *et al.* (2006) en su estudio sobre evaluación de metales pesados (Cr, Cd y Pb) en tres residuos orgánicos (lodo residual, estiércol de chivo y residuo del procesamiento industrial de *A. vera*) reportó un valor de MO en *A. vera* de 68,53%, por lo que en esta investigación se puede atribuir el elevado contenido de esta variable en el producto final a los desechos de *A. vera* empleados en el armado de la pila de compostaje.

Isaza *et al.* (2009) destacan la existencia de correlación directa entre la temperatura y la MO, demostrando que las altas temperaturas son un claro indicio de la actividad microbiana sobre la MO presente en los materiales estructurantes empleados

en el armado de la pila de compostaje. La materia orgánica no es solo una fuente de alimentación para los microorganismos que habitan en la tierra, también presenta gran influencia sobre muchas características físicas y químicas del suelo, por ejemplo, mejora su estabilidad aumentando la porosidad y capacidad de retención de humedad, regula el pH a través de su capacidad amortiguadora, además de su capacidad de suplir nutrientes, como el potasio, nitrógeno y azufre, y favorece los ciclos geoquímicos (Soliva y López, 2004).

A pesar de ser la fracción menor de la composición del suelo, la MO es el componente principal que determina la calidad y productividad del suelo, fertilidad, disponibilidad de agua, susceptibilidad a la erosión, compactación, e incluso la resistencia de las plantas a los insectos y enfermedades (Román *et al.*, 2013). Otro papel fundamental de la materia orgánica 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).

Carbono orgánico

El carbono orgánico reportado por el compost de *A. vera* es de 33,70% (Tabla 5), superior a los obtenidos por Fernández (2015) quien registró concentraciones que oscilaron entre 16,85 a 19,95% al compostar bagazo de caña de azúcar, polvillo de aserrín, estiércol equino, gallinaza y residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre, y por Muñoz *et al.* (2015), quienes en el compost con pulpa de café (CFC) obtuvieron un valor de 14,31%, y 15,79% en el de residuos de plazas de mercado (CPM).

EGMASA (2010) establece que el contenido aceptable del carbono orgánico para un producto maduro debe de estar entre 20 y 50%, lo cual indica que el compost de *A. vera* posee un contenido de carbono orgánico que lo permite considerar como un producto listo para ser utilizado. Adicionalmente, este contenido de carbono orgánico puede atribuirse a la cantidad de compuestos carbonados presentes en el bagazo de caña

de azúcar (Salazar, 2013).

El carbono es usado como fuente de energía por los microorganismos dentro de la pila de compostaje, y el carbono orgánico total es un indicador de su concentración en la materia orgánica (Quesada, 2001). Durante el compostaje una parte del carbono es consumido por los microorganismos para su desarrollo, otra es transformada en CO₂ y desprendida al ambiente, quedando una fracción fijada al suelo para el aprovechamiento de las plantas. Cuando el carbono se quema se eleva la temperatura de la pila y a eso se debe que se reduzca el volumen de la misma durante el compostaje (Breintenbeck y Schellinger, 2004).

Nitrógeno (N)

La concentración de nitrógeno registrada en el compost de *A. vera* fue de 2,46% (Tabla 5), superior al reportado por Fernández (2015) que compostando bagazo de caña de azúcar, polvillo de aserrín, estiércol equino, gallinaza y residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre, obtuvo valores entre 1,12 y 1,46%; y al reportado por Márquez (2015) en el compostaje de residuos vegetales donde usó el acelerante comercial Jobes Organics (2,02%). EGMASA (2010) señala que el contenido aceptable de nitrógeno en un compost maduro debe de estar entre 1,5 y 2,5%, por lo que se puede considerar que el producto final del compostaje de desechos de *A. vera* aportará una cantidad aceptable de este macroelemento cuando se emplee como biofertilizante de tierras agrícolas.

La concentración de nitrógeno en compostas es muy variable y depende de la materia prima de origen; normalmente su contenido ronda el 1%, pero su valor puede variar entre 1,2%, en compost de estiércol vacuno, a 4,4% en compost de gallinaza y de residuos sólidos municipales (Moral y Muro, 2008). Por lo que se puede considerar a la gallinaza como la fuente principal de N al final del compostaje.

La mayor o menor cantidad de N es posiblemente el factor que determina el tamaño y diversidad de las poblaciones microbianas responsables de la descomposición de los residuos (García y Monge, 1999). Se ha considerado que el N tiende a aumentar al final del proceso de compostaje, debido al uso de este por los microorganismos para

sintetizar el protoplasma celular, los cuales al morir incrementan su concentración, mediante el reciclado de este elemento durante dicho proceso.

El contenido de nitrógeno total al final de los procesos de compostaje y vermicompostaje generalmente exhibe valores superiores a los registrados en la muestra inicial, influyendo en las relaciones C/N, debido probablemente a la mineralización de los compuestos orgánicos (Paredes *et al.*, 2002; Alburquerque *et al.*, 2009; Subramaniam *et al.*, 2010).

Relación C/N

El compost de *A. vera* arrojó una relación C/N de 13,70 (Tabla 5), superior a la reportada por Salazar (2013) en el T3 (compostaje de compostaje de bagazo de caña de azúcar triturado y desechos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre; 13:3). También, se encuentra dentro del rango de valores reportados por Fernández (2015) en el compost de bagazo de caña de azúcar, polvillo de aserrín, estiércol equino, gallinaza y residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná (12:0 a 15:6).

EGMASA (2010) establece que para el compost maduro la relación C/N oscila entre 15:1 a 20:1, por lo tanto, el compost de *A. vera* presenta una relación C/N que está por debajo del rango establecido para un producto maduro. Adicionalmente, Pravia y Sztern (1999) expresan que esta relación en la pila de compostaje es de 20-30/1 en las etapas iniciales del proceso, pero este valor se reducirá a 10-15/1 al final del mismo.

Lo expuesto en el párrafo anterior permite inferir que los materiales orgánicos que se utilizaron en esta investigación aportan un buen contenido tanto de C como de N y en consecuencia pueden ser considerados como buenos sustratos para el desarrollo de los microorganismos, que aceleran el proceso de descomposición y mejoran la calidad del producto final.

La relación carbono orgánico/nitrógeno (C/N) es un índice utilizado comúnmente para establecer el grado de madurez del compost y vermicompost (Zhu, 2006; Campitelli y Ceppi, 2008). Vogtmann *et al.* (1993) reportan que, para prevenir la competencia de las plantas y los microorganismos del suelo por la absorción de N orgánico, los compost

deben presentar una relación C/N de 18 o menos, debido a que una relación C/N muy baja puede provocar susceptibilidad a plagas y enfermedades, entre otras deficiencias (Rivas, 2013). Esta relación se debe principalmente a la interacción entre el carbono del bagazo de caña de azúcar y el nitrógeno de la gallinaza.

Fósforo (P)

El porcentaje de fósforo obtenido en el examen fisicoquímico de la muestra del compost de *A. vera* fue de 6,53% (Tabla 5); valor superior a los reportados por Fernández (2015), los cuales oscilan entre 0,04 a 2,3% en un compost a base de residuos vegetales, bagazo de caña de azúcar, polvillo de aserrín, estiércol equino y gallinaza; y por Márquez (2015), que declaró un rango de 0,66 a 0,69% en su compostas de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná con diferentes aceleradores comerciales. Sin embargo, Cuadros (2008) establece que los valores óptimos de P para enmiendas orgánicas aceptables son entre 0,1 a 14,3%.

El P es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas ya que sus funciones no pueden ser ejecutadas por ningún otro nutriente y se requiere un adecuado suplemento de P para que la planta crezca y se reproduzca en forma óptima, se clasifica como un nutriente primario, razón por la cual es comúnmente deficiente en la producción agrícola y los cultivos lo requieren en cantidades relativamente grandes, este elemento 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, con un pH por encima de 7 (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Los contenidos de N, P y K de la muestra del compost de *A. vera* se le pueden atribuir a la gallinaza, ya que diversos autores han establecido que es la fuente principal de estos macronutrientes dentro de los materiales orgánicos empleados en el armado de la pila de compostaje, por lo que su adición es necesaria para garantizar concentraciones adecuadas de estos elementos en el producto final (Castillo *et al.*, 2000; Tiquia, 2000; Durán y Henríquez, 2007).

La deficiencia de P afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y del crecimiento, pues las plantas con deficiencia de este elemento son de crecimiento lento y

pueden manifestar pérdidas de hojas maduras, y en casos extremos, desarrollo de áreas necróticas en diversas partes de la planta (Bidwell, 1979). La nutrición adecuada de fósforo acelera la maduración, mejora los frutos, mejora el crecimiento del follaje y aumenta la defensa contra enfermedades (Barber, 1962).

Potasio (K)

El porcentaje de potasio obtenido en el examen fisicoquímico del compostaje de *A. vera* fue de 4,28% (Tabla 5), superior a los reportados por Muñoz *et al.* (2015) quienes registraron valores de 2,31% para su tratamiento con pulpa de café y de 1,92% para el de residuos de plazas de mercado, y por Márquez (2015) que obtuvo valores entre 3,19 y 3,55% en el compost de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná con diferentes aceleradores comerciales. Algunos estudios reportan que concentraciones de K superiores al 3% en el producto final, están directamente asociadas con la naturaleza del material seleccionado y a las condiciones ambientales ocurridas durante el proceso de compostaje, siendo la gallinaza la fuente principal de este macronutriente (Bertrán *et al.*, 2004; Durán y Henríquez, 2007; Berradre *et al.*, 2009; Castro *et al.*, 2009).

El K es un elemento muy móvil en el suelo, por lo que es fácilmente lixiviado y su porcentaje disponible es muy reducido; sin embargo, su disponibilidad en un compost puede ser mayor del 85% del contenido total del producto final (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Aunque este elemento no suele ser limitante en la nutrición de las plantas, la fuente de K proporcionada por el compost, puede ser una alternativa adecuada en circunstancias en las que pueda producirse un exceso de lavado por lixiviación (Vogtmann *et al.*, 1993; Castro *et al.*, 2009).

La deficiencia de K en los cultivos produce mayor susceptibilidad al ataque de patógenos en la raíz, y debilidad de los tallos, que hace a las plantas especialmente sensibles a la acción del viento, las lluvias, etc., como es mayormente apreciado en el caso de las monocotiledóneas, mientras que en las dicotiledóneas, los primeros síntomas de clorosis aparecen en las hojas adultas, que posteriormente se hacen necróticas; se produce un retraso en el crecimiento y la pérdida de turgencia y marchitamiento, mucho

más fuerte cuando se revela un déficit hídrico (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Calcio (Ca)

El contenido de calcio del compost de *A. vera* fue de 4,25% (Tabla 5). Este valor es superior al obtenido por Muñoz *et al.* (2015) en su tratamiento con pulpa de café (1,88%), pero inferior al reportado por estos autores en el compost de residuos de plazas de mercado (5,09%). Sin embargo, el contenido de este macroelemento se encuentra dentro del rango aceptable para un compost maduro, 2 y 8%, el cual varía en función de los materiales utilizados para elaborarlo (Soliva y Giró, 1992).

La principal fuente de Ca en esta investigación son los desechos de *A. vera* empleados en el armado de la pila de compostaje, debido a que Vega (2005) y Acosta *et al.* (2006) reportan niveles considerables de calcio en la sábila (0,051%). Este elemento constituye las paredes celulares y ayuda a la estabilidad de las membranas, participa en los procesos de osmorregulación y contribuye al balance de aniones y cationes (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Comúnmente presentan deficiencias en las hojas jóvenes, las cuales exhiben láminas muy estrechas, con áreas blanquecinas y nervaduras secundarias engrosadas, los pecíolos tienden a ser frágiles y se doblan fácilmente (COLINAGRO, 2014).

El calcio se absorbe como ion divalente, Ca^{2+} , 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).

Magnesio (Mg)

Se obtuvo un valor de 1,69% de magnesio en el compostaje de *A. vera* (Tabla 5), superior al rango de 1,00 a 1,55% reportado por Fernández (2015) en su estudio sobre el uso de dos formas de aireación distintas en el compostaje de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, y del rango de 1,35 a 1,55% obtenido por Márquez (2015) en su compost de residuos vegetales provenientes del mismo

mercado con diferentes aceleradores comerciales. Vega (2005) y Acosta *et al.* (2006) señalan que el *Aloe vera* contiene en sus órganos una concentración de Mg de 0,16%, por lo que se puede considerar que los desechos de la sábila son la principal fuente de este macroelemento en este estudio.

El magnesio no es casi nunca un factor limitante para las plantas, salvo en los suelos muy ácidos o arenosos. Se absorbe como ion divalente, Mg^{2+} , y se comporta como un elemento muy móvil, tanto en la planta como en la célula (Azcón-Bieto y Talón, 2013). Juega un papel fundamental en los procesos vitales de las plantas, ya que participa en la formación y funcionamiento de la clorofila y otros pigmentos (carotenos y xantófilas), regula el equilibrio ácido-base de los jugos celulares, interviene en la movilización de los fosfatos, favoreciendo la formación de ATP, participa en la formación y acumulación de reservas de azúcares e hidratos de carbono, proteínas y vitaminas (Ribó, 2004). Los primeros síntomas que se presentan por deficiencia de Mg es la marchitez de las hojas más viejas, las cuales llegan a morir desprendiéndose de la planta, produciendo grandes defoliaciones (caída de las hojas), por lo que es conveniente aplicar abonos que en su composición lleven Mg (Yáñez, 2002).

Sodio (Na)

El compost de *A. vera* exhibe una concentración de sodio de 0,64% (Tabla 5), el cual es similar a los valores obtenidos por Márquez (2015) en el compost elaborado con residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre sin aceleradores comerciales y con Bokashi (0,63%), pero es inferior al registrado por Muñoz *et al.* (2015) en el tratamiento con pulpa de café (0,77%). Sin embargo, la concentración de este micronutriente es superior al rango mínimo recomendado para un compost maduro, el cual, no debería de sobrepasar los 500 mg/kg, o lo que es igual, 0,05% (Pravia y Sztern, 1999). La principal fuente de Na en este estudio son los desechos de *A. vera*, ya que esta planta ha sido descrita por Acosta *et al.* (2006) como el principal aporte de este elemento (0,029%) en su estudio sobre los metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza.

El sodio no es un elemento esencial para las plantas, pero puede ser usado en

pequeñas cantidades, al igual que los micronutrientes, como auxiliar para el metabolismo y la síntesis de clorofila, en algunas plantas, puede ser empleado como sustituto parcial de potasio y es útil en la apertura y el cierre de estomas, lo cual ayuda a regular el equilibrio interno del agua (Azcón-Bieto y Talón, 2013).

Azufre (S)

El porcentaje de azufre del compost de *A. vera* fue de 0,50% (Tabla 5), el cual es inferior a los reportados por Márquez (2015), 0,60 y 0,74%, en el compostaje de residuos vegetales, bagazo de caña de azúcar, estiércol equino, estiércol de gallina y aserrín fino con diferentes aceleradores comerciales; y se encuentra dentro de los valores reportados por Carrión y Franco (2015) de 0,03 a 0,76%, siendo el más cercano el obtenido en la mezcla 4 (compost casero de cascara de huevo, plátano, residuos de hortalizas, gallinaza y porquinaza) con 0,42%. Adicionalmente, Sierra y Rojas (2009) indican que en compostas maduras la concentración de S debe de oscilar entre 0,03 y 0,06%.

Los residuos de cultivo y los abonos orgánicos como el compost pueden ayudar a reponer el azufre removido en las cosechas. Estas fuentes generalmente pueden aportar el S contenido en ellos y ayudan a reciclar el que ya existe en el campo (Brady y Weil, 1999). Cuando existe deficiencia de este elemento en el suelo, las plantas cultivadas se muestran cloróticas, espigadas y con poco crecimiento (EGMASA, 2010). La clorosis que sucede en la planta comienza en las hojas jóvenes a diferencia de la causada por falta de N, las cuales suelen tener manchas necróticas en los bordes de las mismas y un engrosamiento en las nervaduras (Jiménez, 2007).

Hierro (Fe)

El compost de *A. vera* obtuvo 2 250 mg/kg (equivalente a 0,225%) de hierro (Tabla 5), encontrándose por debajo del rango establecido por Serapio y Bruzon (1996) como aceptable en los compost maduros (0,3 a 3,0%), y el reportado por Márquez (2015), de 3 800 a 5 300 mg/kg en su compost a base de bagazo de caña de azúcar,

polvillo de aserrín, estiércol equino, gallinaza y residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre, en los que utilizó diferentes aceleradores microbiológicos (Bokashi, Dr. Earth, Jobes Organics, entre otros).

El Fe es un elemento presente en el *Aloe vera*, por lo que puede considerarse como la principal fuente de este micronutriente en este estudio. Al respecto, Calzada y Pedroza (2005) en su estudio registraron 2,80 mg/kg de hierro en las plantas de *A. vera*, no obstante, esta concentración va a depender de la época del año y del tipo de suelo.

El Fe participa en la formación de la clorofila, en la fijación del nitrógeno y en el proceso respiratorio de los vegetales, por lo tanto, tiene importancia en el aspecto, color y vigor de las plantas, y, como el resto de micronutrientes, generalmente se encuentra en un porcentaje inferior al 1% en las compostas maduras (Serapio y Bruzon, 1996). El hierro juega un papel muy importante en la fotosíntesis, no solo por su acción en la síntesis de clorofila (Miller *et al.*, 1984) sino por su influencia en la morfología de los cloroplastos (Marschner, 1995). Por otro lado, favorece la eliminación de H₂O₂ en los cloroplastos y cataliza la polimerización de los fenoles a lignina en la rizodermis y endodermis de las raíces. También interviene en la biosíntesis de lignina y suberina (Marschner, 1995).

Cobre (Cu)

El contenido de cobre en el compost de *A. vera* fue de 170 mg/kg (Tabla 5), coincidiendo con el valor registrado por el tratamiento con aireación mecanizada en el estudio de Fernández (2015) sobre el uso de dos métodos de aireación en el proceso de compostaje, y superior a los obtenidos por Márquez (2015) en su estudio sobre el uso de diferentes aceleradores microbiológicos en el compostaje de residuos vegetales, 80 a 95 mg/kg. Abad (1998) establece que el nivel de Cu obtenido en un compost debe de estar por debajo de los 450 mg/kg, el cual es el valor máximo permitido para un abono destinado a uso hortícola, por lo tanto, el compost de *A. vera* posee una concentración aceptable de este metal, pudiendo ser considerado como una enmienda orgánica estable.

Calzada y Pedroza (2005) reportaron valores de cobre en el exudado *A. vera* de 1,45 mg/kg en su estudio sobre la separación de sustancias químicas en el zumo de *A.*

vera y su determinación por espectrofotometría. Por lo tanto, los desechos de sábila empleados en el armado de la pila de compostaje de este estudio, representan la principal fuente de este micronutriente en el producto final.

Salazar (2013) establece que las concentraciones de Cu obtenidas en las compostas maduras, representan niveles trazas de este metal pesado por lo que no representan riesgo de toxicidad para los cultivos, pero podrían satisfacer las necesidades de este elemento, el cual es un importante componente de sistemas enzimáticos de las plantas cuando sus concentraciones son adecuadas. Adicionalmente, interviene en la producción de aminoácidos y en la formación de la clorofila (Cid, 2010).

Los síntomas de deficiencia de este Cu varían dependiendo de cada cultivo, normalmente comienzan por enrollamiento y una leve clorosis, sea en toda la superficie foliar o bien entre las venas de las hojas nuevas. Típicamente, la apariencia de las plantas es compacta y los tallos entre las hojas se acortan; mientras que, en las flores, el color suele ser más claro de lo normal (EGMASA, 2010).

Zinc (Zn)

El zinc fue uno de los primeros micronutrientes reconocidos y aceptados como esenciales para los cultivos, aunque se requiere en pequeñas cantidades, una alta productividad es prácticamente imposible si el terreno es deficiente en este nutriente y no se corrige con aplicaciones al suelo o al cultivo (García, 2001). El valor de zinc en este estudio fue de 790 mg/kg (Tabla 5), y se encuentra dentro de los valores reportados por Fernández (2015), 480 a 845 mg/kg, en su estudio sobre el uso de dos métodos de aireación en el proceso de compostaje, siendo el tratamiento sin aireación (845 mg/kg) el que posee la concentración de este micronutriente más próxima a la reportada en esta investigación. También se encuentra dentro del rango establecido por Márquez (2015), 790 a 1 335 mg/kg, en su compost de residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná con diferentes aceleradores comerciales; además de estar dentro del rango de valores aceptables y óptimos para enmiendas orgánicas (200-1 800 mg/kg) descrito por Salazar (2013).

Saavedra (2010) obtuvo en su estudio sobre determinación por espectroscopia de

sustancias químicas en el zumo de *Aloe vera* una concentración de zinc en el exudado de *A. vera* de 2,38%, o 2 380 mg/kg, por lo que podría considerarse que la sábila es la principal fuente de este elemento en el compost obtenido en este estudio.

La disponibilidad del zinc se reduce en la medida que sube el pH del suelo. Su disponibilidad se puede reducir hasta 30 veces por cada unidad de pH que se aumente entre 5,0 a 7,0; por lo que las mayores deficiencias se presentan entre 7,0 a 8,4 (Vogtmann *et al.*, 1993). Este micronutriente está ligado al desarrollo, expansión foliar y en el proceso de fotosíntesis, por lo que su carencia parcial o total se relaciona con la reducción del tamaño de las hojas, clorosis intervenal y falta de elongación de los tallos, ya que este elemento se requiere para la formación de triptófano, aminoácido esencial que es considerado el precursor para la síntesis de auxinas, hormonas vegetales que participan en la elongación de tallos y hojas y en la formación de nuevas raíces (Yáñez, 2002).

Manganeso (Mn)

El compost de *A. vera* reportó un valor de 460 mg/kg de manganeso (Tabla 5), el cual es inferior a los reportados por Márquez (2015), 690 a 800 mg/kg, en compost bagazo de caña de azúcar, estiércol equino, estiércol de gallina, aserrín fino y residuos vegetales provenientes del Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre, con diferentes aceleradores comerciales; pero se encuentra dentro del rango establecido por Fernández (2015), de 460 a 805 mg/kg, en el uso de dos métodos de aireación en el proceso de compostaje de residuos vegetales provenientes del mismo mercado.

La cantidad de Mn disponible en las compostas maduras va a depender de la correcta selección y tratamiento de los materiales a procesar, ya que no existe pérdida de Mn a lo largo del proceso de compostaje (Tiquia *et al.*, 2002). La suma del porcentaje de manganeso (Mn^{2+}) junto con otros elementos como Fe^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Mo^{2+} , B^{2+} y Cl^- , supone el 1% de la composición química de las plantas (CORPOICA, 2002; Sánchez, 2015).

Saavedra (2010) en su estudio sobre la determinación de Mn entre otros elementos (Fe, Zn, Cr y Cu) por espectrofotometría en muestras de *Aloe vera*; reportaron

que esta planta posee 2,50% o 2 500 mg/kg de Mn, por lo que se puede inferir que los desechos de la sábila empleados en el armado de la pila de compostaje es la principal fuente de este elemento en el producto final de esta investigación.

Las deficiencias de Mn están relacionadas frecuentemente a un pH alto en el suelo. Por otro lado, suelos ácidos pueden producir toxicidad de Mn en las plantas. La respuesta de los cultivos a aplicaciones de compost puede ser muy rentable en suelos donde se han detectado niveles bajos de Mn o en donde el pH es alto (He *et al.*, 2004). Los síntomas de deficiencia de este elemento se presentan en las hojas jóvenes a manera de una necrosis marginal rodeada por un halo clorótico estriado, el cual avanza en forma irregular hacia la nervadura central, la lámina foliar tiende a curvarse y las venas a engrosarse, la necrosis del área afectada no está asociada con ningún tipo de patógeno (COLINAGRO, 2014).

Ensayo de germinación

En la Tabla 6 se puede apreciar el porcentaje de germinación agronómica (PRGA), el índice de germinación (IG), el porcentaje relativo de germinación (PRG) y el crecimiento relativo de la radícula (CRR) que se obtuvieron de los ensayos de fitotoxicidad realizados al compost de *Aloe vera*. Los ensayos de toxicidad basados en la germinación de semillas y la elongación radical pueden realizarse con diversas especies que incluyen plantas de importancia económica, que son de fácil acceso y que, además, germinan y crecen rápidamente (Rodríguez *et al.*, 2014).

Tabla 6. Ensayo de germinación agronómico e *in vitro* de semillas de *Lycopersicum esculentum* en el compost de *Aloe vera* 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
50,87%	116,75%	79,78%	93,15

PRGA= Porcentaje relativo de germinación agronómica, PRG= Porcentaje relativo de germinación, CRR= Crecimiento relativo de la radícula e IG= Índice de germinación.

Porcentaje de germinación agronómica (PRGA)

Se puede apreciar en la Tabla 6 que el porcentaje de germinación agronómica es 50,87%; inferior a los obtenidos por Fernández (2015), quien presentó valores que oscilaban entre 80 y 95% en su estudio sobre procesos de compostaje en pilas suplementadas por dos técnicas de aireación (aireación forzada y mecanizada con frecuencia decreciente) para el tratamiento de residuos vegetales generados en el Mercado Municipal de Cumaná, estado Sucre; y por Márquez (2015), quien reportó PRGA entre 60 y 88%, en la evaluación de aceleradores comerciales (microbiológicos y polienzimático) en el compostaje de residuos vegetales generados en el mismo mercado.

La determinación del porcentaje de germinación agronómica indica la presencia de sustancias fitotóxicas y se considera internacionalmente como uno de los ensayos para determinar la madurez de un compost (Varnero *et al.*, 2006). El PRGA ha sido estimado como un indicador del grado de madurez de los residuos orgánicos, considerándose maduro cuando es igual o superior al 50% (Zuconi *et al.*, 1985). Con base en esto, se puede inferir que el compost de *Aloe vera* no posee sustancias fitotóxicas, por lo que se considera apto para su uso como enmienda de suelos agrícolas. Adicionalmente, se debe resaltar el hecho de que no se observó la presencia de malas hierbas en este ensayo, demostrando que se llevó a cabo una efectiva etapa termófila que eliminó las semillas de malezas que pudieran haber estado presentes en el material a compostar (Shepherd *et al.*, 2007).

Índice de germinación (IG)

El índice de germinación del té de compost de *A. vera* fue de 93,15 (Tabla 6). Varnero *et al.* (2006) sostiene que el IG es un indicador más completo para describir el potencial fitotóxico de un material orgánico, ya que integra el porcentaje relativo de germinación y el crecimiento relativo de las raíces. Por otra parte, Zuconi *et al.* (1981) establece el siguiente criterio de interpretación: valores de $IG \geq 80$ indican que no hay sustancias fitotóxicas o están en muy baja concentración; si el $IG \leq 50$ revela que hay una fuerte presencia de sustancias fitotóxicas y si se obtiene un valor entre 50 y 80 se

interpreta como la presencia moderada de estas sustancias. Por lo tanto, los resultados obtenidos en esta investigación (IG superior a 80) permiten establecer que el compost de *A. vera* es un producto maduro, estable y con baja o nula presencia de sustancias fitotóxicas (amonio, ácidos volátiles orgánicos, metales pesados y sales) que afecten de manera negativa a las plantas.

Porcentaje relativo de germinación (PRG)

El PRG representa el porcentaje de semillas germinadas en te de compost de *A. vera* con respecto a las semillas germinadas en agua destilada. El PGR registrado fue de 116,75% (Tabla 6), el cual es superior al obtenido por Varnero *et al.* (2007) utilizando extractos del compost en fase de maduración de tres residuos agroindustriales como sustratos para la germinación de semillas de rabanito y lechuga (PRG del 80 y 90%, respectivamente) y los reportados por Fernández (2015), en su estudio sobre procesos de compostaje de residuos vegetales generados en el Mercado Municipal de Cumaná suplementados por aireación forzada y mecanizada con frecuencia decreciente (80 y 95%, respectivamente). Sin embargo, se encuentra dentro del rango establecido por Márquez (2015), 100 y 240%, en su trabajo sobre la evaluación de aceleradores comerciales (microbiológicos y polienzimático) en el compostaje de residuos vegetales generados en el mismo mercado.

Estos resultados sugieren que el compost de *A. vera* es un producto maduro y estable, ya que finalizó su etapa de madurez y las sustancias tóxicas que afecten la germinación de las semillas están en muy bajas concentraciones (Varnero *et al.*, 2007). El desarrollo de las plántulas en el compost está directamente relacionado con la uniformidad en la germinación y, a su vez, se puede atribuir a las características propias del sustrato, aunado a esto, aparentemente, el riego interdiario parece haber favorecido el proceso de germinación, así como la alta capacidad de retención de humedad y el contenido de nutrientes en la infusión de compost (Rodríguez *et al.*, 2014).

Crecimiento relativo de la radícula (CRR)

El CRR representa el porcentaje de crecimiento de la radícula de las semillas expuestas al té de compost de *A. vera* con respecto a las tratadas con agua destilada. En esta investigación, el CRR fue de 79,78% (Tabla 6). Varnero *et al.* (2007) establecen que valores del CRR inferiores al 80% se atribuyen a la presencia de metabolitos fitotóxicos que, si bien no impiden la germinación, limitan la elongación radicular lo que convierte a este parámetro en un indicador más sensible de la madurez del compost que el PRG. Por lo tanto, se puede decir que en el compost de *A. vera*, si bien hay presencia de sustancias fitotóxicas, estas se encuentran en concentraciones muy bajas por lo que no limitan la germinación de las semillas *L. esculentum*.

Los ensayos de toxicidad basados en la germinación de semillas y la elongación radical pueden realizarse con diversas especies que incluyen plantas de importancia económica, que son de fácil acceso y que, además, germinan y crecen rápidamente. Estos ensayos se han convertido en un método sencillo, económico y reproducible para evaluar los efectos de los componentes fitotóxicos de los abonos orgánicos (Helfrich *et al.*, 1998).

Tiquia (2000) y Emino y Warman (2004) sugieren que el CRR está íntimamente asociado a la presencia de metabolitos fitotóxicos moderados, como niveles de amonio y sales, que no impedirían la germinación de las semillas utilizadas, pero si limitarían el desarrollo de la radícula. Por su parte, Moreno y Moral (2008) señalan que la combinación de las materias orgánicas presentes en las compostas maduras (compost de *A. vera* en esta investigación) favorecen la germinación y asimilación de nutrientes garantizando el crecimiento radicular de las especies vegetales cultivadas, siendo este crecimiento un claro indicador de la eficiencia del proceso de compostaje, es decir, de la mineralización y transformación de los compuestos orgánicos en sustancias más simples y de fácil asimilación por las plantas.

Ensayo con *Eisenia andrei*

Las lombrices son consideradas 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 *E. andrei* en cuatro estadios (juveniles, adultas no cliteladas, adultas cliteladas y cocones) después de suministrarles cuatro tratamientos alimenticios, tres a base de compostaje de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de experimentación (T_{0A} , T_{45} y T_{90}) y un cuarto tratamiento a base de *Aloe* triturada (T_{0B}), por un lapso de tres meses. Los resultados revelaron diferencias estadísticamente significativas en el efecto individual de los tratamientos T_{0B} ($F_s=0,0395$; $p\leq 0,05$), T_{0A} ($F_s=0,0031$; $p\leq 0,05$), T_{45} ($F_s=0,0096$; $p\leq 0,05$) y T_{90} ($F_s=0,0007$; $p\leq 0,05$) sobre el número de ejemplares contabilizados en los distintos estadios de *E. andrei* (Figura 3A); pero diferencias estadísticamente no significativas en la población de lombrices en los estadios juveniles (J; $KW= 0,0915805$; $p>0,05$), adultas no cliteladas (ANC; $KW= 0,111608$; $p>0,05$), adultas cliteladas (AC; $KW= 0,138638$; $p>0,05$) y cocones (C; $KW= 0,0765913$; $p>0,05$) cuando se comparan los suplementos alimenticios estudiados (Figura 3B), siendo las J y ANC las que registran el mayor número de individuos cuando son alimentados con sábila triturada (T_{0B}) mientras que los cocones solo son contabilizados en T_{45} .

En las lombrices de tierra juveniles y adultas no cliteladas se puede apreciar que su número disminuye a medida que avanza el proceso de compostaje en el suplemento alimenticio (Figura 3B), siendo mayor la población cuando se le suministró el tratamiento T_{0B} , y menor cuando se alimentaron con T_{90} ; este comportamiento puede ser atribuido al pH de los sustratos. Schuldt *et al.* (2007) y Domínguez y Gómez-Brandón (2010) señalan que el pH óptimo para el desarrollo de las lombrices de tierra debe oscilar entre 6,5-7,5.

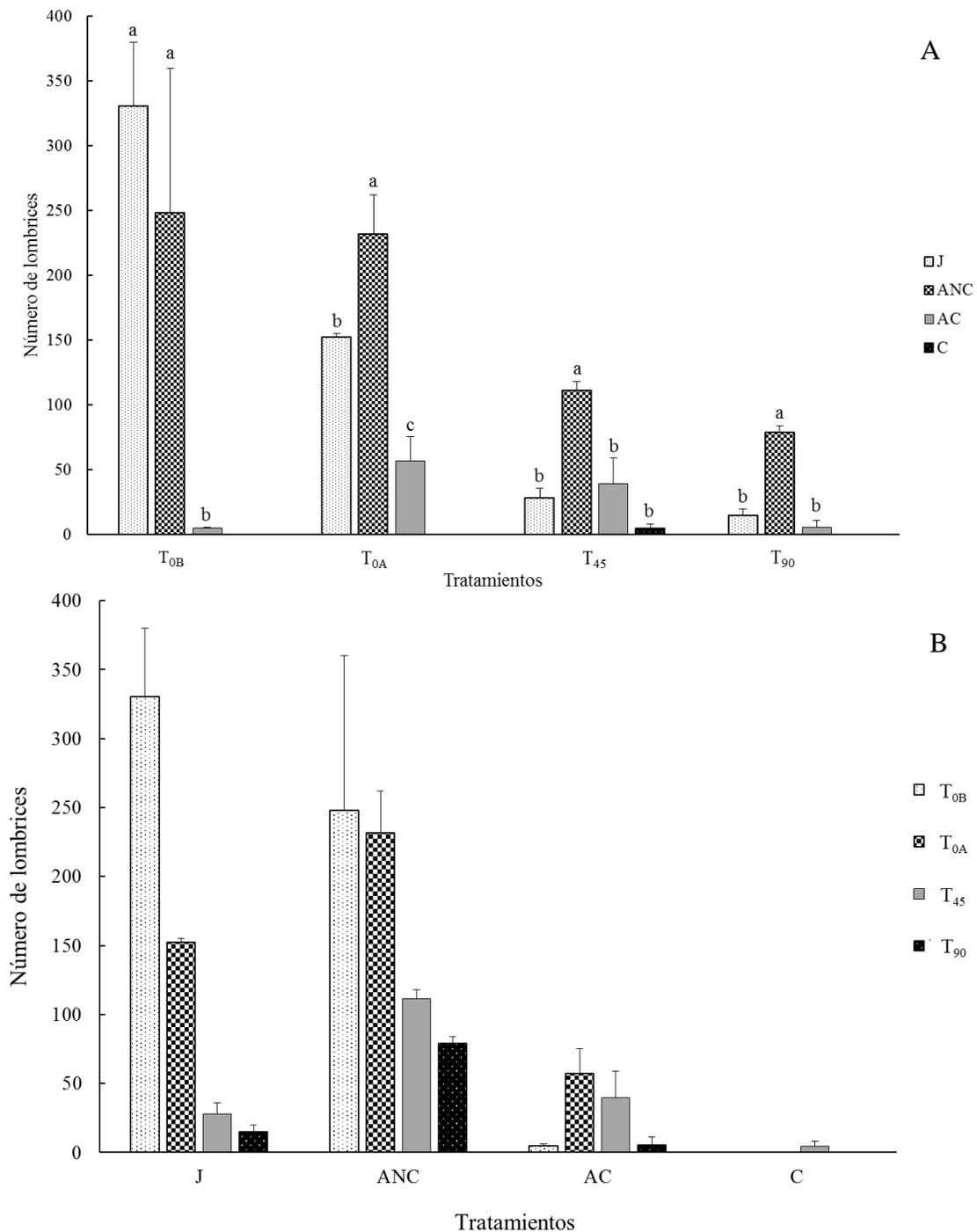


Figura 3. Población de *Eisenia andrei* alimentada con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. A: Comparación intra-tratamiento y B: Comparación entre tratamientos. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas, AC: adultas cliteladas y C: cocones. Los valores son los promedios ± el error estándar (n=2). Las letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente significativas mientras que su ausencia indica la existencia de diferencias no significativas.

En el tratamiento T₉₀ (compost maduro), el pH fue de 9,13, por lo que el producto final es alcalino. Esta alcalinidad, de acuerdo a los establecido por Santamaria y Ferrera (2002) y López-Jiménez *et al.* (2003) puede perjudicar a las lombrices de tierra (*Eisenia andrei* en este estudio), disminuyendo su densidad poblacional y alterando su ciclo vital. Mientras que en T_{0B} (*A. vera* sin compostar y libre de materiales estructurantes), la sábila tiene un pH que oscila entre 3,5 y 4,7 (Calzada y Pedroza, 2005), pudiendo la acidez de este medio de alimentación ser la causa de una mayor densidad poblacional en cada uno de los estadios del ciclo vital de la lombriz roja, a excepción de las adultas cliteladas (Figura 3B), en las cuales se puede inferir por el número de juveniles en el sustrato alimenticio (Figura 3A), que aún se encontraban en época de ovoposición.

El tratamiento T_{0A} puede ser considerado el mejor suplemento alimenticio para *E. andrei*, debido a que las poblaciones de los distintos estadios del ciclo vital de la lombriz roja californiana son claramente visibles (Figura 3A), en contraste con las demás tratamientos compostados (T₄₅ y T₉₀), en los cuales probablemente se afectó negativamente la reproducción de las lombrices, quienes tardaron más tiempo en alcanzar la madurez sexual. Este efecto puede atribuirse no solo a la diferencia de pH entre los tres tiempos de compostaje, sino a las elevadas concentraciones de elementos trazas, que pueden ser perjudiciales para la salud, como por ejemplo el sodio y el potasio, ya que con concentraciones elevadas de estos nutrientes, afectan de manera significativa la bomba sodio potasio presente en las células de los animales, perjudicando así el impulso nervioso, el transporte de iones de K⁺ y Na⁺, el control del volumen celular y la generación del potencial de membrana (Crawford y Harris, 2011).

Domínguez y Gómez-Brandón (2010) en su estudio sobre el ciclo de vida de lombrices de tierra aptas para el compostaje, establece que en condiciones óptimas sus ciclos de vida (desde que es depositado el capullo hasta la puesta de capullos de la siguiente generación): los juveniles alcanzan la madurez en 21-30 días; las cópulas ocurren cerca de la superficie y la puesta comienza en torno a las 48 h después de la cópula; la tasa de producción es de 0,35-0,5 capullos por día; la viabilidad de eclosión es del 72-82%, y el tiempo de incubación oscila entre 18 y 26 días; el número de

descendientes por capullo varía entre 2,5-3,8 dependiendo de la temperatura. Por lo tanto, se puede inferir que al momento de realizar el conteo de lombrices alimentadas con T_{0B} en esta investigación, ya había ocurrido la segunda eclosión de los capullos de *E. andrei*, por lo que se puede apreciar un mayor número de juveniles, una menor cantidad de adultas cliteladas y en un rango medio, estarían las adultas no cliteladas que están por aparearse (Figura 3A). Estos resultados fueron similares a los obtenidos por López-Jiménez *et al.* (2003) y Rodríguez *et al.* (2019) en sus estudios sobre la evaluación de la población de *E. andrei* y dinámica poblacional de *E. foetida* y *E. andrei* en tres sustratos diferentes, respectivamente.

En la Figura 4 se puede apreciar la biomasa de *E. andrei* en tres de sus estadios (juveniles, adultas no cliteladas y adultas cliteladas) después de suministrarles los cuatro tratamientos alimenticios establecidos en esta investigación, tres a base de compostaje de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje y uno a base de *Aloe* triturada, por un lapso de tres meses; donde se registraron diferencias estadísticamente no significativas en la biomasa de los estadios de la lombriz roja común alimentadas con los tratamientos T_{0B} (KW= 0,100455; p>0,05), T_{0A} (KW= 0,0804127; p>0,05), T₄₅ (KW= 0,0804127; p>0,05) y T₉₀ (KW= 0,143191; p>0,05), siendo las ANC las que exhiben las mayores biomásas en todos los sustratos alimenticios (Figura 4A). Adicionalmente, la Figura 4B exhibe diferencias estadísticamente no significativas en la biomasa de los estadios J (KW= 0,0833143; p>0,05), ANC (KW= 0,445918; p>0,05) y AC (KW= 0,111608; p>0,05) cuando las lombrices rojas californianas son alimentadas con los sustratos alimenticios evaluados, siendo T_{0B} el que permite la mayor acumulación de biomasa en J y ANC, mientras que T_{0A}, favorece a las AC.

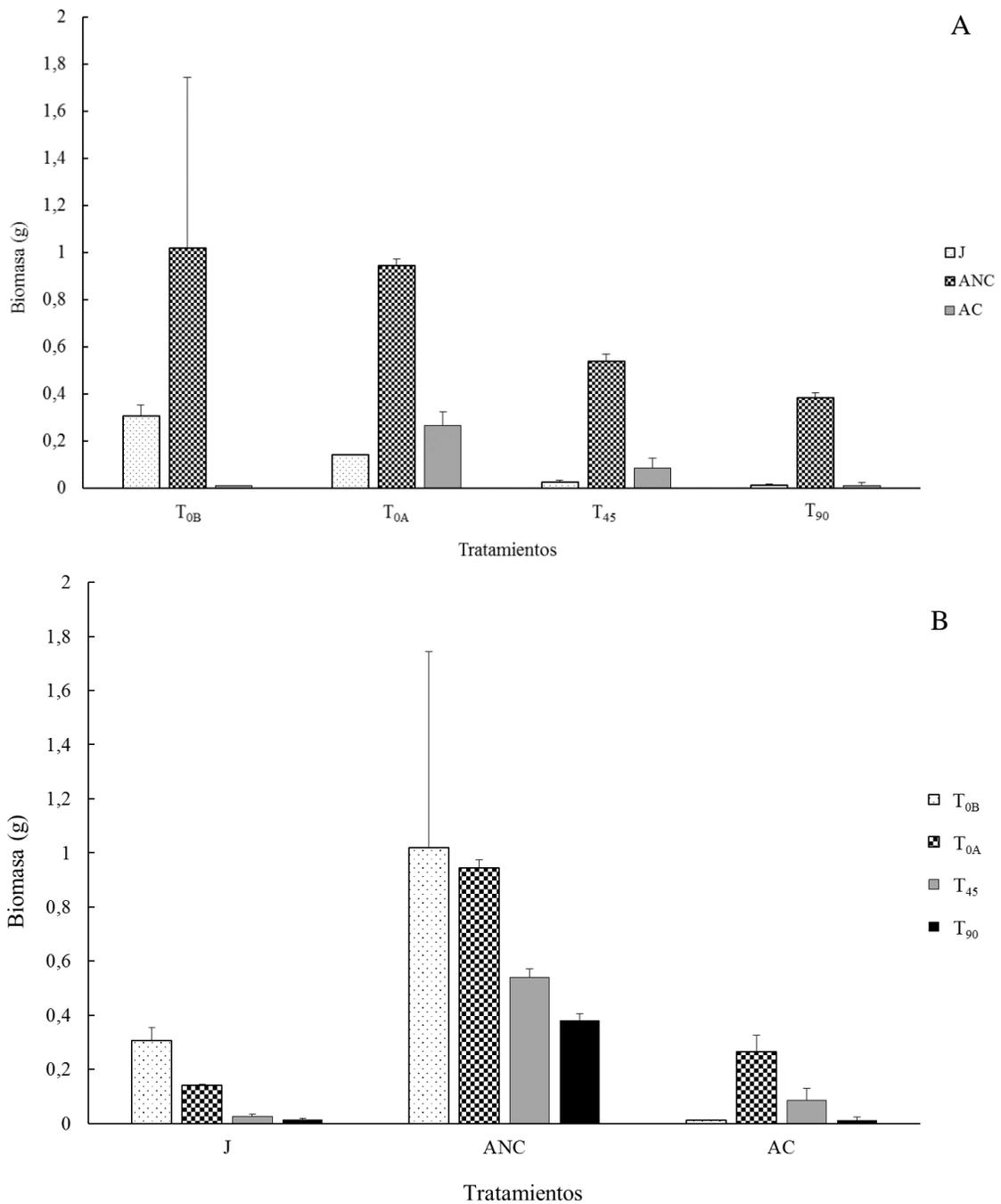


Figura 4. Biomasa de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. A: Comparación intra-tratamiento y B: Comparación entre tratamientos. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas. Los valores son los promedios ± el error estándar (n=2). La ausencia de letras sobre las barras indican la existencia de diferencias estadísticamente no significativas.

Durán y Henríquez (2009) señalan que la biomasa promedio de *E. andrei* adulta puede variar de 0,24 a 1 g. En este estudio, se obtuvo que la biomasa de esta especie osciló entre 0,011 a 1,020 g, siendo el menor valor registrado por las adultas cliteladas (AC) mientras que el mayor por las adultas no cliteladas (ANC), alimentadas en ambos casos con el tratamiento T_{0B}. Los resultados obtenidos en esta variable también pueden ser atribuidos al pH del sustrato alimenticio, ya que el pH no solo afecta la densidad poblacional de la especie, sino también la biomasa de las poblaciones estudiadas (Jiménez *et al.*, 2003). López *et al.* (2008) y Rodríguez *et al.* (2019) reportan valores similares a los observados en este bioensayo y concluyen que la biomasa de las lombrices cliteladas es menor a las de las adultas no cliteladas, ya que la masa de esta especie disminuye durante la fase reproductiva.

Las lombrices poseen boca, pero no dientes, ellas succionan tierra junto con su alimento a través de su boca, esta tierra es ingerida y se tritura junto con los alimentos para pasar en forma de partículas pequeñas y favorecer la digestión de esta, al pasar por el intestino se digiere y absorben los nutrientes, al final sus excrementos y materiales no digeridos es lo que se conoce como humus de lombriz (Somarriba y Guzmán, 2004). Las lombrices son consumidoras de materia orgánica, sobre todo en descomposición. En este sentido, son muy eficientes para devorar distintos tipos de alimentos ya sea en la naturaleza o en lugares acondicionados para ellas, no obstante, algunos desechos como cortezas duras, elementos grandes, restos cítricos, aceites, plásticos, etc., no son asimilables para ellas, por lo que siempre se recomienda precompostar su alimento o fraccionarlo en trozos pequeños (Durán y Henríquez, 2009).

La longitud de los ejemplares de *E. andrei* en tres de sus estadios (juveniles, adultas no cliteladas y adultas cliteladas) después de suministrarles los cuatro tratamientos alimenticios establecidos en esta investigación, tres a base de compostaje de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza; en tres tiempos de compostaje; y uno a base de *Aloe* sola triturada, por un lapso de tres meses (Figura 5), muestra diferencias estadísticamente significativas en los tratamientos T_{0B} (KW= 4,00835 x 10⁻¹²; p<0,05), T_{0A} (KW= 0,0; p<0,05), T₄₅ (KW= 0,0; p<0,05) y T₉₀ (KW= 4,02012 x 10⁻¹²; p<0,05); y en los estadios J (KW= 8,09586 x 10⁻¹²; p<0,05), ANC (KW= 1,05862 x 10⁻¹¹; p<0,05) y

AC (KW= 0,0; $p < 0,05$), siendo las adultas cliteladas las que exhiben las mayores longitudes en todos los sustratos alimenticios (Figura 5A) y el tratamiento T₉₀ es el que permite que las lombrices rojas comunes en todos los estadios de su ciclo vital registren los mayores valores de esta variable (Figura 5B).

En la Figura 5A se puede apreciar en todos los suplementos alimenticios evaluados que el estadio con mayor longitud son las lombrices cliteladas, seguido de las adultas no cliteladas y las juveniles. Resultados similares fueron reportados por Ccasani y Poma (2012) en su estudio sobre la evaluación de la densidad poblacional; masa y longitud de la lombriz roja californiana alimentada con estiércol y compost de bovino y ovino, en el cual, al usar el compost de estiércol bovino y ovino como sustrato alimenticio, obtuvieron una longitud media de 7,56 y 7,68 cm, por lo que, los autores pueden inferir que existe una correlación entre los sustratos con estiércoles y la longitud de la lombriz, así mismo, López *et al.* (2008) evaluando la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana, recomiendan usar estiércoles o compostajes con estiércoles como suplemento alimenticio para la especie, ya que las mayores longitudes se obtuvieron en las lombrices alimentadas con los sustratos que contenían estiércol de vaca, con valores superiores a 10 cm.

Rodríguez *et al.* (2019) estudiando la dinámica poblacional de *E. foetida* (Savigny, 1826) y *E. andrei* (bouché 1972) en tres sustratos alimenticios, obtuvo una longitud media similar a la obtenida en el presente estudio (7,47 cm) y establece que durante la fase reproductiva las lombrices suelen reducir su tamaño, debido al desarrollo del clitelo (Reinés *et al.*, 1998).

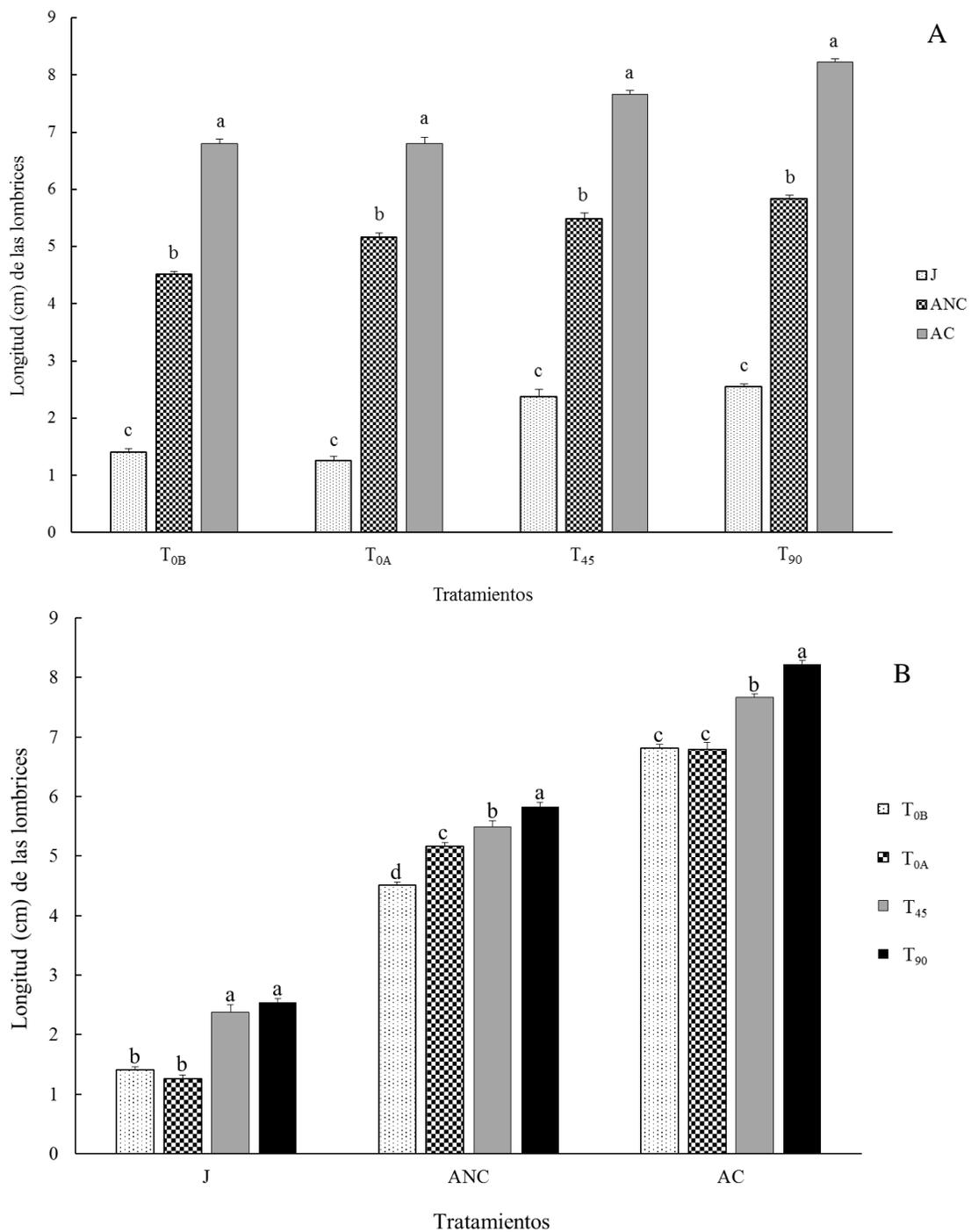


Figura 5. Longitud de ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. A: Comparación intra-tratamiento y B: Comparación entre tratamientos. 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.

El cuerpo de *E. andrei* se compone de varios segmentos similares entre sí, cada segmento es una cavidad llena de un fluido, y está rodeado por dos grupos de músculos: circulares y longitudinales, ambas capas de músculos son antagónicas entre sí, ya que, cuando los músculos longitudinales se contraen los circulares se relajan por tanto el segmento aumenta su diámetro y disminuye su longitud, de la misma manera cuando los músculos circulares se contraen los longitudinales se relajan haciendo que el segmento incremente su longitud pero disminuya su diámetro, gracias a esto el volumen de cada segmento se mantiene constante en todo momento (Garzón *et al.*, 2010). La lombriz de tierra puede estirar longitudinalmente cada uno de sus segmentos aproximadamente 60%, y su contracción circular puede alcanzar el 25%, estas proporciones se mantienen con pocas variaciones independientemente del tamaño de la lombriz (Quillin, 1999).

CONCLUSIONES

El compost de *Aloe vera*, 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 temperatura de 35°C, fácil reconocimiento de los elementos estructurantes de la pila, tonalidad marrón claro y un leve olor a los materiales de partida (*A. vera* y gallinaza).

La fase termófila se evidenció desde el día 2 hasta el 34 de experimentación, reportándose temperaturas entre 42-70°C, valores de pH que oscilaron entre 6,20-7,97, oscurecimiento de la pila, indicios de humificación y olor a orina.

La fase mesófila de enfriamiento se visualizó entre los días 35 y 40 de experimentación, caracterizada por temperaturas que oscilaban entre 34 y 40°C, valores de pH que tienden a la neutralidad (7,8), tonalidad marrón oscuro, bastante humificación en la base de la pila y olor a madera vieja.

La maduración y estabilización del compost de *A. vera* se alcanzó a partir del día 41 de experimentación, con temperaturas entre 29-32°C, pH que oscilaban entre 7,90-7,93, tonalidad marrón oscura, sin lixiviación, textura arcillosa y olor a tierra mojada.

Al finalizar el proceso de compostaje se logró recuperar el 16,67% del volumen inicial de la pila de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza.

Las cucarachas, escarabajos, moscas y arañas estuvieron presentes durante las tres primeras etapas (mesófila inicial, termófila y de enfriamiento) del proceso de compostaje de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza.

Las colonias de actinomicetos son los únicos organismos presentes en la pila de *A. vera* durante la fase de maduración.

El compost de *A. vera* a los 90 días de experimentación es alcalino, con baja CE, relación C/N y concentración de Fe, valores aceptables de MO, C orgánico, N, P, Ca, Cu y Zn; y elevadas concentraciones de K, Mg, Na, S y Mn.

El ensayo de germinación agronómico e *in vitro* de las semillas de *Lycopersicum*

esculentum cultivadas en el compost de *A. vera* registró un PRGA de 50,87% y un IG de 93,15.

Los análisis fitotóxicos mostraron que el producto final del compostaje de *A. vera* presenta escasa o nula existencia de sustancias fitotóxicas que puedan impedir la germinación pero limitan la elongación radicular de las plántulas de *L. esculentum*.

El tratamiento T_{0B} registra el mayor número de individuos juveniles de *E. andrei* y biomasa en los estadios juveniles y adultas no cliteladas.

Las lombrices rojas adultas no cliteladas (ANC) y adultas cliteladas (AC) exhiben en todos los sustratos alimenticios las mayores biomásas y longitudes, respectivamente.

El compost de *A. vera* tiene una buena madurez y es apto para usarse en la fase de siembra en cualquier cultivo como suplemento alimenticio, sin embargo, no es apto para utilizarse como medio de crianza de *E. andrei*.

RECOMENDACIONES

Realizar pruebas microbiológicas a muestras de la pila en cada una de las fases de biotransformación, de manera que se caractericen e identifiquen los microorganismos que actúan durante cada una de las etapas del compostaje y se comparen con los presentes en los aceleradores comerciales adicionados durante el armado de la pila.

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 exámenes físicoquímicos a muestras de la pila en cada una de las etapas del compostaje (mesófila inicial, termófila, de enfriamiento y maduración) para caracterizar los procesos de mineralización que se llevan a cabo durante este proceso de biotransformación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M. 1998. La gestión 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. Comité Regional de Antioquia. Universidad Nacional de Colombia. Impresos Caribe, Ltda. Medellín, Colombia. Pág. 27-37.
- 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.; El Zuhre, M.; Rodríguez, L.; Reyes, N. y Dickon, R. 2012. Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de compostaje de residuos orgánicos. *Multiciencias*, 4: 390-399.
- 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.
- Alburquerque, J.; González, J.; Tortosa, G.; Baddi, G. y Cegarra, J. 2009. Evaluation of “alperujo” composting based on organic matter degradation, humification and compost quality. *Biodegradation*, 20(2): 257-270.
- Álvarez, J. 2008. *Manual de compostaje para la agricultura ecológica*. Junta de Andalucía-Consejería de Agricultura y Pesca. Andalucía, España.
- 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.
- Arango, G. y Agudelo, L. 2004. Valor biológico de las cucarachas en el compost. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1): 96-98.
- Arango, G. y Vera, L. 2004. Mesofauna de las hormigas en el compost de la Corporación Universitaria Lasallista. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(1): 22-26.
- Arango, M. 2017. Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos. Trabajo de grado. Especialización en Gerencia Agropecuaria, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias, Corporación Universitaria Lasallista. Antioquia, Colombia.
- Ávila, W. y Moyano, J. 2019. Propuesta metodológica para el dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables a partir de 100 Ton/Día. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Editorial

McGrawHill/Interamericana. Barcelona, España.

- Barber, S. 1962. Adiffusion and mass flow concept of soil nutrient availability. *Soil Science*, 93: 39-49.
- 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.
- 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.
- Bertrán, E.; Sort, X.; Soliva, M. y Trillas, I. 2004. Composting winery waste: sludges and grapes stalks. *Bioresource Technology*, 95: 203-208.
- Bidwell, R. 1979. *Fisiología vegetal*. AGT editor. Ciudad de México, México.
- Bollo, E. 1999. *Lombricultura, una alternativa al reciclaje*. Soboc Grafic. Quito, Ecuador.
- Brady, N. y Weil, R. 1999. *The nature and properties of soils*. Doceava edición. Prentice Hall, Inc. New Jersey, USA.
- Breitenbeck, G. y Schellinger, D. 2004. Calculating the reduction in material mass and volume during composting. *Compost Science and Utilization*, 12: 365-371.
- Bueno, M. 2003. *Cómo hacer un buen compost*. Manual para horticultores ecológicos. Tercera edición. La fertilidad de la Tierra Ediciones. Ciudad de México, México.
- Bueno, P.; Díaz, M. y Cabrera, F. 2008. Factores que afectan el proceso de compostaje. En: *Compostaje*. Moreno, C. y Moral, H. (eds). 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](http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf).
- Bunt, A. 1988. *Media and mixes for containergrown plants*. UnwinHyman. London, England.
- Calzada, A. y Pedroza, A. 2005. Evaluación físico-química del gel y jugo de la hoja de sábila (*A. barbadensis*) en diferentes prácticas de manejo. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 4(2): 93-101.
- Campitelli, P. y Ceppi, S. 2008. Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. *Chemolab*, 90(1): 64-71.
- 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.
- Carmona, C. y Abad, B. 2008. Aplicación del compost en viveros y semilleros. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España. Págs. 399-424.
- Carrión, 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.
- Carter, S. 1994. Aloaceae. En: *Flora of tropical east Africa*. Polhill, R. (ed). Balkema. Rotterdam, Países Bajos. Págs. 1-60.
- Castaldi, P.; Alberti, G.; Merella, R. y Melis, P. 2005. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management*, 25: 209-213.
- Castillo, A.; Iglesias, M. y Quarin, S. 2000. Caracterización química y físico de composta de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agricultura Técnica*, 60(1): 74-79.
- 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.
- CCA (Comisión para la Cooperación Ambiental). 2017. Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. Informe sintético. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, Canadá.
- 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.
- Choi, S. y Chung, M. 2003. A review on the relationship between *Aloe vera* components and their biological effects. *Seminars in Integrative Medicine*, 1(1): 53-62.
- 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).
- COLINAGRO (Compañía Colombiana de Inversiones Agrícolas S. A.). 2014. Consideraciones generales para la fertilización del cultivo de plátano. Boletín Técnico. COLINAGRO. Bogotá, Colombia.
- CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). 2002. Producción de abonos orgánicos de buena calidad. Boletín Técnico. Promomedios Impresiones. Bogotá, Colombia.
- Cuadros, S. 2008. Compostaje y biometanización. Módulo: Contaminación por residuos.

- Máster en Ingeniería y Gestión Medioambiental. Escuela de negocios EOI. Madrid, España.
- Crawford, A. y Harris, H. 2011. Equilibrio entre el sodio y el potasio. *Nursing*, 29(9): 14-20.
- Cuevas, G. y Walter, I. 2004. Metales pesados en maíz (*Zea mays* L) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 20(2): 59-68.
- Davis, R. 1997. *Aloe vera; a scientific approach*. Vantage Press, Inc. New York, USA.
- 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 Lucia, B.; Rea, E.; Pierandrei, F.; Rinaldi, S.; Vecchiatti, L. y Ventrelli, A. 2009. Effect of compost-based alternative substrata in potted *Aloe vera* (L.) Burm. F. Universidad de Bari. Bari, Italia. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/256842148>.
- 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. y Pérez-Lozada, M. 2010. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) son dos especies diferentes de lombrices de tierra. *Acta Zoológica Mexicana*, 2(Número Especial): 321-331.
- Domínguez-Fernández, R.; Arzate-Vázquez, I.; Chanona-Pérez, J.; Welti-Chanes, J.; Alvarado-González, J.; Calderón-Domínguez, G.; Garibay-Febles, V. y Gutiérrez-López, G. 2012. El gel de *Aloe vera*: estructura, Composición química, procesamiento, actividad biológica e importancia en la industria farmacéutica y alimentaria. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1): 23-43.
- 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.
- Durán, L. y Henríquez, C. 2009. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense*, 33(2): 275-281.
- EGMASA (Empresa de Gestión Medioambiental, S.A.). 2010. "Use el compost en agricultura, viveros y paisajismo". "EGMASA" <<http://es.scribd.com/doc/73934667/Use-ElCompos>> (20/07/2021).
- Escobar, F.; Sánchez, J. y Azero, M. 2011. Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *ACTA NOVA*, 5(3): 390-410.
- Emino, E. y Warman, P. 2004. Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization*, 12(4): 342-348.

- Fallas, D. 2016. Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada. Trabajo de grado. Escuela de Ingeniería Agrícola. Universidad de Costa Rica. San Pedro, Costa Rica.
- 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.
- Ferruzi, C. 1993. *Manual de lombricultura*. Mundi Prensa. Madrid, España.
- 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.
- García, C. 2001. *Fertilización de suelos y fertilización de cultivos*. Texto básico. Managua, Nicaragua.
- García, D. y Torres, S. 2011. Uso del vermicompostaje como alternativa para reducir poblaciones de la mosca del establo *Stomoxys Calcitrans*. Trabajo de grado. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.
- García, G. y Monge, N. 1999. *Agricultura orgánica*. Editorial Universidad Nacional a Distancia. San José, Costa Rica.
- 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.
- Garzón, M.; Barrientos, A.; Cerro, J. y Rossi, C. 2010. Análisis cinemático de patrones de movimiento para un robot tipo gusano. En: "8° Workshop Robots de Exteriores, Robocity 2030-II". Centro de Automática y Robótica UPM-CSIC. Madrid, España. Págs. 323-336.
- Hargreaves, J.; Adl, S. y Warman, P. 2008. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123: 1-14.
- 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.

- Helfrich, P.; Chefetz, B.; Hadar, Y.; Chen, Y. y Schnabl, H. 1998. A novel method for determining phytotoxicity in compost. *Compost Science and Utilization*, 6(3): 6-13.
- Henríquez, C. y Cabalceta, G. 1999. *Guía para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola*. Asociación costarricense de la Ciencia del Suelo. San José, Costa Rica.
- Hernández, A. 2003. *La composta, su elaboración y beneficio*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. División de Agronomía. Buenavista, México.
- Hernández-Rodríguez, O.; Hernández-Tecorral, A.; Rivera-Figueroa, C.; Arras-Vota, A. y Ojeda-Barrios, D. 2013. Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1): 35-46.
- Imery, J. 2012. Biología, cultivo y mejoramiento genético de *Aloe vera* (L.) Burm. f. Trabajo para ascender a la categoría de Profesor Titular. Departamento de Biología, Universidad de Oriente. Cumaná, Venezuela.
- Isaza, G.; Pérez, M.; Laines, J. y Castañón, G. 2009. Comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica. *Trópico húmedo*, 25: 233-243.
- Jaramillo, G. y Zapata, L. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos en Colombia. Monografía no publicada. Universidad de Antioquía. Antioquía, Colombia. Recuperado de: <http://tesis.udea.edu.co/dspace/.../AprovechamientoRSUOne colombia.pdf>.
- Jiménez, M. 2007. Monitoreo *in vitro* del potencial de cinco nutrientes (B, Mn, Zn, Cu y Si) sobre órganos de *Mycosphaerella fijiensis morelet* agente causal de la sigatoka negra. Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- 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.
- Larionova, M.; Menéndez, R. y Valiente, O. 1990. Estudio fitoquímico comparativo de los extractos de *Aloe arborescens* Mill y *Aloe barbadensis* Mill. Compendio de investigaciones sobre el *Aloe barbadensis* Miller (sábila) cultivado en Cuba. Ministerio de las Fuerzas Armadas Revolucionarias, Instituto Superior de Medicina Militar “Dr. Luis Díaz Soto”. La Habana, Cuba.
- 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.; Martínez, M. y Suárez, E. 2008. Evaluación de la eficacia de cuatro dietas alimenticias sobre el crecimiento, desarrollo y producción de abono de la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). *Ciencias e Interculturalidad*, 2: 67-81.

- 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, S.; Cuevas, R.; Castelán, O. y Avilés, F. 2018. Comparación entre dos métodos de ventilación en la composición química de compost de estiércoles pecuarios. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2): 263-271. DOI: 10.20937/RICA.2018.34.02.07.
- López-Jiménez, M.; Hernández-Sánchez, M. y Elorza-Martínez, P. 2003. Evaluación de la densidad poblacional de la lombriz compostera (*Eisenia andrei* Savigni). *Revista UDO Agrícola*, 3(1): 12-16.
- 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, N. 2013. “Organismos que actúan sobre las diferentes etapas del compostaje”. “Biología y química a la mano”. <<http://bq2013.blogspot.com/>> (10/8/2021).
- Martínez, F.; Huerta, O.; López, M.; Soliva, M.; Bustamante, J. y Allés, A. 2008. *Comportamiento del compost de RSU en un cultivo de Lolium multiflorum en Menorca*. Jornadas de la Red Española de Compostaje. Servei de Medi Ambient de la Diputació de Barcelona. Barcelona, España.
- Marschner, H. 1995. *Mineral nutrition in higher plants*. Second edition. Academic Press. London, England.
- 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.
- Miller, R.; Pushnik, J. y Welkie, G. 1984. Iron chlorosis, a world wide problem, the relation of chlorophyll biosynthesis to iron. *Journal of Plant Nutrition*, 7: 1-22.
- Moral, H. y Muro, J. 2008. Manejo, dosificación y gestión agronómica del compost. En: *Compostaje*. Moreno, J. y Moral, R. (eds). Editorial Mundi-Prensa. Barcelona, España. Págs. 351-378.
- Moreno, J. y Moral, R. 2008. *Compostaje*. Ediciones Mundi-Prensa. Barcelona, España.
- Muñoz, J.; Muñoz, J. y Montes, C. 2015. Evaluación de abonos orgánicos utilizando como indicadores plantas de lechuga y repollo en Popayan, Cauca. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 3(1): 73-82.
- Muñoz, R. 2012. Política de gestión integral de residuos orgánicos de la plaza de mercado la 21 en el municipio de Ibagué. Trabajo de grado. Especialización en Gerencia Ambiental, Instituto de Posgrados, Facultad de Ingeniería, Universidad

Libre. Bogotá, Colombia.

- Navarro, B. y Navarro G. 2003. *Química agrícola: el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. Segunda edición. Mundi prensa. Madrid, España.
- Ni, Y.; Turner, D.; Yates, K. y Tizard, I. 2004. Isolation and characterization of structural components of *Aloe vera* L. leaf pulp. *International Immunopharmacology*, 4: 1745-1755.
- Paredes, C.; Bernal, M.; Cegarra, J. y Roig, A. 2002. Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. *Bioresource Technology*, 85: 1-8.
- Pravia, M. y Sztern, D. 1999. *Manual para la elaboración de compost: bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Montevideo, Uruguay.
- Quesada, P. 2001. Uso de compost y arena volcánica como sustratos en un sistema hidropónico abierto para cultivo protegido de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Trabajo de grado. Escuela de agronomía, Tecnológico de Costa Rica, Sede Regional San Carlos. San Carlos, Costa Rica.
- Quillin, K. 1999. Kinematic scaling of locomotion by hydrostatic animals: ontogeny of peristaltic crawling by the earthworm *Lumbricus Terrestris*. *Journal of Experimental Biology*, 202: 661-674.
- Ramos, C. 2005. Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*, 36(1): 45-53.
- Reinés, M.; Sierra, A.; Rodríguez, C. y Loza, J. 1998. *Lombricultura: alternativa del desarrollo sustentable*. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Zapopan, México.
- Reynolds, T. 2004. *Aloes: the genus Aloe*. Medicinal and aromatic plants-industrial profiles. Editorial CPR Press LLC. Boca Ratón, USA.
- 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.
- Rodríguez, A.; Robles, A.; Ruiz, R.; López, E.; Sedeño, J. y Rodríguez, A. 2014. Índices de germinación y elongación radical de *Lactuca sativa* en el biomonitoreo de la calidad del agua del río Chalma. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 30(3): 307-316.

- Rodríguez, S.; Méndez, G.; Velázquez, M.; Castillo, G. y Retureta, A. 2019. Dinámica poblacional de *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* (bouché 1972) en tres sustratos diferentes. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 7(2): 70-78.
- Roig, N.; Sierra, J.; Martí, E.; Nadal, M.; Schuhmacher, M. y Domingo, J. 2012. Long-term amendment of Spanish soils with sewage sludge: Effects on soil functioning. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 158: 41-48.
- Rojas, F. y Zeledón, E. 2007. Efecto de diferentes residuos de origen vegetal y animal en algunas características física, química y biológica del compost. Hacienda Las Mercedes, Managua, 2005. Trabajo de grado. Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, 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.
- Saavedra, O. 2010. Métodos de separación de sustancias químicas presentes en el zumo de *Aloe vera* y su determinación por espectroscopia. Tesis doctoral. Postgrado en Química Analítica, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.
- 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, F. 2015. Evaluación de la producción de compost con microorganismos eficientes en el distrito de Rupa Rupa. Trabajo de grado. Facultad de Recursos Naturales Renovables, Universidad Nacional Agraria de La Selva. Tingo María, Perú.
- 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.
- Santamaria, S. y Ferrera, R. 2002. Dinámica poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes residuos orgánicos. *Terra*, 20(3): 303-310.
- 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.; Scatturice, L. y Mayo, J. 2007. Lombricultura, desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. *Revista electrónica*

- veterinaria*, 8(8): 1-10.
- Serapio, F. y Bruzon, C. 1996. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Engeharia Agrícola*, 27(1): 267-275.
- Sierra, C. y Rojas, C. 2009. La materia orgánica y su efecto como enmienda y mejora del rendimiento de los cultivos. Serie Actas-Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Santiago de Chile, Chile. Recuperado de: <http://www2.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR28122.pdf>.
- 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.
- Smith, G. y Van-Wyk, B. 1991. Generic relations chips in the Aloideae (Asphodelaceae). *Taxon*, 40: 557-581.
- 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, EE.UU.
- Soliva, M. 2001. *Compostatge i gestió de residus orgànics*. Col·lecció Estudis i Monografies, 21. Diputació de Barcelona. Servei de Medi Ambient. Barcelona, España.
- Soliva, M. y Giró, F. 1992. Composting of three kinds of residues of very different origin. *Acta Horticulturae*, 302: 181-192.
- Soliva, M y López, M. 2004. *Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora*. Valsaín CENEAM/MIMAM. Escuela Superior de Agricultura. Barcelona, España.
- 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, G. 2003. Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. En: *Taller de abonos orgánicos*. Meléndez, G. y Soto, G. (eds). Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Págs. 30-57.
- Subramaniam, V.; Choo, Y.; Muhammad, H.; Hashim, Z.; Tan, Y. y Puah, C. 2010. Life cycle assessment of the production of crude palm oil (part 3). *Journal of Oil Palm Research*, 22: 895-903.
- Thivierge, C. y Seito, M. 2005. *Nuevas Tecnologías de vivero en Nicaragua, bandejas y sustratos mejorados-compost*. McGraw-Hill. Managua, Nicaragua.
- 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.
- Trautmann, T. y Olynciw, E. 2000. "Cornell composting science y engineering". <<http://www.cfe.cornell.edu/compost/microorg.html>>. (20/08/2020).
- Uribe, L. 2003. Inocuidad de abonos orgánicos. En: *Taller de abonos orgánicos*. Meléndez, G. y Soto, G. (eds). Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica. Págs. 122-138.
- 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.
- Varnero, T.; Orellana, R.; Rojas, C. y Santibañes, C. 2006. Evaluación de especies sensibles a metabolitos fitotóxicos mediante bioensayos de germinación. En: *El medioambiente en Iberoamérica: visión desde la física y la química en los albores del siglo XXI*. Tomo III. Gallardo, J. (ed). Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España. Págs. 363-369.
- Vega, A. 2005. El *Aloe vera* (*Aloe barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chilena de Nutrición*, 32(3): 208-214.
- Villalba, D.; Holguín, V.; Acuña, J. y Varón, R. 2011. Calidad bromatológica y organoléptica de ensilajes de residuos orgánicos del sistema de producción café-musáceas. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 4(1): 48-49.
- 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.
- Yagi, A.; Egusa, T.; Arase, M.; Tanabe, M. y Tsuji, H. 1997. Isolation and characterization of the glycoprotein fraction with a proliferation-promoting activity on human and hamster cells *in vitro* from *Aloe vera* gel. *Planta Medicinal*, 63: 18-21.
- Yáñez, J. 2002. *Nutrición y regulación del crecimiento en hortalizas y frutales*. Tecnología, Comercio y Servicios Agrícolas Mundiales. Saltillo, México.
- Zhu, N. 2006. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*, 98: 9-13.
- 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 Bertoli, 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 *Aloe* sola triturada (T_{0B}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
J	2	330,5	a
ANC	2	248,0	a
AC	2	5,0	b

Apéndice 2. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, 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 cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	2	231,5	a
J	2	152,5	b
AC	2	75,5	c

Apéndice 3. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T_{45} , en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas, AC: adultas cliteladas y C: cocones.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	2	111,5	a
AC	2	39,5	b
J	2	28,0	b
C	2	4,5	b

Apéndice 4. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado al número de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₉₀, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
ANC	2	79,0	a
J	2	15,0	b
AC	2	5,5	b

Apéndice 5. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el sustrato alimenticio a base de *Aloe* sola triturada (T_{0B}), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	6,806	a
ANC	20	4,509	b
J	20	1,406	c

Apéndice 6. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, bagazo de caña 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 cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	6,79533	a
ANC	20	5,15067	b
J	20	1,37774	c

Apéndice 7. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₄₅, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	7,61167	a
ANC	20	5,50533	b
J	20	2,38226	c

Apéndice 8. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) alimentadas con el compost a base de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en el tiempo de compostaje T₉₀, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre. J: juveniles, ANC: adultas no cliteladas y AC: adultas cliteladas.

<i>Estadio</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
AC	20	8,222	a
ANC	20	5,832	b
J	20	2,547	c

Apéndice 9. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) juveniles (J) alimentadas con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T ₉₀	20	2,5470	a
T ₄₅	20	2,3795	a
T _{0B}	20	1,4060	b
T _{0A}	20	1,2630	b

Apéndice 10. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) adultas no cliteladas (ANC) alimentadas con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T ₉₀	20	5,8315	a
T ₄₅	20	5,4910	b
T _{0A}	20	5,1595	c
T _{0B}	20	4,5090	d

Apéndice 11. Análisis *a posteriori* (Duncan 95%) aplicado a la longitud de lombrices rojas (*Eisenia andrei*) adultas cliteladas (AC) alimentadas con *Aloe vera* triturada (T_{0B}) y el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza en tres tiempos de compostaje (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀), en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

<i>Tratamiento</i>	<i>Casos</i>	<i>Media</i>	<i>Grupos homogéneos</i>
T ₉₀	20	8,2220	a
T ₄₅	20	7,6610	b
T _{0B}	20	6,8060	c
T _{0A}	20	6,7925	c



Apéndice 12. Triturado de los residuos del cultivo de *Aloe vera* para el armado de la pila de compostaje en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo Sucre.



Apéndice 13. Pila de compostaje de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza exhibiendo un halo blanquecino, similar a las cenizas, durante la fase termófila, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.



Apéndice 14. Montaje de los sustratos alimenticios empleados en el ensayo *Eisenia andrei*, en el Banco de Germoplasma de la Universidad de Oriente, Núcleo Sucre.



Apéndice 15. Ejemplares de *Eisenia andrei* alimentados con el compost de *Aloe vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, en el Laboratorio de Genética Vegetal de la Universidad de Oriente, Núcleo de Sucre.

HOJA DE METADATOS

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

Título	COMPOSTAJE DE RESIDUOS DEL CULTIVO DE <i>Aloe vera</i> (L.) Burm. f. (ASPHODELACEAE) 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	
Rodríguez R. Geraldine C.	CVLAC	24 253 741
	e-mail	<i>Geraldiner1610@gmail.com</i>
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Sábila
Agricultura
<i>Eisenia</i>
Germinación
Fitotoxicidad
Biofertilizante

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

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ciencias	Biología

Resumen (abstract):

Se evaluó las características fisicoquímicas del compost de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Asphodelaceae) y sus efectos sobre la morfología y reproducción de *Eisenia andrei*. En este estudio se caracterizó el proceso de compostaje aerobio de *A. vera* mediante el apilamiento a cielo abierto con volteos semanales en un área de bosque muy seco tropical de la ciudad de Cumana, estado Sucre. Para esto, se utilizó un diseño de pila cónica de 600 L, con una biomasa inicial de un metro de alto. El sustrato se preparó con bagazo de caña de azúcar (57%) estiércol de gallina (16%) y *Aloe vera* (27%), y al llegar a los 90 días de maduración, se tomó una muestra para la realización del análisis fisicoquímico, llevado a cabo por la empresa EDAFOFINCA. El proceso de compostaje de *A. vera* presentó una curva típica de temperatura y pH, mostrando un pico de 69-70°C entre los días 5 y 14 de experimentación y valores de pH que oscilaron entre 6,20 y 7,97, con tendencia a la alcalinidad durante las últimas semanas del proceso. Se alcanzó una reducción cercana al 84% del volumen inicial. El compost maduro de *A. vera* (90 días) es alcalino, con baja CE, relación C/N y concentración de Fe, valores aceptables de MO, C orgánico, N, P, Ca, Cu y Zn; y niveles elevados de K, Mg, Na, S y Mn. El test de germinación *in vitro* registró un IG de 93,15, lo que demuestra que se obtuvo un compost maduro, con baja o nula concentración de sustancias fitotóxicas. En el bioensayo con *Eisenia andrei*, se obtuvo que el mayor número de individuos juveniles fue contabilizado en el T_{0B} mientras que los adultos no clitelados fueron más abundantes en los tratamientos con el compost de *A. vera* (T_{0A}, T₄₅ y T₉₀). La biomasa de *E. andrei* mostró diferencias estadísticamente no significativas. Las lombrices adultas no cliteladas (ANC) exhiben las mayores biomásas, mientras que las adultas cliteladas (AC) registran las mayores longitudes, en todos los sustratos alimenticios. El producto final del proceso de compostaje de la mezcla de *A. vera*, bagazo de caña de azúcar y gallinaza, es un producto maduro, estable y con baja o nula presencia de sustancias fitotóxicas que puede ser recomendado para el uso comercial como biofertilizante de tierras agrícolas y como sustrato alimenticio y de 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-rodriuezg.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

CUN°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>Martínez</i>		
FECHA <i>5/8/09</i> HORA <i>5:30</i>	JUAN A. BOLAÑOS CUNVELO	
	Secretario	

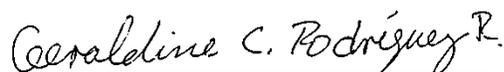
C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación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

JABC/YGC/maruja

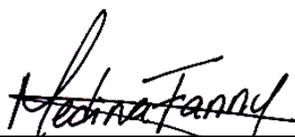
Apartado Correos 094 / Telfs: 4008042 - 4008044 / 8008045 Telefax: 4008043 / Cumaná - Venezuela

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”.



Geraldine C. Rodríguez R.
AUTORA



Fanny del V. Medina M.
TUTORA