

APROVECHAMIENTO DEL BUCHÓN DE AGUA *Eichhornia crassipes* Y EL ESTIÉRCOL DE BÚFALO PARA LA ELABORACIÓN DE UNA ENMIENDA ORGÁNICA EN LA RESERVA NATURAL POZO VERDE.



**APROVECHAMIENTO DEL BUCHÓN DE AGUA *Eichhornia crassipes* Y EL ESTIÉRCOL DE BÚFALO
PARA LA ELABORACIÓN DE UNA ENMIENDA ORGÁNICA EN LA RESERVA NATURAL POZO
VERDE.**

**CARLOS FERNANDO JIMÉNEZ GÓMEZ
LUZ KARIME LOZANO FRANCO**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
SANTIAGO DE CALI
2015**

**APROVECHAMIENTO DEL BUCHÓN DE AGUA *Eichhornia crassipes* Y EL ESTIÉRCOL DE BÚFALO
PARA LA ELABORACIÓN DE UNA ENMIENDA ORGÁNICA EN LA RESERVA NATURAL POZO
VERDE.**

**CARLOS FERNANDO JIMÉNEZ GÓMEZ
LUZ KARIME LOZANO FRANCO**

**FACULTAD DE INGENIERIA
Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**Director de tesis
DIANA MARIA DELGADO, Msc.
Profesora Universidad del Valle**

**Codirector
RAÚL MADRIÑAN, PhD
Profesor Universidad Nacional**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA
SANTIAGO DE CALI**

2015

NOTA DE APROBACIÓN

FIRMA DIRECTOR

FIRMA CODIRECTOR

FIRMA JURADO

FIRMA JURADO

DEDICATORIA

A:

Dios

Nuestros padres **ANGELA FRANCO, RICHARD LOZANO, MARÍA GÓMEZ Y FERNANDO JIMENEZ.**

Nuestras hermanas **DIANA y ALEJANDRA.**

Nuestros amigos y compañeros, con quienes hemos tenido el gusto de compartir este camino de la universidad y la formación profesional: **MANUEL, DAVID, ESTEFANIA, JAVIER, IVÁN, JUAN DAVID, YURY, ALEJANDRA, LORENA** y demás personas de quienes recibimos el apoyo para la realización de este proyecto.

Nuestros maestros, **DIANA MARÍA DELGADO, M.S.c Y RAÚL MADRIÑAN, PhD.**

AGRADECIMIENTOS

A:

Nuestros padres **ANGELA FRANCO, RICHARD LOZANO, MARÍA GÓMEZ Y FERNANDO JIMENEZ**, por su apoyo incondicional, sus ejemplos de perseverancia, sus consejos que nos ha permitido ser personas de bien, su constante motivación, pero sobre todo por su amor incondicional.

La **UNIVERSIDAD DEL VALLE**, por todos los conocimientos que nos permitió adquirir para nuestra formación como profesionales.

DIANA MARÍA DELGADO, M.S.c, por permitirnos hacer parte de su grupo de trabajo e involucramos en este proyecto y en su tesis Doctoral, por transmitir sus conocimientos y aconsejarnos en todos los aspectos de nuestras vidas, especialmente el profesional.

El señor **ALFONSO MADRIÑAN**, por permitirnos realizar esta investigación dentro de las instalaciones de la **RESERVA NATURAL POZO VERDE**.

CATHERINE GÓMEZ, MARCELA CARABALLÍ, DIANA CUERO, LUISA FERNANDA CUELLAR, MANUEL RÍOS, DIEGO TOVAR, JAVIER VARGAS, MARCELA NAVARRETE y EBERT HERNÁNDEZ, por su apoyo, paciencia y colaboración para el desarrollo de este trabajo.

MARIA FERNANDA VELASQUEZ por su colaboración, paciencia y apoyo durante nuestro recorrido en la universidad.

El biólogo **EUDES SANCHÉZ**, los Ingenieros **RAÚL MADRIÑAN, NORBERTO URRUTIA COBO, ALDEMAR REYES TRUJILLO, MARTHA CONSTANZA DAZA, WALDEMAR PEÑARETE MURCIA y JUAN CARLOS ORTÍZ**, por su apoyo, sugerencias y correcciones realizadas a este trabajo.

Todas aquellas personas que directa o indirectamente representaron un apoyo y motivación por la realización de este trabajo y la culminación de nuestros estudios profesionales .

¡Gracias a ustedes!

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
1 RESUMEN	1
2 INTRODUCCIÓN	2
3 PROBLEMÁTICA.....	4
4 JUSTIFICACIÓN.....	7
5 OBJETIVOS.....	9
5.1 OBJETIVO GENERAL	9
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	9
6 MARCO TEÓRICO	10
6.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO	10
6.2 ESTIÉRCOL DE BÚFALO	11
6.3 BUCHÓN DE AGUA	12
6.4 MARCO CONTEXTUAL	13
6.4.1 DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA	13
6.4.2 GEOLOGÍA DEL VALLE DEL CAUCA	14
6.4.3 SUELOS DE JAMUNDÍ (ZONA RESERVA NATURAL POZO VERDE)	14
6.4.4 RESERVA NATURAL POZO VERDE	15
6.5 PROCESO Y ETAPAS DEL COMPOSTAJE.....	15
6.5.1 FASE MESÓFILA	16
6.5.2 FASE TERMÓFILA O DE HIGIENIZACIÓN	16
6.5.3 FASE DE ENFRIAMIENTO O MESÓFILA II.....	16
6.5.4 FASE DE MADURACIÓN	17

6.6	CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE ABIERTO (PILAS DE COMPOSTAJE)	17
6.7	PARÁMETROS DE CONTROL	19
6.7.1	TEMPERATURA.....	19
6.7.2	AIREACIÓN.....	19
6.7.3	HUMEDAD.....	20
6.7.4	pH.....	20
6.7.5	VOLUMEN.....	20
6.7.6	CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO.	21
6.7.7	FACTORES NUTRICIONALES.	21
6.7.8	RELACIÓN C/N.	21
6.7.9	ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DEL COMPOSTAJE.	22
6.7.10	MATERIALES INICIALES.....	23
6.8	CRITERIOS DE CALIDAD DEL COMPOST.....	23
6.9	ENMIENDA ORGÁNICA.....	23
6.10	NORMATIVIDAD	25
7	DESARROLLO METODOLÓGICO	28
7.1	ÁREA DE ESTUDIO- UBICACIÓN.....	28
7.2	METODOLOGÍA.....	32
7.2.1	ETAPA I: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO	32
7.2.2	ETAPA II: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL COMPOST	34
7.2.3	ETAPA III: PARÁMETROS DE CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	
	38	
7.2.4	ETAPA IV: VARIABLES EVALUADAS Y DISEÑO ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	40
7.2.5	ETAPA V: EVALUACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA	41

8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
8.1	ETAPA I: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO	43
8.2	ETAPA II: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL COMPOST	49
8.3	ETAPA III: PARÁMETROS DE CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL...	50
8.4	ETAPA IV: VARIABLES EVALUADAS Y DISEÑO ESTADÍSTICO DEL COMPOSTAJE	52
8.5	ETAPA V: EVALUACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA	54
9	CONCLUSIONES	61
10	RECOMENDACIONES	63
11	BIBLIOGRAFÍA	64
12	ANEXOS	71
12.1	ANÁLISI DE SUELOS	71
12.1.1	ETAPA I	71
12.1.2	ETAPA V	75
12.2	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	77
12.2.1	ETAPA IV	77
12.2.2	ETAPA V	79

Índice de tablas

Tabla 1 Límite de metales pesados para enmiendas Orgánicas	26
Tabla 2 Variables del Suelo evaluadas en la ETAPA I	33
Tabla 3 Variables del Buchón de Agua y Estiércol de Búfalo evaluadas en la ETAPA I	33
Tabla 4 Resultados Pérdida Humedad	35
Tabla 5 Formulación Mezclas de Compost.....	37
Tabla 6 Etapa II: Proceso de elaboración del compost.....	38
Tabla 7 Tratamientos: Evaluación en campo.....	41
Tabla 8 Análisis inicial: Buchón de agua	43
Tabla 9 Análisis Inicial: Estiércol de Búfalo	43
Tabla 10 Análisis inicial: Suelo	48
Tabla 11 Análisis físico inicial suelos.....	48
Tabla 12 Análisis del agua de la laguna	48
Tabla 13 Humedad. MÉTODO: Pesos.....	71
Tabla 14 TEXTURA. MÉTODO: Bouyoucos.....	71
Tabla 15 Densidad Real. MÉTODO: Picnómetro.....	72
Tabla 16 Densidad Aparente. MÉTODO: Terrón Parafinado.....	73
Tabla 17 Porosidad Total. MÉTODO: Densidades	73
Tabla 18 Estabilidad de Agregados. MÉTODO: Yoder (Tamizado en húmedo)	74
Tabla 19 Resultados Densidad Aparente (Da)	75
Tabla 20 Resultados Densidad Real (Dr)	75
Tabla 21 Resultados Actividad Microbiana (AMS).....	76
Tabla 22 Resultados Biomasa Microbiana	76

Índice de Figuras

Figura 1 Cambios de la temperatura y del pH durante las diferentes etapas del compostaje. Fuente: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2009.	17
Figura 2 Dimensiones paralelepípedo.	18
Figura 3 Mapa de Ubicación del estudio. Fuente: Lozano, 2015.	28
Figura 4 Diagrama Metodológico.....	31
Figura 5 Caracterización: Laguna y materias primas para compostaje. Fuente: Lozano & Jiménez, 2014.	34
Figura 6 Recolección y acondicionamiento del material. Fuente: Lozano & Jiménez, 2014.	35

Figura 7 Construcción pilas de compostaje. Fuente: Lozano & Jiménez, 2015.	37
Figura 8 Arreglo Experimental de los tratamientos y sus repeticiones. Fuente: Lozano, 2015.	38
Figura 9 Puntos de muestreo-pH-Temperatura-Humedad. Fuente: Lozano & Jiménez, 2015.	39
Figura 10 Parámetros de Control para las etapas de compostaje.	51
Figura 11 Resultados pH	53
Figura 12 Resultados %Humedad	53
Figura 13 Gráfica de Interacción- AMS	58
Figura 14 Resultados Actividad Microbiana (AMS)	59
Figura 15 Probabilidad normal-pH	78
Figura 16 Homogeneidad de varianzas-pH	78
Figura 17 Probabilidad normal-Humedad	79
Figura 18 Homogeneidad de varianzas-Humedad	79
Figura 19 Probabilidad normal- %Germinación	76
Figura 20 Homogeneidad de varianzas- %Germinación	76
Figura 21 Probabilidad normal- Peso fresco	58
Figura 22 Homogeneidad de varianzas- Peso fresco	58
Figura 23 Probabilidad normal- Longitud de raíces	58
Figura 24 Homogeneidad de varianzas- Longitud de raíces	58
Figura 25 Probabilidad normal- Da	79
Figura 26 Homogeneidad de varianzas	79
Figura 27 Probabilidad normal- Dr	84
Figura 28 Homogeneidad de varianzas- Dr	84
Figura 29 Probabilidad normal- AMS	85
Figura 30 Homogeneidad de varianzas- AMS	85
Figura 31 Probabilidad normal- Biomasa Microbiana	88
Figura 32 Homogeneidad de varianzas- Biomasa Microbiana	88

1 RESUMEN

El aprovechamiento de los residuos vegetales y animales para la elaboración de enmiendas orgánicas se presenta como una alternativa para reducir el uso de fertilizantes químicos, promover una agricultura ecológica, al tiempo que proporciona materia orgánica al suelo y mejora su estructura. Con el interés de producir un abono orgánico con cualidades óptimas para ser utilizado como enmienda, se aprovecharon dos factores; la capacidad del buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) de acumular nutrientes (nitrógeno y fósforo) y la adición de estiércol bóvido rico en nitrógeno. En este trabajo se evaluaron en primera instancia la composición de los materiales iniciales, junto con la caracterización del suelo y el agua de la laguna de donde se realizó la extracción del buchón de agua. Seguidamente se evaluaron los parámetros físico-químicos (temperatura, humedad, pH, Nitrógeno total, Carbono Orgánico) de un proceso de compostaje utilizando tres tipos de mezcla; la primera compuesta por buchón de agua y pasto estrella (T1), la segunda compuesta por estiércol de búfalo y pasto estrella (T2), y finalmente la mezcla entre buchón de agua, estiércol de búfalo y pasto estrella (T3).

Las temperaturas registradas en las pilas T2 y T3 alcanzaron todos los rangos establecidos para cada una de las etapas del compostaje, mientras que solo una de las réplicas para las pilas T1 registró un valor máximo de 43°C, permaneciendo en un rango mesofílico. Al finalizar el proceso los tratamientos presentaron valores de pH entre 7,20- 8,53 cumpliendo con el rango de 4 – 9; la humedad promedio para T1 fue de 22,10%, para T2 de 19,82% y para T3 de 29,25%, siendo menor que 20% para materiales de origen animal y 35% para materiales de origen vegetal, cumpliendo con la humedad establecida. La calidad de cada uno de los compost se comparó con la NTC 5167 incluyendo las variables Nitrógeno total y Carbono Orgánico, y se encontró que la mejor mezcla fue la de estiércol de búfalo y pasto estrella.

Finalmente se evaluó la acción de la aplicación de cada uno de los abonos al suelo, a través de la siembra en macetas con dos dosificaciones de cada uno de los compost (25% y 50%). Las variables evaluadas fueron: porcentaje de germinación, peso fresco, elongación de raíces, Actividad y Biomasa Microbiana, Densidad aparente (Da) y Densidad Real (Dr). Se encontró que la enmienda mejoró las propiedades físicas del suelo.

Palabras clave: buchón de agua, estiércol de búfalo, pH, humedad, enmienda.

2 INTRODUCCIÓN

El avance de las técnicas de producción agrícola y los cambios en el uso del suelo, han generado un proceso de degradación de los recursos naturales suelo, agua, aire, diversidad biológica y genética. En la actualidad uno de los problemas más relevantes es el manejo inadecuado y deterioro del suelo, causado generalmente por prácticas agrícolas inadecuadas; perdiendo el horizonte de lo que es la agricultura “ciencia y arte de obtener mediante el uso correcto y económico de los recursos naturales, productos vegetales y animales con el objetivo de brindar bienestar y salud al hombre” (León, 1962). Las consecuencias del inapropiado manejo del suelo han llegado a provocar que algunos de los sistemas de producción con los que se cuenta hoy en día sean insostenibles.

Con el fin de mejorar e incrementar la producción de alimentos debido al crecimiento poblacional acelerado presentado en las últimas décadas, se ha acudido a lo que comúnmente se conoce como agricultura tecnificada, que depende en gran medida de la ingeniería, la tecnología y las ciencias biológicas y físicas, multiplicando la eficiencia y la productividad de las plantaciones agrícolas. Estos procesos han dejado huella en su camino causando disminución del potencial hídrico del mundo, destrucción de ecosistemas para la expansión de la frontera agrícola, convirtiendo zonas de gran fertilidad en desiertos, generando contaminación y degradación de suelos. Situación presentada en el desierto de Sonora en Baja California Sur, pues debido a una agricultura marginal se ha presentado una severa erosión del suelo (Bashan et al., 2004). Todos esos aspectos se traducen en sucesivas pérdidas de nutrientes, estructura y materia orgánica por parte del suelo; efectos que a través del tiempo afectan de forma directa la calidad de este recurso.

Las condiciones del suelo están relacionadas con variables climáticas, geomorfológicas, y biológicas, que contribuyen a la formación de sus propiedades; por esta razón resulta complejo medir o cuantificar la condición de calidad del suelo. La evaluación de la calidad permite mejorar la respuesta de los recursos, como son: pérdida del suelo por erosión, depósitos de sedimento por viento o inundación, reducción de infiltración, endurecimiento de la capa superficial, pérdida de nutrientes, transporte de pesticidas, cambios en el pH, aumento de la disponibilidad de metales pesados, pérdida de materia orgánica, reducción de la actividad biológica, infestación de organismos patógenos y reducción de calidad de agua (NRCS, 2004).

La materia orgánica es uno de los parámetros más importantes en el suelo, aunque su porcentaje sea relativamente bajo en comparación con los demás componentes de éste, alrededor del 5%; siendo un parámetro muy importante, ya que mejora muchas de las propiedades físicas, químicas y biológicas. Por

lo tanto la recuperación y regeneración de suelos a través de la restitución de la materia orgánica es de vital importancia (Jaramillo, 2002).

Entre los materiales orgánicos de origen biológico aportados por el hombre a los agroecosistemas están los restos de cosecha y alimento, estiércoles, entre otros. Sin embargo surge la necesidad de buscar otras alternativas que promuevan una agricultura ecológica, haciendo uso de técnicas de biorremediación, que aporten nutrientes y materia orgánica al suelo de forma eficiente y económica.

El buchón de agua (*Eichhornia crassipes*), planta heliófila que se desarrolla de manera óptima en aguas con valores de pH de 4-10, temperaturas de 21-30 °C y es de fácil propagación (Center et al., 2002), podría utilizarse para restituir las características orgánicas del suelo, por medio del uso del compostaje como técnica aplicada para mejorar sus características.

Con este trabajo se pretende encontrar una alternativa ecológica de uso para el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*) y el estiércol de búfalo, aprovechando sus características físico-químicas para la elaboración de una enmienda orgánica a través de la técnica de compostaje en la Reserva Natural Pozo Verde.

3 PROBLEMÁTICA

Los suelos constituyen un sistema vital de gran relevancia, bajo el solo argumento de que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de ellos (López, 2002).

El uso de este recurso en actividades agrícolas constituye una modificación de su entorno. Como respuesta a ello el suelo reacciona y si este se ha llegado a manipular de forma inapropiada, se producen cambios negativos en sus propiedades y puede llegar a degradarse.

Entre los principales agentes contaminantes que inciden en la degradación del suelo está el uso de agroquímicos, especialmente de fertilizantes inorgánicos, pues aun cuando se cree que son esenciales en la agricultura para lograr un alto rendimiento en los cultivos, pueden llegar a convertirse, dependiendo de las cantidades y del sistema de manejo aplicado, en un riesgo de alta contaminación para el ambiente (López, 2002).

Los fertilizantes son sustancias químicas de origen agrícola (fertilizantes inorgánicos) o ganadero (purines, estiércoles, compost, etc.) que aportan nutrientes, fundamentalmente Nitrógeno (N) y Fósforo (P), para mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas en el suelo (Ortiz et al, 2004).

Es importante destacar que el aumento del rendimiento de los principales cultivos conseguido durante los últimos 50 años en los países desarrollados se atribuye fundamentalmente a la utilización de fertilizantes. Desde finales de los años cuarenta hasta los últimos años del decenio de 1990, los rendimientos medios del trigo aumentaron de 1.100 a más de 2.600 kg/ha en los Estados Unidos, mientras que el empleo de fertilizante pasó de 20 a 120 kg/ha de tierra cultivable. En Francia, los rendimientos aumentaron de 1.800 a 7.100 kg/ha y el uso de fertilizante de 45 a 250 kg. Hacia el año 2.000 en Europa los rendimientos del trigo y maíz superaron los 10.000 kg/ha, con una aplicación de fertilizantes de alrededor de 200 kg de nitrógeno, 50 kg de fosfato y 50 kg de potasio por hectárea (FAO, 2000). No obstante, los productos que nacen bajo tales condiciones aunque son grandes y aparentemente sanos, son casi insípidos y de coloración artificial.

Sin embargo, cuando los fertilizantes son aplicados de forma excesiva pierden su efecto beneficioso. El exceso de N y P no puede ser absorbido por la vegetación y su lixiviado del suelo en forma sobre todo de nitratos o a través de las aguas de escorrentía en el caso de los fosfatos da lugar a problemas de eutrofización de las aguas superficiales y subterráneas, estimulando el exagerado crecimiento de biomasa

y aumentando la demanda biológica de oxígeno para descomponer y degradar la materia orgánica procedente de esa biomasa que puede terminar creando condiciones de anaerobiosis que lleven a la destrucción de ese ecosistema (Ortiz et al, 2004).

El uso de ciertos fertilizantes nitrogenados tiene efecto sobre la acidez del suelo, pues las aplicaciones superficiales del nitrógeno reducen el pH y como resultado reducen el efecto de ciertos herbicidas. En particular, los fertilizantes amoniacales como la urea y los fosfatos mono- y biamónico, son transformados en nitratos a través del proceso de nitrificación, liberando ácidos y, por lo tanto, incrementando la acidez de la parte superior del suelo (FAO, 2002)

Puesto que la mayoría de los sistemas de producción agropecuarios empleados no solo en nuestro país, sino a nivel mundial son usuarios directos de los productos anteriormente mencionados, calificados como insostenibles, la tendencia es la utilización de metodologías calificadas como sostenibles entre ellas sistemas de producción que no suministran fertilizantes químicos a los cultivos o praderas, no utilizan productos químicos para control de malezas y plagas, entre otras actividades (Cotes y Cotes, 2005).

Aunque en defensa de los fertilizantes artificiales se plantea que la población del mundo no podría alimentarse si se interrumpiese su utilización, actualmente existen otras formas más efectivas y económicas que logran incrementar la cantidad y la calidad de los productos producidos en el campo y benefician en un gran porcentaje las propiedades del suelo, especialmente aumentando el contenido de materia orgánica en él. Lo anterior hace referencia a sistemas de producción sostenibles, que involucren la Agricultura Ecológica, pues desde hace varios años y en virtud de diversas leyes y programas de certificación, casi todos los insumos sintéticos están prohibidos, y "la reconstrucción del suelo" mediante rotación de cultivos son obligatorios (FAO, 1999).

Debido a esto, se puede observar que la implementación de prácticas ecológicas, como la fertilización orgánica cobra más importancia no solo en nuestro departamento, sino en toda Colombia. Pues según Resolución número 00074 de 2002, existe una demanda nacional e internacional cada vez mayor de productos agropecuarios primarios y elaborados, obtenidos por sistemas de producción ecológica.

En este contexto la Granja Pozo Verde, ubicada en el municipio de Jamundí, se acoge a las diversas prácticas enmarcadas en la implementación de la Agricultura Ecológica. Desafortunadamente se observa la carencia de algunos de los procesos demandados en cuanto a la aplicación de los abonos orgánicos, pues estos requieren de un proceso de descomposición previa denominado compostaje, ya que la

aplicación directa de dichos abonos como el estiércol, o los residuos de cosecha pueden modificar negativamente las condiciones y propiedades del suelo. Lo cual hace necesario la producción de una enmienda orgánica a partir de un proceso de compostaje.

En este proceso de compostaje se deben tener en cuenta materiales propios del lugar y algunos que puedan beneficiar con su extracción a la Granja, como por ejemplo el buchón de agua, pues este presenta proliferación excesiva y a través del tiempo se ha presentado como un excelente material para compostar.

En términos generales de no llevarse a cabo los procesos de compostaje en los abonos para su posterior aplicación como enmienda orgánica, los suelos de la Granja pueden volverse improductivos y no solo éstos, pues si dichas prácticas inadecuadas son seguidas en toda la región se pueden tener problemas mayores a los que se presentan en la actualidad, teniendo en cuenta que este proceso es necesario para obtener un material inocuo que mediante su aplicación se promueve la recuperación de los suelos que han sido degradados o tiene falencias de nutrientes o materia orgánica en su composición.

4 JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de actividades agrícolas, ganaderas, mineras e industriales, ha contribuido a la degradación del suelo, afectando de manera directa las propiedades de éste, disminuyendo la capacidad de retención del agua, aumentando los niveles de toxicidad y compactación del suelo, entre otros. Cabe resaltar el aumento en la generación de residuos abastecidos de elementos altamente tóxicos por parte de las industrias, visto como uno de los problemas más relevantes a nivel mundial, pues produce efectos nocivos en la salud de la población y genera un desequilibrio en los ecosistemas (Cortes y Cortes, 2005).

Esta problemática se viene presentando en la laguna ubicada en la Granja Pozo verde, Jamundí, que se abastece del Río Claro, afluente que se encuentra condicionado a una serie de factores tanto naturales como antrópicos, relacionados con la degradación de áreas debido al uso inadecuado del suelo, contaminación hídrica por descargas de aguas servidas tanto de centros urbanos como de asentamientos; deterioro del suelo, y diversos impactos negativos de la actividad humana en general.

Uno de los problemas más relevantes que presenta la laguna es la proliferación acelerada del buchón de agua, pues dicho acuífero cuenta con 9 ha, en donde más del 50% de su extensión se encuentra cubierto por buchón y otras especies acuáticas, siendo ésta la especie que mayor espacio ocupa y la de mayor tasa de reproducción pudiendo duplicarse en tan solo 12 días (Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, 2009).

El buchón de agua es denominado generalmente como “maleza acuática” que solo crece en cuerpos acuíferos con un alto índice de contaminación y cuyo rápido crecimiento restringe el desarrollo de la biota en éstos, de difícil control, pero que cuenta con la capacidad de captar nutrientes y algunos metales pesados en medios con alta carga orgánica, lo que permite purificar en alto grado las aguas contaminadas por la agricultura y la industria.

En este sentido se han encontrado diversas alternativas para la utilización del buchón, como la fitorrecuperación, que según Ortiz Bernad *et al.* (2007) promueve el uso de la capacidad de ciertas especies vegetales para sobrevivir en ambientes contaminados con metales pesados y sustancias orgánicas para extraer, acumular, inmovilizar o transformar estos contaminantes del suelo; otra de las alternativas es la elaboración de compost, proceso que permite transformar compuestos orgánicos tóxicos en sustancias inocuas (USEPA, 1996), técnica en la cual debido a la propiedad de absorción y almacenamiento de nutrientes por parte del buchón y al contenido de éstos en el estiércol de búfalo, se le

puede devolver cierto porcentaje significativo de materia orgánica al suelo y contribuir al mejoramiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de éste, a través de su aplicación como enmienda orgánica.

Sin embargo, hasta el momento no se han realizado investigaciones del uso del buchón de gua en conjunto con el estiércol de búfalo para la obtención de una enmienda orgánica, en este sentido se carece de información referente a la realización de compostaje del buchón de gua por sí solo y en el caso del estiércol de búfalo no existen registros de estudios en el Trópico de la realización y caracterización del compostaje ni su uso como enmienda orgánica.

Con base en lo anterior, los propósitos para realizar este trabajo son:

1. Presentar una alternativa ecológica de uso para el aprovechamiento del buchón de agua y estiércol de búfalo como materia prima para la realización de una enmienda orgánica, que promueva el incremento de materia orgánica en el suelo.
2. Establecer el efecto en el suelo de la aplicación de la enmienda orgánica procedente del compostaje tanto del buchón de agua como del estiércol de búfalo y la unión entre estos dos.
3. Ampliar la investigación en nuestro país para el uso alterno del buchón de agua en el proceso de compostaje y realizar investigación pionera del uso del estiércol de búfalo y su combinación con el buchón de agua para la realización de una enmienda orgánica.

5 OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una enmienda orgánica a base de buchón de agua y estiércol de búfalo como una alternativa ecológica en la laguna de la Reserva Natural Pozo Verde, Municipio de Jamundí (Valle).

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la composición fisicoquímica del agua de la laguna en la Reserva Natural Pozo Verde, del buchón de agua y del estiércol de búfalo.
- Comparar los diferentes tipos de compostaje a partir del buchón de agua y estiércol de búfalo e identificar la mejor composición.
- Evaluar la calidad de la enmienda en laboratorio y la incidencia de su aplicación en el suelo.

6 MARCO TEÓRICO

6.1 DEGRADACIÓN DEL SUELO

Los suelos constituyen un sistema de vital importancia. Además de ser la base para la producción de biomasa, el suelo cumple otras funciones importantes para la vida humana. Por una parte actúan filtrando, amortiguando y transformando compuestos adversos que contaminan el ambiente, protegiendo así de la polución la cadena alimenticia y el agua subterránea; también comprenden la reserva de genes, la cual es más completa en calidad y cantidad que la de toda la biota sobre la tierra (Blum, 1998). Por otro lado, los suelos permiten el establecimiento de obras de infraestructura, instalaciones industriales, sistemas de transporte, espacios para las actividades de recreación, y son también usados como receptores de residuos y desechos de las actividades humanas.

En términos generales el suelo es el sustrato en el cual se localiza y desarrollan múltiples actividades del hombre, razón por la cual se considera un recurso multifuncional. Así, el significado del término suelo puede variar de acuerdo a la utilización o función que se considere (DGMA, 1984).

La degradación acelerada e irreversible del recurso suelo, es considerada como una de los mayores peligros para la humanidad en el presente; en una primera aproximación, es definida por Blum (1998) como un desbalance de alguna de las funciones del suelo que pueden ser causa de su deterioro físico, químico y biológico, y hasta de su total destrucción. En este sentido, FAO-PNUMA (1983), presenta la degradación como un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios. Aunque se puede producir por causas naturales, la degradación del suelo es fundamentalmente la consecuencia directa de su utilización por el hombre, bien como resultado de actuaciones directas, como actividades agrícolas, forestales, ganaderas, agroquímicas y riego, o por acciones indirectas, como son las actividades industriales, eliminación de residuos, transporte, etc. Estos procesos de degradación se pueden clasificar en función de su naturaleza y del tipo de consecuencias negativas que provocan en las propiedades del suelo: biológicos, como la disminución del contenido en materia orgánica incorporada en el suelo; físicos, como el deterioro de la estructura del suelo por compactación y aumento de la densidad aparente, la disminución de la permeabilidad y de la capacidad de retención de agua o pérdida de suelo por erosión; y químicos, como la pérdida de elementos nutrientes, acidificación, salinización, sodificación y aumento de la toxicidad.

Sin embargo su extensión e impacto en el bienestar de la humanidad y en el ambiente en general alcanza hoy, más que nunca proporciones descomunales y alarmantes, pues no solo socaba la capacidad productiva de los ecosistemas sino que también tiene efectos importantes sobre los cambios climáticos globales por medio de alteraciones en los balances de agua y energía, y en los ciclos del carbono, nitrógeno, azufre y de otros elementos. Ello conlleva a que se considere que la degradación de los suelos amenaza y afecta la estructura de la humanidad, en su conquista de la tierra a través de los años (López, 2002).

6.2 ESTIÉRCOL DE BÚFALO

El estiércol contiene un buen número de nutrientes necesarios para las plantas. Casi la mitad del nitrógeno que contiene el estiércol está en forma amoniacal, si se maneja bien, es disponible casi inmediatamente después de su aplicación en el suelo para las plantas. El resto se encuentra en diversos compuestos orgánicos y no está disponible para las plantas, por lo cual se establece el compostaje como alternativa que facilita la disponibilidad de este elemento para la planta. El nitrógeno orgánico debe ser convertido a nitrógeno amoniacal antes de ser absorbido por las plantas. La liberación de nitrógeno a partir del nitrógeno orgánico es un proceso microbiano que está regulado por la temperatura y humedad del suelo y que continúa por dos o tres años después de ser aplicado al suelo. Entre 25 y 75 por ciento del nitrógeno en el estiércol está disponible durante el año en que se aplicó, esto dependiendo del tipo de estiércol y la forma en que se ha manejado. Aproximadamente la mitad del nitrógeno será liberada al año siguiente y así sucesivamente. En el caso del búfalo, por ser un animal de mayor peso produce diariamente más estiércol y este presenta unas características ideales para la producción de abonos y enmiendas orgánicas, ya que el búfalo presenta una buena conversión alimenticia (Roberts, 2007).

Mucho más del 95% de todo el desperdicio animal puede ser usado como fertilizante para la aplicación en el campo. Los nutrientes encontrados en el estiércol ayudan a construir y mantener la fertilidad del suelo, y su valor económico es calculado por la disponibilidad de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). El estiércol debe de ser aplicado en el campo cuidadosamente porque el exceso puede alterar el crecimiento de los cultivos, contaminar el suelo, ocasionar contaminación del agua superficial y subterránea, y desperdiciar nutrientes. Las mezclas de estiércol que son tratadas anaeróbicamente producen Biogás y un líquido estable. El biogás contiene entre 40% al 60% de metano por volumen y puede ser utilizado para encender un generador de motor para producir electricidad, o puede ser quemado para producir calor, la desventaja es que el gas tiene un rendimiento bajo (como 600 BTU por pie cúbico) y es corrosivo para las

máquinas generadoras debido a que conserva el sulfuro de hidrógeno. Este proceso también es muy caro para ser construido y mantenido (Fundación para la Investigación de Purdue, 1996).

6.3 BUCHÓN DE AGUA

El buchón o Jacinto de agua *Eichhornia crassipes* es una de las plantas acuáticas más ampliamente distribuidas en el trópico americano. Presenta un color verde brillante y sus peciolo inflados sobresalen en la superficie, partiendo todos de un punto central. Sus raíces son filamentosas, fibrosas, alcanzan muchas veces un metro o más de longitud (Jafari, 2010).

Por lo regular, *Eichhornia* comienza a desarrollarse en las márgenes de lagos y represas, pero de acuerdo con el estado de eutrofización, puede invadir rápidamente las aguas abiertas. Con el tiempo, estas plantas pueden conformar islotes flotantes e invadir todo el espejo de agua. Estas plantas también se pueden desarrollar en zonas de ríos donde el agua posee poco movimiento (Roldán et al., 2008). Fue descrita por primera vez en Brasil, pero se cree que es originaria de Puerto Rico (Weldon et al., 1973).

La tasa de crecimiento del Jacinto de agua es de las más altas en cuanto a plantas conocidas, pudiéndose duplicar en tan solo 12 días (Aquatic Ecosystem Restoration Foundation, 2009). Esta alta capacidad reproductiva promueve la formación de colonias que en su conjunto reducen el flujo de agua en los embalses y limitan la cantidad de oxígeno, restringen la navegación y el crecimiento de otras plantas acuáticas. Debido a lo anterior, el buchón de agua es considerado una de las malezas invasoras más perjudiciales a nivel mundial. Los hábitats para esta planta han oscilado entre los estanques temporales poco profundos, pantanos y las aguas que fluyen lentas a los grandes lagos, ríos y embalses. En los cuerpos de agua temporales, las plantas a menudo tienen que sobrevivir en el barro húmedo durante períodos prolongados (Gopal, 1987). Los nutrientes proporcionados por los diferentes hábitats difieren ampliamente. Comprenden desde las aguas limpias que son pobres en nutrientes primarios, como ríos y embalses a aguas contaminadas con grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica, como es el caso de las lagunas de aguas residuales. Además, estas aguas pueden recibir una variedad de efluentes industriales inorgánicos que contienen metales pesados, condición que no interfiere con el crecimiento del buchón, ya que una de sus características es absorber este tipo de sustancias.

Estas características han promovido el uso de esta planta mediante diferentes alternativas, como fitorremediación, en donde es utilizado para la eliminación de metales pesados y otros contaminantes. El

buchón es ideal para el compostaje, aumentando la fertilidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y en general mejorando la calidad del suelo.

6.4 MARCO CONTEXTUAL

6.4.1 DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA

Departamento situado al suroccidente del país, formando parte de las regiones andina y pacífica; localizado entre los 05

0 02' 08" y 03° 04' 02" de latitud norte y a los 72° 42' 27" y 74° 27' 13" de longitud oeste. La superficie es de 22.140 km², y limita por el norte, con los departamentos del Chocó, Caldas y del Quindío; por el este, con los departamentos del Quindío y del Tolima; por el sur, con el departamento del Cauca; y por el oeste, con el océano Pacífico y el departamento del Chocó (FONADE, 2011).

De oriente a occidente, el territorio está constituido por cuatro unidades fisiográficas: la llanura del Pacífico, en donde se distingue una faja costera o andén aluvial, después de esta faja litoral comienza la llanura selvática, que se extiende hasta las estribaciones cordilleranas; la cordillera Occidental que se extiende por el Departamento en dirección sureste – norte; el valle del río Cauca, que es una planicie originada por una depresión tectónica interandina; y la vertiente occidental de la cordillera Central que comprende la vertiente del valle del río Cauca y el macizo central o área de páramos. Las numerosas corrientes conforman dos vertientes, la del Pacífico y la del Magdalena, a través del río Cauca (FONADE, 2011).

La llanura del Pacífico es muy húmeda y presenta un régimen pluviométrico monomodal, en el cual la época de mayores lluvias se presenta en el segundo semestre del año; las lluvias aumentan en el litoral hacia la cordillera y las temperaturas superan los 24°C. El área plana del Valle del Cauca tiene un régimen pluviométrico bimodal y presenta dos períodos de mayores lluvias, de marzo a mayo, y de septiembre a noviembre; el área montañosa de ladera tiene períodos más amplios y de mayores lluvias que van de marzo a junio y de septiembre a diciembre. Hacen parte del Departamento, el santuario de fauna y flora Isla Malpelo, parte de los parques nacionales naturales Los Farallones, Tatamá y Las Hermosas (FONADE, 2011).

La actividad económica más importante es la agricultura. Entre los cultivos más importantes, están: caña de azúcar, caña panelera, frutales, entre otros. Además, existe una buena producción de ganados vacuno, porcino, equino, mular, asnal, caprino y ovino. La pesca artesanal e industrial en la región del litoral

Pacífico, se realiza tanto para el consumo interno como para la exportación. La explotación de madera se realiza principalmente en el occidente del Departamento. Los principales productos de explotación minera, son: carbón, oro, plata, platino, además de arenas de río, gravas y gravillas, piedra de enchapado y calizas. La industria constituye una de los sectores más importantes del Departamento. La mayor actividad comercial se encuentra en los centros urbanos de: Cali, Buenaventura, Palmira, Buga, Tuluá, Cartago, Sevilla, Zarzal, Candelaria, Lérída, Pradera, Roldanillo y Caicedonia (FONADE, 2011).

6.4.2 GEOLOGÍA DEL VALLE DEL CAUCA

La Geología del Valle del Cauca se enmarca dentro de cuatro regiones morfológicamente bien definidas que a su vez presentan formaciones rocosas características con diversa edad y origen; la llanura costera del Pacífico al occidente, la Cordillera Occidental, el valle geográfico del Río Cauca y el flanco occidental de la Cordillera Central. Es así como basados en la historia geológica, se definen diversos eventos que en la naturaleza están representados por las rocas ígneas intrusivas (batolitos de Buga, de Ibagué, de Santa Bárbara entre los principales), metamórficas (p.e. Complejos Rosario, Bugalagrande y Rosario), volcánicas (principalmente formación Volcánica en la cordillera occidental y formación Amaime en la cordillera central), y en menor proporción rocas sedimentarias más recientes (terreno Quebradagrande, formación La Paila, etc.) (NIVIA, A. INGEOMINAS, 1991).

6.4.3 SUELOS DE JAMUNDÍ (ZONA RESERVA NATURAL POZO VERDE)

Los suelos de Asociación Guachinte se encuentran distribuidos a lo largo del río Timba, en el sector sur de la Campanera en el municipio de Jamundí y en alturas entre los 1.000 y 1.200 metros sobre el nivel del mar. La naturaleza de los materiales originarios, son depósitos aluviales y coluviales variados. El relieve es plano con pendientes menores del 3%. Las texturas de los horizontes superiores son moderadamente finas; de colores pardo grisáceo muy oscuro, pardo a pardo oscuro y gris oscuro con moteos pardo grisáceos, variando en los subyacentes entre moderadamente finas, medias y moderadamente gruesas, de colores gris a pardo grisáceo y pardo amarillento a pardo grisáceo oscuro con moteos rojos amarillentos (IGAC y CVC, 1997).

El conjunto Guachinte se localiza hacia la zona de mayor influencia del río, por lo cual su drenaje es imperfecto debido a las oscilaciones del nivel freático; en cambio el conjunto La Ventura que se localiza hacia la zona más alejada del río, presenta un mejor drenaje. En general, estos suelos son moderadamente profundos a causa del nivel freático fluctuante (IGAC y CVC, 1997).

6.4.4 RESERVA NATURAL POZO VERDE

La Reserva Natural Pozo Verde (3°17'N76°35'O) localizada en el municipio de Jamundí (Valle del Cauca) a una elevación de 1000 msnm, con una precipitación promedio anual de 1800 mm y temperatura promedio de 24°C, condiciones que la clasifican como Bosque Seco Tropical. La reserva abarca una extensión de 50 ha, funciona como una granja pecuaria, además posee estanques dedicados al cultivo de plantas acuáticas, árboles forrajeros y caña de azúcar.

Los suelos de la reserva corresponden a la consociación de la familia Aquertic Haplustalfs, muy fina, isohipertérmica (TT). Esta unidad se localiza en el cuerpo y base de los abanicos aluviales subrecientes formados al pie de la cordillera occidental, entre la ciudad de Santiago de Cali y el corregimiento de Robles en límites con el departamento del Cauca. En general, presenta relieves de forma plana y amplitud muy larga. Los suelos se han desarrollado en aluviones finos; son imperfectamente drenados, superficiales limitados por el nivel freático, fuertemente ácidos, de fertilidad moderada y se encuentra artificialmente drenada (IGAC, 2004).

La vegetación natural ha sido destruida. El uso actual es la ganadería extensiva tipo vacuno y la agricultura con cultivos de caña y arroz. Los suelos presentan limitaciones muy severas para la agricultura y la ganadería debido a las texturas muy finas (IGAC, 2004).

Químicamente son suelos de alta capacidad catiónica de cambio, medianos en bases totales, medianos en carbono orgánico, bajos en fósforo disponible, relación calcio: magnesio normal en superficie e invertida en profundidad y reacción muy fuertemente ácida a neutra (pH 5.0 a 7.0) (IGAC, 2004).

6.5 PROCESO Y ETAPAS DEL COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso en el cual se transforma, se estabiliza y se libera de patógenos, ya sea material vegetal, residuos animales o la mezcla de estos dos. Según Cegarra (1994), el compost es el producto estabilizado e higienizado que se obtiene de la descomposición biológica oxidativa de materiales orgánicos frescos de desechos animales y vegetales.

Para obtener este producto, se mezclan materiales que pueden ser estiércoles, aserrín, restos de cosecha, basuras, etc. y se someten a un proceso de descomposición aeróbica, en la cual, la principal transformación la sufren los carbohidratos y las proteínas (Jaramillo, 2002).

Las diferentes técnicas de compostaje se dividen generalmente en: sistemas abiertos, ya sea en pilas estáticas o con volteo, en los cuales los restos son previamente triturados, luego se apilan en montones de determinadas dimensiones; y están los sistemas cerrados, en donde el proceso ocurre en reactores verticales u horizontales. Estos métodos buscan la eficacia del proceso, mediante niveles óptimos en parámetros como el contenido en oxígeno, humedad y temperatura.

Durante el proceso de compostaje se pueden distinguir varias fases (FAO, 2013):

6.5.1 FASE MESÓFILA

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Debido a la actividad microbiana, la temperatura aumenta progresivamente, pues en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor.

La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH desciende (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase puede durar entre dos y ocho días.

6.5.2 FASE TERMÓFILA O DE HIGIENIZACIÓN

Cuando el material alcanza temperaturas superiores a los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. La elevada temperatura provoca esterilización del medio, eliminando patógenos, larvas y semillas. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, entre otros factores.

6.5.3 FASE DE ENFRIAMIENTO O MESÓFILA II

En esta fase la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C, debido al agotamiento de las fuentes de carbono y en especial las de nitrógeno. Al bajar de 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

6.5.4 FASE DE MADURACIÓN

Es un periodo que demora meses a temperatura ambiente, durante las cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos. Al terminar la maduración, la materia orgánica inicial se ha transformado en un producto estable.

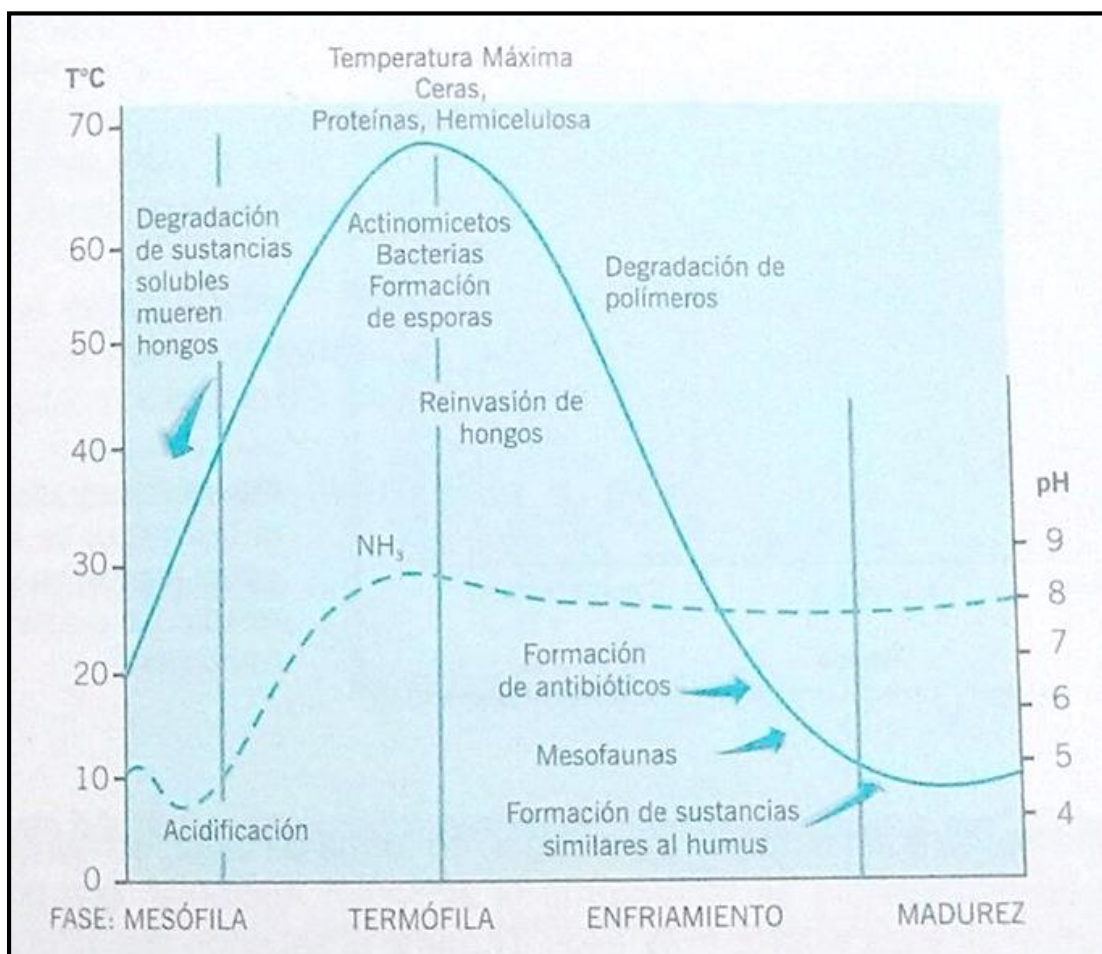


Figura 1 Cambios de la temperatura y del pH durante las diferentes etapas del compostaje. Fuente: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 2009.

6.6 CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE ABIERTO (PILAS DE COMPOSTAJE)

Antes de comenzar con el proceso de compostaje, se deben calcular las dimensiones, el volumen y la proporción de materiales de las pilas.

6.6.1.1.1 Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la cantidad de material a compostar

Para el cálculo de las dimensiones de la pila a partir de la cantidad de material a compostar se utiliza la ecuación del volumen de un paralelepípedo (1) como medida aproximada del volumen de una pila (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

$$\text{Volumen paraleleípedo} = X * Y * Z \quad (1)$$

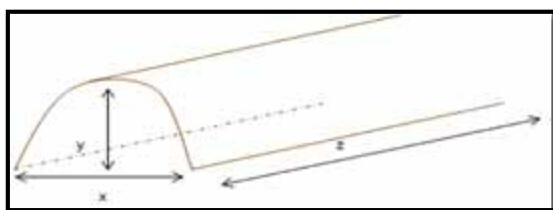


Figura 2 Dimensiones paralelepípedo.

Las pilas de compostaje deben cumplir con un volumen mínimo de 1 m³, de acuerdo a esto se debe contar con una densidad mínima para cumplir con los requerimientos. Con estos requerimientos se supone una altura (Y) y un ancho (X) para encontrar la longitud de la pila (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

$$\text{Densidad pila} = \frac{\text{Cantidad material a compostar (Kg)}}{\text{Volumen de la pila (m}^3\text{)}} \quad (2)$$

6.6.1.1.2 Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir de la necesidad de composta final

Teniendo en cuenta que durante el proceso de compostaje se pierde aproximadamente un 50% de material, se calcula que el material de partida deberá ser el doble del material final (Román, Martínez, & Pantoja, 2013).

Partiendo de lo anterior se calcula el volumen a partir de la densidad necesaria de composta final y a partir de éste se calcula el área de la pila.

$$\text{Área de la pila} = (\text{largo} * \text{ancho}) + (\text{largo} * \text{alto}) + (\text{ancho} * \text{alto}) \quad (3)$$

6.6.1.1.3 Cálculo de las dimensiones de una pila de compostaje a partir del área disponible para realizar el compostaje

Si se tiene como factor limitante el área donde se va a realizar el compostaje, entonces el valor fijo será el área base (la longitud y el ancho de la pila). Se suele dejar un 15% de área de contingencia, pues parte del material suele rodar de ésta (FAO, 2013).

Con base en lo anterior se calcula el volumen de la pila y la densidad del material a compostar.

6.7 PARÁMETROS DE CONTROL

Los criterios de control son aquellos que afectan el proceso de formación del compost, específicamente los que pueden alterar la estabilidad de los microorganismos, ya que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos. Entre estos parámetros se encuentran la humedad, aireación, temperatura, pH, Nutrientes, relación C/N, capacidad de intercambio catiónico, tiempo de composta, volumen y población y actividad microbiana.

6.7.1 TEMPERATURA.

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila o fase de latencia, termófila, enfriamiento (mesófila) y maduración. La temperatura se debe controlar, ya que, por una parte, las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos (inifat, 2002).

6.7.2 AIREACIÓN.

Es un factor importante en el proceso de compostaje y, por tanto, un parámetro a controlar. El proceso de compostaje es un proceso aerobio, por lo que se necesita la presencia de oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos. La aireación tiene un doble objetivo, aportar por una parte el oxígeno suficiente a los microorganismos y permitir al máximo la evacuación del dióxido de carbono producido. La aireación debe mantenerse en unos niveles adecuados teniendo en cuenta además que las necesidades de oxígeno varían a lo largo del proceso, siendo bajas en la fase mesófila, alcanzando el máximo en la fase termófila y disminuyendo de nuevo al final del proceso. La aireación no debe ser excesiva, puesto

que pueden producir variaciones en la temperatura y en el contenido en humedad. Así, por ejemplo, un exceso de ventilación puede provocar evaporación que inhibirá la actividad microbiológica y detener el proceso de compostaje. Esto podría dar la impresión de que el proceso ha concluido. Por otra parte, el exceso de ventilación incrementaría considerablemente los gastos de producción (inifat, 2002).

6.7.3 HUMEDAD.

La humedad es un factor muy relacionado con el anterior. Los microorganismos necesitan agua como vehículo para transportar los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima se puede situar alrededor del 55% aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad disminuye demasiado, disminuye la actividad microbiana con lo cual el producto obtenido será biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta, el agua saturará los poros e interferirá la distribución del aire a través del compost. en procesos en los cuales los principales componentes sean sustratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas se necesita una mayor humedad, mientras en materiales como los residuos de alimentación, etc., la humedad necesaria es mucho menor (inifat, 2002).

6.7.4 PH.

Durante el proceso de compostaje, se producen fenómenos o procesos que hacen variar este parámetro. Al principio y como consecuencia del metabolismo, fundamentalmente bacteriano, que transforma los complejos carbonados de fácil descomposición en ácidos orgánicos, el pH desciende; seguidamente el pH aumenta como consecuencia de la formación de amoníaco, alcanzando el valor más alto (8,5), coincidiendo con el máximo de actividad de la fase termófila. Finalmente, el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales de amortiguador o tampón de la materia orgánica (inifat, 2002).

6.7.5 VOLUMEN.

Es importante cuantificar los volúmenes que se disponen a compostar y determinar parámetros como densidad, masa y volumen con la relación $\text{densidad} = \text{masa} / \text{volumen}$. Una pila de compost grande retiene al calor de la actividad microbiológica, con un volumen menor a 50 cm³ es más difícil mantener el calor, mientras que con un volumen mayor a 100 cm³ dificultará la circulación del aire alterando la vida de los microorganismos (inifat, 2002).

6.7.6 CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO.

El intercambio catiónico es uno de los parámetros químicos más importantes a determinar, y se expresa como la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) en número de miliequivalentes de cationes monovalentes que pueden ser intercambiados por 100gr de suelo (en base seca) (barba, 1996).

La C.I.C da una idea del potencial en la retención de nutrientes y en la capacidad de inmovilización de sustancias fitotóxicas, así como la capacidad de amortiguar cambios de pH. Por lo tanto, este parámetro puede informar acerca de la estabilidad de la materia orgánica de dicho compost. Estudios realizados con abonos orgánicos y compost de diversos residuos orgánicos han demostrado que la C.I.C aumenta a medida que aumenta el grado de estabilidad de la materia orgánica (INIFAT, 2002).

6.7.7 FACTORES NUTRICIONALES.

Con respecto a los factores nutricionales, el carbono es utilizado por los microorganismos como fuente de energía y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. Las dos terceras partes del carbono son quemadas y transformadas en CO_2 y el restante entra a formar parte del protoplasma celular de los nuevos microorganismos para la producción de proteínas. Además, se necesita la absorción de otros elementos entre los cuales el más importante es el nitrógeno y en menores cantidades el fósforo y el azufre. Las formas de carbono más fácilmente atacables por los microorganismos son los azúcares y las materias grasas. El nitrógeno se encuentra casi en su totalidad en forma orgánica de donde debe ser extraído o modificado por los microorganismos para poder ser utilizado por éstos (inifat, 2002).

6.7.8 RELACIÓN C/N.

Es un factor importante a controlar para obtener un producto final de características adecuadas. A medida que transcurre el compostaje, esta relación se hace cada vez menor.

La relación óptima C/N inicial está comprendida entre 25 a 35. Si es superior a 35, el proceso de descomposición se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Si es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco. Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno, por ejemplo con adición de alguna fuente nitrogenada como estiércoles de pollo o productos o subproductos de origen animal, si el compost es para agricultura ecológica.

6.7.9 ASPECTOS MICROBIOLÓGICOS DEL COMPOSTAJE.

El compostaje, como ya se ha mencionado anteriormente, es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial.

Al comienzo del compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila presente en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse utilizando los hidratos de carbono y proteínas más fácilmente asimilables. La hidrólisis y asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento, por tanto, la generación de calor disminuye hasta alcanzar la temperatura ambiente, alrededor de los 40°C, y los organismos mesófilos (actinomicetos, hongos y bacterias mesófilas) reemprenden su actividad.

La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40°C hasta los 60°C. Estas especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70°C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas inciden muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente. Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir (el calor que se genera es menor que el que se pierde) y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, reinvasen el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales.

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. Un aspecto que ha sido ampliamente discutido es el posible interés de inocular las pilas de compostaje con microorganismos para facilitar o mejorar la evolución de un compost. Los estudios realizados en este sentido parecen indicar que la inoculación no produce grandes mejoras, y raramente los microorganismos son un factor limitante ya que cuando las condiciones ambientales son las adecuadas ellos se encuentran de forma natural en el material a composta y están más adaptados que aquellos preparados en el laboratorio (INIFAT, 2002).

6.7.10 MATERIALES INICIALES.

Los ingredientes para el compostaje suelen ser subproductos orgánicos o materiales residuales. Es raro que un solo material residual tenga todas las características requeridas para un compostaje eficaz. Por tanto, es necesario mezclarlo con otros diferentes en proporciones adecuadas, para obtener una mezcla con las características necesarias para llevar a cabo el proceso de compostaje.

6.8 CRITERIOS DE CALIDAD DEL COMPOST

La calidad del compost está relacionada con su valor agronómico y comercial como un acondicionador del suelo (Kapanen *et al.*, 2001).

Las características de un compost adecuado deben tener de acuerdo a datos proporcionados por la asociación Alemana para la calidad del compost, se establece un contenido de materia orgánica del 33.4% respecto a la materia seca. En general el contenido de materia orgánica para el compost debe ser igual o mayor al 25% en base seca (Norma de calidad del compost, 2002), se debe contar con una temperatura estable de 10 a 20°C, una relación C/N entre 15 y 20; una humedad entre 40-60%, el pH debe estar entre 5.5 y 8, preferiblemente neutro. (Saebo *et al.*, 2006).

En cuanto al contenido de nutrientes el nitrógeno puede alcanzar un valor de 3% y el nitrógeno amoniacal no debe sobrepasar 0.04%, si este llega a exceder este valor indicará que el material tiene baja estabilidad.

6.9 ENMIENDA ORGÁNICA

Según Jaramillo (2002) la enmienda orgánica se define como todos aquellos materiales orgánicos que se aplican al suelo, con algunos propósitos específicos como suministrar nutrientes rápidamente disponibles para la planta y/o mejorar las condiciones físicas del suelo. Estos materiales se conocen comúnmente como abonos.

Los abonos orgánicos que se adicionan al suelo se diferencian por tres características:

1. Contenido de nutrientes
2. Facilidad de descomposición
3. Estado de humedad en el momento de la aplicación

Según Jaramillo (2002) Los abonos orgánicos más utilizados son:

- **Estiércoles:** deyecciones de animales que de manera general presentan baja relación C/N lo que implica una alta mineralización y poca humificación, es decir, poco aporte de materia orgánica al suelo y suministro rápido de nutrientes al mismo.
- **Residuos de cosecha:** partes vegetales de los cultivos que no tienen uso comercial y presentan una relación C/N muy amplia, 60 – 80: 1, por lo cual su importancia, desde el punto de vista nutricional es mínima, pero en contraste con este efecto mejora las propiedades físicas del suelo mediante el aporte de materia orgánica.
- **Mulch vegetal:** es conocida como la cobertura que se obtiene a partir del esparcimiento de los residuos de cosecha sobre la superficie del suelo; ayuda a disminuir el sellamiento superficial y la erosión.
- **Compost:** es el resultado de la descomposición aerobia de la materia orgánica en las condiciones adecuadas de humedad, temperatura, pH, entre otros (Guía Básica para hacer compost, 2011).
- **Lombricompuesto:** excrementos de la lombriz de tierra que presentan una alta acumulación de casi todos los elementos nutricionales, con relación a los contenidos del suelo y mejoran su estabilidad estructural.
- **Abonos verdes:** plantas incorporadas al suelo en estado verde, con el propósito de aportarle materia orgánica y aumentar el nitrógeno disponible en el suelo.
- **Residuos sólidos urbanos:** conjunto de residuos sólidos de desecho producidos en las ciudades, se presentan una opción para el manejo de las basuras urbanas que pueden llegar a aportar materia orgánica pero pueden causar desbalances nutricionales en las plantas.

Antes de aplicar un abono deben establecerse sus características, entre las cuales Orozco (1984) destaca:

- **Composición elemental:** La composición de los abonos varía de acuerdo al material que se tenga, por esto es importante conocer su valor nutricional, y para ello hay que realizar análisis de laboratorio con el fin de establecer los contenidos de elementos esenciales que posea.
- **Humedad:** Para aplicar abonos sólidos, el contenido de humedad debe ser menor del 15 %.
- **Contenido de ácidos Fúlvicos:** Relacionado con la movilidad del abono en el suelo y la habilidad de éste para solubilizar metales tóxicos en aquel. En un abono adecuado, su contenido debe ser menor al 3%.
- **Relación C/N:** Con base en los contenidos de C y N totales; es una medida de la facilidad de mineralización del abono

- **pH:** Permite conocer el peligro de acidificación o de alcalinización que pueda tener el abono en el suelo debido a su aplicación.
- **Conductividad eléctrica:** generalmente es alta en los abonos; es un índice que permite conocer una posible salinización del suelo o problemas de toxicidad en las plantas debidos a la aplicación de altas cantidades de sales.
- **CIC:** Es deseable un abono con una CIC alta.

Entre los tipos de abonos orgánicos más utilizados están: estiércoles, residuos de cosecha, mulch vegetal, compost, lombricompost, abonos verdes, residuos sólidos urbanos y lodos de aguas residuales urbanas.

6.10 NORMATIVIDAD

La Norma Técnica Colombiana 5167 (2004), tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.

La norma define como abono orgánico al producto obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican. De acuerdo con la norma se deben caracterizar los siguientes parámetros para ser clasificado como esta tipo de enmiendas:

- Perdidas por volatilización %
- Contenido de cenizas máximo 60%
- Contenido de humedad:
 - ✓ Para materiales de origen animal, máximo 20%
 - ✓ Para materiales de origen vegetal, máximo 35%
 - ✓ Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante.
- Contenido de carbono orgánico oxidable total, mínimo 15%
- N, P₂O₅ y K₂O totales (declarados si cada uno es mayor de 1%)
- Relación C/N
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)
- Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso.

- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0,6 g/cm³
- Límites máximos en mg/Kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación:

Tabla 1 Límite de metales pesados para enmiendas Orgánicas

Metal	Límite máximo (mg/Kg)
As	41
Cd	39
Cr	1200
Hg	17
Ni	420
Pb	300

- Indicar el origen del cual procede el producto.

También se debe garantizar que se cumpla los siguientes parámetros para poder ser clasificado como enmienda orgánica húmica solida:

- Carbono orgánico oxidable (%C).
- Humedad máxima (%).
- Contenido de cenizas (%).
- Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) Kg) (meq/100g).
- Capacidad de retención de humedad.
- Contenido de Nitrógeno Total (%N).
- Densidad (g/cm³).

El buchón de agua es considerada según el artículo primero de la Resolución No. 0848 (2008) como una de las especies exóticas de carácter invasor que han sido capaces de colonizar efectivamente un área en donde se ha interrumpido la barrera geográfica y se han propagado sin asistencia humana directa en hábitats naturales o seminaturales y cuyo establecimiento y expansión amenaza los ecosistemas, hábitats naturales o especies con daños económicos o ambientales. En Colombia se ha identificado la presencia de una serie de individuos pertenecientes a especies exóticas que fueron hace años introducidas irregularmente al país y que en muchos casos se han dispersado y propagado, algunas de

las cuales se estima que pueden ser objeto de cría en cautiverio y otras se deben considerar como especies invasoras, teniendo en cuenta el impacto ambiental negativo que están ocasionando a nuestra biodiversidad y sus hábitats. También se establece que se pueden realizar medidas de control en contra de la propagación de estas especies invasoras.

7 DESARROLLO METODOLÓGICO

7.1 ÁREA DE ESTUDIO- UBICACIÓN

La investigación se realizó en los predios de la Reserva Natural Pozo Verde ($3^{\circ}17'N76^{\circ}35'O$) localizada en el municipio de Jamundí (Valle del Cauca) a una elevación de 1000 msnm, precipitación anual de 1800 mm y temperatura promedio de $24^{\circ}C$, condiciones que la clasifican como Bosque Seco Tropical. La reserva abarca una extensión de 50 ha, funciona como una granja pecuaria, además posee estanques dedicados al cultivo de plantas acuáticas, arboles forrajeros y caña de azúcar.

En la granja se encuentra una laguna, la cual, se abastece del Rio Claro. Tiene una extensión de 9 Ha, las cuales, están completamente pobladas por el buchón de agua.

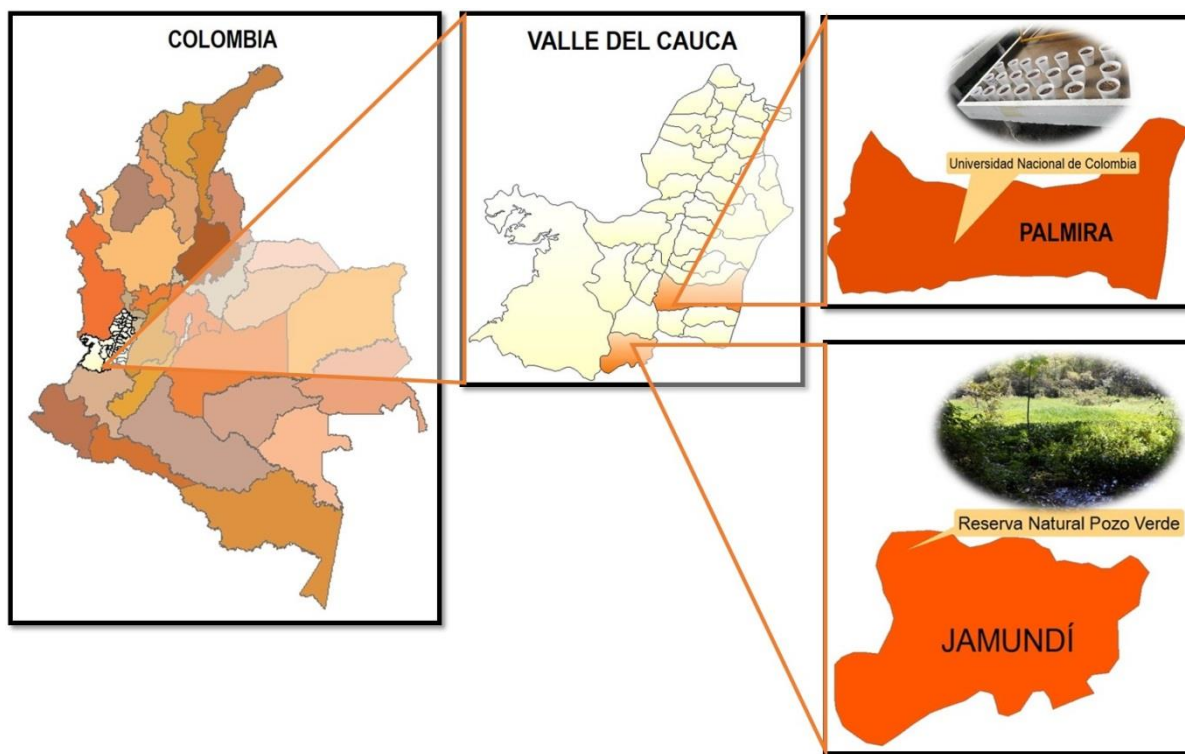


Figura 3 Mapa de Ubicación del estudio. Fuente: Lozano, 2015.



Figura 4 Diagrama Metodológico

7.2 METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló en tres zonas de la granja, la primera fue la laguna (extensión 9 has) poblada por el buchón de agua; la segunda, los corrales de los búfalos donde se recogió el estiércol proveniente de estos; y finalmente la tercer zona fue el lugar acondicionado para la realización del compostaje de buchón de agua y estiércol de búfalo.

Se escogió una cuarta zona, ubicada en la Universidad Nacional Sede Palmira, para la evaluación de los diferentes tipos de compostaje.

El experimento se llevó a cabo en cinco etapas. En la primera se caracterizó el material, en la segunda se construyeron las pilas a base de buchón de agua, estiércol de búfalo y su mezcla; la tercer y cuarta etapa iniciaron simultáneamente, en la tercer etapa se caracterizó el material proveniente del proceso de compostaje, en la cuarta se sometieron las variables evaluadas a un análisis estadístico y en la quinta etapa se evaluó la incidencia de la aplicación de las enmiendas.

7.2.1 ETAPA I: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO

Siguiendo un esquema ajustado que buscaba tomar diversos puntos en la laguna se obtuvieron muestras representativas y posteriormente dichos puntos se convirtieron en estaciones de monitoreo, luego se procedió como primera medida a la realización de un análisis de Oxígeno disuelto, Nitratos, Fosfatos y Sulfatos del agua de la laguna, seguidamente se analizó pH de la laguna, suelo, buchón de agua y estiércol de búfalo, a estos dos últimos se les determinó contenidos de Calcio, Magnesio y porcentaje de humedad, esto con el fin de determinar la presencia de nutrientes y calidad para su utilización como enmienda orgánica.

Adicionalmente se analizaron los contenidos de Carbono y Nitrógeno para conocer la relación C/N de todos los materiales que conformarían las pilas de compost (buchón de agua, estiércol de búfalo y pasto estrella), junto con los porcentajes de Fósforo y Potasio.

Al suelo de la granja pozo verde se le realizaron pruebas de densidad aparente (D_a), densidad real (D_r), textura, Materia Orgánica (M.O) y resistencia a la penetración para conocer las condiciones iniciales y poder evaluar la influencia de la aplicación del compost.

Los datos obtenidos y el análisis de los anteriores procedimientos (tomados al inicio y final del proceso de compostaje) se verificaron con datos de investigaciones previas. Las muestras fueron analizadas en el

Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional, sede Palmira y las variables medidas con los respectivos métodos se resumen en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2 Variables del Suelo evaluadas en la ETAPA I

Parámetro	Método de extracción	Determinación analítica
pH	H ₂ O, 1:2 (P/V)	Potenciométrico
Humedad	---	Gravimétrica
Carbono Orgánico	Walkley and Black	Titulación
Nitrógeno	Kjeldahl	Titulación
Materia Orgánica	Walkley and Black	Espectrometría
Capacidad de intercambio catiónico	Cloruro de sodio	Titulación
Calcio	Acetato de amonio 1Normal	Absorción Atómica
Magnesio		
Potasio		
Sodio		
Fósforo	Bray II ó Olsen	Espectrometría
Cobre	Acetato de Amonio 1N Neutro y EDTA 0.01M	Absorción Atómica
Zinc		
Hierro		
Manganeso		
Boro	Olsen Modificado	Espectrometría
Aluminio	Cloruro de Potasio 1N	Titulación

Tabla 3 Variables del Buchón de Agua y Estiércol de Búfalo evaluadas en la ETAPA I

Parámetro	Método de extracción	Determinación analítica
pH	H ₂ O, 1:2 (P/V)	Potenciométrico
Humedad		Gravimétrica
Carbono Orgánico	Walkley and Black	Titulación
Nitrógeno	Kjeldahl	Titulación
Materia Orgánica	Walkley and Black	Espectrometría
calcio	Acetato de amonio 1Normal	Absorción Atómica
Magnesio		

Potasio		
Sodio		
Fósforo	Vanadato-Molibdato de amonio	Espectrometría
Cobre	Acetato de Amonio 1N Neutro y EDTA 0.01M	Absorción Atómica
Zinc		
Hierro		
Manganeso		



Figura 5 Caracterización: Laguna y materias primas para compostaje. Fuente: Lozano & Jiménez, 2014

7.2.2 ETAPA II: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL COMPOST

7.2.2.1.1 Recolección, separación y acondicionamiento del material

Para el estudio del material se realizó una recolección manual tanto del buchón como del estiércol de búfalo. El buchón estuvo expuesto a las condiciones ambientales (25-27°C) entre 1 y 2 días, este tiempo se seleccionó con base en experimentos previos como el de Gómez (2005), que describían el comportamiento de la pérdida de agua de esta planta con el fin de reducir el porcentaje de humedad; posterior a este proceso se trituró para obtener un material con un tamaño que promoviera una descomposición más rápida (1-5 cm).

Para corroborar el tiempo que debían pasar las plantas de buchón de agua a condiciones ambientales se realizó un experimento previo en dónde se escogieron 8 plantas al azar de diferentes tamaños, se pesaron y se dejaron expuestas durante tres días; al cabo de los tres días las plantas habían perdido mucha humedad y debido a esto la selección de tiempo para el acondicionamiento fue menor.

Tabla 4 Resultados Pérdida Humedad

Muestra	Peso inicial (gr)	Peso final (gr)	Humedad (%)
1	64,48	6	90,7
2	94,38	6,5	93,11
3	108,88	6,8	93,75
4	47,38	2,2	95,36
5	125,88	11,8	90,63
6	338,65	58,7	82,66
7	445,55	75,3	83,1
8	492,4	82,2	83,31
Valor promedio Pérdida Humedad (%)			89,08

El estiércol de búfalo se recolectó de la misma forma y de acuerdo a su contenido de humedad se dejó a condiciones ambientales durante 3 días, tomando medidas diariamente hasta que su humedad alcanzó un valor del 70%.



Figura 6 Recolección y acondicionamiento del material. Fuente: Lozano & Jiménez, 2014.

7.2.2.1.2 Construcción de las pilas

Para el desarrollo de esta fase se realizaron dos ensayos. El primero consistió en el montaje de tres pilas:

- Mezcla de buchón de agua y pasto estrella
- Mezcla de estiércol de búfalo y pasto estrella
- Mezcla de buchón de agua, estiércol de búfalo y pasto estrella

Cada pila se construyó con dimensiones de 0,75 metros de alto, 1,25 metros de largo y 1,25 metros de ancho.

Debido a que este primer montaje no cumplió con los mínimos criterios de control, se estableció un segundo ensayo, donde se realizaron las mismas mezclas mencionadas anteriormente, con características adicionales que se describen a continuación:

La mezcla de cada uno de los componentes principales (buchón de agua y estiércol de búfalo) con pasto estrella, se realizó a través de un balance de masa con la ecuación (4) propuesta por Richard y Trautmann (1996), para garantizar una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) adecuada e incentivar la actividad microbiana.

$$R = \frac{Q1*(C1*(100-M1)+Q2(C2*(100-M2)+Q3(C3(100-M3)+\dots}{Q1*(N1*(100-M1)+Q2(N2*(100-M2)+Q3(N3(100-M3)+\dots} \quad (4)$$

Q= Cantidad de material a adicionar

C= Carbono

N= Nitrógeno en peso

M= Humedad en peso del material.

A través del balance de masas se calculó una relación 4:1 para la mezcla de buchón de agua y pasto estrella; una relación 7:1 para la mezcla de estiércol de búfalo y pasto estrella y finalmente una relación 7:4:1 para la mezcla de estiércol de búfalo, buchón de agua y pasto estrella. Cada una de las pilas contó con su respectiva réplica.

Tabla 5 Formulación Mezclas de Compost

Mezcla	Componente	Relación	Pesos (Kg)	C (%)	N (%)	Relación C/N
P1-T1	Buchón de agua	4	36,80	33,80	1,97	17,10
	Pasto estrella	1	9,20	43,22	2,15	20,10
	Total	4:1	46,00	-	-	20,00
P2-T2	Estiércol de búfalo	7	140,00	32,60	1,80	18,10
	Pasto estrella	1	20,0	43,215	2,15	20,10
	Total	7:1	160,00	-	-	20,00
P3-T3	Buchón de agua	4	54,80	33,80	1,97	17,10
	Estiércol de búfalo	7	31,31	32,60	1,80	18,10
	Pasto estrella	1	7,83	43,22	2,15	20,10
	Total	7:4:1	93,94	-	-	20,00

Cada pila se construyó con dimensiones de 0,8 metros de alto, 1,25 metros de largo y 1,25 metros de ancho, aplicando las ecuaciones (1) y (2), a partir de la cantidad de material a compostar. Las dimensiones anteriores aseguraron el desarrollo del proceso de compostaje (volumen mínimo de 1m³).



Figura 7 Construcción pilas de compostaje. Fuente: Lozano & Jiménez, 2015.

7.2.2.1.3 Diseño Experimental

Se realizó un diseño completamente aleatorio sobre las variables evaluadas. La unidad experimental estuvo representada por cada una de las pilas de compost (buchón de agua, estiércol de búfalo y mezcla) con 3 repeticiones (Tabla 6). Se tiene en total 3 tratamientos y 9 unidades experimentales.

Tabla 6 Etapa II: Proceso de elaboración del compost

Tratamiento	Base del compost
T1	Buchón de Agua
T2	Estiércol de Búfalo (Bufalaza)
T3	Mezcla (buchón de agua + Bufalaza)
Total de unidades experimentales: 9	

La aleatorización se realizó de forma tal que se sorteara la posición y el orden de cada repetición (Figura 7).

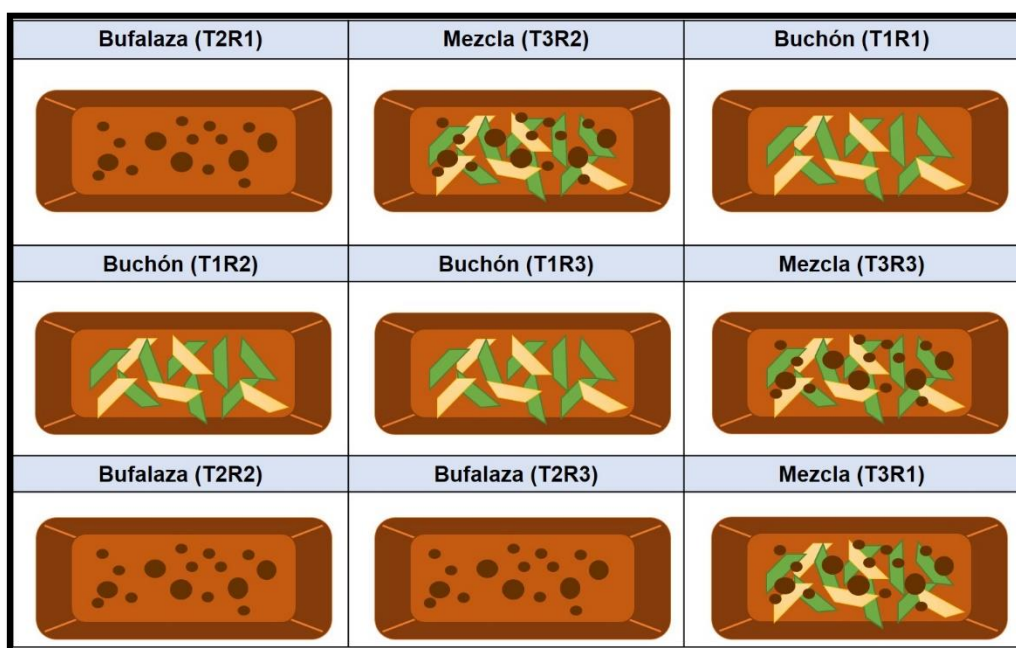


Figura 8 Arreglo Experimental de los tratamientos y sus repeticiones. Fuente: Lozano, 2015.

7.2.3 ETAPA III: PARÁMETROS DE CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

7.2.3.1.1 Medición de parámetros de control

Periódicamente se midió la temperatura, el pH y la humedad de las pilas como parámetros de control y evolución de las fases del compostaje, con el fin de obtener una enmienda orgánica de calidad. Inicialmente los primeros ocho días desde la construcción de las pilas la temperatura se midió a diario, luego se pasó a una medición semanal. El pH y la humedad de las pilas se midieron de forma semanal. Adicionalmente se realizaron volteos periódicos de cada pila para redistribuir el oxígeno e incentivar la

actividad microbiana, este se ajustó según los tres parámetros mencionados anteriormente, obteniendo una frecuencia de volteo semanal.

Las lecturas de temperatura se tomaron en tres puntos de cada pila (Figura 8) antes de realizar el volteo. El equipo utilizado para estas lecturas fue un termómetro para suelos.

Las lecturas de humedad se tomaron al igual que la temperatura, en tres puntos de cada una de las pilas. El equipo utilizado fue un sensor para suelos Soil moisture sensor SM150 con una precisión de $\pm 3\%$.



Figura 9 Puntos de muestreo-pH-Temperatura-Humedad. Fuente: Lozano & Jiménez, 2015.

Las muestras para los análisis de pH fueron tomadas en los mismos puntos descritos en la Figura 8. Las lecturas de pH se realizaron en el Laboratorio deguas y Suelos Agrícolas (LASA) ubicado en la Universidad del Valle, sede Meléndez.

7.2.3.1.2 Caracterización del producto final

Al finalizar el proceso después de 90 días, el producto se caracterizó según la FAO (2013), evaluando olor, color, textura, contenido de humedad y existencia de materiales inertes. En este sentido, también se

analizó cuál de los tratamientos presenta el mejor comportamiento, teniendo como parámetros a comparar y evaluar el pH, la humedad y la temperatura a través de las gráficas del comportamiento semanal.

7.2.4 ETAPA IV: VARIABLES EVALUADAS Y DISEÑO ESTADÍSTICO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

7.2.4.1.1 Variables evaluadas

Se seleccionaron cinco variables de respuesta (pH, Humedad, relación C/N, %C-total, %N-total); los datos pH y humedad se seleccionaron de la semana No. 13, por ser los más representativos para el estudio en relación al cumplimiento de la NTC 5167 y calidad del producto final. Por otra parte para las demás variables de respuesta se trabajó con los resultados de los análisis de laboratorio, para realizar comparaciones entre tratamientos.

7.2.4.1.2 Diseño estadístico

Con los datos obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables evaluadas, a partir del diseño completamente al azar planteado en la ETAPA II. Se realizó la validación de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas; esta última a partir del valor P obtenido en la Prueba Bartlett con un nivel de confianza de 95% ($P > 0,05$).

El análisis de varianza permitió identificar la presencia de diferencias significativas; para las variables de respuesta pH y humedad se aplicó la prueba de Tuckey con un nivel de significancia del 5% a través del software Minitab 15. Para las variables de respuesta de % Carbono Total y % Nitrógeno Total, se aplicó la prueba No paramétrica Kruskal Wallis, ya que los datos no tuvieron un comportamiento normal.

7.2.4.1.3 Caracterización según la NTC 5167

Al finalizar el proceso después de 90 días, el producto se caracterizó según la NTC (2004), evaluando olor, color, textura, contenido de humedad, pH y existencia de materiales inertes. Los productos del compostaje de los 3 tratamientos antes mencionadas y caracterizadas según sus materiales iniciales se analizaron para comparar las características y rendimientos entre ellos, para señalar cuál de los tratamientos presenta mejores características.

7.2.5 ETAPA V: EVALUACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA

7.2.5.1.1 Evaluación en macetas

Como parte de la evaluación del proceso de aplicación de la enmienda al suelo se realizó la prueba de crecimiento en macetas, ya que este tipo de ensayos se aproximan más a una prueba real de crecimiento, por cuanto son experimentos de mayor duración (14-77 días), en los que se determina el porcentaje de germinación, el peso fresco y la longitud de raíces de las plantas cultivadas en macetas con mezclas de compost y suelo (Moreno & Moral, 2008). Esta evaluación se desarrolló en el invernadero de la Universidad Nacional, sede Palmira.

Adicionalmente se evaluaron las variables de respuesta: Actividad y Biomasa Microbiana, M.O., Da, y Dr, para conocer la incidencia del compost sobre el suelo.

7.2.5.1.1.1 Diseño Experimental

Se realizó un diseño completamente aleatorio bifactorial (%Compost y %Suelo) sobre tres variables de respuesta (porcentaje de germinación, peso fresco de la planta y longitud de raíces) para los tratamientos con compost.

Adicionalmente se aplicó el mismo diseño estadístico para las variables Actividad y Biomasa Microbiana, M.O., Da, y Dr; evaluadas en laboratorio después del recuento de semillas germinadas, peso y longitud de las mismas.

La unidad experimental consistió de una maceta en la que se sembraron 5 semillas de rábano como planta indicadora a una profundidad aproximada de 5 cm, se seleccionó el rábano, debido a la resistencia que presenta esta planta en relación a las sales solubles y a otras sustancias orgánicas potencialmente tóxicas del compost. Se instalaron 6 tratamientos y un testigo con tres repeticiones cada uno para un total de 21 unidades experimentales.

Tabla 7 Tratamientos: Evaluación en campo

%Compost	Compost		
	Buchón de agua	Estiércol de Búfalo	Mezcla
50	T1	T3	T5
25	T2	T4	T6
Testigo-T7	---	---	---
Total de unidades experimentales: 21			

Cada maceta contenía 500 gr en las proporciones descritas en la Tabla 5. El porcentaje de germinación, se determinó a partir del recuento de plantas emergidas cada 8 días durante 20 días. Posteriormente se midió la elongación de raíces y se pesaron las plantas para determinar su peso fresco.

7.2.5.1.1.2 Diseño estadístico

Los resultados de los tratamientos se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) para analizar la interacción entre los factores y el efecto de éstos sobre las variables de respuesta. En el análisis se realizó la validación de normalidad de datos y homogeneidad de varianzas; esta última a partir del valor P obtenido en la Prueba Bartlett con un nivel de confianza de 95% ($P > 0,05$). Cuando se presentaron interacciones entre los factores se aplicó la prueba Tuckey ($P > 0,05$) entre los grupos de tratamientos, para reconocer posibles similitudes entre las medias.

Posterior al análisis entre tratamientos a partir de compost, se analizaron cada uno de los tratamientos con el testigo a través de la prueba Dunnett con un nivel de confianza de 95%, para seleccionar el mejor tratamiento en relación a las tres variables de respuesta. El análisis de varianza permitió identificar la presencia de diferencias significativas a través del software Minitab 15.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 ETAPA I: CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO

De acuerdo con la caracterización del material de estudio se conocieron las condiciones iniciales con las que entraron todos los materiales al proceso de compostaje.

Tabla 8 Análisis inicial: Buchón de agua

Buchón de Agua	
pH (1:2)	6,6
Nitrógeno (%)	2
Fósforo (%)	0
Carbono Orgánico (%)	34
Calcio (%)	0,3
Magnesio (%)	0,3
Potasio (%)	3,2
Sodio (%)	ND
Hierro (%)	803
Cobre (%)	4,2
Zinc (ppm)	153
Manganeso (ppm)	675
Boro (ppm)	ND
Metales Pesados	
Mercurio	ND
Cromo	ND
Plomo	ND

Tabla 9 Análisis Inicial: Estiércol de Búfalo

Estiércol de Búfalo	
pH (1:2)/(1:6)	8
Nitrógeno (%)	1,8
Fósforo (%)	0,002
Carbono Orgánico (%)	32,6
Calcio (%)	0,14
Magnesio (%)	0,02
Potasio (%)	0,01
Sodio (%)	0,01
Hierro (ppm)	1183
Cobre (ppm)	131
Zinc (ppm)	320
Manganeso (ppm)	326
Boro (ppm)	1,28

Tabla 10 Análisis inicial: Suelo

Suelo Pozo Verde	
pH(relación 1:1)	6,7
Materia Orgánica (o/o)	5,13
Calcio Intercambiable (Meq/100g)	1,8
Magnesio Intercambiable (Meq/100g)	0,18
Potasio Intercambiable (Meq/100g)	0,08
Sodio Intercambiable (Meq/100g)	0,01
Capacidad de Intercambio (Meq/100g)	21,8
Aluminio Intercambiable (Meq/100g)	NA
Fósforo Asimilable (ppm)	154,45
Cobre (ppm)	3,51
Zinc (ppm)	29,09
Manganeso(ppm)	41,76
Hierro (ppm)	15,56
Boro (ppm)	2,74
Nitrógeno (%)	NA

Tabla 11 Análisis físico inicial suelos

Suelo	
Humedad (%)	36,69
Textura	F-Ar
Densidad Real	2,57
Densidad Aparente	1,52
Resistencia a la penetración (cono 1)	2,36-Alta
Resistencia a la penetración (cono 4)	0,92- Media
Estabilidad de agregados	ligeramente estable

Tabla 12 Análisis del agua de la laguna

pH	--	6,60
Oxígeno Disuelto	mg/L	12,25
C.E	mS/cm	0,135
Calcio	ppm	1,58
	meq/L	0,08
Magnesio	ppm	4,03
	meq/L	0,33
Potasio	ppm	10,02
	meq/L	0,39
Sodio	ppm	14,08
	meq/L	0,61
SUMA CATIONES	ppm	29,71
	meq/L	1,41
Carbonatos	ppm	ND
	meq/L	ND
Bicarbonatos	ppm	84,15
	meq/L	1,38

Cloruros	ppm	961,47
	meq/L	27
Sulfatos	ppm	6,63
	meq/L	0,138
SUMA ANIONES	ppm	1052,26
	meq/L	28,52
otros	ppm	NA
	meq/L	NA

El buchón de agua y el estiércol de búfalo presentan bajos contenidos de macroelementos, a diferencia de los microelementos que presentan altos contenidos. En el análisis no se detectaron metales pesados (Mercurio, Cromo y Plomo) y de acuerdo al contenido de potasio en el buchón de agua, se esperaría que se presentara un aporte significativo de este elemento al proceso de compostaje. Debido a lo anterior, en gran medida el compost no presentó un aporte significativo en relación al contenido nutricional, pero sí se esperaría que al ser aplicado como enmienda orgánica mejorara notablemente las propiedades físicas (Burbano y Silva, 2013).

El suelo de la granja pozo verde presenta un pH neutro, contenido de materia orgánica alto para clima medio, de bajos a muy bajos contenidos en macroelementos (N, K, Ca y Mg), altos contenidos de microelementos (Mn, Zn, Cu, B, Mn y Cl), bajo contenido de Hierro y Sodio, y un contenido muy elevado de Fósforo.

El agua de la laguna presentó un pH neutro, concentración de oxígeno disuelto alta, conductividad eléctrica baja, una relación de absorción de sodio baja, una concentración de bicarbonatos baja, no se detectaron carbonatos (esperado ya que el pH es menor a 8,2), concentración de sulfatos baja y una concentración extremadamente alta de cloruros, debido a la entrada de aguas residuales en la laguna.

8.2 ETAPA II: PROCESO DE ELABORACIÓN DEL COMPOST

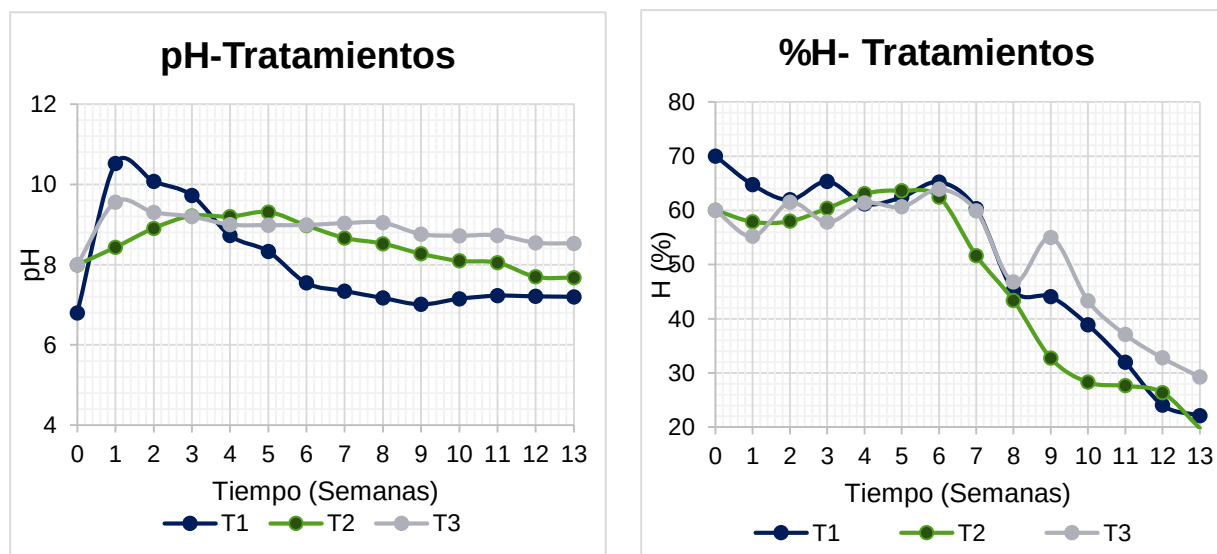
De acuerdo a las condiciones de los materiales iniciales y estudios previos que presentaban similitudes con la presente investigación, incluyendo la misma zona de estudio se seleccionó el tiempo de compostaje. Entre los estudios, Gómez (2004) tuvo un proceso de compostaje de 85 días y Alomía *et al* (2011) uno de 90 días; debido a esto se determinó un tiempo de 90 días (3 meses) para el proceso de compostaje, en el que la materia orgánica compuesta por azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa, almidón, presentes especialmente en los residuos vegetales) y proteínas (presentes en los residuos animales

especialmente), permitió la proliferación de microorganismos quienes realizaron el proceso de descomposición de la materia orgánica, completando de este modo el proceso de compostaje y la debida estabilización de estos materiales para ser aplicados al suelo como una enmienda orgánica.

8.3 ETAPA III: PARÁMETROS DE CONTROL Y CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

La Figura 10 muestra el comportamiento promedio de los parámetros de control pH-Humedad-Temperatura para cada uno de los tratamientos.

El valor inicial del pH para los tres tratamientos fue de neutro a básico, entre 6,8 - 8, para el tratamiento T1 (Buchón de Agua) los valores promedio estuvieron entre 6,8 y 10,52 y el valor de pH más alto registrado durante el experimento fue de 10,62 perteneciente a la lectura de la semana 1 en la unidad experimental T1R1; para el tratamiento T2 (Estiércol de Búfalo) los valores promedio estuvieron entre 7,68 y 9,31, y para el tratamiento T3 (Mezcla) los valores promedio estuvieron entre 8,00 y 9,56. Durante la primera semana el pH de cada uno de los tratamientos aumentó y se registraron los valores máximos para los tratamientos T1y T3, las pilas del tratamiento T2 registraron su valor máximo de temperatura entre las semana 3 y 5, y finalmente la pila T3R1 registro su máximo valor de pH en la semana 8, este incremento en el pH puede ser principalmente debido a las pérdidas de nitrógeno y formación de amonio, ya que los microorganismos en presencia de oxígeno consumen nitrógeno y carbono. En la etapa final del compostaje el pH disminuyo con valores promedio finales entre 7,2 y 8,53, donde los tratamientos T1 y T2 alcanzaron valores cercanos a la neutralidad y el tratamiento T3 valores más básicos.



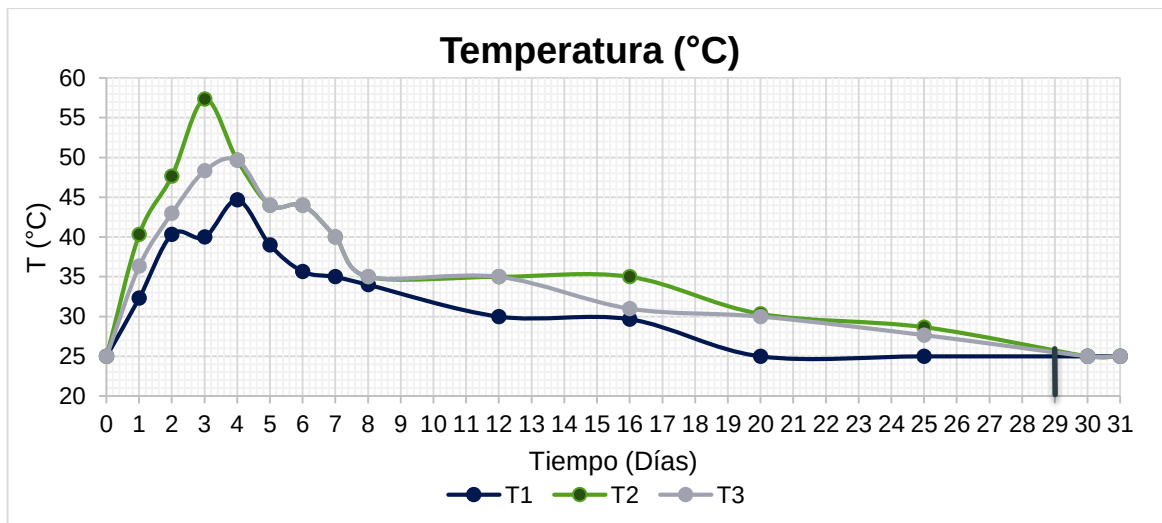


Figura 10 Parámetros de Control para las etapas de compostaje.

El contenido de humedad para el tratamiento T1 fue de 70% y para los tratamientos T2 y T3 fue de 60%. A medida que transcurrió el tiempo el contenido de humedad disminuyó, por lo tanto se realizó un control semanal en las pilas para garantizar el desarrollo de los microorganismos, de esta forma se controló la humedad con valores entre 60% y 40% en las primeras 9 semanas para todos los tratamientos, luego la humedad comenzó a descender hasta alcanzar valores promedio de 22,10% en T1, 19,82 en T2 Y 29,25 en T3, registrados en la última semana del proceso de compostaje.

El valor inicial de temperatura en cada uno de los tratamientos fue de 25 °C (Temperatura ambiente registrada el día de la adecuación de las pilas), pero con el inicio de la descomposición debido al aumento de la actividad microbiana empezó el ascenso de los valores de la temperatura en las pilas; el valor máximo registrado en todo el proceso fue de 60°C. En este sentido, las pilas del tratamiento T2 superaron la fase mesófila y entraron a la fase termófila el día 2 después de su construcción, las pilas del tratamiento T3 y T1 superaron la fase mesófila y entraron a la fase termófila el día 3 de armadas las pilas, pero la pila T1R3 del tratamiento no supero la fase mesófila alcanzando una temperatura máxima de 43°C, por lo tanto esta no alcanzó la fase de higienización, presentando posiblemente problemas de patógenos. La fase termófila termino el día 5 para T1 con valor máximo de 45°C y el día 7 para los tratamientos T2 y T3, con valores máximos de temperatura promedio de 57 °C para el tratamiento T2 y 50°C para el tratamiento T3, las temperaturas registradas no fueron muy altas y no se mantuvieron mucho tiempo, este hecho podría atribuirse a que las pilas eran pequeñas, lo que ocasionó que no se lograra retener el calor producido por la actividad microbiana, ya que para mantener altas temperaturas la pila debe ser lo

suficientemente grande para permitir que el calor generado por los procesos metabólicos sea superior a las pérdidas de calor por las superficies expuestas. Posteriormente la temperatura disminuyó alrededor de 40°C entrando a la fase de enfriamiento, que se desarrolló entre los días 7 a 25 en los tratamientos T2 y T3 y en los días 5 a 16 para T1. Finalmente las pilas entraron en una fase de estabilización o madurez entre los días 30 y 35 de iniciado el proceso de compostaje.

La apariencia del material de las pilas cambió considerablemente en el transcurso del proceso. Al finalizar las pilas correspondientes al tratamiento T1 tomaron una tonalidad café oscura, un olor y una textura parecida a la del suelo y con la presencia de trozos pequeños de material vegetal; las pilas del tratamiento T2 tomaron una tonalidad café oscura, un olor y una textura parecida a la del suelo y con la presencia de trozos de estiércol aún sin descomponer, finalmente las pilas correspondientes al tratamiento T3 tomaron una tonalidad café oscura, un olor y una textura parecida a la del suelo y con la presencia de pequeños trozos de buchón agua.

Según lo establecido en la NTC 5167 los productos provenientes de un compostaje deben cumplir con algunos requisitos específicos que le permitan ser clasificados como abono orgánico, pues son el resultado de la estabilización de residuos animales, vegetales o la mezcla de los anteriores. Por lo tanto, el producto obtenido del compostaje de los distintos tratamientos se clasificó como uno abono orgánico, ya que los tratamientos presentaron valores de pH entre 7,20- 8,53 cumpliendo con el rango de 4 – 9; la humedad promedio para T1 fue de 22,10%, para T2 de 19,82% y para T3 de 29,25%, siendo menor que 20% para materiales de origen animal y 35% para materiales de origen vegetal, cumpliendo con la humedad establecida.

8.4 ETAPA IV: VARIABLES EVALUADAS Y DISEÑO ESTADÍSTICO DEL COMPOSTAJE

- **pH**

El análisis estadístico determinó que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con respecto a la variable de respuesta pH ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}}=19,82$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}}=5,14$ (Distribución F de Snedecor). A partir de la prueba de Tuckey se encuentra que los tratamientos T1 (Compost Buchón de agua) y T2 (Compost Estiércol de Búfalo) muestran diferencias respecto al tratamiento T3 (Mezcla), es decir que los tratamientos T1 y T2 presentan efectos similares y un mejor comportamiento en relación al pH. La Figura 11 presenta los tratamientos en donde las letras distintas corresponden a los tratamientos que presentaron diferencias significativas.

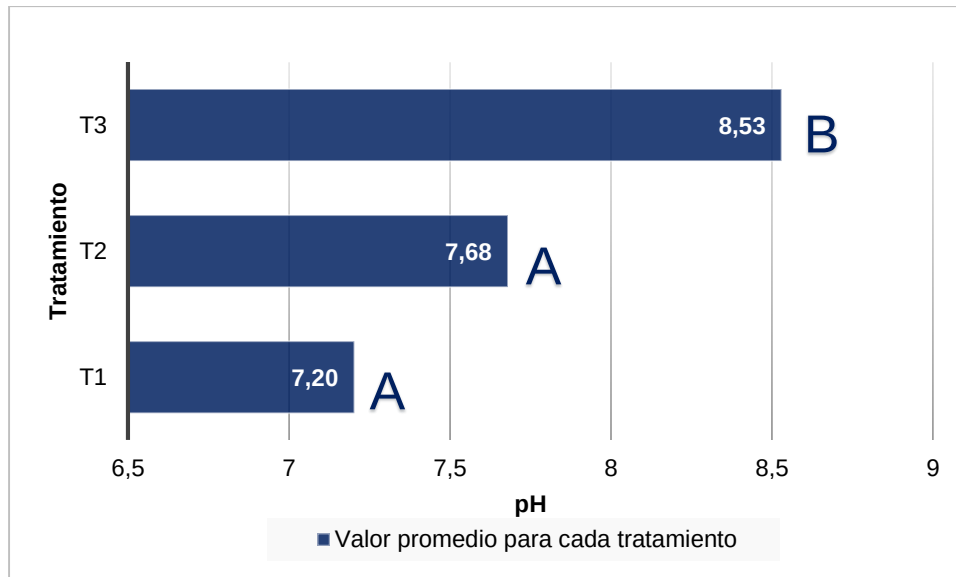


Figura 11 Resultados pH

- %Humedad

Se encontraron diferencias significativas entre las medias de los tratamientos con respecto a la variable de respuesta %Humedad ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}} = 12,01$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}} = 5,14$ (Distribución F de Snedecor). Los tratamientos T1 y T2 presentan efectos similares y un mejor comportamiento en relación a la humedad. La Figura 12 presenta los tratamientos en donde las letras distintas corresponden a los tratamientos que presentaron diferencias significativas.

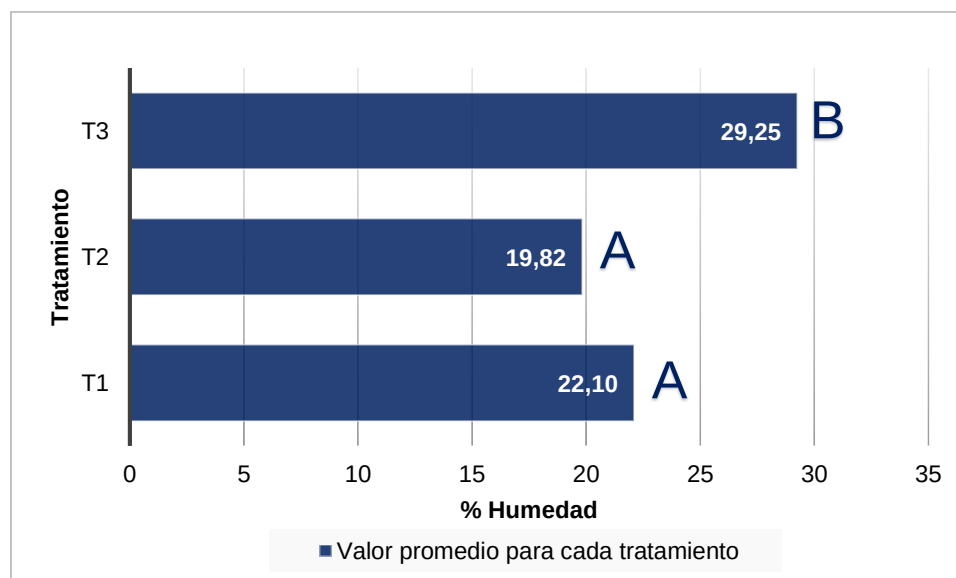


Figura 12 Resultados %Humedad

Según lo establecido en la NTC 5167 el producto obtenido del compostaje se clasificó como uno abono orgánico. De acuerdo a los resultados y al comportamiento en el proceso de compostaje, el mejor tratamiento fue la mezcla de estiércol de búfalo y pasto estrella, puesto que aunque mostraba diferencias con los otros tratamientos en su proceso de elaboración cumplió con los rangos establecidos y mostro una tonalidad café oscura, un olor y una textura parecida a la del suelo y fue más homogéneo, características que no eran tan notorias en los otros tratamientos.

- **Nitrógeno Total y Carbono Orgánico**

Tabla 13 Porcentaje de nitrógeno y carbono final de los tratamientos

Muestra	% Nitrógeno	% CO
T1R1	0,03	7,15
T1R2	0,04	7,51
T1R3	0,04	7,35
T2R1	0,04	20,3
T2R2	0,05	20,43
T2R3	0,04	19,41
T3R1	0,05	8,68
T3R2	0,04	15,28
T3R3	0,05	10,56

No se encontraron diferencias significativas para estas dos variables de respuesta, a través de la prueba no paramétrica Kruskal Wallis.

Al final del compostaje se puede apreciar la pérdida nitrógeno, debido a los procesos de trasformación de los materiales iniciales, sin embargo, después de los 90 días se puede notar que estos materiales aún se encuentran en proceso de descomposición. Por su parte, un contenido alto de carbono deja ver que se está contribuyendo con la materia orgánica, pero los microorganismos no cuentan con la fuente de energía suficiente para su actividad de trasformación de estos materiales.

8.5 ETAPA V: EVALUACIÓN DE LA ENMIENDA ORGÁNICA

El análisis estadístico determinó que no existe interacción entre el tipo de compost y la dosificación ($F_{\text{Calculado}} < F_{\text{Teórico}}$, $F_{\text{Teórico}}$ a partir de Distribución F de Snedecor) para las variables de respuesta: Porcentaje de germinación, Peso fresco y Longitud de raíces (Tabla 14), es decir que los factores son independientes y se puede realizar un análisis aislado de cada uno de ellos. (Ver ANEXO 12.2.2).

Tabla 14 Valores F para Análisis Estadístico

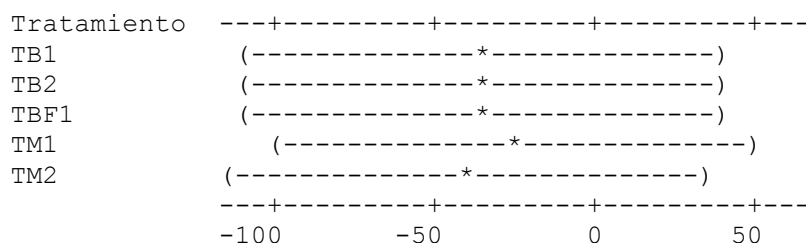
	FCalculado	FTeórico
%Germinación	0,24	3,89
Peso	1,12	3,68
Longitud	0,12	3,68

Tabla 15 Valores P para prueba de Bartlett

	Valor P
%Germinación	0,489
Peso	0,078
Longitud	0,913

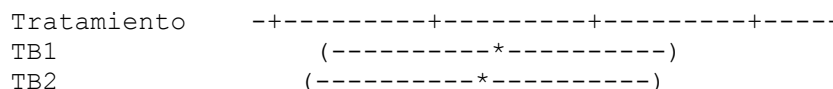
Posteriormente el análisis estadístico determinó:

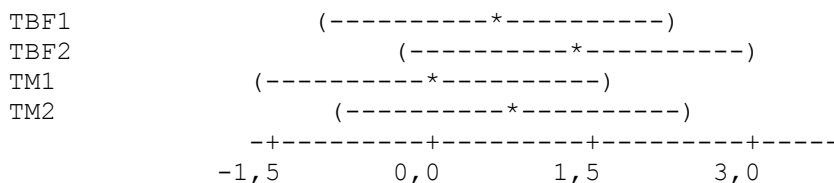
- Entre los diferentes tratamientos y el testigo no existen diferencias significativas (Intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnett incluyen el cero) en relación al % de Germinación. Este resultado indica que todos los tratamientos presentan valores promedios muy similares al valor promedio del tratamiento testigo para esta variable de respuesta.



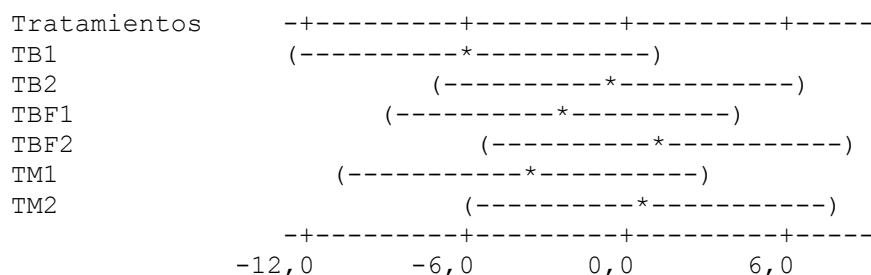
Solo en dos de las 21 macetas sembradas (Mezcla con 50% de abono y buchón de agua con 50% de abono) no germinó la planta indicadora. Sin embargo, los tratamientos que tuvieron dentro de su composición al buchón de agua presentaron crecimiento de pasto estrella, planta utilizada en la Reserva Pozo verde para el pastoreo del ganado.

- Entre los diferentes tratamientos y el testigo no existen diferencias significativas (Intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnett incluyen el cero) en relación al peso fresco de las plantas.





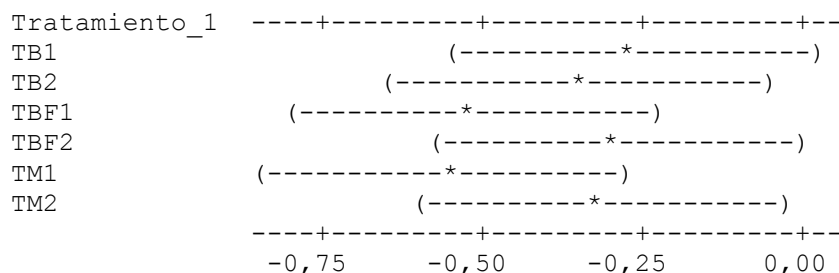
- Para las comparaciones entre los diferentes tratamientos y el testigo no existen diferencias significativas (Intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnnett incluyen el cero) en relación a la longitud de raíces.



• Densidad aparente (Da)

El análisis estadístico determinó que no existe interacción entre el tipo de compost y la dosificación para los tratamientos con algún contenido de compost, ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}} = 2,90$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}} = 3,89$ (Distribución F de Snedecor) en relación a la Da, es decir que se puede realizar un análisis individual de cada uno los factores.

- Entre los tratamientos y el testigo se prueba que existen diferencias significativas, pues solo uno de los Intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnnett incluye el cero. El tratamiento a base de Buchón de agua (contenido de 50% compost) es el único que presenta efectos similares al tratamiento testigo.



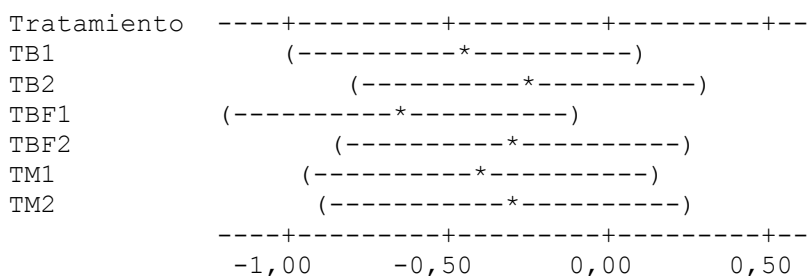
Al comparar los testigos, que presentaron una densidad aparente promedio de 1,18 g.cm⁻³ con los demás tratamientos que presentaron una densidad aparente promedio de 0,8 g.cm⁻³, se puede notar una

diferencia de valores para esta propiedad debido posiblemente a la aplicación de las enmiendas. En términos generales, tener una densidad aparente menor a 1,2 g.cm-3 y cercana a 0,8 g.cm-3 y con una alta porosidad entre 50%-75%, se asegura una mayor retención de humedad y mayor superficie específica de contacto por unidad de área contribuyendo de manera positiva a la fertilidad edáfica que hace referencia a la oferta edafológica que el suelo debe brindar a las raíces de las plantas para que estas logren un crecimiento vigoroso y rápido y, de esta forma los cultivos aseguran la extracción adecuada de agua y nutrientes, estas condiciones mejoran la productividad de los cultivos.

- **Densidad real (Dr)**

El análisis estadístico determinó que no existe interacción entre el tipo de compost y la dosificación para los tratamientos con algún contenido de compost, ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}} = 0,71$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}} = 5,14$ (Distribución F de Snedecor) en relación a la Dr, es decir que se puede realizar un análisis individual de cada uno de los factores.

- Entre los tratamientos y el testigo se prueba que existen diferencias significativas, pues uno de los intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnett no incluyen el cero. Solo el tratamiento a base de Estiércol de búfalo (contenido de 25% compost) presenta efectos diferentes al testigo en relación a la Dr, los demás tratamientos presentan efectos similares.



Un suelo con una buena calidad física permite que el agua se distribuya fácilmente dentro del volumen de suelo ocupado por las raíces en crecimiento. En este sentido, el suelo debe contar por lo menos con una porosidad del 50%, una distribución equilibrada de los macro, meso y micro poros para facilitar el movimiento del agua y el aire. La adición de materia orgánica en los suelos mejora estas condiciones, es decir que la aplicación de las enmiendas en el suelo se espera aumente los contenidos de la materia orgánica y mejore las propiedades físicas.

Al tener un suelo con una textura franco–arcillosa (moderadamente pesado) se podrían presentar problemas de compactación por prácticas agrícolas inadecuadas, tal como lo indica la evaluación de la resistencia a la penetración (Tabla 11) realizada en campo. Condición que se vio afectada positivamente con la aplicación de las enmiendas, pues se presentó un descenso en la de densidad aparente, y debido a que esta propiedad actúa como un indicador del estado de compactación en los suelos, se puede decir que los tratamiento lograron mejorar la calidad del suelo desde el punto de vista físico

- **Actividad Microbiana (AMS) y Biomasa Microbiana**

El análisis estadístico determinó que existe interacción entre el tipo de compost y la dosificación para los tratamientos con algún contenido de compost, ($F_{\text{calculado}} > F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}} = 13,95$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}} = 3,89$ (Distribución F de Snedecor) en relación a la AMS, es decir que no se puede realizar un análisis individual de los factores.

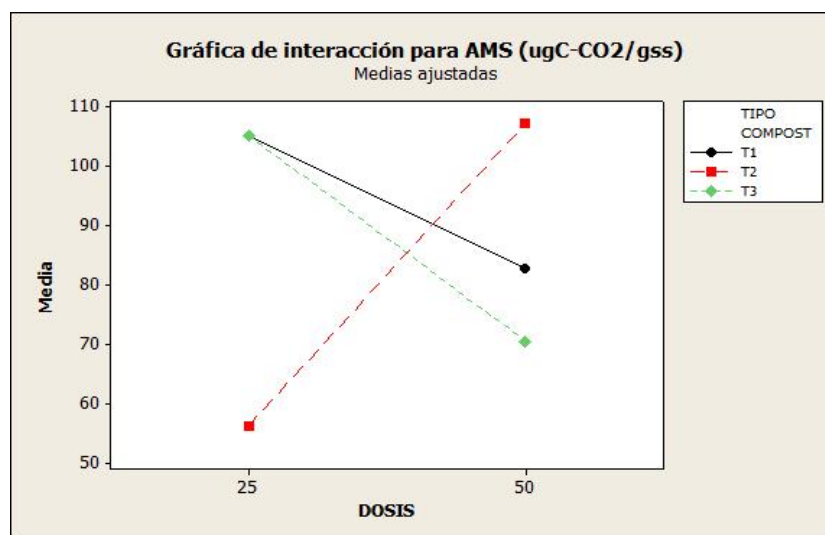


Figura 13 Gráfica de Interacción- AMS

Posteriormente se encontraron diferencias significativas entre uno de los grupos de tratamiento: T1 (buchón de agua con dosificaciones de 50% 25% de compost) a partir de la prueba de Tuckey, es decir que estas dos dosificaciones presentan efectos similares en relación a la Actividad Microbiana. La Figura 14 presenta los tratamientos en donde las letras distintas corresponden a los tratamientos que no presentaron diferencias significativas entre sí.

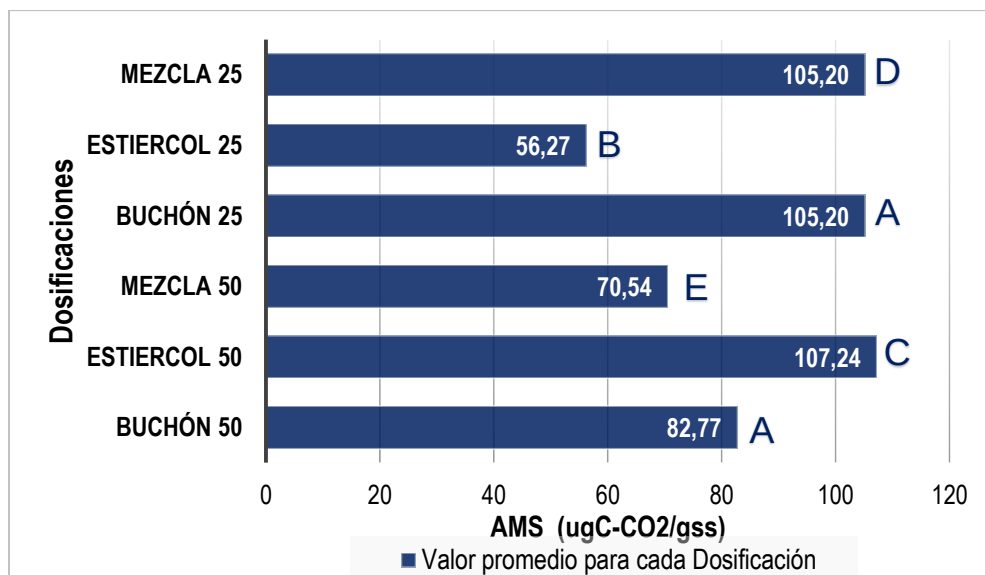
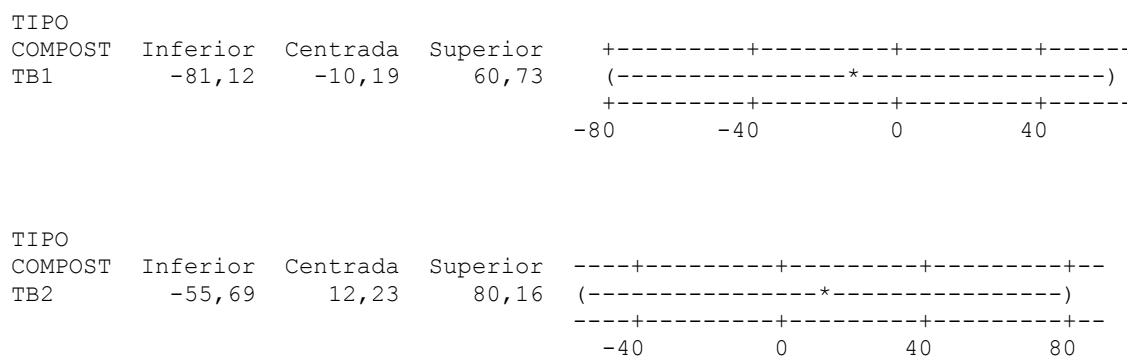


Figura 14 Resultados Actividad Microbiana (AMS)

Luego de encontrar diferencias entre el Tratamiento 1, para las dos dosificaciones, se realizó un análisis comparativo con el Tratamiento control, en donde a partir de los Intervalos de confianza simultáneos de la prueba Dunnett se determinó que tanto la dosificación de 50% como la de 25% de compost a base de buchón de agua, presentan efectos similares a los del tratamiento testigo en relación a la AMS.



Los valores de actividad microbiana se clasificaron como medios según el rango establecido por Salamanca (2008), lo que puede ser el resultado de mover un suelo con unas características y llevarlo a laboratorio, aunque hay que considerar que probablemente la materia orgánica presente en los abonos que se aplicaron no se encuentra disponible o en el tamaño adecuado para ser asimilado, por lo cual, a los microorganismos les cuesta mucho descomponer este material y dejarlo en formas más asimilables.

- **Biomasa Microbiana**

El análisis estadístico determinó que no existe interacción entre el tipo de compost y la dosificación para los tratamientos con algún contenido de compost, ($F_{\text{calculado}} < F_{\text{teórico}}$, $F_{\text{calculado}} = 1,14$ (ANOVA) $F_{\text{teórico}} = 5,14$ (Distribución F de Snedecor) en relación a la AMS, es decir que se puede realizar un análisis individual de cada uno los factores.

- Entre los tratamientos y el testigo se prueba que no existen diferencias significativas, es decir que todos los tratamientos presentan efectos similares en relación a la variable de respuesta.

Tipo de Compost	Inferior	Centrada	Superior	
TB1	-0,02323	0,013813	0,05086	(-----+-----+-----+-----+-----)
TB2	-0,02925	0,007798	0,04485	(-----+-----+-----+-----+-----)
TBF1	-0,01679	0,020254	0,05730	(-----+-----+-----+-----+-----)
TBF2	-0,02581	0,011235	0,04828	(-----+-----+-----+-----+-----)
TM1	-0,03265	0,004396	0,04144	(-----+-----+-----+-----+-----)
TM2	-0,03399	0,003061	0,04011	(-----+-----+-----+-----+-----)
				-----+-----+-----+-----+-----
				-0,025 0,000 0,025 0,050

La biomasa microbiana actúa como agente en la descomposición de los residuos vegetales del suelo con la consecuente liberación de nutrientes, constituyendo un medio de transformación para todos los materiales orgánicos, que es independiente de la función de cada uno de los microorganismos (Salamanca, 2008). En este sentido, la biomasa sería la propiedad que determina el sostenimiento de la productividad del suelo y por esta razón su estimación contribuye a la caracterización de la fertilidad del suelo. De acuerdo a lo anterior, una baja biomasa microbiana en nuestros tratamientos puede ser la causa de la baja fertilidad presentada.

El Coeficiente metabólico representa la relación entre la actividad y la biomasa microbiana los cuales son responsables del ciclaje de nutrientes así como la bioquímica de suelo dada por la actividad enzimática, la cual es responsable de la asimilación de nutrientes por parte de las plantas. De acuerdo a los resultados los tratamientos presentaron coeficientes metabólicos qCO_2 (Coeficiente de mineralización del Carbono) altos, indicando una alta eficiencia metabólica, es decir, que hay mayor actividad con una biomasa microbiana menor (Salamanca, 2008), esto puede ser el resultado de la presencia de bajos contenidos proteicos, lo que se traduce en deficiencias de soporte energético para los microorganismos.

Al comparar los resultados de Nitrógeno y Carbono de las enmiendas aplicadas a las macetas con los resultados de actividad y biomasa microbiana, fue evidente que el proceso de transformación continuaba aún después de haberlo aplicado en las macetas. En este sentido, Suichi Okumoto, de la Escuela Agrícola

del Trópico Húmedo (EARTH), recomienda hacer aplicaciones de abonos orgánicos a medio descomponer (bocashi, por ejemplo) y no de productos maduros, para lograr una mayor estimulación de la vida del suelo, mejorando la bioestructura del mismo (comunicación personal).

9 CONCLUSIONES

Se cumplieron las especificaciones fisicoquímicas que garantizaron que el producto final no fue tóxico ni representará riesgos para la salud. En la caracterización se encontró que el buchón de agua no presentó concentraciones detectables de metales pesados y el agua de la laguna no presentó características peligrosas de algún elemento. El buchón de agua y el estiércol de búfalo básicamente tiene un contenido bajo de macroelementos y alto de microelementos.

Según lo establecido en la NTC 5167 el producto obtenido del compostaje se clasificó como uno abono orgánico. De acuerdo a los resultados y al comportamiento en el proceso de compostaje, el mejor tratamiento fue la mezcla de estiércol de búfalo y pasto estrella. Debido al bajo contenido de macroelementos presentados por el buchón de agua y el estiércol de búfalo, no se obtuvo un aporte significativo de nutrientes por parte del compost.

Se realizó la evaluación de calidad de la enmienda y no se encontraron diferencias entre los tratamientos y las dosis al evaluar en relación a las variables: porcentaje de germinación, peso fresco y elongación de raíces. Al evaluar la biomasa y la actividad microbiana se detectaron diferencias entre los tratamientos, pero a nivel general todos presentaron un buen comportamiento. Los resultados

indicaron elevada actividad microbiana y poca biomasa, debido en gran medida a la ausencia de contenidos proteicos, lo que se traduce en deficiencias de soporte energético para los microorganismos, corroborado por los bajos contenidos de nitrógeno y los altos contenidos de carbono. Se presentó también una reducción en los valores de densidad aparente y real y una mejoría respecto a la porosidad, debido a la aplicación de la enmienda, lo que refleja el propósito de esta investigación, mejorar la estructura del suelo y el aporte de materia orgánica.

10 RECOMENDACIONES

- Realizar futuros estudios con los materiales seleccionados en esta investigación, en donde tiempo del proceso de compostaje sea mayor para lograr una completa descomposición de los materiales iniciales y posteriormente un mejor resultado en cada una de sus evaluaciones.
- Es recomendable la inclusión de tecnologías que permitan realizar un monitoreo completo de todos los parámetros de control para cada una de las fases del compostaje.
- Es necesario validar los métodos de laboratorio para evaluar estos materiales según las condiciones a las que se encuentra y no aplicar metodologías estandarizadas bajo otras condiciones.
- Es necesario validar los métodos de laboratorio para evaluar estos materiales teniendo en cuenta las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos, de acuerdo a la zona de procedencia.

11 BIBLIOGRAFÍA

Alomía Y A., Peña E J., Bolaños A C. y Pedraza G X., 2011. Efecto de la actividad del hongo *Pleurotus ostreatus* (Jacq.) P. Kumm. en la calidad de compost elaborado a partir de *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms-Laubach y estiércol bovino. Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali-Colombia.

Alonso, J.R. 2011. Cómo Hacer Compost. Editorial Paraninfo, 147 páginas.

Aquatic Ecosystem Restoration Foundation (AERF) 2009. Biology and Control of Aquatic Plants: A Best Management Practices Handbook. Lyn A. Gettys, William T. Haller, and Marc Bellaud, Editors.

Barba. L. 1996. Curso Química Ambiental, Postgrado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle, Cali.

Barrett S.C.H y I.W Forno 1982. Style Morph Distribution in New World Population of *Eichhornia Crassipes* (Mart) Solms- Laubach (Water Hyacinth) Aquatic Botany 13:299-306.

Bashan Y., Holguin G. and de-Bashan L.E. 2004. Azospirillum-plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances (1997-2003). Canadian Journal of Microbiology 50:521-577.

Blum W.H. 1996. Acción del suelo en la filtración, el taponamiento y la transformación de sustancias, Memorias del XII congreso Latino Americano de la ciencia del suelo. Aguas de Lindóia, Sao Paulo, Brasil.

Blum W.H. 1998. Basic concepts: degradation, resilience and rehabilitation. pp 1-16. En R. Lal et al..(eds.). Methods for Assessment of Soil Degradation, Advances in Soil Science. CRC Press. Boca Raton, Florida, USA.

Burbano H. y Silva F. (Editores), 2013. Ciencia del suelo. Principios básicos. Sociedad colombiana de la ciencia del suelo. Bogotá, Colombia.

Camacho J.A. y Ordoñez L.J., 2008. Evaluación de la Eficiencia de un Sistema de Recuperación de Aguas Residuales con Eichhornia Crassipes, Para el Postratamiento del Efluente del Reactor Anaerobio a Flujo Pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Facultad de ingeniería sanitaria y ambiental. Bucaramanga. Disponible en: http://repository.upb.edu.co:8080/jspui/bitstream/123456789/203/1/digital_15841.pdf Consultado: Junio 20 de 2014.

Casabianca M; Laugier, T., 1995. Eichhornia crassipes production on petroliferous wastewaters: effects of salinity. Bioresource Technology 54: 39-43.

Cegarra, J., 1994. Compostaje de Desechos Orgánicos y Criterios de Calidad del Compost. En: Programa Universitario de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (PUI) (Ed.), Memorias Curso Master Internacional Aprovechamiento de Residuos Orgánicos. Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira.

Center, TD; Hill, MP; Cordo, H; Julien, MH (2002). Water hyacinth. In: Van Driesche, R., et al: Biological Control of Invasive Plants in the Eastern United States. USDA ForestServicePublication FHTET-2002-04, 41-64.

Chaves M.C. Evaluacion Preliminar del Compostaje "Arrieron" Para El Control de la Hormiga Attacephalotes (L.) En Jamundi (Valle, Colombia). Grupo de Investigación en Biología, Ecología y Manejo de Hormigas. Departamento de Biología, Universidad del Valle, A.A. 25360 Cali, Colombia.

Cortes T., Cortes T. 2005. El Problema de la Sostenibilidad dentro de la Complejidad de los Sistemas de Producción Agropecuarios, universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuaria, Rev.Fac.Nal.Agr. Medellín. Vol.58, No.2.p.2813-2825.2005, Colombia.

DGMA. 1984. Suelos: previsión y prevención de Degradaciones. Cursosobre Evaluación de Impactos Ambientales. Material mineografiado. Dirección General del Medio Ambiente (DGMA). Madrid, España.

Eltiempo.com, 19 de febrero de 2004. Buchón, Ahora Amigo del Campo. Sección Otros Disponible en: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1584427>. Consultado: Junio 20 de 2014.

Estrada J. 2002. Pastos y forrajes para el trópico colombiano, Universidad de Caldas, 511p.

FAO, 1999. Organic farming: Demand for organic products has created new export opportunities for the developing world. Disponible en: <http://www.fao.org/ag/magazine/9901sp3.htm>. Consultado: Junio 20 de 2014.

FAO, 2000. El estado mundial de la agricultura y la alimentación, Los efectos sociales y económicos de la modernización de la agricultura. Depósito de documentos de la FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/x4400s/x4400s10.htm>. Consultado: Junio 20 de 2014.

FAO, 2002. Los Fertilizantes y su Uso, Una guía de bolsillo para los oficiales de extensión. Cuarta edición. Roma. Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>. Consultado: Junio 20 de 2014.

FAO, 2011. Ahorrar Para Creer. Guía para los responsables de los políticos de intensificación sostenible de la producción agrícola de la producción agrícola en pequeña escala. Roma.

FAO., 2013. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile.

FAO. Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible, Fertilidad del suelo. Disponible en: http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/sf/soil_fertility.pdf. Consultado: Junio 20 de 2014.

FAO. Dalzell H. W., Riddlestone, A.J., Gray, K.R., Thuraijan, K., 1991. Manejo del suelo, producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales- BOLETÍN, 177 páginas. Pg 13 – 48.

FAO. Labrada R., 1996. Manejo de malezas para países en desarrollo, Estudio FAO: Producción y protección vegetal No 120. Roma.

Gomez S C., 2005. Aprovechamiento del buchón de agua Eichhornia crassipes como enmienda orgánica en el Ecoparque Lago de las Garzas. Facultad de Ingeniería Universidad del Valle. Colombia.

Gopal B. y K.P. Sharma 1981. Water-Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) the most troublesome weed of the world. Hindasia, Delhi.

Gopal, B. 1987. Aquatic Plant Studies 1. Water Hyacinth. Elsevier Publishing, New York, New York, USA.

Harley K.L.S. 1992. Survey of water hyacinth and other floating aquatic weeds in Guyana, Unpublished report of a consultancy. Commonwealth Science Council, London.

Harley K.L.S. 1996. *Eichhornia crassipes* (Martius) Solms-Laubach. FAO. Manejo de malezas para países en desarrollo. (Estudio FAO Producción y Protección Vegetal - 120), Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/T1147S/T1147S00.htm>. Consultado: Junio 20 de 2014.

Hernández K. 2011. Guía básica para hacer compost, Herramienta para la construcción metodológica cultura ambiental ciudadana. Promoción de actitudes amigables con el medio ambiente, volumen 1 No. 1 Dic. 2011.

Holm L.GG, D.L. Plucknett, J.V. Pancho y J.P. Herberger 1977. The World's worst weeds. Distribution and Biology. The University Press of Hawaii, Honolulu.

IGAC 2004. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del departamento del Valle del Cauca, volumen 2. Colombia, 229 páginas.

IGAC, CVC, 1997. Estudio General de Suelos: Zona Andina, Unidades de Suelos. Santiago de Cali. Colombia, 375 páginas.

INIFAT- Grupo Nacional de Agricultura Urbana. 2002. Manual para la Producción de Abonos Orgánicos en la Agricultura Urbana. Calle 1 esq. 2, Santiago de las Vegas, Ciudad de La Habana, Cuba.

Jafari, N. Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart Solms). J. Appl. Sci. Environ. Manage. June 2010, Vol. 14 (2) 43 – 49.

Jaramillo J., (2002). Introducción a la Ciencia del Suelo. Universidad Nacional de Colombia (Medellín), Colombia.

Laredo, M.A. 1988. Tabla de contenido nutricional en pastos y forrajes de Colombia. ICA-Colanta. Segunda Edición corregida Bogotá. 62p.

León, A. 1962. Manual de agricultura. Barcelona, España: Salvat, 179p.

López, 2002. Degradación Del Suelo: Causas, Procesos, Evaluación E Investigación. Roberto López Falcón. Centro Interamericano De Desarrollo E Investigación Ambiental Y Territorial Universidad De Los Andes Mérida, Venezuela. Disponible en: http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros_electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf. Consultado: Junio 20 de 2014.

Lopez R.2002. Degradación del suelo, Mérida, Venezuela.

Maine, MA; Duarte, MV; Sune, NL, 2001. Cadmium uptake by floating macrophytes. Water Research 35(11): 2629-2634.

Mangabeira, PAO; Labejof, L; Lamperti, A; de Almeida, AAF; Oliveira, AH; Escaig, F; Severo, MIG; Silva, D; Saloes, M; Mielke, MS; Lucena,ER; Martinis, MC; Santana, KB; Gavrilov, KL;Galle, P; Levi-Setti, R, 2004. Accumulation of chromium in root tissues of Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. in Cachoeira river, Brazil. Applied Surface Science 232: 497-501.

Moreno JC, 2008. Compostaje. Joaquín Moreno Laso. Mundi-Prensa Libros, España, 570p. Pg 153.

Moreno JC. y Moral HR., 2008. Compostaje. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

National Resource Conservation Soil (NRCS). 2004. What is soil quality?. Unites States Department Agriculture. Disponible en: http://soils.usda.gov/sqi/soil_quality/what_is/. Consultado: Junio 20 de 2014.

NIVIA, A. INGEOMINAS, 1991. Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Bogotá, Colombia.

Norma Técnica Colombiana 5167. 2004. Productos Para La Industria Agrícola Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas De Suelo, Colombia.

Ortiz-Bernad, I., Anderson, R. T., Vronis, H. A., and Lovley, D. R. 2004. Resistance of Solid-Phase U(VI) to Microbial Reduction during In Situ Bioremediation of Uranium-Contaminated Groundwater. *Applied and Environmental Microbiology*, 70 (12): 7558-7560.

Pieters A.H., 1978. The Water Hyacinth (*Eichhornia Crassipes*) - a review. *Abstracts on Tropical Agriculture* 4: 9-42.

Resolución Número (0848). 23 de Mayo de 2008. "Por la cual se declaran unas especies exóticas como invasoras y se señalan las especies introducidas irregularmente al país que pueden ser objeto de cría en ciclo cerrado y se adoptan otras determinaciones". El Ministro de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Colombia.

Richard T. y Trautmann N., 1996. C/N Ratio. Cornell Waste Management Institute. Cornell University.

Roberts T. 2007. Breves Agronómicas, El estiércol, almacén de nutrientes para las plantas, Disponible en:

[http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/\\$webindex/EB95D4ED6A97949506256AE80060EB08/\\$file/Breves+El+Estiercol.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iamex.nsf/$webindex/EB95D4ED6A97949506256AE80060EB08/$file/Breves+El+Estiercol.pdf). Consultado: Junio 20 de 2014.

Robles W., Madsen J. Jacinto de agua [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms], Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. Puerto Rico.

Roldán, G.A y Ramírez J. J., 2008. Fundamentos de Limnología Tropical. 2da Edición. Colección Ciencia y Tecnología. Universidad de Antioquia. Colombia.

Salamanca C., 2008. Efecto de las fuentes orgánicas obtenidas de los subproductos agroindustriales de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L) y el plátano (*Musa spp.*) sobre la actividad microbiana y

enzimática en el suelo. Facultad De Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Palmira Cali-Colombia.

Sculthorpe, 1971. The Biology of Aquatic Vascular Plants. Edward Arnold, Londres.

Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo SCCS, 2009. Segundo seminario regional. Materia orgánica, biología del suelo y productividad agrícola. Colombia.

Sosa O., 2005. Los Estiércoles y su uso como Enmiendas Orgánicas. Cátedra de Manejo de Tierras, Facultad de Ciencias Agrarias, Publicación cuatrimestral de la Facultad de Ciencias Agrarias – UNR, Universidad Nacional de Rosario. Argentina.

Terry, N. 1995. Can plants solve the se problem?. Abstract Book of the Fourteenth Annual Symposium on Current Topics in Plant Biochemistry, Physiology, and Molecular Biology. University of Missouri, Columbia, MO, pp. 63-64.

USEPA. 1996. Composting. Engineering Bulletin, EPA/540/5-96/502.

Weldon, C. S., Hartmann, A. F., Steinhoff, N. G., and Morrissey, J. D. (1973). A simple, safe, and rapid technique for the management of recurrent coarctation of the aorta. Annals of Thoracic Surgery, 15, 510.

12 ANEXOS

12.1 ANÁLISI DE SUELOS

12.1.1 ETAPA I

Tabla 13 Humedad. MÉTODO: Pesos

M.	P. Rec (gr)	P Muestra	PMSeCa+R	PMSeCa	%H
1	6,4	10	13,7	7,3	36,986
2	5,3	10	12,6	7,3	36,986
3	5,7	10	13,1	7,4	35,135
4	5,9	10	13,1	7,2	38,889
5	5	10	12,4	7,4	35,135
6	4,7	10	12	7,3	36,986

Tabla 14 TEXTURA. MÉTODO: Bouyoucos

lectura	Lectura del hidrómetro de Bouyoucos
A%	Porcentaje de Arenas
Ar%	Porcentaje de Arcillas
L%	Porcentaje de Limos

M.	Lectura (40 seg)	Temperatura (40 seg)	Lectura (2horas)	Temperatura (2 horas)	Lectura corregida (40 seg)	Lectura corregida (2 horas)	A%	Ar%	L%	TEXTURA
1	27	29	11	27	28,92	27,32	42,16	27,32	30,52	F-Ar
2	24	29	11	27	25,92	27,32	48,16	27,32	24,52	F-Ar
3	22	30	12	27	24,12	28,52	51,76	28,52	19,72	F-Ar
4	24	30	11	27	26,12	28,32	47,76	28,32	23,92	F-Ar
5	24	29	11	27	25,92	27,32	48,16	27,32	24,52	F-Ar
6	26	29	12	27	27,92	27,52	44,16	27,52	28,32	F-Ar

Tabla 15 Densidad Real. MÉTODO: Picnómetro

PW1	Peso agua picnómetro sin suelo
PW2	Peso agua picnómetro + suelo

M	P Picn. (g)	P+Agua (g)	Psuelo (g)	Vol. Com (g)	PW1	PW2	PW	Dr
1	36,8082	86,7824	2,0004	87,9752	49,9742	49,1666	0,8076	2,477
2	36,1949	86,4073	1,9956	87,5482	50,2124	49,3577	0,8547	2,335
3	19,8403	69,83	1,9817	71,0406	49,9897	49,2186	0,7711	2,570
4	37,7137	86,8929	2,0067	88,0919	49,1792	48,3715	0,8077	2,484
5	20,1492	69,83	1,9968	71,0466	49,6808	48,9006	0,7802	2,559

6	36,4642	86,2381	2,0021	87,5697	49,7739	49,1034	0,6705	2,986
---	---------	---------	--------	---------	---------	---------	--------	--------------

Tabla 16 Densidad Aparente. MÉTODO: Terrón Parafinado

PTS	Peso terrón "seco"
PTP	Peso Terrón parafinado

M	PTS			PTP			Vol. Desplazado			%H	DaT2	DaT3	Da4
1	4,5	5,8	3,3	5,8	7,2	4	4	5	3	0,176	1,506	1,439	1,267
2	6,4	3,6	4,6	7,5	4,1	5,2	5	2,9	3,1	0,333	1,275	1,155	1,422
3	3,7	3,5	6,4	4,3	3,9	7,4	2,9	2,5	4,9	0,316	1,263	1,297	1,288
4	3,3	3,9	2,6	3,9	4,7	3,2	2,5	2,9	2,5	0,316	1,374	1,481	1,082
5	2,7	2,9	3,3	3,2	3,4	3,9	2	2,1	3	0,316	1,427	1,433	1,078
6	4,3	3,6	5,2	5	4,2	6,1	3	2,5	4	0,250	1,554	1,577	1,392

Tabla 17 Porosidad Total. MÉTODO: Densidades

	Dr	<u>n1</u>	n2
1	2,477	42,939	56,613
2	2,335	51,848	44,085
3	2,570	45,364	54,720
4	2,484	53,971	47,609
5	2,559	47,720	49,740
6	2,986	56,439	56,722

Tabla 18 Estabilidad de Agregados. MÉTODO: Yoder (Tamizado en húmedo)

TAMIZ 10				TAMIZ 20			TAMIZ 35			TAMIZ 60			TOTAL
M	PSu+Rec	PRec	PMuestra	PSu+Rec	PRec	PMuestra	PSu+Rec	PRec	PMuestra	PSu+Rec	PRec	P Muestra	PMUESTRA
1	35,9	4,1	31,8	20	4,6	15,4	19,9	4,5	15,4	15,8	4,4	11,4	74
2	37,8	6	31,8	19,7	5,9	13,8	17,7	6,3	11,4	14,6	6,1	8,5	65,5
3	38	6,2	31,8	24,4	6,2	18,2	23,4	6,1	17,3	18,2	6,1	12,1	79,4
4	26,3	7,2	19,1	23,8	6,3	17,5	24,8	6	18,8	18,3	6,2	12,1	67,5
5	28,5	6,5	22	25,3	6,4	18,9	24,9	6,5	18,4	16,9	6,2	10,7	70
6	51,7	4,3	47,4	19,4	4,1	15,3	18	4,5	13,5	13,4	4,5	8,9	85,1

	DPM									IE	1/sobre este valor	AE	AF	DGM
M	TAMIZ 10		TAMIZ 20		TAMIZ 35		TAMIZ 60							
1	0,86	Lig. Estable	0,18	Inestable	0,10	Inestable	0,04	Inestable	1,33	0,87	40,15	15,41	0,96	
2	0,97	Lig. Estable	0,18	Inestable	0,09	Inestable	0,03	Inestable	1,06	1,09	36,99	12,98	1,00	
3	0,80	Lig. Estable	0,19	Inestable	0,11	Inestable	0,04	Inestable	1,50	0,77	43,09	15,24	0,95	
4	0,57	Lig. Estable	0,22	Inestable	0,14	Inestable	0,04	Inestable	2,53	0,46	51,95	17,93	0,88	
5	0,63	Lig. Estable	0,23	Inestable	0,13	Inestable	0,04	Inestable	2,18	0,53	51,38	15,29	0,91	
6	1,11	Lig. Estable	0,15	Inestable	0,08	Inestable	0,03	Inestable	0,80	1,46	32,57	10,46	1,05	

Por cada agregado de tamaño intermedio hay x cantidad de x agregados de tamaño extremo (>2mm)

12.1.2 ETAPA V

Tabla 19 Resultados Densidad Aparente (Da)

Tratamiento	Da
TB1	0,8971
	0,8655
	0,9865
TB2	0,5998
	0,8721
	1,0325
TBF1	0,826
	0,655
	0,524
TBF2	1,02
	0,8944
	0,755
TM1	0,6629
	0,6853
	0,5248
TM2	0,9036
	0,8247
	0,8655
TT	1,2325
	1,2114
	1,1009

Tabla 20 Resultados Densidad Real (Dr)

Tratamiento	Dr (g/cm3)	n (%)
TB1	2,3867	62,41
	2,2299	61,19
TB2	2,6062	60,38
	2,4438	64,31
TBF1	1,8444	55,22
	2,361	72,26
TBF2	2,5717	60,34
	2,3635	62,16
TM1	2,3616	71,93

	2,391	71,34
TM2	2,4405	62,97
	2,4544	66,4
TT	2,6969	54,3
	2,8458	57,43

Tabla 21 Resultados Actividad Microbiana (AMS)

Tratamiento	AMS (ugC-CO2/gss)
TB1	56,27
	105,20
	86,85
TB2	129,66
	92,97
	92,97
TBF1	99,08
	117,43
	105,20
TBF2	56,27
	50,15
	62,39
TM1	68,50
	62,39
	80,73
TM2	92,97
	111,31
	111,31
TT	56,27
	129,66
	92,97

Tabla 22 Resultados Biomasa Microbiana

Tratamiento	Biomasa (µgC/Gss)	QMC02
TB1	63,18	0,0046
	16,71	0,0328
TB2	43,82	0,0154
	48,51	0,01

TBF1	43,61	0,0118
	15,9	0,0385
TBF2	29,96	0,0098
	11,62	0,0225
TM1	31,18	0,0114
	45,45	0,0071
TM2	57,68	0,0084
	77,04	0,0075
TT	109,04	0,0027
	94,97	0,0071

12.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

12.2.1 ETAPA IV

- pH

ANOVA Y POSTANOVA (Prueba de Tuckey)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Abono	2	2,7098	1,3549	19,82	0,002
Error	6	0,4101	0,0683		
Total	8	3,1198			

S = 0,2614 R-cuad. = 86,86% R-cuad. (Ajustado) = 82,47%

ICs de 95% individuales para la media basados en Desv.Est. Agrupada

Nivel	N	Media	Desv.Est.	
P1	3	7,2033	0,0451	(-----*-----)
P2	3	7,6800	0,2751	(-----*-----)
P3	3	8,5300	0,3568	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
7,20 7,80 8,40 9,00

Desv.Est. agrupada = 0,2614

Intervalos de confianza simultáneos de Tuckey del 95%

Todas las comparaciones de dos a dos entre los niveles de Abono

Nivel de confianza individual = 97,80%

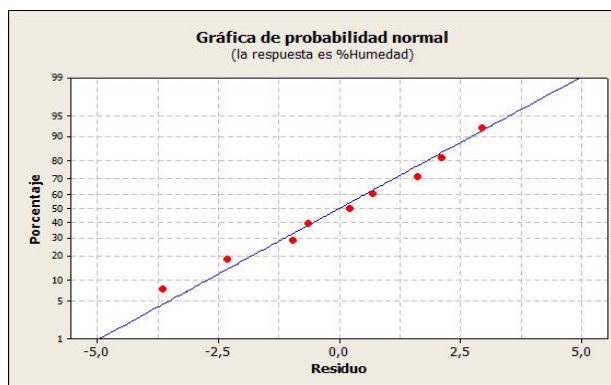


Figura 17 Probabilidad normal-Humedad

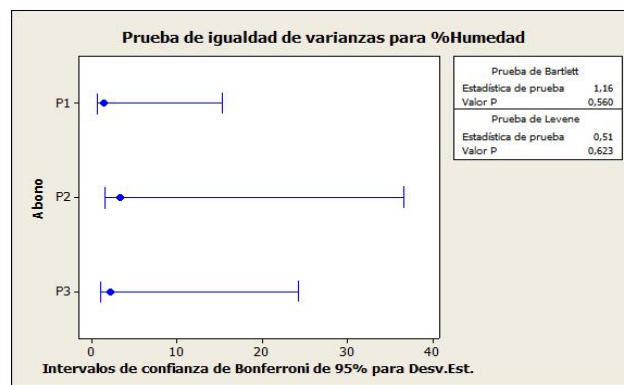


Figura 18 Homogeneidad de varianzas-Humedad

- Nitrógeno

Prueba de Kruskal-Wallis: % Nitrógeno vs. Tratamiento

Muestra	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
T1	3	0,04000	3,0	-1,55
T2	3	0,04000	5,3	0,26
T3	3	0,05000	6,7	1,29
General	9		5,0	

H = 2,76 GL = 2 P = 0,252

H = 3,44 GL = 2 P = 0,179 (ajustados para los vínculos)

- Carbono Orgánico

Prueba de Kruskal-Wallis: %CO vs. Tratamiento

Tratamiento	N	Mediana	Clasificación del promedio	Z
T1	3	7,350	2,0	-2,32
T2	3	20,300	8,0	2,32
T3	3	10,560	5,0	0,00
General	9		5,0	

H = 7,20 GL = 2 P = 0,027

12.2.2 ETAPA V

- Porcentaje de Germinación- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y su dosificación

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tipo de Compost	fijo	3	T1. T2. T3
Dosificación	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC Ajust.	F	P
Tipo de Compost	2	178	178	89	0,08	0,925
Dosificación	1	0	0	0	0,00	1,000
Tipo de Compost*Dosificación	2	533	533	267	0,24	0,794
Error	12	13600	13600	1133		
Total	17	14311				

S = 33,6650 R-cuad. = 4,97% R-cuad. (Ajustado) = 0,00%

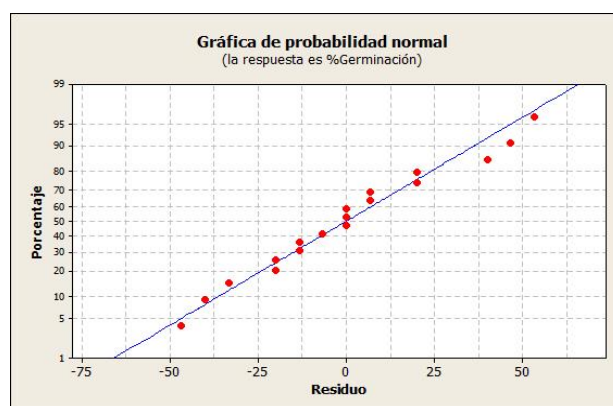


Figura 19 Probabilidad normal- %Germinación

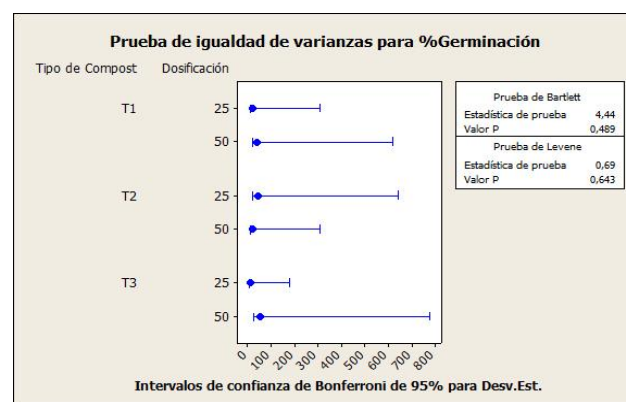


Figura 20 Homogeneidad de varianzas- %Germinación

- **Peso fresco - Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y su dosificación**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	3	T1. T2. T3
Dosis	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	2	1,2815	1,2815	0,6408	1,14	0,351
Dosis	1	1,0449	1,0449	1,0449	1,87	0,197
Tratamiento*Dosis	2	0,8275	0,8275	0,4138	0,74	0,498
Error	12	6,7212	6,7212	0,5601		
Total	17	9,8751				

S = 0,748397 R-cuad. = 31,94% R-cuad. (Ajustado) = 3,58%

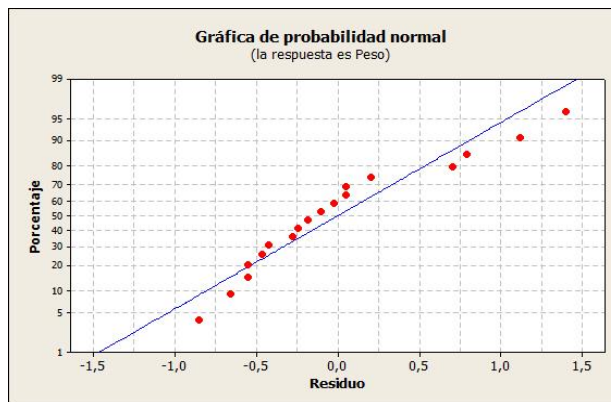


Figura 21 Probabilidad normal- Peso fresco

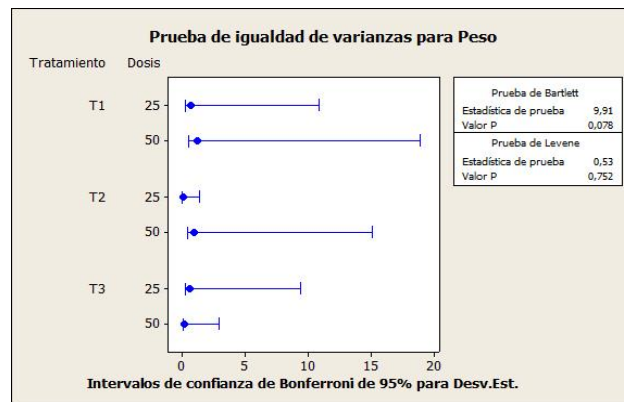


Figura 22 Homogeneidad de varianza- Peso fresco

- **Longitud de raíces - Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y su dosificación**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamientos	fijo	3	T1. T2. T3
Dosis	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamientos	2	21,941	21,941	10,971	1,28	0,313
Dosis	1	96,142	96,142	96,142	11,24	0,006
Tratamientos*Dosis	2	2,034	2,034	1,017	0,12	0,889
Error	12	102,633	102,633	8,553		
Total	17	222,751				

S = 2,92451 R-cuad. = 53,92% R-cuad. (ajustado) = 34,73%

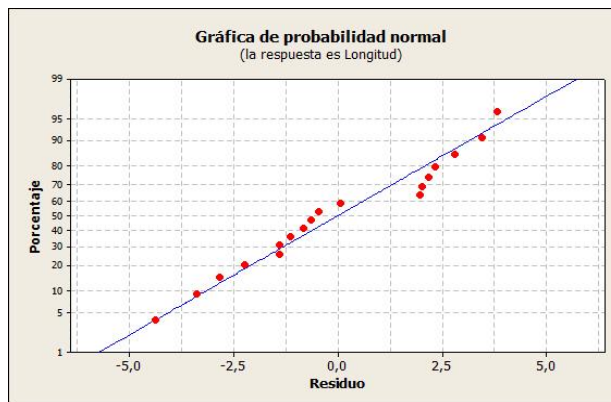


Figura 23 Probabilidad normal- Longitud de raíces

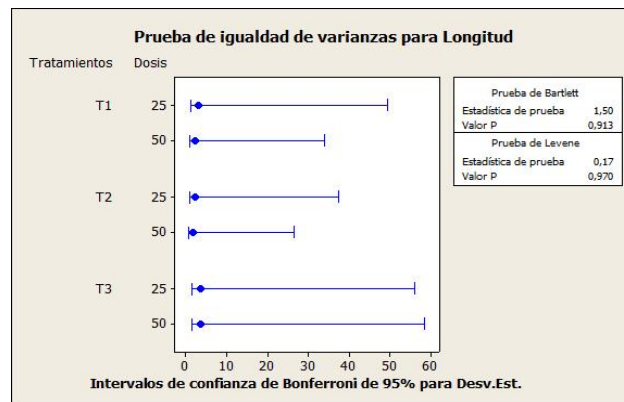


Figura 24 Homogeneidad de varianzas- Longitud de raíces

- **Porcentaje de Germinación- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo**

ANOVA

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	Ajust.	F	P
Tratamiento	5	3044	3044	609	0,61	0,695
Error	12	12000	12000	1000		
Total	17	15044				

S = 31,6228 R-cuad. = 20,24% R-cuad. (Ajustado) = 0,00%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta %Germ

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = TT restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
TB1	-108,2	-33,33	41,58
TB2	-108,2	-33,33	41,58
TBF1	-108,2	-33,33	41,58
TM1	-101,6	-26,67	48,25
TM2	-114,9	-40,00	34,91

- **Peso fresco- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo**

ANOVA

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	6	4,1871	4,1871	0,6979	1,45	0,265
Error	14	6,7474	6,7474	0,4820		
Total	20	10,9345				

S = 0,694230 R-cuad. = 38,29% R-cuad. (Ajustado) = 11,85%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Peso

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = TT restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
TB1	-1,022	0,62883	2,280
TB2	-1,147	0,50437	2,155
TBF1	-1,059	0,59150	2,242
TBF2	-0,264	1,38660	3,038
TM1	-1,693	-0,04157	1,609
TM2	-0,918	0,73343	2,384

- **Longitud de raíces- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo**

ANOVA

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamientos	6	127,647	127,647	21,274	2,59	0,067
Error	14	115,140	115,140	8,224		
Total	20	242,787				

S = 2,86780 R-cuad. = 52,58% R-cuad. (Ajustado) = 32,25%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Longitud

Comparaciones con el nivel de control

Tratamientos = TT restado a:

Tratamientos	Inferior	Centrada	Superior
TB1	-12,72	-5,900	0,9199
TB2	-7,22	-0,400	6,4199
TBF1	-9,22	-2,400	4,4199
TBF2	-5,35	1,467	8,2865
TM1	-10,59	-3,767	3,0532
TM2	-6,09	0,733	7,5532

- **Densidad aparente (Da)**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	3	T1. T2. T3
DOSIS	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	2	0,05541	0,05541	0,02770	1,64	0,235
DOSIS	1	0,07226	0,07226	0,07226	4,28	0,061
Tratamiento*DOSIS	2	0,09788	0,09788	0,04894	2,90	0,094
Error	12	0,20282	0,20282	0,01690		
Total	17	0,42837				

S = 0,130005 R-cuad. = 52,65% R-cuad. (ajustado) = 32,93%

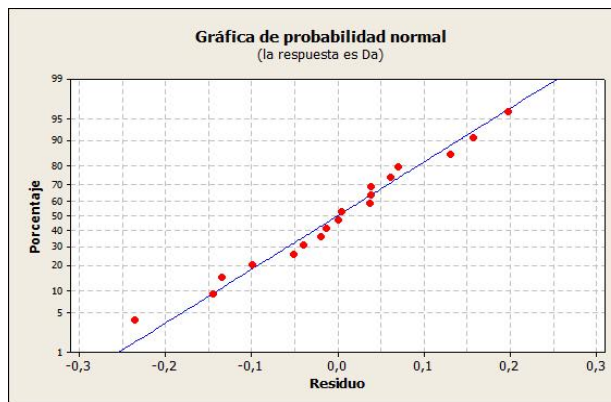


Figura 25 Probabilidad normal- Da

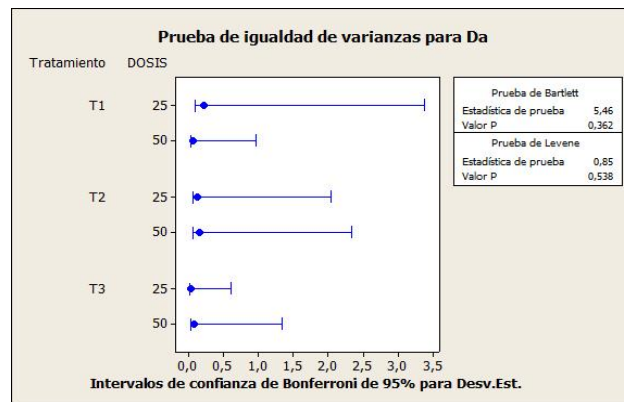


Figura 26 Homogeneidad de varianzas

- **Da- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento_1	fijo	7	TB1. TB2. TBF1. TBF2. TM1. TM2. TT

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento_1	6	0,60058	0,60058	0,10010	6,59	0,002
Error	14	0,21281	0,21281	0,01520		
Total	20	0,81339				

S = 0,123291 R-cuad. = 73,84% R-cuad. (ajustado) = 62,62%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Da_1

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento_1 = TT restado a:

Tratamiento_1	Inferior	Centrada	Superior
TB1	-0,5584	-0,2652	0,0280
TB2	-0,6400	-0,3468	-0,0536
TBF1	-0,8065	-0,5133	-0,2201
TBF2	-0,5850	-0,2918	0,0014
TM1	-0,8505	-0,5573	-0,2641
TM2	-0,6102	-0,3170	-0,0238

- **Dr**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	3	T1. T2. T3
DOSIFI	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	2	0,04449	0,04449	0,02225	0,74	0,517

DOSIFI	1	0,14203	0,14203	0,14203	4,71	0,073
Tratamiento*DOSIFI	2	0,04315	0,04315	0,02158	0,71	0,527
Error	6	0,18107	0,18107	0,03018		
Total	11	0,41074				

S = 0,173719 R-cuad. = 55,92% R-cuad.(ajustado) = 19,18%

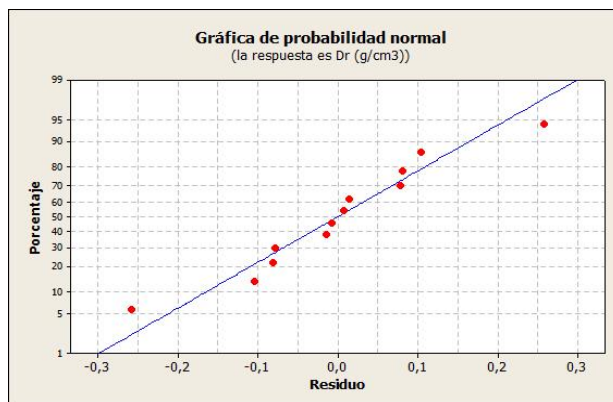


Figura 27 Probabilidad normal- Dr

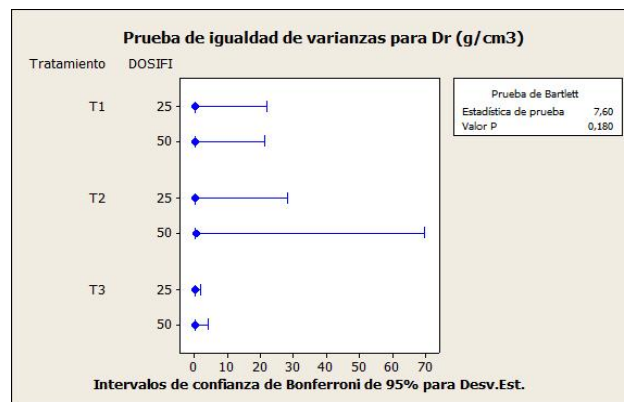


Figura 28 Homogeneidad de varianzas- Dr

• Dr- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	7	TB1. TB2. TBF1. TBF2. TM1. TM2. TT

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	6	0,50410	0,50410	0,08402	3,06	0,085
Error	7	0,19216	0,19216	0,02745		
Total	13	0,69626				

S = 0,165683 R-cuad. = 72,40% R-cuad.(ajustado) = 48,75%

95,0% Intervalos de confianza simultáneos de Dunnett

Variable de respuesta Dr (g/cm3)

Comparaciones con el nivel de control

Tratamiento = TT restado a:

Tratamiento	Inferior	Centrada	Superior
TB1	-1,015	-0,4630	0,0889
TB2	-0,798	-0,2463	0,3056
TBF1	-1,221	-0,6686	-0,1167
TBF2	-0,856	-0,3037	0,2482
TM1	-0,947	-0,3950	0,1569

TM2 -0,876 -0,3239 0,2280

- **Actividad Microbiana**

ANOVA Y POSTANOVA (Prueba de Tuckey)

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TIPO COMPOST	fijo	3	T1. T2. T3
DOSIS	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TIPO COMPOST	2	448,9	448,9	224,4	0,97	0,406
DOSIS	1	18,7	18,7	18,7	0,08	0,781
TIPO COMPOST*DOSIS	2	6434,2	6434,2	3217,1	13,95	0,001
Error	12	2768,2	2768,2	230,7		
Total	17	9670,0				

S = 15,1882 R-cuad. = 71,37% R-cuad. (Ajustado) = 59,45%

La prueba de Tuckey se realiza a partir la media con un nivel confianza de Tuckey del 95%

TIPO COMPOST	DOSIS	Media
BUCHÓN	50	82,77
ESTIERCOL	50	107,24
MEZCLA	50	70,54
BUCHÓN	25	105,20
ESTIERCOL	25	56,27
MEZCLA	25	105,20

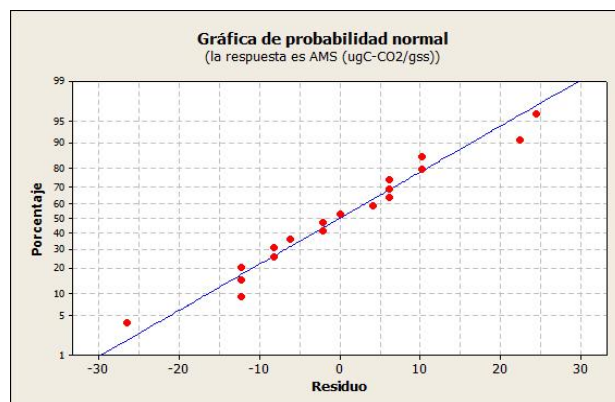


Figura 29 Probabilidad normal- AMS

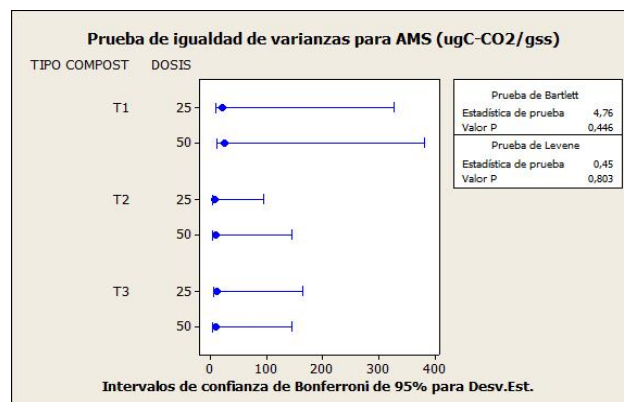


Figura 30 Homogeneidad de varianzas- AMS

- **Actividad Microbiana- Análisis estadístico entre los los tratamientos a base de buchón de agua y el testigo**

ANOVA

- Buchón de agua con dosis de 50%

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TIPO COMPOST	fijo	2	TB1. TT

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TIPO COMPOST	1	155,9	155,9	155,9	0,16	0,710
Error	4	3915,4	3915,4	978,8		
Total	5	4071,2				

S = 31,2865 R-cuad. = 3,83% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Pruebas simultáneas de Dunnett
Variable de respuesta AMS (ugC-CO2/gss)
Comparaciones con el nivel de control
TIPO COMPOST = TT restado a:

TIPO	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
COMPOST TB1	-10,19	25,55	-0,3990	0,7102

- **Buchón de agua con dosis de 25%**

Factor	Tipo	Niveles	Valores
TIPO COMPOST	fijo	2	TB2. TT

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
TIPO COMPOST	1	224,4	224,4	224,4	0,25	0,643
Error	4	3591,2	3591,2	897,8		
Total	5	3815,6				

S = 29,9632 R-cuad. = 5,88% R-cuad.(ajustado) = 0,00%

Pruebas simultáneas de Dunnett
Variable de respuesta AMS (ugC-CO2/gss)
Comparaciones con el nivel de control
TIPO COMPOST = TT restado a:

TIPO	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
COMPOST TB2	12,23	24,46	0,5000	0,6433

- **Biomasa Microbiana**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tratamiento	fijo	3	T1. T2. T3
DOSIFI	fijo	2	25. 50

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tratamiento	2	0,0002918	0,0002918	0,0001459	1,02	0,415

DOSIFI	1	0,0000893	0,0000893	0,0000893	0,63	0,459
Tratamiento*DOSIFI	2	0,0000300	0,0000300	0,0000150	0,11	0,902
Error	6	0,0008561	0,0008561	0,0001427		
Total	11	0,0012672				

S = 0,0119447 R-cuad. = 32,44% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

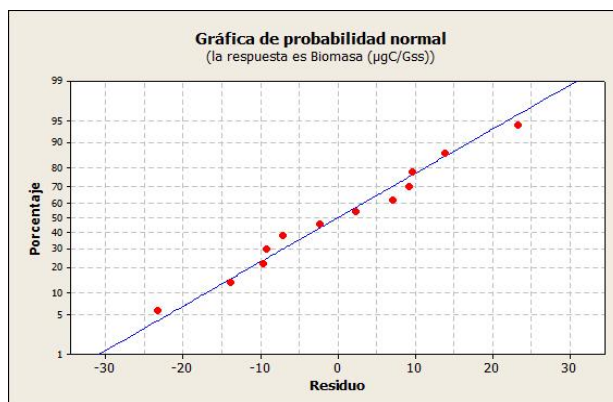


Figura 31 Probabilidad normal- Biomasa Microbiana

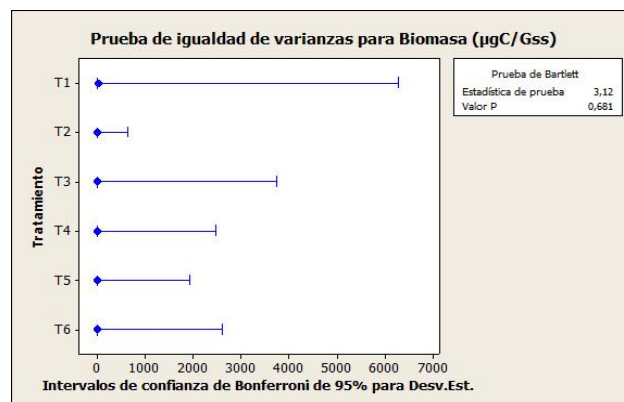


Figura 32 Homogeneidad de varianzas- Biomasa Microbiana

- Biomasa- Análisis estadístico entre los diferentes tipos de compost y el testigo**

ANOVA

Factor	Tipo	Niveles	Valores				
Tipo de Compost	fijo	7	TB1.	TB2.	TBF1.	TBF2.	TM1. TM2. TT

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.	F	P
Tipo de Compost	6	0,0005857	0,0005857	0,0000976	0,79	0,606
Error	7	0,0008658	0,0008658	0,0001237		
Total	13	0,0014516				

S = 0,0111216 R-cuad. = 40,35% R-cuad. (ajustado) = 0,00%

Pruebas simultáneas de Dunnett
Variable de respuesta QMCO2
Comparaciones con el nivel de control
Tipo de Compost = TT restado a:

Tipo de Compost	Diferencia de medias	SE de diferencia	Valor T	Valor P ajustado
TB1	0,013813	0,01112	1,2420	0,6731
TB2	0,007798	0,01112	0,7012	0,9461
TBF1	0,020254	0,01112	1,8212	0,3600
TBF2	0,011235	0,01112	1,0102	0,8094

TM1	0,004396	0,01112	0,3953	0,9962
TM2	0,003061	0,01112	0,2752	0,9995