



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE MEDIANTE LA
INTRODUCCION DE UN ABONO MICROBIAL QUE CONTIENE
*Streptomyces sp, Aspergillus niger Y Lactobacillus sp.***

PROYECTO DE GRADO

JOSE DAVID ALARCON PRIETO

YEFERSON ALEXIS GORDILLO RANGEL

GUSTAVO NICOLAS RIVERA LLANOS

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLINICO
BOGOTÁ 2019**



**OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE MEDIANTE LA
INTRODUCCIÓN DE UN ABONO MICROBIAL QUE CONTIENE
*Streptomyces sp, Aspergillus niger Y Lactobacillus sp***

**JAIRO LEONARDO CUERVO ANDRADE, M.Sc., Ph.D.
Asesor Externo**

**JOVANNA ACERO GODOY, M.Sc.
Asesora Interna**

**UNIVERSIDAD COLEGIO MAYOR DE CUNDINAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
PROGRAMA BACTERIOLOGÍA Y LABORATORIO CLINICO
BOGOTA 2019**

DEDICATORIA

Primeramente agradezco infinitamente a mi familia el apoyo incondicional y el motivo más grande de haber iniciado este camino de conocimiento, por su dedicación y paciencia a lo largo de estos años, a la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca por haberme abierto las puertas para un sin fin de conocimientos y oportunidades de ser personas de ciencia con vocación en la salud y darnos integridad como personas, acogernos como nuestra alma mater para seguir en este camino de la investigación, a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo motivándonos a superarnos a no caer en el camino, surgir como correctos profesionales y seguir adelante día a día.

Agradezco también a nuestra asesora de tesis, la doctora Jovanna Acero Godoy por habernos brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también habernos tenido toda la paciencia del mundo para guiarnos durante todo el desarrollo de nuestra tesis y convertirse en nuestra docente y en nuestra amiga. Un agradecimiento fraternal a la Universidad Nacional de Colombia y en especial al doctor Jairo Leonardo Cuervo por abrirnos las puertas de su conocimiento y brindarnos las pautas y acompañamiento para la realización de este trabajo y poder establecer vínculos de investigaciones futuras para próximos tesis. Agradezco a todos los que fueron nuestros compañeros de clase durante todos los niveles de Universidad y al compañerismo, amistad y apoyo moral que han aportado para mi durante la travesía de nuestra carrera, y a cada una de las personas que aportaron y dieron a su manera el apoyo y calor fraternal para salir adelante y culminar esta etapa como Bacteriólogos, mi más sincero agradecimiento.

José David Alarcón Prieto

Primeramente, a Dios. A mi madre, Rosa; y mi padre, Jairo, gracias por darle color a mi vida. Por confiar siempre en mí, apoyarme durante este largo proceso y guiarme por el camino correcto.

Y claro, a la vida por permitirme llegar a este punto, fin de una etapa más, pero comienzo de otra nueva que viviré y aprovecharé al máximo.

Yeferson Gordillo Rangel.

A Dios, mi mamá y mi abuela por su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera profesional y a cada una de las personas, que de alguna manera hicieron posible la realización de este proyecto.

Nicolas Rivera Llanos.

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 13 |
| ABSTRACT..... | 14 |
| 1. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 2. OBJETIVOS | 16 |
| 2.1. GENERAL | 16 |
| 2.2. ESPECÍFICOS | 16 |
| 3. ANTECEDENTES | 17 |
| 4. MARCO TEORICO..... | 21 |
| 4.1. Bioabono o Abono Orgánico..... | 21 |
| 4.2. Clasificación de los Bioabonos. (ver tabla 1) | 22 |
| 4.2.1. Abono microbial..... | 22 |
| 4.2.2. Abono de origen vegetal | 22 |
| 4.2.3. Abono de origen animal | 22 |
| 4.3. Aceleradores de compostaje | 23 |
| 4.3.1. Preparados microbianos | 23 |
| 4.3.2. Biopreparado orgánico estándar (Caldo microbiano de rizosfera)..... | 23 |
| 4.4. Microorganismos utilizados para el bioabono | 24 |
| 4.4.1. <i>Lactobacillus</i> sp | 24 |
| 4.4.2. <i>Streptomyces</i> sp..... | 25 |
| 4.4.3. <i>Aspergillus niger</i> | 26 |
| 4.5. Residuos | 27 |
| 4.6. Clasificación de los residuos..... | 28 |
| 4.6.1. Residuo orgánico: | 28 |
| 4.6.2. Residuo inorgánico: | 28 |
| 4.6.3. Residuos peligrosos:..... | 28 |
| 4.7. Residuos orgánicos utilizados en el proceso de compostaje | 28 |
| 4.7.1. Rápida descomposición | 28 |
| 4.7.2. Lenta descomposición..... | 29 |
| 4.7.3. Muy lenta descomposición..... | 29 |
| 4.8. Compostaje | 29 |
| 4.9. Fases del compostaje..... | 29 |
| 4.9.1. Descomposición | 30 |
| 4.9.2. Fase Mesófila..... | 30 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.9.3. | Fase de Higienización o Termófila | 30 |
| 4.9.4. | Fase de Enfriamiento o Mesófila II | 31 |
| 4.9.5. | Fase de maduración | 31 |
| 4.10. | Método y técnica de compostaje | 31 |
| 4.10.1. | Paca digestora (compostaje tipo pack)..... | 31 |
| 4.11. | Población microbiana en un compostaje..... | 32 |
| 4.11.1. | Bacterias:..... | 32 |
| 4.11.2. | Hongos:..... | 32 |
| 4.11.3. | Actinomicetos:..... | 33 |
| 4.12. | Compost..... | 33 |
| 4.13. | Parámetros de Calidad | 33 |
| 4.13.1. | Temperatura..... | 33 |
| 4.13.2. | Humedad | 34 |
| 4.13.3. | pH | 34 |
| 4.13.4. | Relación carbono nitrógeno..... | 34 |
| 5. | DISEÑO METODOLOGICO..... | 35 |
| 5.1. | Tipo de investigación | 35 |
| 5.2. | Población de estudio | 35 |
| 5.3. | Muestra | 35 |
| 5.4. | Variables | 35 |
| 5.4.1. | Independientes | 35 |
| 5.4.2. | Dependientes..... | 36 |
| 5.5. | Hipótesis..... | 37 |
| 5.6. | Procedimientos..... | 37 |
| 5.6.1. | Recolección de la muestra..... | 37 |
| 5.6.2. | Muestreo..... | 38 |
| 5.6.3. | Construcción del compostaje | 41 |
| 5.6.4. | Materiales utilizados | 43 |
| 5.6.5. | Armado de pacas digestoras (pilas tipo pack)..... | 44 |
| 5.6.6. | Armado de compostaje en maceta..... | 44 |
| 5.6.7. | Muestreo inicial y final pacas digestoras | 45 |
| 5.6.8. | Muestreo inicial y final compostaje en materas..... | 46 |
| 5.6.9. | Biopreparado orgánico estándar..... | 46 |
| 5.7. | Procedimiento..... | 46 |
| 5.7.1. | Alistamiento de <i>Streptomyces</i> sp y <i>Lactobacillus</i> sp..... | 47 |

| | |
|--|-----------|
| 5.7.2. Bioabono para pacas biodigestoras | 47 |
| 5.7.3. Bioabono para compostaje en macetas | 48 |
| 5.7.4. Alistamiento de <i>Aspergillus niger</i> | 48 |
| 5.8. Dosis y regado en pilas biodigestoras | 48 |
| 5.9. Dosis y regado en macetas | 49 |
| 5.10. Germinación | 49 |
| 6. RESULTADOS..... | 50 |
| 6.1. Seguimiento parámetros de temperatura en pacas digestoras | 50 |
| 6.2. Seguimiento parámetros de temperatura en compostaje en materas | 51 |
| 6.3. Seguimiento parámetros de pH en compostaje en materas..... | 52 |
| 6.4. Seguimiento parámetros de peso en compostaje en materas..... | 52 |
| 6.5. Número de UFC en el primer y último muestreo de compostaje en materas | 53 |
| 6.6. Número de UFC en el primer y último muestreo de compostaje en pacas digestoras | 55 |
| 6.7. Parámetro final peso y altura de las pacas digestoras | 58 |
| 6.8. Prueba de germinación pacas digestoras..... | 58 |
| 6.9. Prueba de germinación Compostaje Matera..... | 59 |
| 7. DISCUSIÓN | 60 |
| 8. CONCLUSIONES | 65 |
| 9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS..... | 66 |
| 10. ANEXOS | 73 |
| Anexo 1: Ingredientes del caldo microbial de rizosfera..... | 73 |
| Anexo 2 : Resolución 698 de febrero de 2011..... | 73 |
| Anexo 3: Resolución 00150 de enero de 2003 | 73 |

INDICE DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| Ilustración 1: descripción de la clasificación de abonos orgánicos según los residuos utilizados. Tomada de: Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas..... | 22 |
| Ilustración 2: pila compostera en fase mesofílica donde se tomarán muestras para aislamiento de microorganismos de interés. Tomada por autores..... | 38 |
| Ilustración 3: dilución 1 X 10 ⁻⁵ en agar nutritivo | 39 |
| Ilustración 4: tinción de Gram que muestra bacilos Gram positivos largos delgados, típica morfología de Streptomyces sp. Tomada por los autores..... | 40 |
| Ilustración 5: tinción de Gram que muestra bacilos Gram positivos. Correspondientes a la morfología de Lactobacillus sp..... | 41 |
| Ilustración 6: mezcla de materiales antes de depositar en la estructura..... | 44 |
| Ilustración 7: pilas tipo pack terminadas | 44 |
| Ilustración 8: pilas terminadas y marcadas | 44 |
| Ilustración 9: pilas en macetas para control en laboratorio | 45 |
| Ilustración 10: macetas marcadas y listas para incubar..... | 45 |
| Ilustración 11: macetas en ambiente controlado..... | 45 |
| Ilustración 12: inóculos de Lactobacillus sp en tubos de a 1ml..... | 47 |
| Ilustración 13: inóculo de Streptomyces sp a una escala 0,5 Mc Farland..... | 48 |
| Ilustración 14: prueba germinación Paca digestora | 49 |
| Ilustración 15: prueba germinación matera..... | 49 |
| Ilustración 16: comparación de las temperaturas en °C cada tercer día, en compostaje tipo paca digestora con los diferentes tratamientos..... | 50 |
| Ilustración 17: comparación de la altura en cm cada tercer día, en compostaje tipo paca digestora con los diferentes tratamientos | 51 |
| Ilustración 18: comparación de las temperaturas en °C de los diferentes tratamientos cada tercer día, en compostaje en materas. | 51 |
| Ilustración 19: comparación del pH en compostaje en materas con los diferentes tratamientos aplicados | 52 |
| Ilustración 20: comparación del peso en gramos de los compostajes en materas con los tratamientos aplicados..... | 53 |

| | |
|--|----|
| Ilustración 21: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia con tratamiento de bioabono | 54 |
| Ilustración 22: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia con tratamiento de CRF | 54 |
| Ilustración 23: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia control..... | 55 |
| Ilustración 24: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras con bioabono | 56 |
| Ilustración 25: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras control | 56 |
| Ilustración 26: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras con tratamiento CRF | 57 |
| Ilustración 27: comparación pérdida de altura compostaje tipo pack entre los 3 tratamientos aplicados | 58 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: microorganismos más frecuentes en bioabonos comerciales | 27 |
| Tabla 2: breve descripción de materiales utilizados en el compostaje | 43 |
| Tabla 3: valores de UFC en compostaje en materia con tratamiento de bioabono..... | 53 |
| Tabla 4: valores de UFC en compostaje en materia con tratamiento de CRF...54 | |
| Tabla 5: valores de UFC en compostaje en materia control | 55 |
| Tabla 6: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras con bioabono ... | 55 |
| Tabla 7: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras control..... | 56 |
| Tabla 8: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras con tratamiento CRF | 57 |
| Tabla 9 germinación pacas digestora..... | 58 |
| Tabla 10 germinación compostaje materia..... | 59 |

RESUMEN

Realizar procesos de compostaje se ha convertido en una alternativa de interés social y económico para una adecuada manipulación a los residuos en procesos de descomposición, y de esta manera ayuda a mitigar los impactos que pueden causar al medio ambiente. Los sistemas de compostaje permiten dar un manejo a los diferentes tipos de suelo y una alternativa amigable para con el medio ambiente y los agricultores.

Estandarizar el método provee la oportunidad de enfocarse a otros microorganismos de la biota del suelo que, a pesar de conocer sus propiedades, no han sido utilizados como base en un fertilizante. La composición del bioabono fue realizada a partir de microorganismos encontrados en compostajes, con el fin de aprovechar al máximo sus propiedades nativas. Así, el presente proyecto permitió evaluar la efectividad del producto desarrollado, que fue usado en cultivos de hortalizas, además de ser dirigido a huertas domésticas o jardines pequeños.

En el presente estudio se aislaron e identificaron *Streptomyces sp*, *Lactobacillus sp.*, y *Aspergillus niger* procedentes del proceso de compostaje y se utilizaron en la elaboración de un abono microbial que fue el encargado de acelerar el proceso de compostaje.

Palabras clave: compostaje, microorganismos, fertilizante, residuos.

ABSTRACT

Performing composting processes has become an alternative of social and economic interest for an adequate modification to waste in decomposition processes, and in this way helps to mitigate the damage that can be caused to the environment. Composting systems allow different types of soil to be managed and a friendly alternative for the environment and farmers.

Standardizing the method provides the opportunity to focus on other microorganisms of the soil biota that, despite knowing their properties, have not been used as a base in a fertilizer. The composition of the bioabono was made from microorganisms found in compostajes, in order to obtain maximum native properties. Thus, this project evaluates the evaluation of the product developed, the fuel used in crops and vegetables, as well as being directed to domestic or small gardens.

In the present study, *Streptomyces sp*, *Lactobacillus sp* and *Aspergillus niger* identified the composting process and were used in the preparation of a microbial fertilizer that was responsible for accelerating the composting process.

Keywords: Composting, microorganisms, fertilizer, waste.

1. INTRODUCCIÓN

El compostaje es la forma correcta de darle un buen aprovechamiento a toda la materia orgánica. Con ello se da un adecuado manejo a todos los suelos contribuyendo al mejoramiento de nutrientes.

La presente investigación se enfocó en optimizar el proceso de compostaje a partir de un bioabono microbial provisto de tres microorganismos nativos del suelo; *Streptomyces sp*, *Lactobacillus sp* y *Aspergillus niger*. La producción de un abono microbial, se realiza con el fin de establecer un recurso con el cual se puedan reducir los tiempos de producción durante el proceso de compostaje.

Así, el presente proyecto permitió evaluar la efectividad del bioabono microbial, para ser probado en compost, que fue usado en cultivos de hortalizas, dirigido a huertas domésticas o jardines pequeños; a su vez para la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca, en especial para el programa de Bacteriología y Laboratorio Clínico, genera un aporte en las investigaciones, donde se busca la creación de una patente de un bio insumo con características innovadoras con la participación de estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca y la Universidad Nacional de Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1. GENERAL

Optimizar el proceso de compostaje mediante el uso de un abono microbial a partir de un pool de tres microorganismos, extraídos de compostajes en proceso de producción.

2.2. ESPECÍFICOS

- Comparar la efectividad del bioabono con un caldo microbial ya estandarizado en relación a tiempo de producción y maduración del compostaje.
- Comparar los procesos de compostaje tradicionales y en pacas digestoras, para determinar el más eficiente en términos de la calidad del humus producido.
- Evaluar la efectividad del producto final mediante la capacidad de germinación de semillas de lechuga.

3. ANTECEDENTES

La utilización de abonos microbianos se remonta casi al proceso de compostaje con el fin de reducir sus tiempos de producción, estos preparados buscan garantizar que la descomposición de los residuos sólidos sea en el menor tiempo posible para así disminuir el impacto de la acumulación de los mismos. Se han realizados estudios a diferentes suelos para conocer qué tipos de ayudas se pueden emplear para su optimización, haciendo énfasis en la preservación del medio ambiente, evitando la contaminación y el daño paulatino de dicho suelo. Amazonas Kaudal B y colaboradores en 2018 describen que “se ha demostrado que los suelos de Terra Preta se desarrollan después de una considerable modificación del suelo a través de la adición de carbón y con el tiempo el envejecimiento natural ha llevado a un aumento de la fertilidad de estos suelos”¹. Esto aplicado a zonas en teoría rurales y que posiblemente son tierras vírgenes.

En el manejo de desechos orgánicos de áreas urbanas, los desperdicios de alimentos, desechos verdes y biosólidos se consideran como una problemática debido al aumento poblacional. En la actualidad existe gran potencial de reutilización de desechos orgánicos urbanos para crear compost para su aplicación en enmiendas del suelo. Con este análisis se puede tener noción del proceso de compostaje en las zonas urbanas como mecanismo para su aplicación en diferentes ciudades y municipios de nuestro país.

En relación a esto Kaudal. B et.al en el año 2018 indagan sobre cómo el biochar urbano (producto orgánico de carbón vegetal obtenido por restos vegetales y residuos de biomasa) de compostaje con residuos alimenticios “mejoró el proceso de compostaje reduciendo el tiempo de composta y mejorando el índice de germinación de la semilla en el compost terminado”¹, sugiriendo así que existen diferentes opciones al momento de elaborar compostaje con material orgánico, debido a las variaciones que podemos encontrar en un proceso de elaboración, sabiendo que, dependiendo de lo que se busque, así mismo se va preparar.

En el transcurso de los años la cantidad de residuos sólidos está aumentando a medida que disminuye la cantidad de tierra disponible, se ha demostrado que los desperdicios de alimentos generados por la humanidad son un porcentaje considerable del total de los residuos orgánicos; para ello se debe tener en cuenta el mal manejo que se le dan a los residuos desde la fuente, como lo afirma una investigación en realizada por Liua. K et al., en el 2018 “el alto contenido de agua en el desperdicio de alimentos lo hace susceptible a la descomposición durante la recolección, el transporte y el almacenamiento. Esto puede conducir a la emisión de compuestos olorosos y tener un efecto adverso en la calidad del lixiviado de los vertederos”².

Al evaluar la cantidad del material compostado, es de gran importancia determinar dónde y cómo reciclar los desechos sólidos de áreas urbanas. Las propiedades químicas de los materiales compostados, valoran el rendimiento de sus efectos integrales, lo que influye en el crecimiento y la floración del cultivo al cual va a ser aplicado; en este sentido, es considerable saber que en el transcurso de 2018 evaluaciones en lugares clave hechas por Chen et al., muestra que “en diferentes etapas de la gestión de residuos sólidos municipales, varias tecnologías como el compostaje doméstico, el compostaje industrial y la minería de vertederos se podrían utilizar para reciclar materias orgánicas”³, demostrando así que “los materiales de compostaje doméstico tienen el nivel más alto de efectos integrales de fertilizantes, seguidos por el compostaje industrial, que es superior en la prolongación de la fase de crecimiento”³. La generación de grandes volúmenes de lodos de plantas de tratamiento de aguas industriales, representa riesgos ambientales si no son manejados adecuadamente y un problema económico para quienes los generan, la disposición final de éstos, resulta costosa⁴.

Estudios del año 2014 por García. I et. al comparan la eficiencia y el impacto ambiental entre el compostaje casero y el producido a nivel industrial⁵; en referencia al compostaje casero, se tienen en cuenta las materias primas de la fuente que se puede obtener, ya sea desechos de cocina y excretas de animales y mascotas. Como fuente principal se utilizan las excretas animales ya sean de bovinos, ovinos, caprinos, aves y domésticos pequeños como

perros y gatos, ya que estas “contienen una gran proporción de nutrientes ingeridos por el animal”⁶ y que pueden ser aprovechados al 100%. Un mal manejo de las excretas afecta directamente los mantos freáticos por aumento de compuestos químicos como el nitrógeno, siendo más exacto por aumento de NO₃.

El estudio realizado por X Hao et al⁷, en 2010 con relación al estiércol bovino, la inclusión de DDGS (granos secos de destilería con solubles) en las dietas podría afectar las propiedades del estiércol animal y afectar las estrategias de manejo del estiércol. Los DDGS son granos enteros sin almidón, el cual ha sido retirado durante la fermentación; al tener este componente en el estiércol hace aumentar la cantidad de emisión de gases de efecto invernadero en los compostajes subiendo los niveles de emisión de N₂O, como quedó demostrado puesto que el compostaje con DDGS del estudio tenía unos niveles de 0,155 de Nitrógeno, comparado con el del estiércol libre de DDGS que fue de 0,09. Adicional a esto, López W en 2010 en un estudio de composta a base de materia orgánica, reveló que “los testigos utilizados, compostas ya maduras, para evaluar dicha materia, muestran que el porcentaje de materia orgánica estuvo en función del origen de los sustratos utilizados para la preparación de las compostas”⁸.

Tomando en cuenta el tópico de compost a nivel industrial, para evaluar un compost como producto idóneo se deben barajar varias opciones de compuestos orgánicos y químicos que puedan alterar positiva y negativamente el mismo; en 2010, López W sugiere que los subproductos frescos de la industria a gran escala de compost (como la cachaza, bagazo y vinaza etc...) incorporados al suelo, generan un impacto negativo sobre las plantas⁸, es por ello que para la producción de estos mismos es importante tener en cuenta la normatividad que rige en este caso Colombia a partir de las entidades encargadas.

El estudio más cercano a nuestra investigación realizado en 2009 por Sánchez. T demuestra que la “dinámica poblacional bacteriana depende de la interacción compleja de factores físico-químicos y de manejo involucrados en el proceso de degradación de los residuos orgánicos”⁹ a partir de los resultados que

mostró la disminución bacteriana al llevarse los procesos térmicos, bajando niveles bacterianos mesofílicos, termofílicos y celulíticos. Cuando a nivel mundial hubo crisis de producción petrolera, “vuelve a aparecer el interés por el reciclaje y por la materia orgánica, lo que da otra vez un impulso importante al compostaje”¹⁰. Este se considera como un proceso de biorremediación del suelo, para ello hay que tener en cuenta la calidad de los recursos biológicos y orgánicos que se van a utilizar.

4. MARCO TEORICO

4.1. Bioabono o Abono Orgánico

También conocidos como fertilizantes biológicos o biofertilizantes, son productos con una formulación a base de microorganismos in vitro que como lo comenta Garro Alfaro J “incorporan al sistema agrícola microorganismos fijadores, solubilizadores y otros, que ayudan a la absorción de nutrimentos por las plantas”¹¹, para lograr así optimizar el crecimiento y demás propiedades de diferentes tipos de cultivos. Entre sus propiedades Artavia S et.al menciona que “Los abonos orgánicos ejercen efecto supresivo sobre patógenos de planta”¹² y además sugiere que “este efecto va a variar según el tipo de abono y a un sistema que denomina planta-patógeno”¹². Seguido a esto se encuentra el potencial promotor de crecimiento.

Otra propiedad de los bioabonos es la de poseer cepas que están acostumbradas al tipo de hábitat del suelo; (por ejemplo, una cepa de *Lactobacillus sp* aislada de la parte genital de un ser humano no se podría adaptar a condiciones del suelo).

El sustrato base del bioabono debe proveer a los microorganismos todas las condiciones para que sobrevivan y sean activas durante todo el tiempo que duren almacenadas, entre ellos nutrientes, pH, oxígeno y humedad.

Por último, el inoculo que lleve el bioabono debe tener la cantidad necesaria de microorganismos para que surtan el efecto esperado en el compostaje.

Adicionalmente no son causantes de contaminación ambiental, debido a que no poseen químicos entre sus componentes.

4.2. Clasificación de los Bioabonos. (ver tabla 1)

4.2.1. Abono microbial

Son fertilizantes que se utilizan a partir de inóculos microbianos, que proveen al suelo nutrientes naturales, preparados mediante su metabolismo, por el aprovechamiento de residuos orgánicos encontrados en el suelo¹³.

4.2.2. Abono de origen vegetal

Se utiliza a partir de compostaje en producción, usualmente es tomado de la parte superior del mismo y es directamente aplicado en suelos para cultivos¹³. Son ricos en potasio, nitrógeno orgánico y amoniacal, aminoácidos (obtenidos por hidrólisis enzimática).

4.2.3. Abono de origen animal

Proviene de biogestores, lombricomposta (humus) y estiércol ovino, bovino o gallinaza. Es rico en nutrientes, agua, nitrógeno y calcio¹⁴.

Clasificación de abonos orgánicos según los residuos

| Fuente de nutrimentos | Grado de procesamiento | Sólido | Líquidos |
|-----------------------|------------------------|---|--|
| Materia orgánica | Sin procesar | <i>Residuos vegetales:</i> - Residuos de cosecha - Residuos de poda - Residuos de postcosecha <i>Residuos de animales:</i> - Estiércoles frescos - Residuos de mataderos y otros <i>Coberturas:</i> - abonos verdes y mulch | Efluentes: - Pulpa de café - Desechos de origen animal - Otros residuos líquidos |
| | Procesados | - Compost - Lombricompost - Bocashi - Ácidos húmicos | - Biofermentos - Té de compost - Ácidos húmicos - Té de estiércol - Extractos de algas |

Ilustración 1: Descripción de la clasificación de abonos orgánicos según los residuos utilizados. Tomada de: Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas

4.3. Aceleradores de compostaje

Según Ramírez S, los inóculos de microorganismos elaborados con bacterias, hongos y actinomicetos nativos del suelo, pueden ser empleados para mejorar la descomposición de la materia orgánica, propiciando así la liberación de nutrientes disponibles que ayudaran al crecimiento de las plantas; además se evidencia¹⁵ “aumento significativo en la tasa de transformación del material compostable”¹⁶, lo que sugiere mayor aprovechamiento del material empleado en el proceso de compost.

4.3.1. Preparados microbianos

Los inóculos preparados como aceleradores del proceso de compostaje facilitan la descomposición de residuos.

Algunos microorganismos producen enzimas que favorecen la maduración del compostaje en su última fase, el uso de aceleradores se ha empleado como tecnologías para el aprovechamiento de estos residuos y en la biorremediación de suelos acidificados.

4.3.2. Biopreparado orgánico estándar (Caldo microbiano de rizosfera)

Es un líquido que esta hecho a base de microorganismos presentes en la Rizosfera de plantas, que mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo¹⁷; además de esto, “favorecen la reproducción de microorganismos benéficos (especialmente *Lactobacillus*, *Bacillus* y levaduras), que ayudan en el control biológico de algunas plagas y enfermedades de los cultivos”¹⁵.

4.4. Microorganismos utilizados para el bioabono

4.4.1. *Lactobacillus sp*

Taxonomía:

- Reino: Bacteria
- Filo: *Firmicutes*
- Familia: *Lactobacillaceae*
- Género: *Lactobacillus*

Actualmente el desarrollo de nuevas tecnologías en la agroindustria se ha convertido a nuestros tiempos en un campo de investigación muy amplio y de gran importancia debido a los avances investigativos en especies de microorganismos usados como método para garantizar una mejor calidad y aumentar beneficios para obtención de productos alimenticios con una calidad sobresaliente.

Teniendo en cuenta que actualmente en la industria se usan cultivos iniciadores en una gran gama de procesos agrónomos, los más relevantes y que tienen un gran nivel de importancia, son las fermentaciones; diferentes géneros de su amplia gama de especies de *Lactobacillus sp*, presentan con gran auge estas características. Este género de microorganismos puede producir una gran variedad de componentes químicos como lo son ácido acético, ácido láctico, peróxido de hidrogeno, entre otros algunos de estos muestran alto nivel de actividad antifúngica, microorganismos como *Lactobacillus sp* dan una vida útil más larga a los alimentos, es por eso por lo que es usado en investigaciones de bio preservación, y afectan positivamente a la flora gastrointestinal de nuestro cuerpo. Estos microorganismos se le conocen como probióticos y pueden ser aislados de diferentes tipos de lácteos, cárnicos frescos o madurados¹⁸.

Lactobacillus sp es uno de los géneros con propiedades probióticas más importantes, actualmente se distinguen más de 140 especies de este género en las cuales se incluyen bacterias gran positivas, comprenden que se

encuentran sin movilidad, catalasa negativa, son no esporulados, y pueden desarrollarse en ambientes anaerobios por lo cual su acción benéfica dentro de nuestro organismo es de gran importancia; estas pueden presentar formas espiralizadas o coco bacilares en unas condiciones propias para estos últimos.

La gran capacidad antagónica que poseen las bacterias ácido lácticas (BAL), es debido a sus productos metabólicos, puesto que al tener acción fermentativa a distintos hidrocarburos estas BAL producen variedad de sustancias con acción antimicrobiana como los son las distintas sustancias ya antes mencionadas¹⁹.

4.4.2. *Streptomyces* sp

Este microorganismo es utilizado como biocontrol de fitopatógenos por su actividad enzimática productora de antibióticos.

Taxonomía:

- Reino: Bacteria
- Filo: *Actinobacteria*
- Familia: *Streptomycetaceae*
- Género: *Streptomyces*

Es una actinobacteria Gran positiva formadora de cadena de esporas; La diferenciación morfológica de las actinobacterias, especialmente los streptomycetos, está controlada por genes relevantes.

El hábitat natural es el suelo y medios acuáticos, son descomponedores, viviendo de forma saprofita en residuos vegetales orgánicos²⁰.

Para identificar plenamente un *Streptomyces* es necesario determinar el modo de crecimiento, ubicación y cantidad de la spora. “La longitud, forma, posición y color de la cadena de esporas de actinomiceto son la base importante para la clasificación”²¹.

4.4.3. *Aspergillus niger*

Taxonomía:

- Reino: Fungi
- Filo: *Ascomycota*
- Familia: *Trichocomaceae*
- Género: *Aspergillus*

Género descrito inicialmente en 1729 por Micheli en su nova Plantarum genera. Micheli describió en nomenclatura latina bi o trinomial 9 especies dentro del género *aspergillus*. Haller, años después en sus tratados fechados en 1742 y 1768, utilizó la nomenclatura polinomial y las especies de Micheli, consolidando el nombre de *Aspergillus*. En 1801, Persoon introdujo las especies descritas en el género *Aspergillus* en el género *Monilia*. Siendo Link en 1809, quien sacó a *aspergillus* del género de *Monilia*, porque sus cadenas de conidios se originaban en el capitulum. Las distintas especies se encuentran distribuidas por todo el mundo, encontrándose y aislándose principalmente en zonas tropicales y subtropicales a partir de un gran número de sustratos.

Aspergillus es un hongo mitospórico y sus formas se incluyen dentro de la familia *Trichocomaceae*, del orden Eurotiales, perteneciente al Phylum *Ascomycota*. Este género se caracteriza por la producción de hifas especializadas llamadas conidióforos, sobre las cuales se localizan las células que dan lugar a la formación de esporas asexuales o conidios. “El conidióforo típico de *aspergillus* posee tres partes diferenciadas entre sí, aunque se trata de una estructura unicelular. Dichas partes son: un extremo apical hinchado, denominado vesícula, una sección cilíndrica localizada por debajo de la vesícula, llamada estipe y una sección final que une al conidióforo con el micelio, denominada célula pie a veces separada por un septo. Encima de la vesícula se disponen las células que generan los conidios, llamados Fiálides”²².

Las especies de *Aspergillus* tienen gran importancia en la industria, en este caso el *Aspergillus niger* tiene gran utilidad en la industria básicamente en la producción de ácido cítrico y ácido glucónico, catalasa.

A continuación, se presenta en la tabla 3 que microorganismos más frecuentes en bioabonos se conocen.

Tabla 1: Microorganismos más frecuentes en bioabonos comerciales

| Propiedad | Microorganismo |
|----------------------------|----------------------------------|
| Insecticida | <i>Bacillus thuringiensis</i> |
| | <i>Paecilomyces lilacinus.</i> |
| Descomponedor y nutrientes | <i>Pseudomonas Lactobacillus</i> |
| | <i>Azotobacter</i> |
| | <i>Azospirillum</i> |
| | <i>Rhizobium</i> |
| | <i>Saccharomyces</i> |
| | <i>Candida</i> |
| | <i>Trichoderma</i> |

Tomada y modificada de: Microorganismos del suelo y biofertilización. Asociación Vida Sana.

4.5. Residuos

Se define como residuos a todo resto de materiales generados en producción y consumo, que no tienen uso alguno, es decir se puede definir estos, como el resultado de la producción de bienes y servicios cotidianos. Residuo es cualquier objeto o sustancia del cual se desprenda su poseedor y determine no tener un futuro uso para este, en el ámbito agrícola se define a este como aquel material sobrante generado en un establecimiento agrícola, estos se pueden considerar como recursos reutilizables y ser usados como materia prima en algún proceso posterior, estos adoptan un valor en el mercado.

4.6. Clasificación de los residuos

Se tiene en cuenta los siguientes parámetros: “origen o actividad emisora, toxicidad y peligrosidad, tamaño, naturaleza química de los materiales emisores, parámetros físico – químicos en general”²³.

La basura se puede clasificar según su composición:

4.6.1. Residuo orgánico: “todo desecho de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo, por ejemplo: hojas, ramas, cáscaras y residuos de la fabricación de alimentos en el hogar, etc”²³.

4.6.2. Residuo inorgánico: “todo desecho de origen no biológico, de origen industrial o de algún otro proceso no natural, por ejemplo: plástico, telas sintéticas, etc”²³.

4.6.3. Residuos peligrosos: “todo desecho, ya sea de origen biológico o no, que constituye un peligro potencial y por lo cual debe ser tratado de forma especial, por ejemplo: material médico infeccioso, residuo radiactivo, ácidos y sustancias químicas corrosivas, etc”²³.

4.7. Residuos orgánicos utilizados en el proceso de compostaje

4.7.1. Rápida descomposición

- Hojas frescas
- Siega de césped

4.7.2. Lenta descomposición

- Pedazos de fruta y verdura
- Restos de café

4.7.3. Muy lenta descomposición

- Cáscaras de huevo
- Cáscaras de frutos secos
- Huesos de fruta

4.8. Compostaje

Barthod, J Rumpel y Digna M. describen el compostaje como “un proceso biooxidativo, capaz de mineralizar y transformar toda materia orgánica sin agentes patógenos o fitotóxicos”²⁴.

Según la FAO, el término compostaje es “una interacción de materia orgánica en descomposición en cualidades aeróbicas, así entonces, el compostaje es el sumatorio de procesos metabólicos complejos, realizados por diferentes microorganismos, que, en presencia de oxígeno, aprovechan el carbono (C) y nitrógeno (N) presentes para producir su propia biomasa consistente. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que lo definimos como compost. El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola”²⁵.

Es un proceso de amplio uso y difusión principalmente por que acelera la descomposición de los materiales orgánicos y de acuerdo con las condiciones climatológicas donde se ubica puede tardar entre 3 y 6 meses el proceso hasta la etapa de estabilización²⁵.

4.9. Fases del compostaje

4.9.1. Descomposición

Comienza con la adaptación de todos los microorganismos presentes a su nueva condición de vida y ambiente. Luego de la colonización de los residuos los primeros microorganismos en actuar son bacterias mesófilas²⁶.

4.9.2. Fase Mesófila

Ramos Agüero D y Alfonso E hacen saber que las bacterias y los hongos son los microorganismos que participan en esta primera etapa y ya cuando los componentes lábiles se están terminando las bacterias bajan su cantidad, se originan actinomicetos y aumenta la proporción de hongos y levaduras²⁷. La acción de las bacterias y hongos mesofílicos trae como consecuencia el incremento de la temperatura de la pila compostera; esta fase es percibida visualmente ya que la pila comienza a emanar vapor de agua.

4.9.3. Fase de Higienización o Termófila

Es un fenómeno de características aeróbicas donde las temperaturas pueden llegar hasta 75° C y el pH se encuentra en estado ácido, consecuencia de degradación de sustratos simples contenidos en la materia orgánica²⁵.

Se puede decir que es una fase intermedia con una duración variable de acuerdo a las condiciones ambientales donde se encuentre la pila compostera y el tipo de material utilizado. La temperatura ya aumentada en la pila trae con ella la presencia de bacterias y actinomicetos termofílicos, que inician su acción aumentando la velocidad de degradación creando un desfase en la cantidad de la materia consumible ya que “una fracción de los microorganismos es transformado en H₂O y CO₂”²⁸; estos microorganismos como aseguran Barthod, J Rumpel y Digna M “degradan las grasas, la celulosa y la lignina”²⁴.

Se conoce como fase de higienización debido a que las altas temperaturas, además de la actividad supresora que generan los actinomicetos, elimina patógenos de los suelos, más comunes²⁷ que puedan estar presentes en la materia.

4.9.4. Fase de Enfriamiento o Mesófila II

La disminución del material orgánico, disminuye también la actividad microbiana y con ello baja las temperaturas de la pila compostera. Se denomina también fase mesófila II ya que, al bajar las temperaturas, aparecen microorganismos mesófilos para terminar el proceso de degradación de celulosa y lignina que aún se encuentran presentes, esta degradación es la que produce el humus, donde ya hay estabilización de pH y la necesidad de O₂ disminuye²⁸.

4.9.5. Fase de maduración

Es la fase más lenta de todo el proceso; el color del producto final debe ser negro o marrón oscuro y su olor a tierra de bosque²⁹. Al término de esto Ramos Agüero D y Alfonso E argumentan que el éxito de un compostaje que va a ser utilizado como abono debe cumplir unos lineamientos que permitan optimizar la “calidad del suelo, el suministro de nutrientes, facilitar la penetración del agua, incrementar la retención de humedad, y mejorar la actividad biológica del suelo”²⁷.

4.10. Método y técnica de compostaje

4.10.1. Paca digestora (compostaje tipo pack)

Método creado en Medellín en 1997, según su creador Silva G “es un recurso biotecnológico y ecológico que descontamina residuos de: cocina, jardín, poda de árboles, estiércoles de cerdos y de todos los animales”³⁰; el cual consiste en empaquetar todos estos los residuos en un cubo que puede albergar hasta 650Kg de materia orgánica, el cual será compactado a presión. Este sistema evita la producción de lixiviados, ingreso de roedores, no requiere volteo y no genera olores ni presencia de moscas.

Silva G en su publicación argumenta que, su metodología permite que la materia orgánica no se descomponga, si no que pasa por un proceso de fermentación la cual “produce antisépticos que sanean los residuos”³¹.

La presencia de humedad suele ser del 60%, esta agua es guardada interiormente de forma capilar, la cual impide oxigenación y la pudrición, haciendo que se evite la contaminación al máximo³⁰.

El producto final es un “fertilizante orgánico totalmente maduro y aprovechable”³².

4.11. Población microbiana en un compostaje

Gran cantidad de microorganismos encuentran en esta masa orgánica, su principal característica es que son mesófilos y termófilos, en orden de importancia se encuentra bacterias, hongos y actinomicetos. Según Chong-Qui J.P describe en su tesis de grado que para que estos microorganismos puedan sobrevivir “se necesitan condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación”³³.

La función de estos es proceder a utilizar el material orgánico para su beneficio como nutrientes, pasado esto, los microorganismos generan una descomposición de este material gracias un proceso de mineralización, hasta formar el humus. Este proceso da como resultado calor, agua y CO₂³⁴.

4.11.1. Bacterias: estas se encuentran en mayor cantidad en un porcentaje que oscila entre el 80 y 90% de la población microbiota total; ellas desempeñan el papel más destacado en la descomposición de la materia. Según describe Pascua R y Venegas S las bacterias del suelo tiene características “aerobias estrictas, anaerobias facultativas, microaerófilos o anaerobias estrictas”³⁵.

4.11.2. Hongos: son los encargados de la degradación en fase aeróbica y descomponer algunos polímeros vegetales. Mayormente se ubican en la capa externa cuando la pila tiene una temperatura elevada.

4.11.3. Actinomicetos: se encuentran en el suelo en una proporción entre 10 a un 50% del microbiota total, soporta bien condiciones alcalinas y temperaturas cálidas en el suelo; son los encargados de degradar la celulosa, parafina, quitina y lignina a través de procesos enzimáticos. “También han sido descritos como agentes de biocontrol por la capacidad de producir enzimas biodegradativas, como: quitinasas, glucanasas, peroxidases y otras”²³. Son los más importantes a la hora de generar el humus.

4.12. Compost

Es un material que se deriva de material orgánico que se encuentra en un estado inestable el cual a través de unos procesos biooxidativos logra encontrar una estabilidad completa, la cual se ve reflejada en material utilizable en la agricultura como fertilizante o en otros campos como gas natural o biogás.

Este proceso consta de una condición de aerobiosis por reacciones de óxido reducción que han sido catalizadas por los microorganismos que permanecen en el compost²⁷. El tiempo promedio para la total finalización del proceso y que sea utilizable el compost varía entre 170 y 200 días³⁶ dependiendo del tipo de residuo utilizado y ubicación de la pila compostera.

4.13. Parámetros de Calidad

4.13.1. Temperatura

La temperatura del compostaje es derivación del tipo de proceso y sirve como indicador del funcionamiento. La actividad biológica generada por los microorganismos produce el aumento de la temperatura, el incremento de la temperatura indica un material con óptimas condiciones. Los cambios de temperatura en el proceso de compostaje suministran información directa del mismo.

El mantener unas óptimas condiciones de temperatura en el curso del compostaje nos garantiza una actividad microbiana adecuada, logrando

también en el desarrollo la inhibición de microorganismos patógenos como bacterias, hongos y huevos de parásitos que se pueden encontrar en las materias primas utilizadas para el compostaje.

4.13.2. Humedad

La humedad media debe estar en 60%, esta es proporcionada por la cantidad de agua del material a compostar, es fundamental mantener el agua para que los microorganismos aprovechen las moléculas que se encuentran disueltas en ellas, el agua fomenta la migración y colonización de los microorganismos.

4.13.3. pH

Parámetro para evaluar las condiciones del proceso y la estabilización de los residuos, el valor varía dependiendo de la fase en la que se encuentre, al inicio del proceso de compostaje el pH se encuentra entre 6-7 y esta disminución está mediada por la producción de ácidos orgánicos. Durante la fase termofílica en pH puede llegar a subir hasta 8-8,5 para terminar con un pH en la fase de maduración de 7-8.

4.13.4. Relación carbono nitrógeno

La literatura habla de una relación de 25-35, pero en la práctica cada compost debe tener establecido esta relación. Los microorganismos al igual que los seres vivos necesitan carbono y nitrógeno para su desarrollo. Es necesario conocer la relación C/N de los materiales utilizados en el compostaje para así poder conocer las posibles mezclas a utilizar y obtener un producto final adecuado.

5. DISEÑO METODOLOGICO

5.1. Tipo de investigación

Estudio de enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), El alcance de la investigación es correlacional.

5.2. Población de estudio

Pilas de compostaje.

5.3. Muestra

Porciones de tierra de las pilas de compost de residuo orgánico ubicadas en la Universidad Nacional de Colombia

5.4. Variables

5.4.1. Independientes

| VARIABLE | INDICADOR |
|---|---|
| Independiente: Microorganismos eficientes en la descomposición de residuos. | Acelerar el proceso de descomposición de materia orgánica |

Tabla Variable: 3.4.1.1

| VARIABLE | INDICADOR |
|--|---|
| Independiente: Inadecuada disposición y separación de residuos | Adecuada selección de materia orgánica a utilizar en el proceso |

Tabla Variable: 3.4.1.2

5.4.2. Dependientes

| VARIABLE | INDICADOR |
|---|--|
| Dependiente: Acumulación de material orgánico en descomposición | Foco de atracción de diferentes vectores y provocación de malos olores |

Tabla Variable: 3.4.2.1

| VARIABLE | INDICADOR |
|--|--|
| Dependiente: Contaminación cruzada | Factor predisponente de enfermedades patógenas que afecten a la población al no haber una correcta clasificación de estos y del reutilizable |

Tabla Variable: 3.4.2.2

| VARIABLE | INDICADOR |
|--|--|
| Dependiente: Falta de investigación de microorganismos útiles para la composta | Deserción de investigación de microorganismos benéficos para el sector agrícola y que potencien el tiempo de cosecha de diferentes alimentos de uso diario |

Tabla Variable: 3.4.2.3

| VARIABLE | INDICADOR |
|--|--|
| Dependiente: Desaprovechamiento de recursos útiles en material en descomposición | Al no aprovechar estos recursos se afecta directamente la economía y a un acceso fácil a la agricultura y siembra de diferentes productos al no tener el conocimiento de uso amigable de estos materiales. |

Tabla Variable: 3.4.2.4

| VARIABLE | INDICADOR |
|--|---|
| Dependiente: Inoculación de microorganismos eficientes | Tiempo de reducción de pilas tipo paca de compostaje inoculadas con un pool microbial de lactobacillus sp., Streptomyces sp., y Aspergillus Niger |

Tabla Variable: 3.4.2.5

5.5. Hipótesis

El aprovechamiento de bio abonos compuestos por microorganismos útiles, para el proceso degradable de constituyentes naturales de suelos para cosecha, son altamente viables y proporcionan resultados en cuanto al empleo de químicos que componen los fertilizantes comerciales, obteniendo resultados de suelo fértil en menor tiempo.

5.6. Procedimientos

5.6.1. Recolección de la muestra

Los residuos generados en la comunidad de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá fueron cuantificados para tener un dato completo de cuantos kilogramos se utilizaron; semanalmente se recolectaron 950 kilogramos de residuos de cocina, 1 tonelada de pasto seco, media tonelada de orellana y 1 tonelada de aserrín con excremento bovino y equino.

Se construyeron 9 pilas composteras tipo pack y en el laboratorio en ambiente controlado se armaron 9 pilas en macetas.

Se buscó definir el potencial de cepas microbianas, *Streptomyces sp*, *Aspergillus niger* y *Lactobacillus sp*, como microorganismos aceleradores y mejoradores del proceso de compostaje.

Estos microorganismos fueron aislados de un compostaje ya en producción con un tiempo de antigüedad de 3 semanas ubicado en el centro de

procesamiento de compost de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. (figura 1)



Ilustración 2: pila compostera en fase mesofílica donde se tomarán muestras para aislamiento de microorganismos de interés. Tomada por autores.

5.6.2. Muestreo

Se tomaron muestras de 3 pilas composteras en estados desconocidos de temperatura, pH y humedad. El método consistió en recolectar las muestras en bolsas de papel con cierre hermético para ser llevadas al laboratorio inmediatamente.

Las diferentes muestras de compostaje fueron tamizadas para dejar el material lo más fino posible, luego de esto se pesó 1 gramo de cada muestra para ser suspendido en 9 ml de agua destilada.

Se prepararon diluciones seriadas hasta llevarlas a una concentración de 1×10^{-7} . Las siembras se efectuaron en 3 agares diferentes:

- Agar PDA
- Agar Nutritivo
- Agar extracto de compost



Ilustración 3: dilución 1×10^{-5} en agar nutritivo

Del agar nutritivo se aislaron 2 colonias de interés, que se sembraron de nuevo en agar nutritivo cada una, las colonias de hongos en el agar PDA fueron identificadas microscópicamente con azul de lactofenol para determinar su género y especie.

El hongo fue identificado por la colonia, morfología de las hifas y por las conidias en tinción de azul de lactofenol, coincidiendo con *Aspergillus niger*.

De las 3 colonias bacterianas de interés se descartaron dos luego de la identificación morfológica por tinción de Gram, al observar que son cocos Gram positivos.

La tercera colonia de interés fue identificada morfológicamente por tinción de Gram como Bacilo Gram positivo productor de endospora, la espora se confirmó luego con tinción de Shaeffer Foulton.

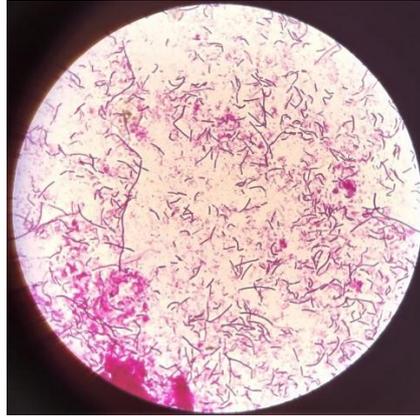


Ilustración 4: tinción de Gram que muestra bacilos Gram positivos largos delgados, típica morfología de *Streptomyces sp.* Tomada por los autores

Para el aislamiento del *Lactobacillus sp.*, se tomaron 2 litros de leche de vaca recién ordeñada sin ningún proceso de pasteurización conservando todas sus propiedades lipídicas y metabólicas, esta leche es utilizada para aplicarla en pilas composteras de la Universidad Nacional.

Se añadió a esta leche 2 gramos de cuajo en polvo, para estandarizar un método propio de trabajo; con el fin de obtener su leche fermentada y cuajada para obtención de Bacterias Acido Lácticas, se dejó en proceso de fermentación en oscuridad durante 5 días, y se procedió a tomar 10 ml de muestra pura de este recipiente para la siembra en medio de cultivo selectivo MRS.

Se tomaron 10 ml de muestra como base de procedimiento del cual se usó 1 ml de muestra y se llevó a 9 ml de agua peptonada al 1% y se procedió a realizar diluciones seriadas hasta 10^{-10} . Se hicieron siembras de diluciones 10^{-5} , 10^{-8} , y 10^{-10} en superficie en agar MRS tomando alícuota de 100 μ l; se procedió a incubar por 48H a 37°C en condiciones de anaerobiosis. Se realizó identificación morfológica mediante tinción de Gram, una vez terminado el proceso de incubación.

Se aislaron por siembra en superficie, agotamiento y clásica en agar MRS las colonias presuntivas que presentaron distintas morfologías tanto en las cajas de Petri como en la observación morfológica macroscópica y microscópica encontrada.

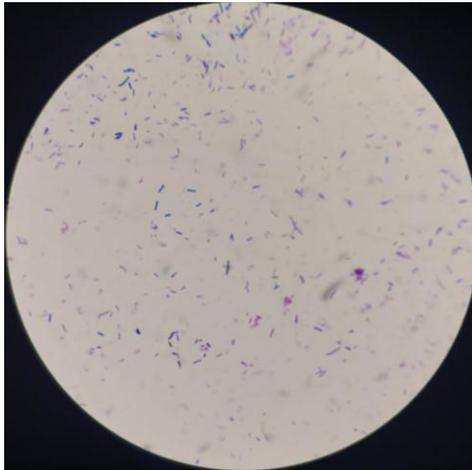


Ilustración 5: tinción de Gram que muestra bacilos Gram positivos. Correspondientes a la morfología de Lactobacillus sp

Todos los microorganismos aislados fueron guardados en conservación en frío, a una temperatura de -4°C en un crió conservante a base de glicerol y caldo nutritivo, para ser usados posteriormente.

5.6.3. Construcción del compostaje

De acuerdo con las condiciones climáticas donde se encuentre debe tener un tamaño adecuado: si las temperaturas suelen ser bajas la ubicación de la pila compostera es en un invernadero y requiere tener un tamaño de 2 metros con un peso promedio de 950 kilos de residuos.

Tres factores claves determinan un proceso de compostaje ideal; la relación C/N de los materiales, una buena aireación y la temperatura; estos dos últimos fueron controlados mecánicamente con un volteo continuo cada 8-15 días.

“La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa para que permita la circulación tanto del oxígeno como la de otros gases”²².

El diseño de las pilas en la universidad fue por pack con un volumen de un metro cúbico, hecho con una caja de acero, donde se agregaron residuos de cocina, cascaras de frutas y verduras, pasto seco, aserrín y orellana; luego de esto todo en comprimido.

Las pilas del invernadero número 6 de la universidad fueron realizadas de un tamaño promedio de 1.5 metros de altura, la pila se fue conformando con los residuos orgánicos recolectados semanas antes hasta lograr la cantidad adecuada para la formación de las primeras pilas.

5.6.4. Materiales utilizados

| Material | Imagen | Descripción |
|---|--|---|
| Materia orgánica, residuos de cocina, frutas y verduras |  | Es todo el material solido que se origina de las actividades humanas durante la preparación y consumo de alimentos que se desechan como inútiles o no deseados. |
| Pasto |  | Material vegetal recién podado y posteriormente picado |
| Orellana |  | Reconocida como descomponedor de madera destacando su alta degradabilidad de celulosa para el proceso de compostaje. |
| Aserrín, heces de bovinos y equinos |  | Material que se obtiene de las camas de los animales, provee al compostaje de celulosa y demás materia orgánica |

Tabla 2: breve descripción de materiales utilizados en el compostaje

5.6.5. Armado de pacas digestoras (pilas tipo pack)

Se realizó la mezcla de todos los materiales en el suelo y se fue agregando a la estructura metálica por paladas, mientras se compactaba pisando el material.



Ilustración 6: mezcla de materiales antes de depositar en la estructura

Al tener la estructura llena, se procede a agregar agua y desarmar la estructura quedando así la pila en forma cubica. Este procedimiento se realizó nueve veces hasta tener todas las pilas armadas.



Ilustración 7: pilas tipo pack terminadas



Ilustración 8: pilas terminadas y marcadas

5.6.6. Armado de compostaje en maceta

Del material utilizado para armar las pilas tipo pack, se extrajo material, para depositar en nueve macetas que fueron utilizadas como compostaje controlado en el laboratorio.



Ilustración 9: pilas en macetas para control en laboratorio

Luego de esto se hidrataron y se marcaron de acuerdo al tratamiento que cada una iba a tener. Para finalizar se introdujeron en una incubadora con una temperatura ambiente (25°C).

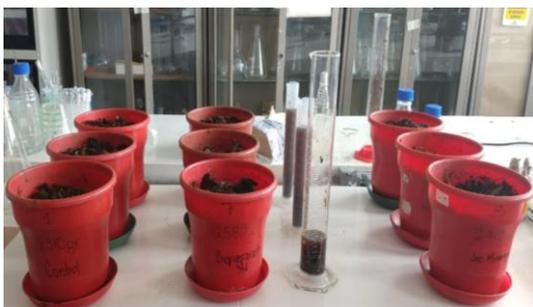


Ilustración 10: macetas marcadas y listas para incubar



Ilustración 11: macetas en ambiente controlado

5.6.7. Muestreo inicial y final pacas digestoras

El muestreo inicial se realizó a los 24 días de haber iniciado el proceso de compostaje y para el muestreo final se realizó a los 60 días.

Se tomó muestra de diferentes puntos de cada paca, en bolsas con cierre hermético se marcó con número de pila y se llevaron al laboratorio.

Cada muestra se tamizó y se tomaron 10 gramos, los cuales se agregaron en 90 ml de agua destilada estéril. Se procedió a hacer diluciones seriadas a partir de esa mezcla madre, desde 10^1 hasta 10^6 , que fueron distribuidas en tubos con 10 ml de solución salina.

Las diluciones 10^4 , 10^5 , 10^6 fueron sembradas por triplicado en agar PDA, Actinomicetos y nutritivo respectivamente, por el método de difusión en placa y

llevadas a incubación por 96h a 25°C centígrados para hongos y a 37°C por 48h para bacterias y actinomicetos.

5.6.8. Muestreo inicial y final compostaje en materas

El muestreo inicial se realizó a los 14 días de haber iniciado el proceso de compostaje y para el muestreo final fue a los 35 días.

Se tomó muestra de cada matera, en bolsas con cierre hermético se marcó con numero de pila.

Cada muestra se tamizó y se tomaron 10 gramos, los cuales se agregaron en 90 ml de agua destilada estéril. Se procedió a hacer diluciones seriadas a partir de esa mezcla madre, desde 10^{-1} hasta 10^{-6} , que fueron distribuidas en tubos con 10 ml de solución salina.

Las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} , 10^{-6} fueron sembradas por triplicado en agar PDA, Actinomicetos y nutritivo respectivamente, por el método de difusión en placa y llevadas a incubación por 96h a 25°C centígrados para hongos y a 37°C por 48h para bacterias y actinomicetos.

5.6.9. Biopreparado orgánico estándar

Materiales: para dosis de 2 litros

- Raíces y hojas de ortiga y limonarias 90g
- Humus de lombricompost 90g
- Leche o suero sin procesar
- Extracto de levadura
- Melaza
- Agua destilada esteril

5.7. Procedimiento

Se picaron las raíces y hojas de limonaria y ortiga en partes pequeñas, la melaza se calentó para poderla manejar y se le agregó a la mezcla con leche y

levadura previamente preparada; todo esto se licuó en 500 ml y se sirvió en Erlenmeyer completando la mezcla con agua destilada estéril hasta 2.000 ml.

Los microorganismos criopreservados se activaron por calentamiento manual y luego se resembraron en medios de cultivos para cada uno (MRS para *Lactobacillus sp*, agar Streptomyces para el actinomiceto y agar PDA para el *Aspergillus niger*) y llevados a incubación por 24h a 37°C.

5.7.1. Alistamiento de *Streptomyces sp* y *Lactobacillus sp*

La dosis requerida para el bioabono fue estandarizada de bioabonos comerciales, las cuales manejan una cantidad bacteriana de 1.5×10^8 UFC/ml.

Se tomó como referencia una escala 0,5 Mc Farland, para preparar el inóculo.

5.7.2. Bioabono para pacas biodigestoras

Se preparó 1L de solución salina distribuída en tubos de a 1 ml (figura) para cada microorganismo; a cada tubo se le mezclaron por asadas colonias de *Streptomyces sp* y *Lactobacillus sp*, hasta lograr la turbidez de la escala de referencia.



Ilustración 12: Inóculos de *Lactobacillus sp* en tubos de a 1ml

Luego de esto se sirvieron en un frasco schott de 500 ml (figura) todos los tubos y se reguló la turbidez con 1L de ss.



Ilustración 13: inóculo de *Streptomyces sp* a una escala 0,5 Mc Farland

5.7.3. Bioabono para compostaje en macetas

Se prepararon 100 ml por cada microorganismo de solución salina en un Erlenmeyer, y se mezcló por asadas hasta lograr la turbidez de referencia.

5.7.4. Alistamiento de *Aspergillus niger*

La dosis requerida para el bioabono fue estandarizada de bioabonos comerciales, las cuales manejan una cantidad bacteriana de 1.5×10^8 UFC/ml.

Se tomó como referencia una escala 0,5 Mc Farland, para preparar el inóculo.

5.8. Dosis y regado en pilas biodigestoras

Los 2 litros de inóculo de cada microorganismo fueron mezclados entre sí para hacer un bioabono completo de 6 litros.

Tomando de referencia bioles comerciales, una dosis para compostaje de 500 a 700 kg es de 1 a 3 litros.

Para su distribución y garantizar que toda la paca biodigestora sea bañada con el bioabono, la dosis de 2L de inóculo fue mezclada con 18L de solución salina estéril en un botellón esterilizado y sellado. El modo de administración fue por sistema de riego.

5.9. Dosis y regado en macetas

Cada Erlenmeyer se mezcló en uno solo y se obtuvo 300 ml de inóculo, luego de esto se distribuyó nuevamente en frascos schott de 100 ml.

Inoculación: En las pacas digestoras la inoculación se realizó a los 25 días y en las materas a los 15 días.

5.10. Germinación

Se tomaron 50 gramos de cada paca digestora y compostaje en matera y se tamizó, seguido a esto se colocó en bandejas de germinación en 5 pozos de a 10 gramos cada uno.

Posteriormente se enterró la semilla a una profundidad de 1 cm y se le agregaron 100 microlitros de agua; se dejó a temperatura ambiente y entrada de sol por 8 días.



Ilustración 14: Prueba germinación Paca digestora



Ilustración 15: Prueba germinación matera

6. RESULTADOS

6.1. Seguimiento parámetros de temperatura en pacas digestoras

En la figura 16 se observa la dinámica que se le realizó al compostaje tipo paca digestora, donde se llegó a la fase termófila en los días 29 a 35 con una temperatura máxima de 51.6 ° C, llegando así a una temprana fase de maduración descendiendo su temperatura abruptamente a partir del día 43. Se evidencia la diferencia frente al tratamiento con caldo de rizosfera y control.

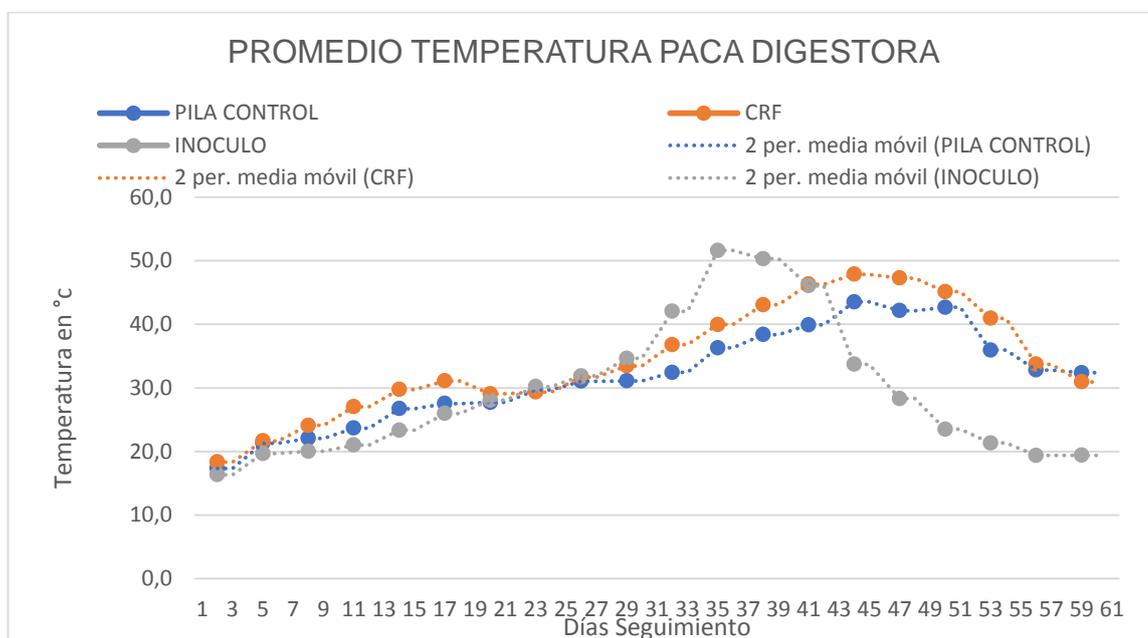


Ilustración 16: comparación de las temperaturas en °C cada tercer día, en compostaje tipo paca digestora con los diferentes tratamientos

La toma de valores de altura de las pacas digestoras se realizó cada tercer día, desde el día 3 de armado hasta que terminó todo su proceso. En la figura 17 se observa como cada pila tuvo un tamaño inicial de 90 cm de altura.

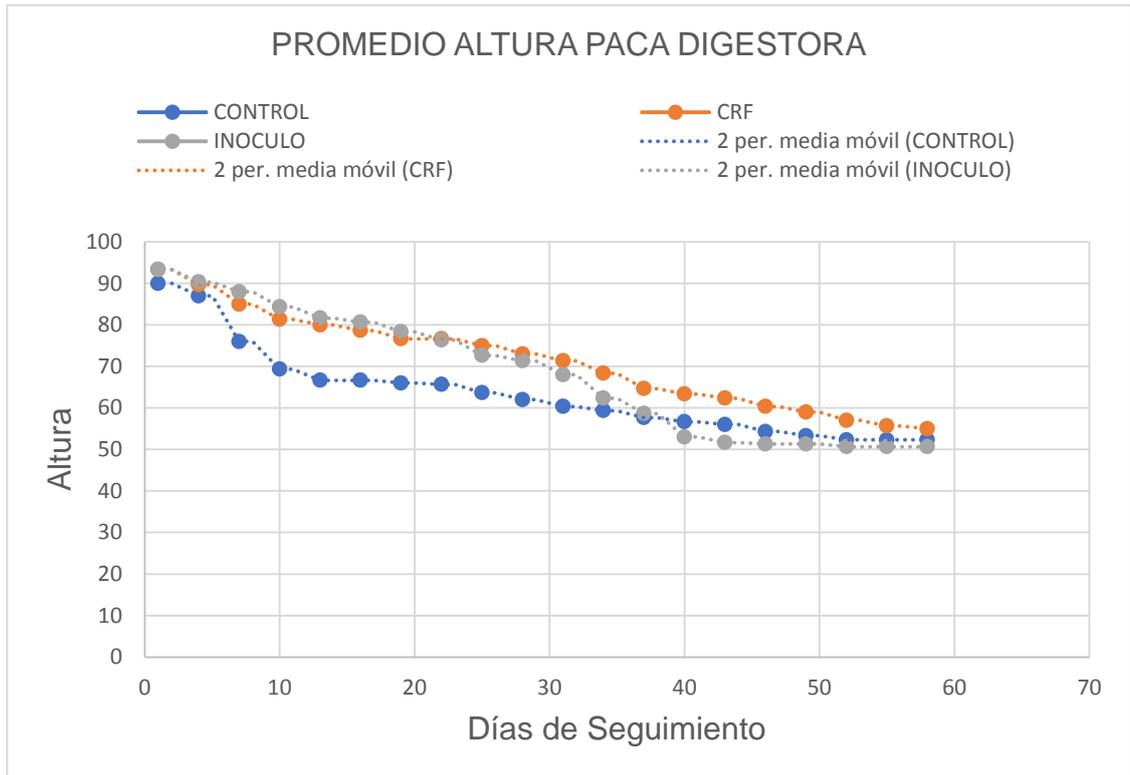


Ilustración 17: comparación de la altura en cm cada tercer día, en compostaje tipo paca digestora con los diferentes tratamientos

6.2. Seguimiento parámetros de temperatura en compostaje en materas

En la figura 18 se observa como al tener un ambiente controlado no hay mayor variabilidad del experimento in vitro.

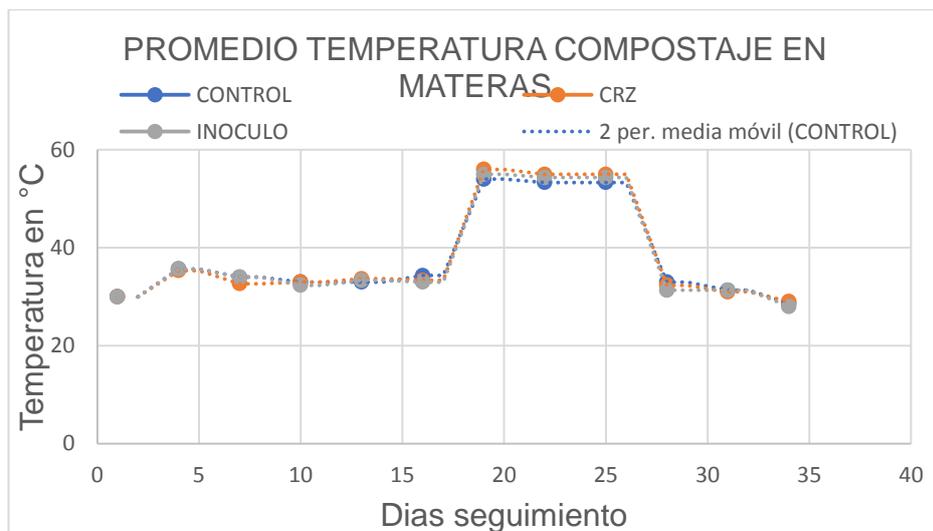


Ilustración 18: comparación de las temperaturas en °C de los diferentes tratamientos cada tercer día, en compostaje en materas.

6.3. Seguimiento parámetros de pH en compostaje en materas

En la figura 19 se encuentra reflejado el pH que manejaron los distintos tratamientos donde se generó las condiciones adecuadas para la proliferación de microorganismos necesarios para los procesos de degradación de los diferentes compuestos.

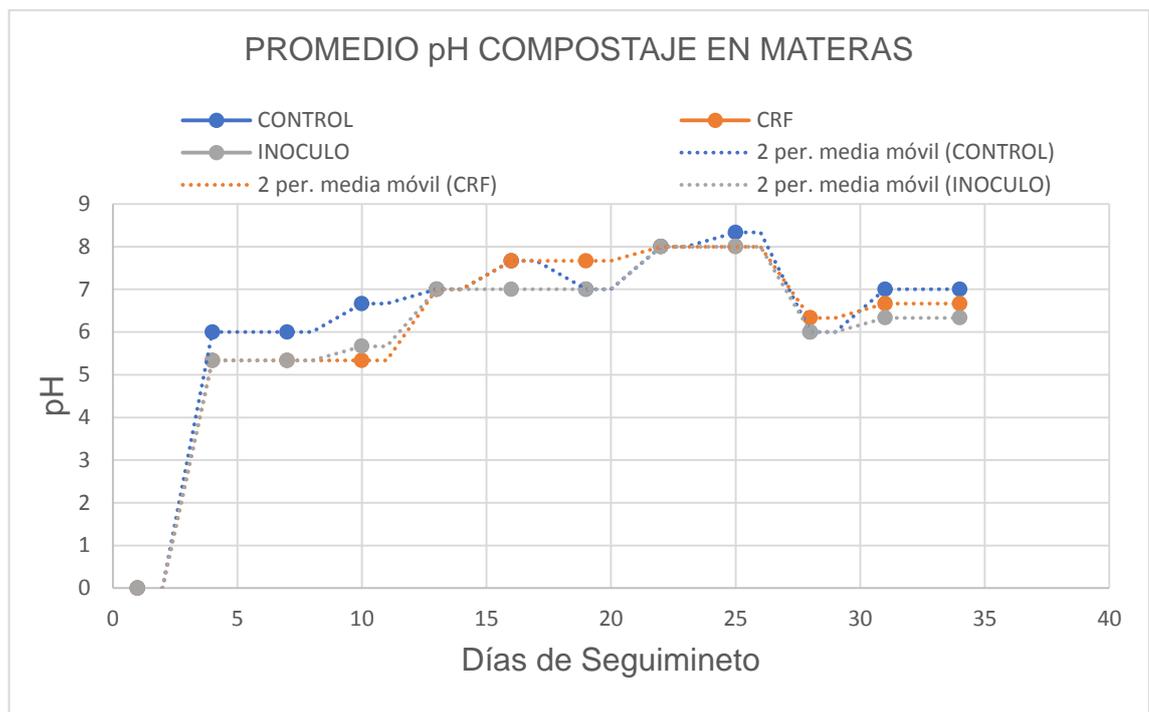


Ilustración 19: comparación del pH en compostaje en materas con los diferentes tratamientos aplicados

6.4. Seguimiento parámetros de peso en compostaje en materas

En la figura 20 se observa los procesos de disminución de materia orgánica que manejaron los diferentes tratamientos post inoculación, generando variaciones de disminución de peso de los diferentes tratamientos teniendo como indicador las condiciones controladas en las cuales se mantuvieron.

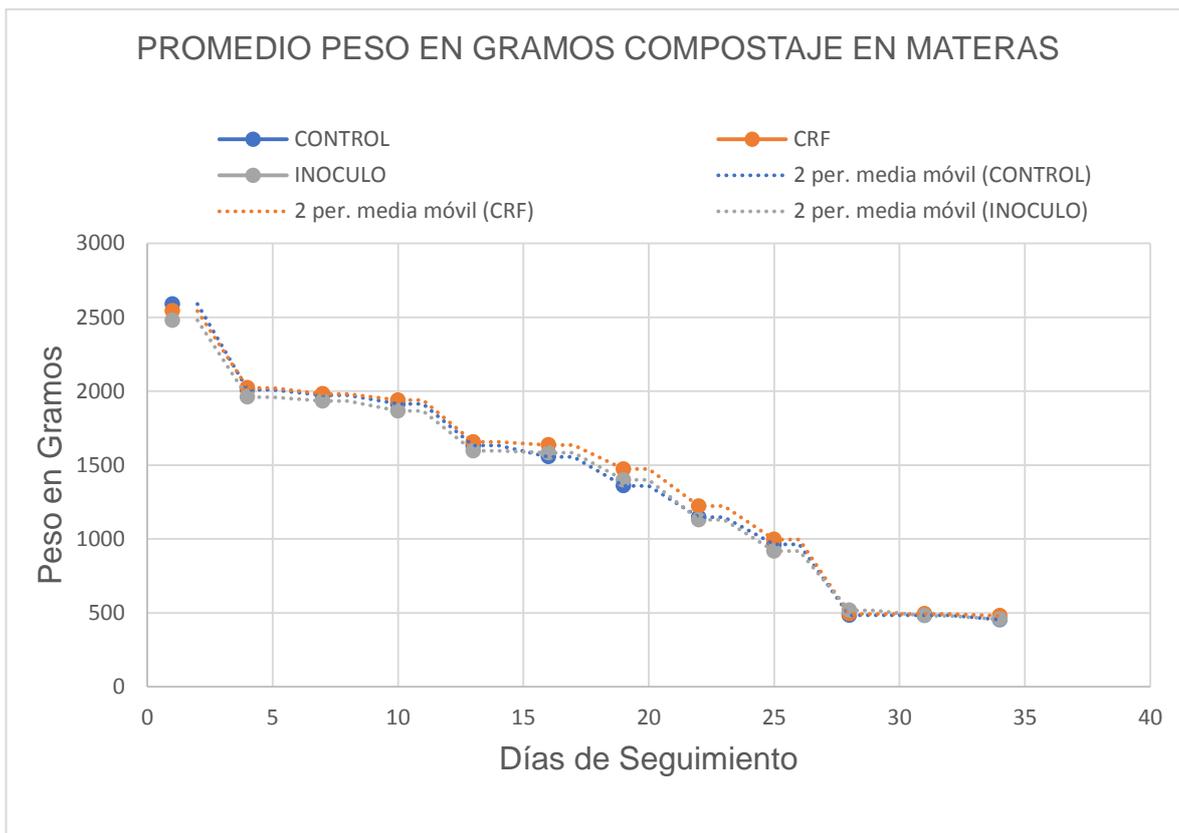


Ilustración 20: comparación del peso en gramos de los compostajes en materas con los tratamientos aplicados

6.5. Número de UFC en el primer y último muestreo de compostaje en materas

| POBLACION | PRIMER MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS INOCULO | SEGUNDO MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS INOCULO |
|-----------|--|---|
| BACTERIAS | 1,40E+08 UFC/ ml | 1,40E+08 UFC/ ml |
| ACTINOS | 6,35E+06 UFC/ ml | 9,60E+06 UFC/ ml |
| HONGOS | 3,00E+04 UFC/ ml | 0,00E+00 UFC/ ml |

Tabla 3: valores de UFC en compostaje en materia con tratamiento de bioabono

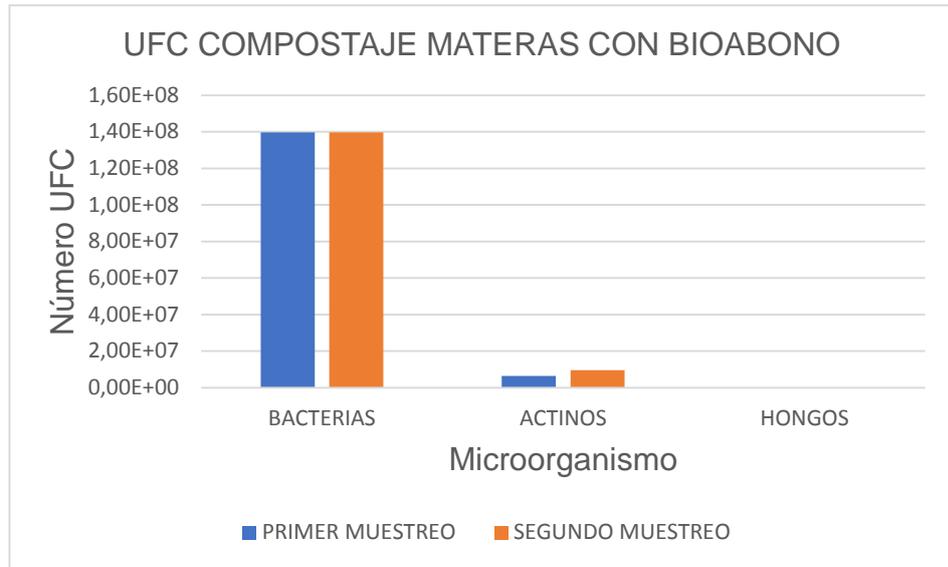


Ilustración 21: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia con tratamiento de bioabono

| POBLACION | PRIMER MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS CRF | SEGUNDO MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS CRF |
|-----------|--|--|
| BACTERIAS | 4,25E+08 1,40E+08 UFC/ ml | 1,78E+08 1,40E+08 UFC/ ml |
| ACTINOS | 3,88E+06 1,40E+08 UFC/ ml | 9,13E+06 1,40E+08 UFC/ ml |
| HONGOS | 4,67E+04 1,40E+08 UFC/ ml | 0,00E+00 1,40E+08 UFC/ ml |

Tabla 4: valores de UFC en compostaje en materia con tratamiento de CRF

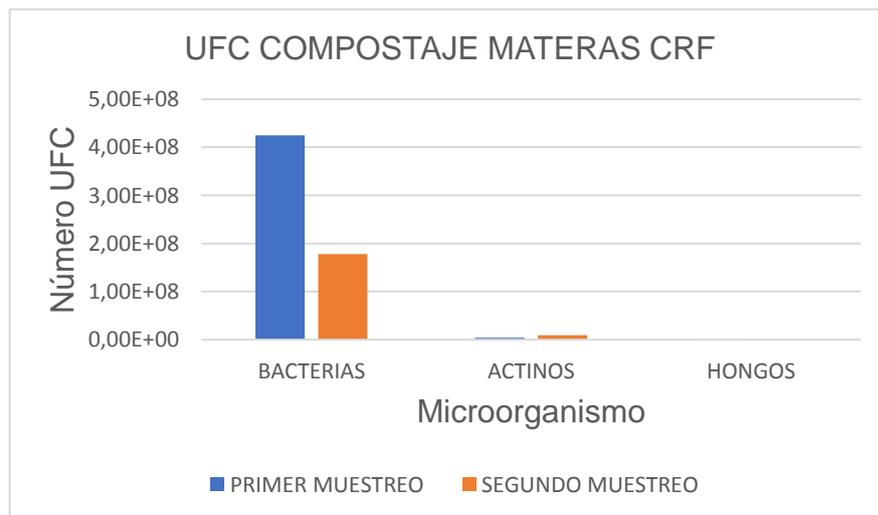


Ilustración 22: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia con tratamiento de CRF

| POBLACION | PRIMER MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS CONTROL | SEGUNDO MUESTREO COMPOSTAJE MATERAS CONTROL |
|-----------|--|--|
| BACTERIAS | 4,36E+08 UFC/ ml | 2,76E+08 UFC/ ml |
| ACTINOS | 4,09E+06 UFC/ ml | 7,57E+06 UFC/ ml |
| HONGOS | 2,50E+04 UFC/ ml | 0,00E+00 UFC/ ml |

Tabla 5: valores de UFC en compostaje en materia control

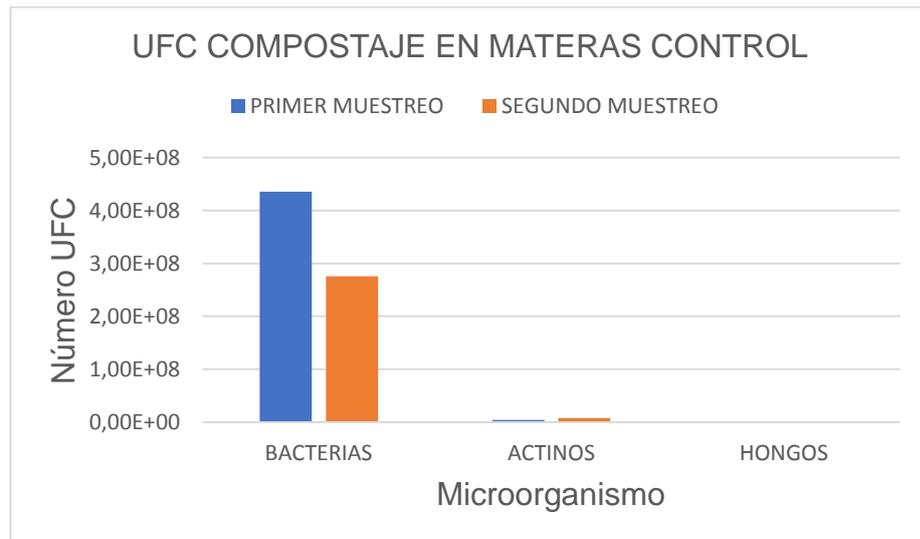


Ilustración 23: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en compostaje en materia control

6.6. Número de UFC en el primer y último muestreo de compostaje en pacas digestoras

| POBLACION | PRIMER MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA INOCULO | SEGUNDO MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA INOCULO |
|-----------|---|---|
| BACTERIAS | 1,67E+08 UFC/ ml | 1,09E+08 UFC/ ml |
| ACTINOS | 6,13E+06 UFC/ ml | 1,84E+07 UFC/ ml |
| HONGOS | 5,17E+04 UFC/ ml | 1,17E+04 UFC/ ml |

Tabla 6: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras con bioabono

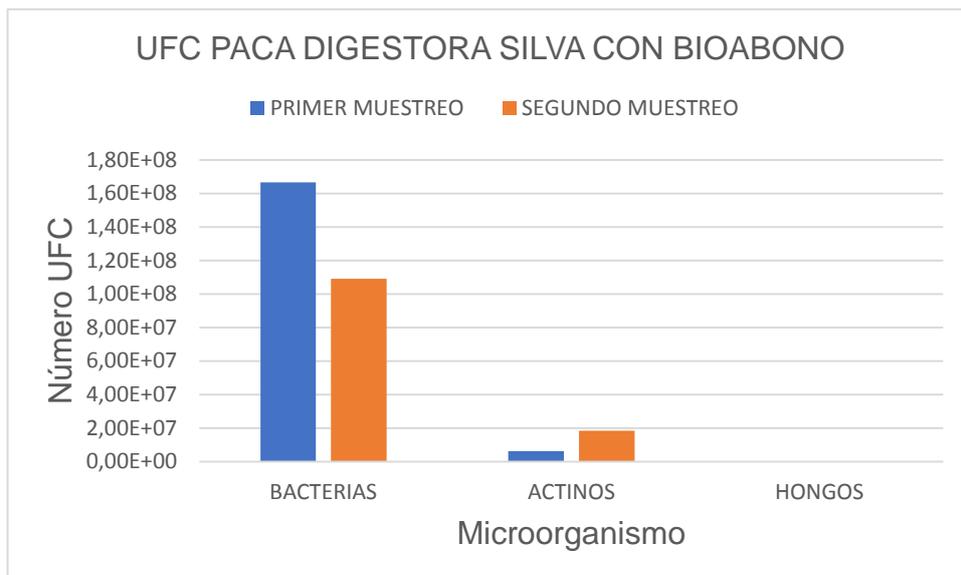


Ilustración 24: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras con bioabono

| POBLACION | PRIMER MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA CONTROL | SEGUNDO MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA CONTROL |
|-----------|---|--|
| BACTERIAS | 1,85E+08 UFC/ ml | 6,90E+07 UFC/ ml |
| ACTINOS | 5,35E+06 UFC/ ml | 2,70E+07 UFC/ ml |
| HONGOS | 2,83E+04 UFC/ ml | 2,17E+04 UFC/ ml |

Tabla 7: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras control

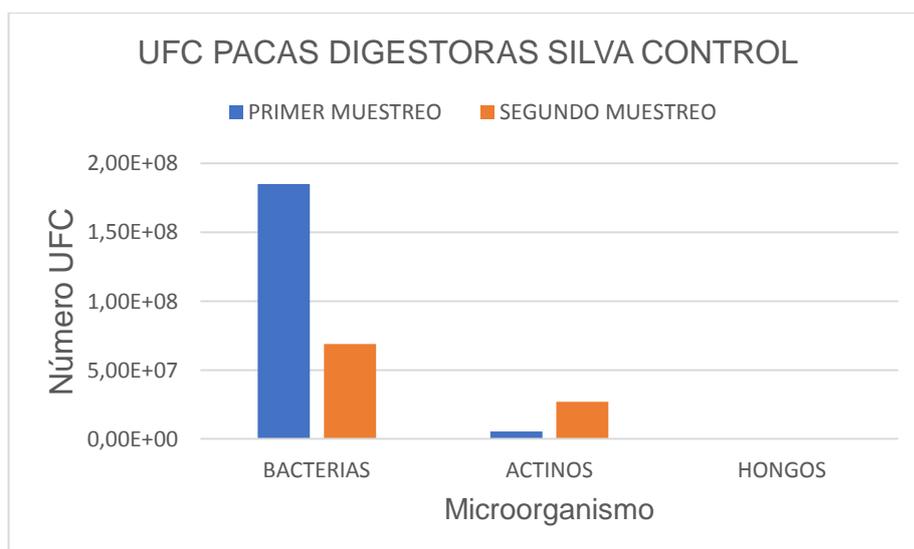


Ilustración 25: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras control

| POBLACION | PRIMER MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA CRF | SEGUNDO MUESTREO PACAS DIGESTORA SILVA CRF |
|-----------|---|--|
| BACTERIAS | 2,09E+08 UFC/ ml | 6,63E+07 UFC/ ml |
| ACTINOS | 5,68E+06 UFC/ ml | 1,76E+07 UFC/ ml |
| HONGOS | 3,00E+04 UFC/ ml | 1,83E+04 UFC/ ml |

Tabla 8: valores de UFC en compostaje en pacas digestoras con tratamiento CRF

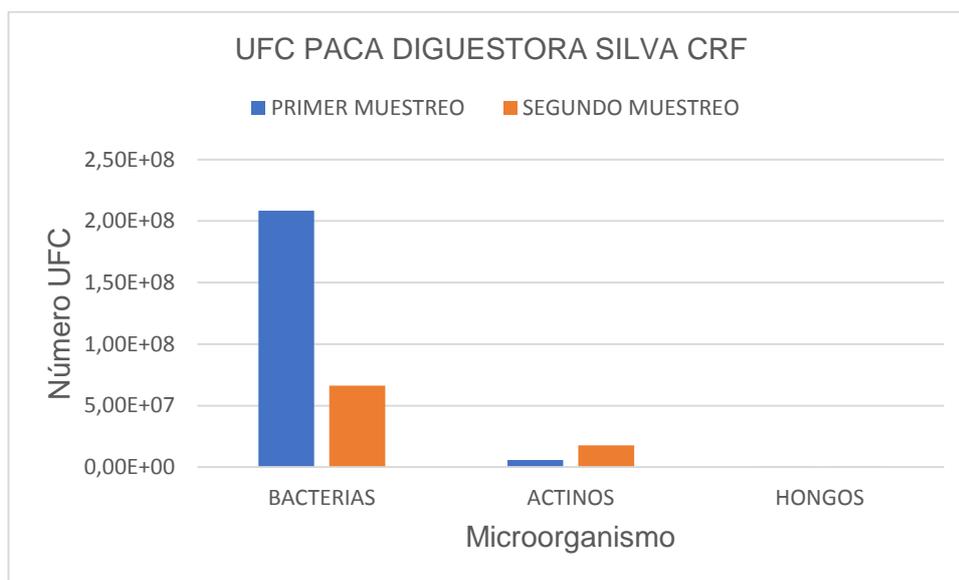


Ilustración 26: comparación del número poblacional de los 3 microorganismos en el primer y último muestreo en pacas digestoras con tratamiento CRF

6.7. Parámetro final peso y altura de las pacas digestoras

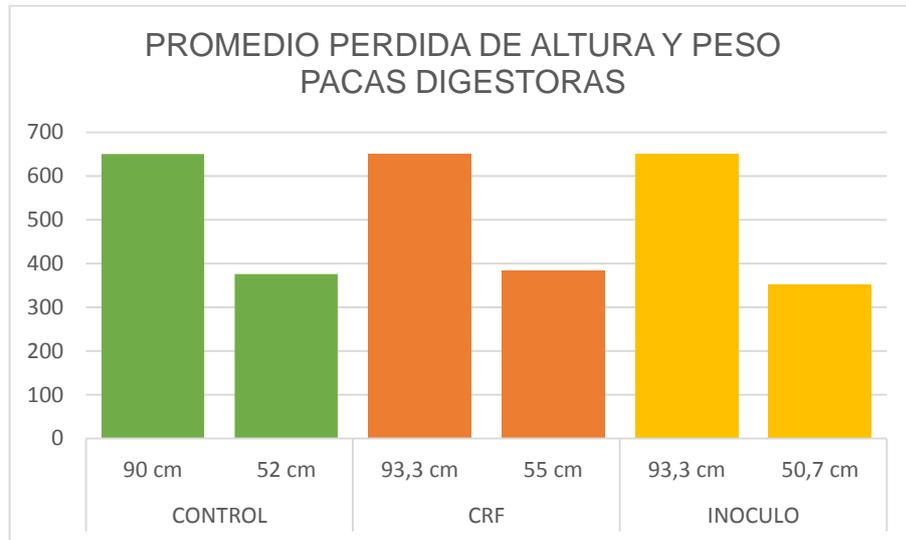


Ilustración 27: comparación pérdida de altura compostaje tipo pack entre los 3 tratamientos aplicados

6.8. Prueba de germinación pacas digestoras

| Numero de pila | Semillas germinadas | Porcentaje |
|----------------|---------------------|------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 4 | 80% |
| 4 | 2 | 40% |
| 5 | 3 | 60% |
| 6 | 0 | 0% |
| 7 | 2 | 40% |
| 8 | 1 | 1% |
| 9 | 0 | 0% |

Tabla 9: germinación pacas digestora

De las 45 semillas sembradas en total germinaron 16, lo que registra un porcentaje de germinación total de 35,5 % en todo el proceso de compostaje en pacas digestoras.

6.9. Prueba de germinación Compostaje Matera

| Numero de pila | Semillas germinadas | Porcentaje |
|-----------------------|----------------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 0% |
| 2 | 0 | 0% |
| 3 | 0 | 0% |
| 4 | 0 | 0% |
| 5 | 0 | 0% |
| 6 | 0 | 0% |
| 7 | 0 | 0% |
| 8 | 0 | 0% |
| 9 | 0 | 0% |

Tabla 10:germinación compostaje matera.

De 45 semillas sembradas el porcentaje de germinación en las materas compostera fue de 0% en todo el proceso de compostaje en materas.

7. DISCUSIÓN

Los microorganismos juegan un papel muy importante, dado que son los principales agentes en la descomposición orgánica. Estos microorganismos pueden ser de naturaleza bacteriana, fungiforme o actinomiceto; sus propiedades degradadoras se van a ver determinadas por las condiciones en que se encuentre la materia prima del compostaje. Dentro de estas condiciones se encuentran el pH, la humedad y la temperatura inicial.

En el presente estudio, se realizó muestreo en dos tipos de compostaje; compostaje tipo paca digestora y compostaje en materas ubicadas en invernaderos y laboratorio de biología de la Universidad Nacional de Colombia respectivamente. 6 pilas tipo paca digestora fueron adicionadas con dos tratamientos diferentes (3 pilas con caldo microbial de rizosfera y 3 materas con bioabono microbial); así mismo 6 materas fueron adicionadas con los mismos tratamientos (3 pilas con caldo microbial de rizosfera y 3 materas con bioabono microbial); las 6 composteras restantes se dejaron como control sin ninguna adición. Los resultados obtenidos fueron una reducción notable de tiempo de producción de los compostajes con abono microbial de materia como de paca digestora y alta germinación en el compost con adición de caldo microbial en las pacas digestoras. Estos resultados se encuentran dentro de lo esperado.

La ubicación fue en invernaderos, lo que permitió la adecuación óptima de las pacas digestoras con un ambiente semi controlado de temperatura, humedad y aireación.

Con respecto al compostaje en materas, este se tuvo en un ambiente totalmente controlado en el laboratorio, donde se ubicaron las 9 materas en una incubadora con las condiciones de temperatura adecuadas a cada fase del proceso de compostaje como lo explica

En cuanto a los microorganismos encontrados en los seguimientos, se encontró una mayor prevalencia de bacterias de tipo bacilos Gram positivos, seguido por actinomicetos y por último *Aspergillus niger*.

Esto se debió a que la microbiota del suelo es rica en estos microorganismos. Teniendo en cuenta que cada muestreo fue en fases diferentes del compostaje, cada uno presento un desarrollo poblacional variable. Se tiene en cuenta como mencionan Tortarolo M, Pereda M, Palma M Y Arrigo N, que el proceso se divide en 3 fases: mesofílica donde los microorganismos mesófilos se multiplican. termofílica en la cual aparecen actinomicetos y madurez donde reaparecen agentes mesofílicos³⁷. El primer muestreo realizado a los 20 días arrojó una alta población de bacterias, actinomicetos en baja cantidad y ningún tipo de microorganismo fúngico. En el último muestreo la presencia de enteropatógenos fue del 3% debido a que los actinomicetos tienen la propiedad de controlar esta población debido a la producción de antibióticos, lo que genera su inhibición y así mismo el haber pasado por la fase de higienización, esto contribuyó a que los enteropatógenos estuvieran por debajo de los rangos mínimos permitidos en un bioabono, como lo exige la ley de Colombia. Anexo 2, Anexo 3.

Algunos autores han descrito que la población de Bacilos Gram positivos en todas las fases del proceso es de las especies "*Micrococcus luteus*, *Bacillus pumilus*, *Bacillus macerans*, *Bacillus spaericus*, *Bacillus laterosporus*, *Pseudomona aeruginosa*, *Enterobacter aerogenes* y *Proteus mirabilis*"³⁸ Escobar N, Mora J y Romero N en su estudio realizado en municipio de Fusagasugá Colombia, aislaron 7 géneros de hongos *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Cladosporium* *Fusarium*, *Penicillium* y *Rhizopus*³⁸, que comparado con nuestro trabajo muestra que alguna condición ambiental o microbiana impidió el crecimiento de otros hongos diferentes al *Aspergillus niger*.

Respecto a los diferentes tratamientos aplicados a los compostajes, se encontró que el bioabono desarrollado a partir de los 3 microorganismos, acelera el proceso de compostaje pero no mejora las condiciones para la germinación, mientras que el caldo microbial mejora nutricionalmente el suelo y tiene una alta germinación, pero el proceso de compostaje no aumenta su velocidad.

Estudios similares demuestran que *Lactobacillus sp*, algunos actinomicetos y *Aspergillus niger* en su mayoría, están enfocados en el área de control biológico, esto se debe principalmente a las diversas propiedades como la producción de enzimas y mecanismos como antibiosis. La adición de estos microorganismos en nuestras pilas ensayo en materas y pacas digestoras, se realizó como un procedimiento microbiológicamente controlado que ha reportado mayor productividad del material orgánico compostado. El fósforo, el nitrógeno, el hierro y el potasio son compuestos necesarios para el crecimiento y desarrollo vegetal. Los fertilizantes químicos industriales adicionados para aumentar la concentración de estos compuestos, afectan significativamente el medioambiente y los ecosistemas del suelo. De acuerdo con la literatura, los microorganismos con potencial oxidativo del material orgánico utilizado en composta, han demostrado tener distintos y variados mecanismos de acción para solubilizar estos compuestos y así cumplir con los requerimientos de las plantas como lo cita Escudero de Fonseca A en su investigación³⁹.

El término biofertilizante hace referencia a sustancias que contienen microorganismos vivos involucrados en varias actividades del suelo, los cuales, al ser aplicados a sembradíos en material compostado, colonizan la rizosfera o el interior de las plantas. El compostaje es un proceso oxidativo de material orgánico que da lugar a un producto muy estable, podemos observar entonces que en las pacas digestoras y las materas controladas, el uso de poblaciones mixtas como lo fueron *Aspergillus níger*, *Streptomyces sp*, y *Lactobacillus sp*, degradan la materia orgánica siendo de estas las más importantes los hongos y actinomicetos, debido a su degradación exógena en un proceso aerobio. Se puede observar que el crecimiento bacteriano en las pilas con el bio abono microbial preparado, es más alto que en las pilas con caldo rizosfera y las pilas control con técnica de compostaje convencional; esto da a entender la capacidad oxidativa y degradante bacteriana del material compostado, pero con una tasa superior de proliferación bacteriana, es de destacar las variaciones de las comunidades microbianas teniendo en cuenta el pH y la disponibilidad de nutrientes, sin embargo, estos microorganismos que se emplearon no pueden utilizarse directamente en la composta⁴⁰ como lo dice

Méndez-Matías A y et al, por eso usando bases de su investigación microbial; fue necesario en este trabajo emplear técnicas en diluciones y un nicho predispuesto para la inoculación en las pilas de compostaje, tanto en materas con ambiente controlado como en las pacas digestoras. Se trabajó como un controlador y degradante oxidativo a *Aspergillus niger* debido a sus propiedades celulíticas en este caso para la degradación del aserrín inoculado con la orellana como un potenciador celulítico pues se tiene presente en investigaciones previas de inóculos con hongos en el instituto tecnológico de Oaxaca, México; que la inoculación de residuos lignocelulósicos con hongos es una opción viable tanto para disminuir el tiempo de maduración de compostaje como para mejorar las características del producto final obtenido⁴⁰. El comportamiento de reducción de tamaño de las pilas 3, 5 y 7 frente a las pilas control y pilas con caldo rizosfera observados en las gráficas, se debe a la acción de distintos mecanismos degradantes, entre ellos el de los actinomicetos durante el proceso de modificación de la materia orgánica del compost, debido a la capacidad enzimática para degradar compuestos orgánicos complejos (celulosa, lignina etc.) y son tolerantes a temperaturas y aisladores de fitopatógenos de distintas cosechas de alimentos como lo dice Pérez F en su investigación antagónica de actinomicetos de la Universidad Mayor de San Marcos en Venezuela, en donde sobresale de manera exhaustiva el mejoramiento de la fertilidad del suelo y producción de compuestos bioactivos que permiten controlar la acción de eventuales patógenos⁴¹. Por tal motivo, es un grupo de microorganismos abundante y es importante conocer su evolución durante el proceso de compostaje. Así mismo, los Actinomicetos poseen la capacidad de regular la microbiota rizosférica a través de la producción de antibióticos y otros compuestos. Sin embargo, es evidencial que en las pilas controladas y en las pacas digestoras la población de actinomicetos y hongos es exponencialmente menor que a la población bacteriana se refiere.

Lopez N. et al sugiere que *Streptomyces sp* “se podría considerar como microorganismo altamente versátil, ya que se ha aislado de la mayoría de los suelos sin importar el contenido de materia orgánica y pH. Se ha reportado su

crecimiento a temperaturas de hasta 50°C, contrario a lo reportado en la literatura en cuanto a los requerimientos de crecimiento para el microorganismo⁴², por tanto, en este trabajo se dió uso a este microorganismo nativo de suelos, debido a su capacidad tolerante a la etapa termofílica en las pacas digestoras. Las etapas comprendidas en las diferentes fases que gobiernan al compostaje, podemos evidenciarlos en su punto máximo de 25 a 30 días como se muestra en las gráficas, sin evidenciar cambios notables en estadios de maduración tanto en pilas control, como pilas con caldo rizosfera e incluso las pilas con el bio abono microbial.

Rodríguez C et al, en su investigación de producción de microorganismos de montaña para el desarrollo de una agricultura orgánica, sustenta que, comparándolos con el crecimiento y metabolismo de los microorganismos expuestos en nuestras pacas digestoras y materas controladas, que estos microorganismos oxidan de manera equitativa los componentes orgánicos de la composta tanto aerobia como anaerobiamente⁴³. El uso de *Lactobacillus sp.* en composta fue motivado principalmente por la capacidad fermentativa de esta bacteria al ser usado como un sustrato que actúe en la parte anaerobia de las pacas digestoras, esto con el fin de proveer propiedades probióticas a los alimentos que puedan ser cosechados en esta, sin mencionar el incentivo a nivel industrial y comercial que pueda tener un producto de composta finalizado para fines agrícolas. Como se mencionó anteriormente el crecimiento bacteriano en composta evidenciado en el muestreo final de las pilas de compostaje comprende un relación 10:1 frente al grupo de Actinomicetos y Hongos filamentosos, es por eso que como cita Navia C et al, en su formulación de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate; el uso de microorganismos eficientes y su metabolismo fermentativo, otorgan cambios en el pH y oxidación de manera orgánica beneficiosa, ya que las bacterias ácido lácticas: producen ácido láctico a partir de azúcares⁴⁴. Este puede suprimir otros microorganismos patogénicos como *Fusarium* y además ayuda a solubilizar la cal y el fosfato de roca fosfórica, que en conjunto con los Actinomicetos podemos observar en las pacas digestoras disminuciones favorables en un 2% de poblaciones bacterianas frente al grupo de

Actinomicetos y hongos en las pilas con el bio abono microbial que en las pilas control en donde este presenta un crecimiento bacteriano del 97%.

8. CONCLUSIONES

Se halló disparidad significativa entre los diferentes tratamientos con respecto a la variable temperatura. El tratamiento que presentó los mejores resultados fue el tratamiento con el inóculo de microorganismo, óptimo contenido de humedad, alcanzó la temperatura óptima entre 48 y 54° C por mayor período de tiempo.

Todos los tratamientos tienen una relación carbono/nitrógeno adecuada, las que varían entre 30:1. Esto produjo una adecuada descomposición debido a la disponibilidad de alimento para la micro flora presente en las pilas composteras.

Todos los tratamientos tienen óptimo contenido de humedad y la pasteurización del abono se logró a través de que la temperatura alcanzara entre 48° C y 54°C por un tiempo prolongado, lo que consolida una adecuada eliminación de las semillas y patógenos que afecten la eficiencia del compostaje. En todas las mezclas no se logró un porcentaje de germinación adecuado encontrándose entre el 0 y 35%.

La presencia de hongos y bacterias permanecieron durante la mayoría del proceso de descomposición, el microorganismo de menor cantidad fueron los hongos encontrados por tratamiento a los 35 días que a los 60 días. Entre las bacterias más encontradas están las del género *Bacillus*, entre los hongos fueron los géneros *Aspergillus* y *Penicillium*.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Kaudal B, Weatherley A. Agronomic effectiveness of urban biochar aged through co-composting with food waste. Elsevier [Internet]. 2018 [citado 29 jul 2018]. 87–97. Disponible en <https://sci-hub.tw/10.1016/j.wasman.2018.04.042>
2. Liua. K, Lina. S, Hsieh. J, Tzeng. G. Improving the food waste composting facilities site selection for sustainable development using a hybrid modified MADM mode. Elsevier [Internet]. 2018 [citado 29 jul 2018]. (75): 44-59. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18300837>
3. Chen Y, Zhou C, Xu W. Fertilizer effects of composted materials from different sources on cultivating Impatiens balsamina L. in municipal solid waste management. PubMed [Internet]. 2018 [citado 29 jul 2018]. 25(6): 5771-5778. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29230654>
4. Bohórquez. A, Puentes. Y, Menjivar.J. Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu [Internet]. 2014 [citado 29 jul 2018]. 15(1) 73-81. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v15n1/v15n1a07.pdf>
5. García. I, Lima. L, Ruíz. L, Calderón. P. Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas. Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente. [Internet]. 2014 [citado 29 jul 2018]. Disponible en: <http://ama.redciencia.cu/articulos/26.03.pdf>
6. Olivares. M, Hernández. A, Vences. C, Jáquez. J, Ojeda. D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Universidad y ciencia [Internet]. 2012 [citado 29 jul 2018]. 28 (1). Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792012000100003&script=sci_arttext&tlng=pt

7. X. Hao, M. Benke, F. Larney. Greenhouse gas emissions when composting manure from cattle fed wheat dried distillers' grains with solubles. *Nutr Cycl Agroecosyst*. [Internet]. 2010 [citado 29 jul 2018]. (89):105 Disponible en: <https://sci-hub.tw/https://link.springer.com/article/10.1007/s10705-010-9380-6>
8. López. W. Estudio del uso de residuos industriales no peligrosos a través del proceso de compostaje y su aplicación para el cultivo de maíz y frijol. Tesis, instituto politécnico Nacional Tlaxcala, México. 2010 [Internet]. Disponible en: <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/6940/1/TESIS%20WENNDY%20LOPEZ%20WONG.pdf>
9. Sánchez. T. Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Revista scielo*[internet] 2009 [citado 10 mar de 2019] disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2009000300007
10. Moreno. J, Moral R. Compostaje. Ediciones Mundi prensa: Madrid España: Editorial aedos; 2008 [citado 10 mar 2019]. Disponible en <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA75&dq=historia+del+compostaje&ots=BRQqR5nrR5&sig=UnduSqGBssSYV6PIUId7eFSNu4s#v=onepage&q=historia%20del%20compostaje&f=false>
11. Garro Alfaro. J. El suelo y los abonos orgánicos. Costa Rica: Editorial Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria 2016 [citado 10 mar 2019]. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
12. Artavia. S , Uribe. L, Saborío. F, Arauz. L, Castro. L. Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la supresión de *pythium myriotylum* en plantas de tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense*. [Internet]. 2010 [citado 10 mar 2019]. 34(1) 17-29. Disponible en: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v34n1/a02v34n1.pdf>

13. Cajamarca D. Procedimientos para la elaboración de abonos orgánicos. Tesis, Universidad del Cauca Facultad de ciencias Agropecuarias, Bogotá. 2012 [Internet]. [citado 7 jul 2019]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3277/1/TESIS.pdf>
14. Abonos orgánicos de origen animal. [Internet], abonosudec102.blogspot.com, [Citado 23 abr de 2019]. Recuperado a partir de: <http://abonosudec102.blogspot.com/p/abonos-organicos-de-origen-animal.html>.
15. Suchini J. Innovaciones agroecológicas para una producción agropecuaria sostenible en la región del Trifinio. BOLIVIA: EDITORIAL. CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza) 2012. [citado 10 mar 2019]. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A10933e/A10933e.pdf>
16. Céspedes F, Lorío L, Newcomer Q, Masters K, Kinyu M. Bio-optimización del compost con cultivos de microorganismos de montaña (MM) y lodos digeridos de biodigestor (LDBIO). UNED Research Journal. [Internet]. 2018 [citado 10 mar 2019]. 10(2): 330-341. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327898054_Bio-optimizacion_del_compost_con_cultivos_de_microorganismos_de_montana_MM_y_lodos_digeridos_de_biodigestor_LDBIO
17. Borrero C. A. Caldo microbiano de rizósfera. [Internet], Biblioteca Agroecología FUNDESYRAM, [Citado 29 jul de 2019]. Recuperado a partir de: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=313>
18. Compost preparado usando microorganismos Propio Balance+ ® [internet], noticias.ibicol.com.co. Información de Bacterias ácido lácticas, Lactobacillus sp en composta, 2019, [Citado 23 abr 2019]. Recuperado a partir de: <http://www.noticias.ibicol.com.co/wp-content/uploads/2016/08/ELABORACION-COMPOST-usando-probioticos.pdf>
19. Mecanismos fermentación aeróbica [Internet], Ambientum.com, [Citado 10 de marzo de 2019]. Recuperado a partir de:

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/mecanismos_fermentacion_aerobia.asp

20. Rioseras de Bustos B. Desarrollo de Streptomyces: regulación y aplicaciones industriales. Repositorio de la Universidad de Oviedo. [Internet]. 2017 [citado 23 abr 2019]. Disponible en: <http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/43850>
21. Qinyuan L, Xiu Ch, Jiang Y, Jiang Ch. Morphological Identification of Actinobacteria Revista Actinobacteria - Basics and Biotechnological Applications [Internet]. 2016 [citado 23 abr 2019]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/actinobacteria-basics-and-biotechnological-applications/morphological-identification-of-actinobacteria>.
22. Accensi Francesc I. Aportación al conocimiento de aspergillus Sección Nigri. Tesis, Universidad Autónoma de Barcelona, [Internet]. 2000 [citado 23 abr 2019]. Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5607/faa1de2.pdf?sequence=1>
23. Clasificación de los residuos [Internet], Planetica.org. Información sobre ecología, cuidado y protección del medio ambiente, 2019, [Citado 10 de mar 2019]. Recuperado a partir de: <http://www.planetica.org/clasificacion-de-los-residuos>
24. Barthod, J Rumpel y Digna M. Composting with additives to improve organic amendments. A review. Agronomy for Sustainable Development [Internet]. 2018 [citado 29 jul 2019]. (38): 17. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-018-0491-9#Sec3>
25. Román. P, Martínez A. Manual De Compostaje Del Agricultor Experiencias En América Latina. Santiago de Chile: Editorial FAO 2013 [citado 10 mar 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
26. Fases del compostaje [Internet], InfoAgro.com. Información sobre que es el compostaje, 2019, [Citado 10 mar 2019]. <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

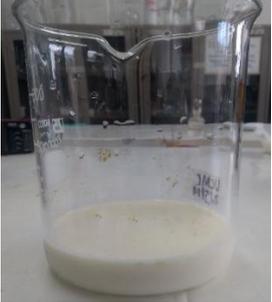
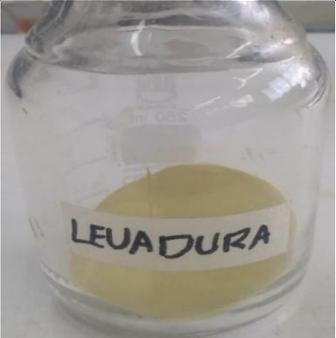
27. Agüero. D, Alfonso. T, Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Revista INCA. [Internet]. 2014 [citado 9 may 2019]. 35 (4) 52-59. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193232493007.pdf>
28. Mecanismos fermentación aeróbica [Internet], Ambientum.com, [Citado 10 de marzo de 2019]. Recuperado a partir de: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/mecanismos_fermentacion_aerobia.asp.
29. Fases del compostaje [Internet], agrega.educacion.es. Información sobre fases del compostaje, 2019, [Citado 10 mar de 2019]. Disponible en: http://agrega.educacion.es/repositorio/08042014/8e/es_2013121413_91_80800/5_fases_del_compostaje.html
30. Silva Pérez G. El basurero orgánico limpio. Observatorio Salud Publica. [Internet] 2011 [citado 29 jul 2019]. Disponible en: <https://observatoriosaludpublica.files.wordpress.com/2011/11/basurero-limpio.pdf>
31. Zapata Giraldo V. Guillermo Silva: el mago del bosque urbano [Internet], esferaviva.com, [Citado 29 jul 2019]. Recuperado a partir de: <http://esferaviva.com/guillermo-silva-el-mago-del-bosque-urbano/>
32. Silva Pérez G. ¿Qué es la paca digestora silva? Un Reciclaje Orgánico Limpio y Saludable. TECSISTECATL [Internet]. 2018 [citado 29 jul 2018]. Disponible en <https://www.eumed.net/rev/tecsistecat/n23/paca-digestora-silva.html>
33. Chong-Qui J.P. Evaluación de tres tipos de compost en el rendimiento del cultivo de nabo (Brassica rapa L.). Tesis, Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Agrarias, Ecuador. 2019 [Internet]. Disponible en: <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/3686/1/T-UTEQ-0177.pdf>
34. Escobar. N, Mora. J, Romero. N. Identificación de Poblaciones Microbianas en Compost de Residuos Orgánicos de Fincas Cafeteras de Cundinamarca. Revista scielo. [Internet]. 2012 [citado 10 mar 2019]. 16

- (1): 75 – 88. Disponible en:
<http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
35. Pascual. R. Venegas Yuste. S. LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO. PAPEL DE LOS MICROORGANISMOS. [Internet]. [citado 10 mar 2019]. Disponible en: <https://www.ugr.es/~cjl/MO%20en%20suelos.pdf>
36. Medina. M. et.al. Generación De Un Inoculante Acelerador Del Compostaje. Revista sciencedirect. [Internet]. 2018 [citado 9 may 2019] Pages 206-210. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0325754117301050>
37. Tortarolo M, Pereda M, Palma M Y Arrigo N. Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. [Internet]. 2008 [citado 10 ago 2019]. 26 (1). Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000100005&lang=es
38. Escobar N, Mora J, Romero N. Identificación de Poblaciones Microbianas en Compost de Residuos Orgánicos de Fincas Cafeteras de Cundinamarca. [Internet]. 2008 [citado 10 ago 2019]. 16 (1): 75 - 88. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v16n1/v16n1a06.pdf>
39. Escudero de Fonseca A, Arias Villamizar C. Los Microorganismos En Los Abonos Orgánicos A Partir De Podas En La Universidad Del Norte, Colombia. Contam [Internet]. 2012 [citado 9 sep 2019]. (1): 67-75. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28s1/v28s1a10.pdf>
40. Méndez A. Celerino M, Ruiz J, Castañeda Hidalgo E. Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación C/N. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas México. [Internet]. 2018 [citado 9 sep 2019]. (9): 18. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/5cb7/4c12b86c2e25973b80c826a15ac43ffe87b6.pdf>
41. Pérez Rojas F, León Quispe J, Galindo Cabello N. Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena Hawkes). Revista Mexicana de

- Fitopatología Mexico. [Internet]. 2015 [citado 9 sep 2019]. (33): 116-139. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/612/61242145001.pdf>
42. Lopez Soto N. Efectos de aislados de los géneros streptomyces y bacillus como promotores del crecimiento vegetal en frijol (*Phaseolus vulgaris* L). tesis, Instituto Politecnico Nacional, Sinaloa. 2013 [Internet]. [citado 9 sep 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/5b76/598c17e3c52213d128c313283627649e29b7.pdf>
43. Rodríguez Calampa N, Tafur Torres Z. Producción de Microorganismos de Montaña para el Desarrollo de una Agricultura Orgánica. Centro de Investigación en Ingeniería Ambiental [Internet]. [citado 9 sep 2019]. Disponible en: https://estaticos.qdq.com/swdata/files/950/950904418/CIn_3256.pdf
44. Navia Cuetia C, Zemanate Cordoba Y, Morales Velasco S, Alonso Prado F, Albán López N. Evaluacion de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial [Internet]. 2013 [citado 9 sep 2019]. (2) 165 - 173. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11nspe/v11nespa19.pdf>

10. ANEXOS

Anexo 1: Ingredientes del caldo microbial de rizosfera

| Material | Imagen | Material | Imagen |
|-----------------------------|---|---|---|
| Limonia y ortiga |  | Leche |  |
| Melaza |  | Levadura |  |
| Mezcla del caldo Licuado |  | Materiales preparados para la mezcla |  |

Anexo 2 : Resolución 698 de febrero de 2011

Anexo 3: Resolución 00150 de enero de 2003