

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS-POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESTANDARIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE ENRIQUECIDO
CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS
RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA SUR DE TUNJA.**

Requisito para optar el título de Magister en Ciencias Biológicas

LUZ ADRIANA GALINDO CASTRO

TUNJA
JUNIO, 2018

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS-POSGRADO
MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**ESTANDARIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE ENRIQUECIDO
CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS
RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA SUR DE TUNJA.**

Requisito para optar el título de Magister en Ciencias Biológicas

AUTOR: LUZ ADRIANA GALINDO CASTRO

DIRECTOR: GERMAN ANDRES ESTRADA BONILLA
Institución: CORPOICA
Grupo de investigación: Sistemas Agropecuarios Sostenibles

CODIRECTOR: JOHN WILSON MARTÍNEZ OSORIO
Institución: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia
Grupo de investigación: Grupo manejo Biológico de cultivos (GMBC)

TUNJA
JUNIO, 2018

CERTIFICADO DE ORIGINALIDAD

GERMAN ANDRES ESTRADA BONILLA, Microbiologo, Ph.D En Agronomía (Suelos y Nutrición de Plantas) **y énfasis (s) de formación profesional de director, Investigador Ph.D, CORPOICA** y JOHN WILSON MARTÍNEZ OSORIO, Licenciado en Biología **énfasis (s) de formación profesional de director, Docente de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.**

CERTIFICA:

Que el trabajo de grado realizado bajo mi dirección por LUZ ADRIANA GALINDO CASTRO titulado “ESTANDARIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE ENRIQUECIDO CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA SUR DE TUNJA.”, reúne las condiciones de originalidad requeridas para optar al título de Magister en Ciencias Biológicas otorgado por la UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.

Y para que así conste, firmo (o firmamos) la siguiente certificación en la ciudad de Tunja a los 18 días del mes de Enero del 2018.

(Firma)

Ph.D. GERMAN ANDRES ESTRADA BONILLA

Director

CORPOICA

Grupo de investigación Sistemas Agropecuarios Sostenibles

MSc. JOHN WILSON MARTÍNEZ OSORIO

Codirector

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Grupo manejo Biológico de cultivos (GMBC)

Ph.D. GERMAN ANDRES

ESTRADA BONILLA

Director

MSc. JOHN WILSON MARTÍNEZ

OSORIO

Codirector

MSc. Germán Eduardo Cely Reyes

Jurado 1

Msc. Jonathan Alberto Mendoza Labrador

Jurado 2

Corta dedicatoria (opcional)

*Este trabajo lo dedico a mi familia y maestros quienes me han apoyado incondicionalmente.
A la sociedad como un aporte en la investigación para la construcción y desarrollo de procesos amigables con el medio ambiente.*

Agradecimientos

A Dios que fue mi guía constante y me brindo la vida y experiencia necesaria para llevar a cabo este proyecto, a mi familia por su apoyo incondicional, a los docentes y auxiliares de laboratorio por sus aportes al desarrollo de este trabajo, a mis Directores por su orientación compromiso y dedicación, al docente Jorge Blanco Valbuena, por compartir su conocimiento, todo lo cual fue un aporte a mi aprendizaje personal. A la alcaldía Mayor de Tunja- Secretaria de Desarrollo, a los funcionarios, personal de aseo y a cada uno de los compañeros, amigos y conocido que apoyaron la realización de este proyecto. A mis Docentes, que me brindaron el conocimiento y aprendizaje necesario para mi crecimiento y formación ética y profesional.

A todas ellas y a todos ellos presento mis sinceros agradecimientos.

Tabla de contenido.

CAPITULO I.....	11
TITULO.....	11
1.1 INTRODUCCION.....	11
1.2 JUSTIFICACION.....	13
1.3 MARCO CONCEPTUAL.....	15
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	29
1.5 CONSIDERACIONES ÉTICAS.....	31
1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	36
1.7 OBJETIVOS.....	38
1.8 METODOLOGÍA.....	38
1.8.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.....	38
1.8.2 FASE DE CAMPO.....	39
1.8.3 FASE DE LABORATORIO.....	40
1.8.4 FASE DE EVALUACION Y ANALISIS DE DATOS.....	42
1.8.5 FASE DE ANALISIS DE LA CALIDAD DEL COMPOSTAJE.....	43
Referencias bibliográfica.....	44
CAPITULO II.....	48
ARTÍCULO 1.....	48
1.1 Titulo.....	48
2.1 RESUMEN.....	48
2.2 ABSTRACT.....	49
2.3 INTRODUCCION.....	49
2.4 MATERIALES Y METODOS.....	51
<i>Montaje de la línea de compostaje.....</i>	51
<i>Evaluación de la calidad en el proceso de compostaje.....</i>	53
2.5 RESULTADOS Y DISCUSION.....	53
<i>Análisis físico químico del compost.....</i>	53
<i>Caracterización microscopica de las cepas Bacterianas aisladas.....</i>	58
<i>Determinación de la población y porcentaje de posibles hongos solubilizadores de fosforo.....</i>	60
2.6 Evaluación de la calidad del compost obtenido en el proceso de compostaje.....	66
2.7 Conclusiones.....	68
2.8 Referencias bibliográfica.....	69
ANEXOS.....	75

LISTA DE GRAFICOS

Grafico 1 variacion de la temperatura (°C) y Humedad relativa (%) durante el proceso de compostaje	54
Grafico 2 Población de BSP durante el proceso de compostaje. Media de repeticiones.	57
Grafico 3 <i>Características microscópicas de bacterias fosfatosolubilizadoras</i>	59
Gráfico 4 UFC/g de hongos fosfatosolubilizadores en cada uno de los tratamientos por etapa expresados en logaritmo base 10.....	62
Grafico 5 <i>UFC/ml hongos solubilizadores de fosfato por etapas en el proceso de compostaje</i>	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Ciclo del fósforo.....	22
Figura 2 Proceso de elaboración, seguimiento y análisis del compost.....	80
Figura 3 caracterización macro y microscópica de bacterias fosfato solubilizadoras	81
Figura 4 Evolución del proceso de compostaje	82
Figura 5 Morfología de las colonias y estructuras reproductivas de los Hongos Fosfatosolubilizadores.....	82

LISTA DE TABLAS.

Tabla 1. Principales géneros bacterianos y fúngicos solubilizadores de fosfato.....	26
Tabla 2. Contenidos permisibles de evaluación de calidad	27
Tabla 3. Porcentaje de material utilizado en el proceso de compostaje	75
Tabla 4. Análisis físico-químico del compost durante el proceso de compostaje.....	55
Tabla 5. Análisis de varianza de la concentración de bacterias por tratamiento.....	77
Tabla 6. Separación de medias mediante la prueba de Tukey ufc/g de Bacteria	56
Tabla 7. Concentración de Bacterias solubilizadores de fosfato por dilución.	75
Tabla 8. Medias de ufc de bacterias solubilizadores de fosfato	76
Tabla 9 Análisis de varianza de la concentración de hongos solubilizadores de fosfato durante el proceso de compostaje	77
Tabla 10 Medias por mínimos cuadrados para Hongos Fosfatosolubilizadores.	77
Tabla 11 Separación de medias de concentración de hongos solubilizadores de fosfato, mediante la prueba de Tukey	78
Tabla 12 Evaluación de Parámetros indicadores de la calidad del proceso de compostaje.....	83
Tabla 13 características macro y microscópicas de las cepas aisladas.	79
Tabla 14 Componentes de cada uno de los tratamientos.....	39

CAPITULO I.

TITULO.

ESTANDARIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE ENRIQUECIDO CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA SUR DE TUNJA.

1.1 INTRODUCCION.

De acuerdo con la política de gestión integral de residuos sólidos (MADS, 1998; MDE, 2000), el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso de transformación de un residuo. Entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo de dar valor económico al residuo al obtener subproductos reutilizables.

La maximización del aprovechamiento y valorización de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las cantidades, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir el costo de tratamiento, así como a mitigar la contaminación ambiental generada por la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final. (MADS, 1998; MDE, 2000)

El compost permite el reciclaje de residuos orgánicos, reduciendo la contaminación y el costo de fertilizantes como insumo para la producción agrícola. Adicionalmente, El reciclaje de los residuos orgánicos generados en el proceso productivo de una explotación agropecuaria o silvoagropecuaria, convierte los residuos en insumos que pueden regresar al suelo, aportándole nutrientes y microorganismos benéficos, mejorando la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico (CIC), ayudando así a la rentabilidad de la producción. Desde el punto de vista medioambiental, este reciclaje de materiales y su aplicación al suelo, proporciona muchos beneficios, tales como el incremento de la materia orgánica en el suelo, la reducción del metano producido en los rellenos sanitarios o vertederos municipales, la sustitución de turba como sustrato, la absorción de carbono, el control de la temperatura edáfica y el aumento de la

porosidad del suelo, reduciendo de esta manera el riesgo de erosión y la desertificación.(FAO, 2013).

Entre tanto el fósforo (P) es un macronutriente esencial en el crecimiento de plantas y microorganismos del suelo. Su utilización en el sector agrícola es de amplia importancia para aumentar la productividad de cultivos de interés económico, dado que aumenta la obtención de micronutrientes, los procesos metabólicos de transferencia de energía, la biosíntesis de macromoléculas entre otros (FAO 2004). Las mayores reservas están en las rocas, en depósitos como las apatitas primarias y otros minerales formados durante otras eras geológicas que se encuentran formando parte de un estrato rocoso (Restrepo et al., 2015). La disponibilidad de P para las plantas está relacionada con su concentración en la solución del suelo. La mayoría de los suelos de la ciudad de Tunja presentan baja disponibilidad de P por lo que éste elemento ingresa al agroecosistema principalmente como fertilizante. Sin embargo, este no es un recurso renovable y las reservas mundiales se agotan rápidamente. Se estima que las reservas de calidad actuales de P disminuirán a la mitad entre los años 2040 y 2060, lo que, unido al hecho de que los precios de los fertilizantes fosfóricos se incrementan constantemente, hace necesaria la búsqueda de estrategias sostenibles de fertilización (Restrepo et al., 2015).

Por lo anterior la insuficiencia de P en el suelo puede generar retraso en las cosechas, afectar el desarrollo de las plantas, disminuir notablemente la producción entre otros. Por lo anterior los microorganismos solubilizadores de P como bacterias y hongos juegan un papel fundamental en la movilización de este elemento; además de presentar ventajas frente a fertilizantes de síntesis química, dado que contribuyen a la preservación del medio ambiente en cuanto a que no generan sustancias tóxicas y además hacen parte de la flora nativa del suelo y la materia orgánica. Su uso impacta positivamente el ecosistema y genera una agricultura sostenible. (Bobadilla & Rincon 2008).

Estos microorganismos son fundamentales en la regulación del ciclo del P debido a que son capaces de liberar el P no disponible para las plantas, mediante la solubilización y mineralización del P Inorgánico y orgánico (Walpola & yoo, 2012). En términos de biomasa, los hongos solubilizadores de fosfato (HSP) representan los mayores aportes en la transformación del P, estos constituyen del 0,1 al 0,5 % de las poblaciones de hongos totales en el suelo, y por ende pueden cumplir la función de disponibilizar para las plantas los altos contenidos de P presentes en el (Khan et al, 2010).

El propósito del trabajo es “estandarizar la técnica de compostaje enriquecido con P, como método de reaprovechamiento de los residuos orgánicos de la plaza sur de Tunja, evaluando los efectos de la aplicación de diferentes fuentes fosfatadas. Donde se busca aislar microorganismos potenciales solubilizadores de fosfato en cada una de las fases del compostaje en contraste con los parámetros fisicoquímicos del compost para determinar la calidad del producto.

1.2 JUSTIFICACION.

Los residuos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y por el incremento de la población humana, sumado a los hábitos del consumismo que generan día tras día grandes cantidades de residuos contaminantes. Por lo tanto, se hace necesario generar procesos de manejo y aprovechamiento de residuos con el fin de mitigar el impacto ambiental negativo que estos ocasionan y darles un uso productivo a los mismos.

Por lo tanto es necesario implementar instrumentos de manejo basados en principios de eficiencia, eficacia y efectividad que generen una sostenibilidad ambiental a partir de una relación costo-beneficio óptimo. El estudio de la relación de los procesos adecuados para la transformación de los residuos orgánicos se convierte en el factor primordial para crear los escenarios que determinen la viabilidad técnica, económica y ambiental asociada al plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS). Del PGPR hace parte una integralidad de procesos que

van desde la separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), hasta la transformación de los residuos que permiten éste proceso. Este aprovechamiento conduce de manera directa a la disminución de impactos ambientales y sociales generados, en especial, en el componente de la disposición final y la aplicación de los planes de manejo ambiental a este componente, a la luz de la exigente normatividad ambiental (Jaramillo & Zapata 2008).

En este orden de ideas, se busca que los residuos sólidos de carácter orgánico generados en Tunja, pasen a ser -- reutilizables porque - pueden ser recuperados nutrientes a través de procesos de manejo en la fuente, recuperación, aprovechamiento y procesamiento biológico. El proceso permitirá poner los residuos en condiciones técnicas y económicas para ser reintegrados al ciclo económico denominado valorización de los residuos sólidos. En este contexto, se plantea en el presente trabajo, la adición de fuentes fosfatadas al compostaje buscando dar valor agregado al producto. La aplicación de este fertilizante orgánico optimizará la producción agrícola, permitiendo satisfacer la creciente demanda de alimentos, la cual depende en buena medida de la aplicación racional de fertilizantes sintéticos a los cultivos, principalmente nitrogenados y fosfóricos (Lal, 2009; FAO, 2004). No obstante en el caso de estos últimos, varios estudios prevén un escenario de escases inminente a corto, mediano (Cordell et al., 2009) o largo plazo (Van Vuuren et al., 2010), situación que hace urgente proponer alternativas de fertilización fosfórica, especialmente en los países importadores de fertilizantes como Colombia.

En este sentido, la fertilización directa con roca fosfórica (RF), sola o combinada con microorganismos solubilizadores de P, se ha propuesto como una alternativa especialmente adecuada para la agricultura tropical (FAO, 2004). En el caso de los suelos de Tunja existen condiciones que hacen ventajosa la utilización de esta tecnología para la fertilización de los cultivos, y para la recuperación de suelos, por ser suelos deficientes en nutrientes.

Para solucionar los problemas de baja eficiencia agronómica de la RF, debida a su lenta y baja solubilidad, se han diseñado varias estrategias para incrementar los niveles de solubilización, que incluyen entre otras la biosolubilización o aplicación conjunta de RF en los procesos de compostaje. Durante el proceso de compostaje se da la solubilización del P indisponible por medio de microorganismos solubilizadores de fosfato, bien sea hongos (Singh y Reddy, 2011) o bacterias (Khan et al., 2013).

Por lo anterior la necesidad de realizar este trabajo se refuta en técnicas que nos permitan mejorar circunstancialmente los métodos de procesamiento de residuos sólidos orgánicos, por medio de la adición de fuentes fosfatadas en el proceso de transformación de residuos, permitiendo incrementar la eficiencia de los fertilizantes orgánicos. Adicional a lo anterior existen poco estudios de transformación de residuos en los cuales se incorpore fuentes fosfatadas, razón por la cual se hace necesario conocer los efectos de esta técnica frente a la inminente necesidad de llevar a cabo acciones de manejo de los residuos orgánicos en la ciudad de Tunja.

1.2 MARCO CONCEPTUAL.

De acuerdo con Política para la gestión integral de residuos 1997). La maximización del aprovechamiento y valorización de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las cantidades, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a mitigar la contaminación ambiental generada por la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final.

En cuanto a materiales aprovechados, es importante resaltar que Tunja genera materias primas secundarias con valor comercial, consideradas como insumos o subproductos para otros procesos productivos, sujeta a las condiciones de oferta y demanda del mercado. La valorización se hace teniendo en cuenta su utilidad

como: insumo industrial, insumo para procesos agronómicos o procesos energéticos; la disponibilidad de tecnologías de transformación para su valorización y un mercado para los productos obtenidos. Igualmente el aprovechamiento de residuos integra a los generadores, los transformadores y los consumidores, al tiempo que promueve el reconocimiento y vinculación formal de los recicladores de oficio, en las actividades relacionadas con el aprovechamiento y valorización de residuos.

El procesamiento de residuos sólidos orgánicos por medio de la técnica de compostaje, instaurará protocolos técnicos de transformación, usando un método biológico, a través del articulado de los residuos, degradación y maduración por acción de microorganismos. Del proceso de compostaje será obtenido un producto orgánico con alto valor agronómico, (FAO, 2004).

1.3.1 Residuo

El término residuo se aplica a todo objeto, energía o sustancia sólida, líquida o gaseosa, que resulta de la utilización, descomposición, transformación, tratamiento o destrucción de una materia y/o energía y que carece de utilidad o valor para su dueño (Jacobo y Rougès, 1993). Los residuos pueden clasificarse según su naturaleza en orgánicos e inorgánicos, destacándose los orgánicos por su elevado volumen de producción y su fuerte impacto medioambiental (Abad y Puchades, 2002; Climent et al., 1996).

1.3.2 El proceso de compostaje.

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos

complejos realizados por microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N), el carbono (C), P y otros nutrientes presentes para multiplicarse. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C, pero más estable, que es llamado compost. (Roman et al 2013)

Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. Fase Mesófila. El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Roman et al 2013).

2. Fase Termófila o de Higienización. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina (Roman et al 2013).

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos.

3. Fase de Enfriamiento. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos

mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Roman et al 2013).

El compostaje es un proceso biológico aerobio de degradación de los residuos sólidos de carácter orgánico bajo condiciones controladas, esta técnica consiste en mezclar diferentes tipos de residuos orgánicos, como residuos de cocina, (vegetales, frutas, leguminosas etc.) desechos de animales y elementos minerales. Para la correcta conducción del proceso es necesario que la humedad, aireación y temperatura sean controladas para favorecer la actividad de los microorganismos con la capacidad enzimática para convertir estos residuos en compuestos orgánicos estabilizados. El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, capaces de descomponer la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan establecerse y desarrollar la actividad descomponedora se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.

De acuerdo con el documento el Compostaje (Infoagro "s.f) son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. Los factores más importantes son:

-Temperatura. Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55 °C. Encima de 50° serán eliminados patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas encima del límite, muchos microorganismos interesantes para el proceso son inhibidos o su actividad metabólica. (El Compostaje, Infoagro "s.f)

-Humedad. En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido de agua es mayor, el agua

ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso será anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica generando olores indeseables. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. (El Compostaje Infoagro "s.f)

-pH: Influye en el proceso debido a su acción sobre los tipos de microorganismos. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (pH= 6-7,5). (el Compostaje "s.f)

-Oxígeno. El compostaje es un proceso aeróbico, por lo que la presencia de oxígeno es esencial para acelerar el proceso. (El Compostaje Infoagro "s.f)

-Relación C/N: El carbono y el nitrógeno son los dos constituyentes básicos de la materia orgánica. Por ello para obtener un compost de buena calidad es importante que exista una relación equilibrada entre ambos elementos. Teóricamente una relación C/N de 25-35 es la adecuada, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost y su durabilidad. (El Compostaje "s.f)

-Población microbiana: El compostaje es un proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica, llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetes. (El Compostaje Infoagro "s.f)

1.3.3 Microbiología del compostaje

El reciclaje biológico de nutrientes es indispensable para mantener la vida en el planeta y es mediado por una amplia gama de microorganismos. La biotransformación es la modificación biológica que altera la estructura química de la materia orgánica. Durante la biotransformación se pueden sintetizar átomos o moléculas simples en moléculas más complejas, a este proceso se denomina biosíntesis. Si ocurre en sentido contrario, es decir la descomposición de una

estructura molecular en sus componentes elementales, el proceso se denomina biodegradación (Díaz et al 2007).

La conversión en compost de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener un fertilizante eficiente (nutricionalmente) de forma segura y económica, a partir de diferentes residuos orgánicos, permitiendo conservar y aprovechar los nutrientes presentes en los mismos. Los microorganismos predominantes en el compostaje varían de acuerdo al estado de degradación y a las condiciones ambientales presentes en el medio.

De acuerdo con Diaz (2007) el proceso de compostaje comienza con la oxidación o descomposición de la porción de la materia orgánica fácilmente degradable. Posteriormente tiene lugar la estabilización, que incluye la mineralización de moléculas de degradación lenta y otros procesos más complejos como la humificación de los compuestos ligno-celulósicos, para llegar a un producto final denominado compost, el cual, puede definirse como un producto benéfico para el crecimiento de las plantas, estable e inocuo. El compost pasa por tres fases: (a) una fase inicial de descomposición rápida, (b) una fase de estabilización y (c) un proceso incompleto de humificación.

Existen tres aspectos trascendentales en la transformación de la materia orgánica fresca en compost: (a) evitar la fitotoxicidad de la materia orgánica fresca y no-estabilizada, (b) reducir la presencia de microorganismos patógenos para humanos, animales y plantas, y (c) producir un fertilizante orgánico y un estabilizador de suelos a partir de desechos orgánicos y biomasa, que de otra manera contribuirían a una mayor contaminación ambiental (Díaz et al 2007).

1.3.4 Materia orgánica y actividad biológica

En relación con lo descrito en el documento de conservación de los recursos naturales para una agricultura sostenible (“s,f”), los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y

los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (N, P y S) son liberados en formas que pueden ser usados por las plantas (disponibilidad de nutrientes).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad es determinada por tres factores principales:

- La composición de los organismos del suelo.
- El entorno físico (oxígeno, pH, humedad y temperatura).
- La calidad de la materia orgánica

La parte viva del suelo incluye una amplia variedad de microorganismos tales como bacterias, Hongos, protozoarios, nemátodos, virus y algas.

-Bacterias: Las bacterias son organismos unicelulares, con un tamaño promedio de 1 μm . Frecuentemente viven en colonias de miles o millones de individuos, de la misma o diferente especie. Muchas de estas colonias producen sustancias que actúan como adhesivos que permiten que las partículas del suelo se unan. Pueden ser distinguidos seis tipos funcionales: El grupo más grande de bacterias está formado por los descomponedores, en continuidad por mutualistas, patógenos, quimioautotróficos, cianobacterias y actinomicetos (Ingham,(2000).

-Hongos: Los hongos son organismos microscópicos que se agrupan en conglomerados llamados micelios. Los hongos son organismos aeróbicos y son inhibidos cuando el suelo es anoxico. Los hongos descomponedores de lignina tienen actividad alrededor del tejido leñoso de la planta. La mayoría de las raíces de las plantas están infectadas con micorrizas u hongos mutualistas. Este tipo de hongos obtienen carbono de la planta y en cambio transportan hasta las plantas nutrientes tales como P, N, micronutrientes y agua. Otra función benéfica de los hongos es brindar protección contra algunos patógenos de las raíces, aumentan la tolerancia a las enfermedades, la tolerancia a la sequía, reducen problemas de toxicidad y alta temperatura (Ingham(2000).

1.3.5 Ciclo del fósforo

Como se observa en la figura 1, El ciclo del P comienza con los iones de fosfatos disueltos, las plantas lo absorben a través de sus raíces y lo distribuyen en todas las células. A su vez, los animales lo adquieren al ingerir los vegetales. Al morir las plantas y los animales a través de sus excretas liberan P insoluble y las bacterias que solubilizan fosfato transforman el P en fosfatos inorgánicos disueltos, una parte de dichos fosfatos son arrastrados al mar, los cuales descenden hasta el fondo y forman rocas, la otra parte de estos fosfatos lo toman las algas, las aves marinas y los peces siendo finalmente ingeridos por los seres humanos con lo cual se completa el ciclo (Corrales 2014).

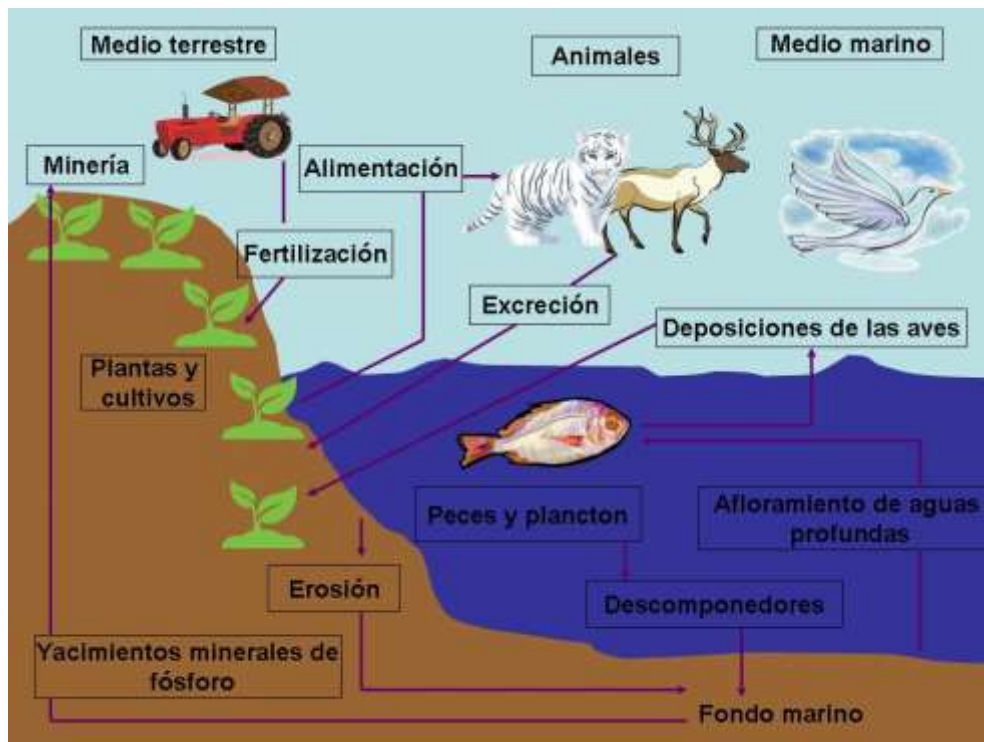


Figura 1. Ciclo del fósforo. Hoyos., (“s.f”). Tomado de (<http://ciclosdelagu.blogspot.com.co/p/ciclo-del-fgosforo.html>)

1.3.6 Roca Fosfórica.

Se denomina RF a las sustancias y compuestos químicos que presentan altas concentraciones de minerales fosfatados por procesos naturales, si el porcentaje de P_2O_5 es mayor que el 20%, recibe el nombre de fosforita. La apatita de la

fosforita constituye la materia prima para la producción de P elemental, ácido fosfórico y otras sales fosfóricas que se utiliza en las industrias químicas. (Almeyda & Niño 2010)

Una de las principales propiedades de la RF para uso agrícola es su reactividad, la cual determina el porcentaje de P soluble en el suelo, para su medición se utilizan diferentes soluciones acuosas (ácido cítrico al 1%, ácido fórmico al 2% y solución neutra de citrato de amonio) como medio de extracción del P soluble en el mineral (Almeyda & Niño 2010).

De acuerdo con Almeyda & Niño (2010) la acidulación parcial de la RF en superfosfato simple consiste en hacerla reaccionar con un ácido fuerte tal como el ácido sulfúrico o el nítrico. Así también existe un proceso denominado acidulación parcial de la fosforita que consiste en mezclar la roca molida con un ácido fuerte.

Tratamiento térmico para la obtención de superfosfato es un proceso alternativo a la acidulación que consiste en moler la fosforita y mezclarla con una cantidad calculada de una sal sódica de acuerdo a los resultados arrojados por el análisis cuantitativo del mineral. La mezcla se lleva a una temperatura entre los 1200°C y los 1300°C por un tiempo de 30 minutos (Almeyda & Niño 2010).

1.3.6 Importancia del P en el suelo.

La fertilización directa con RF, sola o combinada con microorganismos solubilizadores de fósforo, se ha propuesto como una alternativa especialmente adecuada para los ambientes del trópico (FAO, 2004). Debido al alto nivel de producción agrícola necesario para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos, la cual depende, en buena medida, de la aplicación racional de fertilizantes sintéticos a los cultivos, principalmente nitrogenados y fosforados (Lal, 2009; FAO, 2004).

En el caso de los suelos tropicales, existen tres condiciones que hacen ventajosa la utilización de la RF para la fertilización de los cultivos: (1) la tasa de disolución de las rocas y minerales, y la reacción entre las superficies minerales y la solución del suelo, se incrementa bajo regímenes de alta humedad y altas temperaturas, prevalentes en el trópico; (2) el efecto positivo de la fertilización con rocas y minerales es mayor en suelos deficientes en nutrientes; y (3) las condiciones de alta acidez de un alto porcentaje de los suelos tropicales favorecen la solubilización de la RF (Edwards et al., 2010, Citado por Patiño y Sanches 2013).

1.3.7 FORMAS DE SOLUBILIZACION DEL FÓSFORO EN EL SUELO

Producción de ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos actúan sobre compuestos insolubles de fosfato inorgánico como: fosfato dicálcico, fosfato tricálcico, y RF (hidroxiapatita, apatitas, florapatita, cloroapatita). La presencia de ácidos orgánicos permite la acidificación del suelo facilitando la absorción de este elemento, poseen carga negativa formando complejos al quelar los iones metálicos como el Fe^{+3} y Al^{+3} que se encuentran asociados con P insoluble y se transforman en P soluble para la planta (Plazas, E., 2007),

Oxidación y reducción del fósforo.

Los estados de oxidación del P van desde el -3 (fosfina) hasta el +5 (ortofosfato). Los microorganismos pueden realizar éstas transformaciones cuando al utilizar el fosfito lo transforma en fosfatos en el interior de la célula. Este proceso puede ser reprimido por inhibidores biológicos tales como tolueno. A través de este proceso se provoca la solubilización del fósforo al reaccionar con los iones del suelo (Hyland et al, 2005).

Microorganismos solubilizadores de fosfato.

Algunos microorganismos tienen la habilidad de incrementar aumentar la nutrición fosfatada interviniendo en el crecimiento y desarrollo productivo de las

plantas, los microorganismos solubilizadores de fosfato (MSF) constituyen un grupo importante de promotores del crecimiento de las plantas dado que están involucrados en un amplio rango de procesos que afectan la transformación del P, siendo componentes integrales del ciclo edáfico de este nutriente. (Fankem et al., 2006)

Las bacterias son los MSF predominantes que solubilizan fosfato mineral en los suelos si se comparan con los hongos y los actinomicetos (Tabla 1) (Guang-Can et al., 2008). En el suelo, las bacterias solubilizadoras de fosfato constituyen de 1% a 50% y los hongos con dicha actividad de 0,1% a 0,5 % del total de la población respectiva (Beltran 2014). Estos microorganismos están implicados en la liberación de P desde fuentes inorgánicas por medio de la solubilización y desde fuentes orgánicas a través de la mineralización, así mismo, la mayoría de los MSF pueden solubilizar complejos de fosfato de calcio y sólo algunos pueden solubilizar fosfato de aluminio o hierro, (Gyaneshwar et al., 2002; Fankem et al., 2006).

Bacterias solubilizadoras de fosfato.

De acuerdo con Patiño (2010) las bacterias solubilizadoras de fosfato pueden ser de vida libre en el suelo o establecer relaciones simbióticas con plantas, son capaces de adaptarse, colonizar y persistir por medio de la solubilización de fosfato inorgánico de diferentes compuestos como son el fosfato bicálcico, fosfato tricálcico y RF. Se establece dos tipos de bacterias que solubilizan el fósforo, unas lo hacen a partir de formas orgánicas del P y las transforman a fosfatos asimilables y las otras de formas inorgánicas reconocidos como solubilizadores que pueden evidenciarse en la tabla 1.

Hongos solubilizadores de fosfato.

Los hongos son importantes componentes de la biota, su abundancia depende de las condiciones nutricionales del medio (Chakraborty et al., 2010). Así mismo son considerados los más eficientes en la solubilización de PO_4 , Los hongos solubilizadores de fosfato (HSP) constituyen del 0,1 -al 0,5% de las poblaciones de

hongos totales en el suelo, y por lo general éstos producen mayor cantidad ácidos orgánicos y enzimas (Khan et al, 2010). Además, son capaces de atravesar largas distancias, y por ende pueden cumplir la función de hacer aprovechable los altos contenidos de fósforo en el suelo no disponibles para las plantas (Khan et al, 2010). , Los HSF inorgánico son solubilizadores de fosfato de calcio como: *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Trichoderma atroviride* y para el fosfato de hierro *Aspergillus oryzae*, *Paecilomyces* (Banik y Dey, 1982; Nunes et al., 2002), y *Penicillium* (Nunes et al., 2002; Whitelaw et al., 1999), los cuales son considerados los más eficientes en la solubilización de formas inorgánicas de P, ya que se ha determinado que tienen mayor potencial solubilizador que otros hongos aislados del suelo.

Tabla 1. Principales géneros (BSF) y fúngicos (HSF)

Géneros de bacterias solubilizadoras de fosfato (BSF)			Géneros de hongos solubilizadores de fosfato (HSF)
Yarrowia	Kitasatospora	Burkholderia	Fusarium
Achromobacter	Rhodococcus	Mycobacterium	Paecilomyces
Erwinia	Arthrobacter	Streptosporangium	Aspergillus
Rahnella	Klebsiella	Chryseobacterium	Mucor
Acinetobacter	Serratia	Pantoea	Penicillium
Flavobacterium	Bacillus	Thiobacillus	Rhizopus
Ralstonia	Mesorhizobium	Delftia	Trichocladium
Aereobacter	Sinorhizobium	Phyllobacterium	Talaromyces
Gordonia	Bradyrhizobium	Yarrowia	Sytilidium
Rhodobacter	Micrococcus	Enterobacter	Sclerotium
Agrobacterium	Streptomyces	Pseudomonas	Gliocladium
Rhizobium,,	Agrobacterium	Burkholderia	Trichoderma
			<i>Alternaria</i>

Fuente: Urbanek, 1987; Rodríguez et al., 1999; (Fernández et al., (2005) Rosas et al., 2006; Naik et al., 2008; Chen et al., 2006; Oviedo et al., 2005; Moratto et al., 2005; Oliveira et al., 2008; Prijambada et al., 2009 Patiño, 2010; Paredes et al., 2010; Chakraborty et al., 2010; Scervino et al., 2010; Yarzabal, 2010; Coutinho et al., 2011; Pérez et al., 2012; Busato et al., 2012; Muleta et al., 2013; Mardad et al., 2013 Beltran 2014; Yauyo 2015.

1.3.8 PARAMETROS FISICO QUIMICOS.

Parámetros físico-químicos y microbiológicos óptimos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo, según la NTC 33,34

Los parámetros físico-químicos del producto sólido obtenido en el proceso de transformación de residuos orgánicos se indican a continuación, incluyendo los límites máximos de metales pesados medidos en mg Kg⁻¹. (Tabla 1). Es obligatorio indicar la materia prima de la cual procede el producto.

Los Límites permisibles dentro del criterio de aprobación y rechazo de acuerdo con la resolución ICA 0150 del 21 de enero de 2003 o según NTC 1061 abonos o fertilizantes. Tolerancias. (99-10-27) en fertilizantes para ser utilizado como acondicionador del suelo. (Tabla 2)

Tabla 2. Contenidos permisibles de evaluación de calidad del producto.

PARAMETRO	Límites permisibles
Humedad	15% máximo
Capacidad de intercambio catiónico	30 mep/100g mínimo
Cont. de carbono orgánico total	5-15%
Materia orgánica (MO)	>20%
Nitrógeno Total	>2%
Fósforo asimilable (P2O5)	>4%
Riqueza mínima de cada elemento	2%
C ₂ O + MO + elementos menores	10% Mínimo
pH	7-8
Tamaño de partícula	3-4 mm
Residuo insoluble Max	50% del contenido de ceniza
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO	
Patógenos	
Salmonella sp	Ausente en 25 g de compost
Enterobacterias totales	<100 UFC g ⁻¹ de compost
Microorganismos benéficos	
Mesófilos aerobios	Reportarlos
Mohos	Reportarlos

Levaduras	Reportarlos
Protozoos	Reportar ausencia o presencia
Nematodos	Reportar ausencia o presencia

1.3.9 Evaluación de la calidad del compost obtenido en el proceso de compostaje.

Desde el punto de vista de calidad un compost altamente “humificado”, debe contar con numerosas propiedades fisicoquímicas y microbiológicas que permitan determinar su madurez, dado que se encuentra biológicamente estabilizado.

Estos parámetros combinados (índice de madurez) deberían reunir las siguientes condiciones:

- a) Asegurar la estabilidad térmica del material y además es necesario un parámetro indicativo de humificación para poder obtener compost de alta calidad (Hernández “s. f”)
- b) Avaluar el índice de madurez del material independiente de la localización geográfica.
- c) Evaluar mediante los criterios de aprobación y rechazo de acuerdo con Resolución ICA 0150 del 21 de Enero de 2003 o según NTC 1061 abonos o fertilizantes la calidad del compost.
- d) Un compost con alto grado de madurez carece de olor a ácidos orgánicos, por el contrario, presenta un olor característico a tierra húmeda producido fundamentalmente por la excreción de geosina y metabolitos secundarios producidos por microorganismos que predominan en la fase de maduración. (Hernández “s. f”)
- e) El proceso gradual de oscurecimiento o melanización del material es una consecuencia de la humificación, cuando el material está maduro presenta un color oscuro o casi negro debido a la formación de grupos cromóforos y a la síntesis de melanoidinas.

- f) La biomasa microbiana decrece hacia el final del compostaje a medida que alcanza la maduración.

1.4 ESTADO DEL ARTE.

El compostaje es una técnica antigua que solo hasta hace poco fue redescubierta, caracterizada y potenciada con nuevos aportes biotecnológicos. El desarrollo de esta técnica tiene su origen en la India con las experiencias hechas por el inglés Albert Howard en 1905. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. El método llamado Indore se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales y humedecerlos cada cierto tiempo para posteriormente aplicarlos a la tierra como biofertilizante (Raspeño y Cuniolo, 1996).

La mezcla de materiales biodegradables conlleva a la síntesis de complejos orgánicos que unen las partículas en agregados, se incrementa el espacio poroso, mejora la infiltración y el almacenamiento del agua generando un proceso biológico aerobio denominado compostaje mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia orgánica biodegradable (restos de cosechas, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener el compost, enmienda con potencial uso en la agricultura (Aubert, 1998).

El proceso de compostaje se está llevando a cabo a nivel nacional, utilizando como materias primas una gran diversidad de compuestos orgánicos tales como: residuos de cosecha, restos de cocina, gallinaza, estiércol y residuos urbanos, entre otros. En Colombia se han incorporado distintas tecnologías y escalas dentro de la técnica del compostaje de los residuos urbanos para efectuar la restauración de suelos. Bobadilla & Rincón (2008) realizaron el aislamiento de bacterias solubilizadoras de fosfato a partir de compost obtenido de residuos de plaza, obteniendo importantes aportes en el conocimiento de la microflora del proceso.

De acuerdo con los trabajos realizados por Garcia et al., (2000); Roldan et al., (1996;) muestran el potencial del uso de los residuos orgánicos para incrementar la fertilidad de los suelos, mejorar las propiedades físicas, con ello la capacidad de retención de agua, y la aireación y la agregación (haciéndolo más resistente a la erosión). En vista de los resultados positivos que se han obtenido en su uso agrícola, la aplicación de compost se ha extendido también en la restauración de suelos y con ello su uso agroforestal.

El P es el segundo nutriente más importante en el desarrollo y crecimiento de plantas y microorganismos del suelo, su utilización en el sector agrícola es de amplia importancia dentro de la producción dado que aumenta la obtención de micronutrientes, los procesos metabólicos de transferencia de energía, la biosíntesis de macromoléculas entre otros. Dentro de esta perspectiva se ha evaluado el impacto de BSF en el crecimiento y desarrollo de cultivos de plantas como el Rabano (*Raphanus Sativus* L.) (Lara, et al., 2013). uchuva (*Physalis peruviana* L.) Bacerra et al., (2011) especies forestales altoandinas colombianas (*Weinmannia tomentosa* y *Escallonia myrtilloides*) Martinez & Garcia (2010), en el incremento de cultivos del departamento de Cordoba-Colombia, Lara et al., (2015), en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica, Restrepo et al., (2015), Estos estudios permitieron conocer los amplios beneficios de los MSF y el enriquecimiento de fuentes fosfatadas, estimulando significativamente el desarrollo y crecimiento vegetal. Los MSF presentan un potencial para mejorar la productividad agrícola y la restauración de suelos en las diferentes regiones del país.

En este orden de ideas en la región cundiboyacence se han generado procesos de compostaje basados en el procesamiento de residuos de cosecha y/o residuos de plazas para el mejoramiento y restauración de suelos agrícolas incrementando la productividad de los suelos (Hernandez & Barrera 2004). En estudios realizados en el municipio de Tunja, Rojas (2006) determinó la actividad

de la enzima fosfatasa acida y grupos funcionales de microorganismos de los ciclos del carbono, N y P en el proceso de compostaje, resaltando la interacción de los grupos funcionales con cada una de las variables y su estado de crecimiento y prevalencia frente a diversas condiciones. Así mismo Cifuentes (2006) evaluó los efectos de la explotación de suelos en relación con los parámetros fisicoquímicos y planteo una propuesta de aumento de la materia orgánica en el suelo, obteniendo resultados favorables en la restauración de suelos e incrementando la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

Los suelos intervenidos por minería abierta en Tunja son objeto de estudio por Gutiérrez, et al., (2015), quienes realizaron el estudio del compost como inductor de la sucesión vegetal en una área afectada por minería a cielo abierto en la microcuenca del río la Vega. Los autores demostraron que el compost es una enmienda orgánica efectiva en la inducción de la sucesión vegetal y la recuperación de la vegetación en las áreas disturbadas por actividades extractivas a cielo abierto. Así también los aportes realizados por Álvarez et al., (2012) en la determinación del N potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de N en materiales orgánicos con los cuales se concluyeron que los materiales orgánicos provenientes de residuos de animales resultaron en general mejores que los provenientes de residuos vegetales en el proceso de mineralización de N.

1.5 CONSIDERACIONES ÉTICAS

La reglamentación correspondiente a permisos se encuentra conglomerada en el decreto 150 del ICA en el cual se dan los lineamientos de calidad y bioseguridad para todos los insumos agrícolas. Actualmente se encuentra en discusión una normatividad basada en el anteriormente mencionado Codex Alimentarius al interior del Ministerio del Medio Ambiente, la cual tratará sobre el uso de residuos sólidos como enmiendas de suelos y bioinsumos. Lo que se pretende es establecer métodos de procesamiento de residuos para disminuir los niveles de contaminación. Aunque esta norma no está vigente, la producción de igual manera tendrá un tratamiento adecuado de segregación y se realizará una

separación en la fuente para mantener un estándar en la calidad del producto y manejar un nivel adecuado de contaminación (tendiendo a cero).

El marco de operación de este proceso está dado por el Decreto 1713 de 2002 Capítulo VII, Artículos 70, 72, 74, 75, 76 y 78. Estos han sido considerados en el desarrollo de este proyecto. Dichos artículos ponen al descubierto el compostaje como una actividad destinada al tratamiento de residuos sólidos, la cual debe contemplarse en los programas municipales y distritales, que deberá ser viable técnica, financiera y ambientalmente.

Según la Resolución 1180 de 2003 en sus artículos 8, 9 y 10, debido a que la actividad aquí contemplada se considera como actividad de reciclaje, está exenta de solicitar a la CAR una licencia ambiental para su funcionamiento. A continuación se hace una descripción de la normatividad que enmarca las generalidades de tratamiento de residuos.

Para la ejecución de este proyecto se debe tener en cuenta los criterios normativos y regulatorios que aplica para la gestión (manejo y disposición final) de los residuos sólidos, enmarcados dentro del reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico y ambiental, sistemas de aseo urbano y rural – RAS, Sección II, Título F de noviembre de 2008, el cual contiene las normas técnicas expedidas por el ICONTEC, la AWWA, la ASTM y otras entidades internacionales. También hay que tener en cuenta lo establecido en los planes de ordenamiento territorial y, si es del caso, en el desarrollo de planes parciales y todo lo relacionado con la protección de los recursos naturales agua, aire y suelo (Parada 2015).

Las normas colombianas relacionadas con el tema de los residuos sólidos orgánicos son: Decreto 2104 de 1983: Manejo de residuos sólidos. • Resolución 2309 de 1986: Residuos sólidos especiales. Comité técnico ICONTEC 000019 sobre gestión ambiental de residuos sólidos. Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley

99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. El artículo 8 se refiere al Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) que deben realizar los municipios y distritos, con un plazo máximo de 2 años a partir de la vigencia del decreto. El PGIRS debe ser diseñado en armonía y coherencia con lo dispuesto en los planes y/o esquemas de Ordenamiento Territorial y en los planes de Desarrollo de nivel municipal o distrital.

En relación con los residuos sólidos orgánicos para utilización como abonos o acondicionadores del suelo existen las siguientes normas: • Norma Técnica Colombiana 1927: Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas (3° actualización de 2001). • Resolución 074 de 2002 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural por la cual se establece el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. • Resolución ICA 00150 del 21 de enero de 2003 por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilización y acondicionadores de suelos para Colombia, por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia como un sistema de registro y control adoptado con base en estándares internacionales para contribuir a mejorar las condiciones de su producción, comercialización, utilización y su disposición final, elevando los niveles de calidad, de eficacia y de seguridad para la salud humana y el ambiente.

- Decreto – Ley 2811 de 1974 (reglamentado parcialmente por los Decretos 1715 de 1978, 1741 de 1978, y 02 de 1982) por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
- Ley 09 de 1979. Por la cual se dictan medidas sanitarias. Código Sanitario Nacional
- Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio

ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental – SINA – y se dictan otras disposiciones.

- Ley 1252 de 2008. Por la cual se dictan normas prohibitivas en materia ambiental, referentes los residuos y desechos peligrosos y se dictan otras disposiciones.

- Ley 1259 de 2008. Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.

- Decreto 1594 de 1984. MINAGRICULTURA – MINSALUD. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III - Libro I - del Decreto - Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

- Decreto 948 de 1995. MINAMBIENTE. Por el cual se reglamenta parcialmente la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto – Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 09 de 1979, y la Ley 99 de 1993 en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y protección de la calidad del aire.

- Decreto 1713 de 2002. MINAMBIENTE. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto – Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la gestión integral de residuos sólidos.

- Decreto 1505 de 2003. MINAMBIENTE. Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002 en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

- Decreto 838 de 2005. MAVDT. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

- Decreto 3200 de 2008. MAVDT. Por el cual se dictan normas sobre Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento y se dictan otras disposiciones.

Guías Técnicas Colombianas

- GTC 24 Gestión ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la separación en la fuente.
- GTC 30 Gestión ambiental. Suelos. Guía para el monitoreo de aguas subterráneas.
- GTC 35 Gestión ambiental. Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos.
- GTC 86 Medio ambiente. Protección de la salud. Seguridad. Guía para la implementación de la gestión integral de residuos – GIR.

Gestión Ambiental

- NTC 1927 Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones. Clasificación y fuentes de materias primas.
- NTC 3935 Gestión ambiental. Calidad de suelo. Pretratamiento de muestras para la determinación de contaminantes orgánicos.
- NTC 4113-6 Gestión ambiental. Calidad de suelo. Muestreo. Guía para la recolección, manejo y almacenamiento de suelo para evaluación de procesos microbianos aeróbicos en el laboratorio
- NTC 5167 Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.

Nota: Todos los formatos de consentimientos informados y/o asentimientos deberán ser anexados a la siguiente propuesta (si aplica).

1.6 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los problemas asociados al manejo de los desechos sólidos municipales van en aumento y se hacen cada vez mayores, adicional a esto la capacidad de carga del actual relleno sanitario de Pirgua se encuentra en un estado de saturación debido a la alta cantidad de residuos dispuestos en el mismo, de acuerdo con el documento CONPES 3530 de 2008 “Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos” en el relleno sanitario de Pirgua la ciudad de Tunja representa el 22.13% del total de la cantidad de residuos dispuesto por del departamento que además atiende otros 40 municipios. Se depositan actualmente 299,84 toneladas diarias y tiene una vida útil para la disposición de residuos hasta el 31 de Diciembre del 2018. La búsqueda de soluciones al respecto es una necesidad imperante de nuestra sociedad que requiere de estudios serios y de alternativas técnicamente posibles, económicamente factibles, ambientalmente sanas y socialmente justas.

La producción promedio per cápita de residuos se encuentra alrededor de 0.5 Kg al día/persona, cifra que no resulta muy alarmante al analizarse unitariamente, pero cuya perspectiva cambia desde una mirada global. Tunja tiene una población cercana a los 190 mil habitantes y la producción diaria de residuos se encuentra alrededor de las 117 toneladas, las cuales se depositan indiscriminadamente en el relleno sanitario de Pirgua; esto sin ningún tipo de selección, tratamiento adecuado y control que disminuya los niveles de contaminación que esto genera. Esto sumado a la gran cantidad de residuos orgánicos generados en las plazas de mercado las cuales estudiadas unitariamente generales alrededor de 17 toneladas de residuos orgánicos semanalmente, lo cual resulta alarmante. Es inminente la saturación (SSPD, 2013) del relleno, resulta cada vez más difícil contar con la capacidad de disposición final necesaria para la población tunjana y municipios a los cuales presta el servicio de acopio (Parada 2015).

Dentro de los impactos más importantes y significativos que tienen el mal manejo, utilización y disposición de los residuos sólidos orgánicos generados por la sociedad tunjana, está la contaminación de aguas superficiales por vertimientos de estos en ríos, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua, lo cual incrementa la carga orgánica y desbalance en demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Igualmente, los lixiviados, tienen la capacidad de contaminar el agua subterránea. El alto nivel de producción de desechos orgánicos exige un tratamiento adecuado para reducir la contaminación generada por malos olores, gases, lixiviados y reproducción de insectos y/o roedores vectores de enfermedades (Campos et al., 1998). Por demás la contaminación del aire con gases, malos olores y partículas en suspensión, afectan directamente la salud animal y humana, así como el paisaje circundante.

Lo anterior, junto a la evidente falta de estrategias, planes, programas y proyectos que incentiven el aprovechamiento de los residuos orgánicos han evidenciado el alto impacto que estos generan al ambiente dado que representan más del 80 % de los residuos que se disponen. De otra parte, la creciente sensibilidad sobre los problemas ambientales, la necesidad de encontrar solución al aumento en la generación de desechos producto del desarrollo de la sociedad y la necesidad de reducir la utilización de materiales no renovables, ha propiciado un incremento en el uso de desechos orgánicos como fertilizantes en la agricultura moderna (Ciavatta y col., 2001).

PREGUNTAS DE INVESTIGACION

¿Cómo contrarrestar los efectos negativos generados por la disposición de residuos orgánicos de la plaza del sur en el relleno sanitario de Pirgua?

¿Cuál es el efecto de la aplicación de roca fosfórica sobre la calidad del compost obtenido de los residuos orgánicos de la plaza del sur de Tunja?

1.7 OBJETIVOS

GENERAL

Estandarizar la técnica de compostaje como una forma de reaprovechar los residuos orgánicos de la plaza del sur de Tunja, evaluando los efectos de la aplicación de diferentes fuentes fosfatadas sobre la calidad del compost.

2.9 ESPECIFICOS

- Determinar el efecto de diferentes fuentes fosfatadas en la microbiología y calidad del compostaje
- Determinar los parámetros fisicoquímicos durante el proceso de compostaje
- Realizar una caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato durante el proceso de compostaje.
- Evaluar la calidad del compost obtenido en el proceso.

1.8 METODOLOGÍA

1.8.1 DESCRIPCION DEL AREA DE ESTUDIO.

POBLACION: Municipio de Tunja

MUESTRA: Residuos generados en la plaza de mercado del Sur del municipio de Tunja.

Área Operacional: plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja- instalaciones del antiguo matadero municipal.

Área de Experimentación: Laboratorio de control biológico de la casona de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

1.8.2 FASE DE CAMPO

Línea de compostaje

Se llevó a cabo la capacitación del personal de la plaza de mercado del sur sobre las pautas de separación en la fuente, recolección y transporte de material hacia el punto de acopio. Se realizó el acompañamiento con personal capacitado en el proceso de salud en el trabajo y se adelantaron las actividades de adquisición de materiales para la correcta recolección y transporte de residuos, además de la indumentaria necesaria para cumplir con las normas bioseguridad en el trabajo.

Los residuos sólidos de carácter orgánicos fueron dispuestos en el punto de acopio. De ahí fueron trasladados hacia el área de distribución y almacenamiento en las plataformas de recepción de residuos usando canecas de carga. Esta etapa comenzó con una primera separación de objetos voluminosos y picados del material orgánico de mayor tamaño mediante el uso de la trituradora lo que permitió facilitar el proceso de compostaje, el material a compostar debe estar en una proporción de 1 a 10 cm, una vez, finalizado este paso se realizó el proceso de compostaje por volteo. Donde fueron utilizados diferentes fuentes de P (Roca fosfórica y superfosfato simple) y MO (materia orgánica). se plantearon cuatro tratamientos los cuales fueron replicados obteniéndose 12 unidades experimentales.

El método de compostaje por volteo se planteó de acuerdo con los siguientes tratamientos:

Tabla 14 Componentes de cada uno de los tratamientos

TRATAMIENTOS	MATERIALES
T0	MO (Materia Orgánica)
T1	MO (Materia Orgánica) + RF (Roca fosfórica)
T2	MO (Materia Orgánica) + SPS (Súper fosfato simple)
T3	MO (Materia Orgánica) + RF Y SPS(Roca fosfórica y Superfosfato Simple)

Cada fuente de P obtuvo una dosis equivalente a 30 kg de roca fosfórica o Súper fosfato simple por tonelada de compost fresco, el equivalente a 2,4 kilogramos por cada 80 kilos, volumen de manejo por cada uno de los tratamientos. Los cuales obtuvieron 3 repeticiones.

Cada uno de los tratamientos fueron trasladados a las zona de descarga y distribución en pilas de compostaje en la cuales, el proceso de descomposición tiene lugar, manteniendo controladas las variables de humedad, oxígeno, temperatura. Es importante señalar que por las condiciones de humedad del material se dispuso de zonas provistas para el control de lixiviados, los cuales se fueron evacuando por gravedad. Con las dimensiones que condiciona la normativa expedida por el ICA (2013).

En cada uno de los muestreos se realizó la toma de 1100 gramos de muestras puntuales de cada uno de los tratamientos en muestreos aleatorios simples y se depositaron en bolsas plásticas ziplot (CIIA,2003) y luego fueron trasladadas al centro de laboratorios de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia donde se conservaron bajo condiciones de refrigeración a 4°C hasta su posterior procesamiento y análisis, De los aproximadamente 1100 g de muestra, 1000 g fueron destinados para el análisis de los parámetros fisicoquímicos.

El proceso requirió de un sistema de supervisión y control para la visualización y modificación de las variables que intervienen en el tratamiento.

1.8.3 FASE DE LABORATORIO.

1.8.3.1 Análisis de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje.

En la evaluación de los variables fisicoquímicos del compost se realizó: el análisis de las variables físicas que comprenden: olor, color, textura, humedad y temperatura, de acuerdo con la metodología propuesta por el ICA. En el análisis de los parámetros químicos se evaluó: pH en agua en una relación 1:2; conductividad eléctrica (CE) en una relación 1:2; Materia orgánica; nitrógeno;

fósforo (P); magnesio (Mg); relación carbono-nitrógeno (C:N); cenizas; calcio (Ca); potasio (K); hierro (Fe);); manganeso (Mn); y retención de humedad (RH).

1.8.3.2 Caracterización de Microorganismos Solubilizadores de Fosforo (MSP)

El proceso de caracterización de microorganismos del proceso de compostaje se llevó a cabo en el laboratorio de control biológico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, teniendo en cuenta, la Norma Técnica Colombiana (NTC 4491-2) sobre procedimientos microbiológicos.

1.8.3.2.1 Caracterización de la población de bacterias solubiizadoras de fosforo.

En esta fase de análisis microbiológico del compost se pesaron 10 g de muestra de compost luego se realizó la homogenización en Erlenmeyer con 90 ml de agua peptonada 0.1%(p/v). Los recipientes con muestra fueron mantenidos a 30°C en agitación (150 rpm) por 72 h (Vera et al., 2002). A partir de los Erlenmeyer de preenriquecimiento, se hicieron diluciones seriadas desde 10^1 a 10^5 en tubos de ensayo con 4,5 mL de agua peptonada al 0.1%(p/v). Para determinar la población de BSP se sembró en medio SRSM y se aplicó el método de recuento en placa siguiendo la metodología descrita por Moreno et al., (2000) determinado por UFC mg^{-1} de compost.

Las muestras inoculadas se dejaron secar por 15 minutos a temperatura ambiente; posteriormente se llevaron a incubar a 37 °C durante 48 horas hasta que se observó los halos de solubilización alrededor de las colonias, este halo se midió en cada colonia con un criterio de selección según el índice de solubilizaciun (i) (Santana y Vasquez, 2002, Kurmar y Narula., 1999). Las cepas aisladas fueron debidamente rotuladas y conservadas a 4°C para su posterior análisis microbiológico

Una vez obtenidas las cepas, se realizó la caracterización cualitativa, con base en los siguientes criterios: tamaño de las colonias (puntiforme, pequeñas,

medianas, grandes); color; forma (regulares, redondas, ovaladas, irregulares, filamentosas, rizoides); elevación de las colonias (plana, elevada, convexa monticular); bordes (entero, ondulado, aserrado, filamentosos y rizado); superficie y crecimiento (abundante, moderado, escaso).

1.8.3.2.2 Aislamiento e identificación de hongos.

En la siembra de hongos del material compostado se utilizó la técnica de dilución en placa. Siendo uno de los métodos más utilizados para el aislamiento de hongos, también se denomina suspensión en placa. Esta técnica consiste en suspender la muestra en agua estéril a una concentración de 0,05-02 %, luego de la sedimentación, se realizó la siembra en cajas de agar PDA. (Mueller et al 2004).

Las placas se incubaron a 28°C por 5 días y cada ensayo se realizó por duplicado. (Valaskova y Baldrian, 2006). Los recuentos se realizaron de acuerdo con la norma técnica (para placas entre 30 y 300 UFC g⁻¹ de muestra), promediando los resultados para cada dilución.

Se seleccionaron las cepas fúngicas de hongos que presentaron los halos de solubilización y fueron transferidas a cámaras húmedas en medio PDA donde posteriormente, se procedió a hacer la respectiva identificación.

Para la identificación de los hongos fue utilizada la clave taxonómica de Illustrated genera of imperfect fungi, Fourth Edition de H.I. Barnett., Barry. B. Huunter (1998), y la clave de Domsch et al (2007), y se contó con la asesoría para identificaciones realizadas, por parte del Docente Jorge Blanco Valbuena, Licenciado en Química y Biología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Magister en Fitopatología de la Universidad Nacional

1.8.4 FASE DE EVALUACION Y ANALISIS DE DATOS.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa estadístico SPSS versión 23 y Statgraphics. Los datos se procesaron mediante análisis factorial multivariado de componentes principales, que permiten estudiar las relaciones entre las variables cuantitativas (Total de UFC/g x tratamiento y por

etapa). Para determinar la variación de poblaciones de microorganismos en cada uno de los tratamientos se realizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA), adicionalmente se llevó a cabo la prueba de Tukey para comparar los promedios de los recuentos poblacionales de los microorganismos estudiados entre los tratamientos por etapa.

Para determinar las diferencias estadísticas entre tratamientos se plantearon las siguientes hipótesis:

H°: No existe diferencias estadísticamente significativas entre cada una de las etapas del proceso de compostaje con un 95%de confiabilidad.

Ha: En al menos una etapa existe diferencia estadísticamente significativa dentro del proceso de compostaje con un 95%de confiabilidad.

H°: No existe diferencias estadísticamente significativas entre cada uno de los tratamientos dentro del proceso de compostaje con un 95%de confiabilidad.

Ha: En al menos un tratamiento existe diferencia estadísticamente significativa dentro del proceso de compostaje con un 95%de confiabilidad.

1.8.5 FASE DE ANALISIS DE LA CALIDAD DEL COMPOSTAJE.

En la fase culminativa del proceso se realizó los análisis fisicoquímico y microbiológico del compost para determinar la calidad de acuerdo con los parámetros de madures planteados por Hernández M., "s.f". ; Resolución ICA 0150 del 21 de Enero de 2003 en el cual se dan los lineamientos de calidad y bioseguridad para todos los insumos agrícolas; NTC 1061 abonos o fertilizantes la calidad del compost) Y finalmente se realizó la homogenización del tamaño de las partículas del compost (granulometría), para regular la humedad a valores menores de 40 %, mediante el proceso de filtrado, provisto con zonas filtrantes, en la cual se selecciona por cernido el residuo no compostado o impurezas.

Referencias bibliográfica

- Álvarez, J., Figueroa, F., Forero, A., Salamanca, C., Pinzón, L., (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos, publicación: Abril 9 de 2012, Revista Unicordoba.
- Almeyda, A. & Niño, R. (2010) Obtención de abono enriquecido a partir de roca fósforica y leonardita mediante procesos piro metalúrgicos y químicos, Universidad industrial de santander, Bucaramanga, Recuperada de http://www.academia.edu/17275659/136438roca_fosforica.
- Aubert, C. (1998). El huerto biológico. Ed. Integral Barcelona, pp. 252. Barragan, C., Zambrano, D., Pedroza, A., Bonilla, R., (2003) producción de bacterias fosfato solubilizadoras mediante Fermentación discontinua en caldo pikovskaya Modificado. Tesis de pregrado requisito optar título de microbióloga industrial. Facultad de ciencias. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia.
- Barnett, H.I, Barry. B. & Huunter (1998), Illustrated genera of imperfect fungi, Fourth Edition.
- Bobardilla, C., Rincón, S., (2008) aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza. Tesis como requisito para optar el título de Microbiologa industrial. Facultad de ciencias Pontificia universidad javeriana.
- Campos, M., Lugo, S. y Gitscher, U. (1998). Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador. Fundación Natura, REPAMAR, CEPIS y GTZ. Quito. Mimeografiado. 80 p.
- CIIA. 2003. Protocolo muestreo de compost. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería: departamento de ingeniería civil y ambiental, centro de investigaciones en ingeniería ambiental.
- Ciavatta, C., Francioso, O., Montecchio, D., Cavani, L. y Grigatti, M. (2001). Use of organic wastes of agro-industrial and municipal origin for soil fertilisation: quality criteria for organic matter. En: I Encuentro Internacional Gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo. Cátedra Zurich Medio ambiente de la Universidad de Navarra. pp:117-132.
- Cifuentes, G.,(2006) estudio de la material organica presente en los suelos de la vereda la Hoya- Tunja. Monografía para optar el título de especialista en química ambiental. Facultad de Ciencias. Universidad industrial de Santander.
- Chakraborty B, Chakraborty U, Sha A, Sunar K, Dey P. 2010. Evaluation of phosphate solubilizers from soils of North bengal and their diversity analysis. World Journal of Agricultural Sciences 6(2):195-200.
- Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible, (s,f). Recuperado de http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf (visitado Octubre 25,2017)
- Corrales, I., Arevalo, Z., Moreno, V., (2014) Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá, Colombia, Publicación Científica en Ciencias Biomedicas, ISSN: (1794-2470. Vol. 12 N° 21.
- Cordell, D.; Drangert, J. A.; y White, S. (2009). The story of phosphorus: Global food security and food for thought. Global Environ. Change 19:292 - 305.
- Domsch, K., Gams, W., Anderson, T.,(2007) Compendio de hongos del suelo. Segunda Edición. Pg : 1-672.
- Edwards, A. C.; Walker, R. L.; Maskell, P.; Watson, C. A.; Rees, R. M.; Stockdale, E. A.; y Knox, O. G. (2010). Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. sustainable agriculture reviews. 4:99 - 117.
- Fankem H, Nwaga D, Deubel A, Dieng W, Merbach W. (2006). Occurrence and functioning of

- phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology* 5 (24): 2450- 2460.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *Fert. Plant Nutr. Bull.* 13.
- Fernández, L. A., Zalba, P., Gómez, M. & Sagardoy, M. A. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelo*, 23(1), 31-37.
- Guang-Can T, Shu-tun T, Miao-Ying C, Guang-hui. (2008). Phosphate solubilizing and mineralizing abilities of bacteria isolated from soils. *Pedosphere* 18(4):515-523.
- Gutierrez, E., Corté, F., Gomez, L.,(2015) Compost como inductor de la sucesión vegetal en un área afectada por minería a cielo abierto en la microcuenca del río la vega, tunja, boyaca, revista universidad Distrital, Colombia forestal, vol.18,Num.2
- Gyaneshwar P, Naresh G, Kumar L, Parekh J, Poole P. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil* 245: 83–93.
- Hernández, M., (s,f) Aspectos Fisico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de calidad. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Salamanca-España.
- Hernandez & Barrera, J., (2004). Evaluación del potencial de fertilidad del compost procedente de los residuos sólidos de la central de abastos de Sogamoso en el cultivo de cebolla del bulbo (*Allium Cepa*) en el municipio de Sogamoso (Boyaca). Tesis presentada para obtener el título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- Hyland, C., Ketterings, Q., Dewing, D., Stockin, R., Czymmek, K., (2005). Phosphorus basics.
- Hoyos, P., (s,f) Ciclo del fosforo y el Nitrogeno, emaze amazing presentations, <https://www.emaze.com/@ATCLOIFO/ciclo-del-fsforo-y-nitrogeno>.
- Ingham, E.R. 2000. The soil food web. Chapters 1-6 In: *Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edition. Ankeny Iowa.
- InfoAgro.com, El compostaje (s.f) Recuperado de <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>, (Visitado Octubre 25,2017)
- Jaramillo, G., Zapata L., (2008) Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia; universidad de Antioquia: Monografía en Gestión Ambiental. 21-23
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi - current perspective. *Archives of Agronomy and Soil Science*, Vol. 56(1), 73-96.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Ahmad, E. (2014). Mechanism of phosphate solubilization and physiological functions of phosphate-solubilizing microorganisms. In *Phosphate Solubilizing Microorganisms* (pp. 31 -62). Springer International Publishing.
- Khan, M. S.; Ahmad, E.; Zaidi, A.; y Oves, M. 2013. Functional aspect of phosphate-solubilizing bacteria: Importance in crop production. En: Maheshwari, D. K. et al. (eds.). *Bacteria in agrobiology: crop productivity*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lara, C., Sanes, S., Oviedo, L. (2013) Impacto de Bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en el crecimiento y desarrollo de plantas de rabano (*Raphanus Sativus* L.) *Biotechnologia Aplicada* 2013; Vol.30 N° 4: 271-275.
- Lara, C., Esquivel, L., Negrete, J., (2015) Bacterias nativas solubilizadores de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Cordoba-Colombia, *Rev. Biotechnologia en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 9 N°. 2 (114-120) Julio-Diciembre 2011.
- Lal, R. 2009. En: *Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms*. SpringerVerlag. 9 - 11.
- Mardad, I., Serrano, A., & Soukri, A. (2013). Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a Moroccan mineral phosphate

- deposit. African Journal of Microbiology Research, 7(8), 626- 635.
- Martinez, P., Gacia, D., (2010) Diazotrophic and phosphate solubilizing bacteria isolated from *Weinmannia tomentosa* AND *Escallonia myrtilloides* Colombia's high andean forest species, Rev. IntRoplca, ISSN 1794-161X 5: 63-76.
- Moreno, B., Diez, V., Garcia, M., Menes. L., Gutierrez, M.; Polledo, F. (2000). Comisión internacional de especificaciones microbiológicas alimentarias. ICMSF: Ed. Acribia Zaragoza(España). P 125-126.
- Mueller, G., Billis, G., Foster, M., (2004) Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring methods. Elsevier Academic Pres. Londres. Pg 777.
- Patiño C. 2010. Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del Cauca. Estudio de biodiversidad y eficiencia (tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias Manejo de Suelos y Aguas). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Patiño, C., Sánchez, M., (2013) Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (*Capsicum annum*), Universidad del Tolima; 2Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 11.12.2013.
- Patiño, T., & Sanclemente, Reyes., (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. Revista Entramado, 10(2), 288-297.
- Plazas, E., (2007) Mejoramiento de un medio de cultivo para la producción de un inoculante con base en bacterias fosfato solubilizadoras. [Tesis de grado].Colombia.
- Política para la gestión integral de residuos (1997), Santafé de Bogotá, Ministerio del medio ambiente, Política para la Gestión de Residuos.
- Prijambada, I. D., Widada, J., Kabirun, S., & Widiyanto, D. (2009). Secretion of organic acids by phosphate solubilizing bacteria isolated from oxisols. J. Tanah Trop.14 (3), 245-251.
- Restrepo, G., Marulanda, S., Perez, Y., Diaz, A., Baldani, V., Hernandez, A.(2015), Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. Revista CENIC Ciencias Biológicas, Vol. 46, No. 1, pp. 63-76.
- RESOLUCIÓN 698 DE 2011. Requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficacia, productores e importadores de bioinsumos de uso agrícola y se dictan otras disposiciones. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA) (2011).
- Rojas, J., (2006) determinación de la actividad de fosfatasa ácida y grupos funcionales de microorganismos de los ciclos del carbono, nitrógeno y fósforo a través de un proceso de compostaje. Tesis para obtener el título de Bióloga. Facultad de ciencias universidad pedagógica y tecnológica de Colombia- Tunja.
- Roman, P., Martinez, M., Pantoja, A., (2013) Manual de compostaje del agricultor- Experiencias en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 2013, Pg 22-24
- Santana, M., y Vasquez C. (2002). Evaluación de cepas de *Azotobacter* sp. Y de bacterias solubilizadoras de fosfato (BFS), como biofertilizante mixto en un cultivo de crisantemo (*chrysanthemum morifolium* Var. Regal suerte). Tesis de pregrado para optar el título de microbiólogo Agrícola y veterinario. Facultad de ciencias pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia.
- Singh, H. y Reddy, S. 2011. Effect of inoculation with phosphate solubilizing fungus on growth and nutrient uptake of wheat and maize plants fertilized with rock phosphate in alkaline soils. Europ. J. Soil Sci. 47:30 – 34.

- Van Vuuren, D. P.; Bouwman, A. F.; y Beusen, A. H. 2010. Phosphorus demand for the 1970 – 2100 period: A scenario analysis of resource depletion. *Global Environ. Change* 20 (3):428 - 439.
- Vera, D., Perez, H., & Valencia, H., (2002) Aislamiento de hongos solubilizadores de fosfato de la rizosfera de arazá (*Eugenia Stipitata*, Myrtaceae). *Acta Biologica Colombiana* 7(1): 33-40.
- Walpola, B., & Yoon, M.-H. (2012). Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 6 (37), 6600-6605.

“PRODUCTOS”

PONENCIA, Autora: Luz Adriana Galindo castro; Titulo: **ESTANDARIZACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOSTAJE ENRIQUECIDO CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA PLAZA SUR DE TUNJA..** A publicado en el XII ENCUENTRO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS Y IV ENCUENTRO NACIONAL del 4-6 de Octubre del 2017 en Tunja-Boyacá, Modalidad (ponencia oral), estado actual del producto: publicado.

PONENCIA, Autora: Luz Adriana Galindo castro; Titulo: **EVALUCION DEL EFECTO DE APLICACIÓN DE ROCA FOSFORICA SOBRE LA CALIDAD DEL COMPOST ORGANICO** publicado en el III CONGRESO DE INVESTIGACION: “PERSPECTIVAS CIENTIFICO-HUMANISTAS DE LA INCLUSION DESDE LA INVESTIGACION UNIVERSITARIA” llevada a cabo el 11 de Noviembre de 2017. En Tunja-Boyacá, Modalidad (ponencia oral), estado actual del producto: publicado

CAPITULO II

ARTÍCULO 1.

1.1 Titulo

COMPOSTAJE ENRIQUECIDO CON FOSFORO COMO METODO DE REAPROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS.

COMPOSTING ENRICHED WITH PHOSPHORUS AS A METHOD OF RECYCLING OF ORGANIC WASTE

Luz Adriana Galindo-Castro,¹ John Wilson Martínez-Osorio,² German Andrés Estrada-Bonilla³

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de ciencias. Maestría en Ciencias Biológicas. Tunja-Boyacá-Colombia.

luz.galindo@uptc.edu.co, john.martinez@uptc.edu.co, germanestra@gmail.com

2.1 RESUMEN

Actualmente son generados 20,8 toneladas de residuos en la plaza de mercado del sur de la ciudad de Tunja, de las cuales, 17 toneladas corresponden a residuos orgánicos que son dispuestos semanalmente en el relleno sanitario de Pírgua generando problemas ambientales, además de desaprovechar los nutrientes presentes en estos residuos. Anexo a esto, la baja fertilidad de los suelos producto de la explotación excesiva ha generado baja productividad. Dada la escases prevista de fuentes fosfatadas, surge una alternativa de fertilización fosfórica usando microorganismos que poseen mecanismos para incrementar la disponibilidad del fosforo en los suelos. Por lo anterior este trabajo tuvo como objetivo estudiar el proceso de compostaje de residuos orgánicos evaluando diferentes parámetros fisicoquímicos y caracterizar cualitativa y cuantitativa las poblaciones de bacterias solubilizadoras de fosfato. Se aislaron un total de 242 unidades formadoras de colonia de bacterias solubilizadoras de las cuales 171 eran Gram positivas y 71 Gram negativa. En cuanto a los hongos se aislaron 17 géneros de hongos correspondientes a: *Alternaria*, *Arthrobotrys*, *Aspergillus*, *Beauveria*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Torula*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Lecanicillium*, *Paecilomyces*, *Rhizopus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Trichurus*, *Verticillium*. Los resultados experimentales demostraron que la aplicación de fosforo en forma de roca fosfórica en presencia de materia orgánica, proporcionó una mayor población de Bacterias solubilizadoras e incrementó el forforo disponible en el compost. El compost final tuvo alto contenido de nutrientes (Nitrógeno, Potasio, Calcio, Sodio y magnesio), esenciales para el

desarrollo vegetal y la renovación de suelos. Esta tecnología permite el reciclaje de residuos proporcionando un compost con potencial agrícola.

Palabras Clave: Residuos, compost, Microorganismos Solubilizadores, Fosforo.

2.2 ABSTRACT

Currently 20,8 tons of waste are generated in the market square of the south of the city of Tunja, of which 17 tonnes correspond to organic residues that are willing weekly in the sanitary landfill of Pírgua generating environmental problems, In addition to squandering the nutrients present in these wastes. Annexed to this, low soil fertility resulting from excessive exploitation has generated low productivity. Given the expected shortage of phosphate sources, an alternative of phosphate fertilization arises using microorganisms that have mechanisms to increase the availability of phosphorus in soils. Therefore, this work aimed to study the process of composting organic waste evaluating different parameters physicochemical and characterize qualitative and quantitative populations of phosphate solubilizing bacteria. A total of 242 colony forming units of solubilising bacteria of which 171 were Gram-positive and Gram-negative 71 were isolated. In terms of fungi were isolated 17 genera of corresponding fungi: *alternaria spp*, *Arthrobotrys*, *Aspergillus*, *Beauveria Cephalosporium*, *chaetomium*, *Cladosporium*, *Torula*, *Fusarium*, *Gliocladium*, *Lecanicillium*, *Paecilomyces*, *Rhizopus Penicillium*, *Trichoderma*. *Trichurus*, *Verticillium*. The experimental results showed that the application of phosphorus in the form of phosphate rock in the presence of organic matter, provided a greater population of bacteria solubilizing p and increased the p available in the compost. The final compost had high nutrient content (Nitrogen, potassium, calcium, sodium and magnesium), essential for plant development and soil renovation. This technology allows, the recycling of waste providing a compost with agricultural potential.

2.3 INTRODUCCION.

Los residuos han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada. El incremento de la población humana, y los hábitos del consumismo genera día tras día grandes cantidades de residuos contaminantes. En la ciudad de Tunja el escenario tiende a ser similar dado que el índice promedio de residuos se encuentra alrededor de 0,5 kg al día/persona, cifra que al analizarse globalmente se considera muy preocupante. La ciudad de Tunja tiene una población cercana a los 190 mil habitantes, produciendo diariamente alrededor de 117 ta día⁻¹, las cuales son depositadas sin ningún tipo de selección y/o recuperación en el relleno sanitario de Pírgua. Lo anterior sumado a la gran cantidad de residuos orgánicos generados en las plazas de mercado de la ciudad, las cuales estudiadas unitariamente producen alrededor de 17 ta de residuos

orgánicos semanalmente. Lo anterior resulta muy preocupante y por tal razón se hace necesario generar procesos de manejo y aprovechamiento de estos residuos con el fin de mitigar el impacto ambiental que estos ocasionan y darles un uso productivo a los mismos. La maximización del aprovechamiento y valorización de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las cantidades, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a mitigar la contaminación ambiental generada por los de residuos que van a los sitios de disposición final.

La conversión por medio del compostaje de los residuos orgánicos es una técnica conocida y de fácil aplicación, que permite obtener un fertilizante eficiente (nutricionalmente) de forma segura y económica, a partir de diferentes residuos orgánicos, permitiendo conservar y aprovechar los nutrientes presentes en los mismos. Durante el proceso de compostaje, los microorganismos presentes varían de acuerdo al estado de degradación de la materia orgánica, al sustrato y a las condiciones ambientales presentes en el medio.

El P es un macronutriente esencial en el crecimiento de plantas y microorganismos del suelo, su utilización en el sector agrícola es de amplia importancia dentro de la producción, debido a que el P es fundamental en los procesos metabólicos de transferencia de energía, la biosíntesis de macromoléculas, entre otros. Las mayores reservas en el suelo son las rocas y los depósitos como las apatitas primarias y otros minerales formados durante otras eras geológicas que se encuentran formando parte de estratos rocosos (Restrepo et al., 2015). La disponibilidad de P para las plantas está relacionada con su concentración en la solución del suelo. La mayoría de los suelos de la ciudad de Tunja presentan baja disponibilidad de P, por lo que éste elemento debe ingresarse al agroecosistema como fertilizante. Sin embargo, este no es un recurso renovable y las reservas mundiales se agotan rápidamente. Se estima que las reservas actuales de P disminuirán a la mitad entre los años 2040 y 2060, lo que, unido al hecho de que los precios de los fertilizantes fosfóricos se incrementan constantemente, hace necesaria la búsqueda de estrategias sostenibles de fertilización. (Restrepo et al., 2015).

La insuficiencia de P disponible en el suelo puede generar retraso en las cosechas afectar el desarrollo de las plantas, disminuir notablemente la producción entre otros; por lo anterior los MSP como bacterias y hongos juegan un papel fundamental en la movilización de este elemento; además de presentar ventajas frente a fertilizantes de síntesis química, dado que contribuyen a la preservación del medio ambiente, ya que no generan impactan el ambiente y

además hacen parte de la flora nativa del. Su uso Impacta positivamente en el ecosistema, generando una agricultura sostenible (Bobadilla & Rincon 2008).

Los microorganismos son fundamentales en la regulación del ciclo del P debido a que son capaces de liberar el P indisponible para las plantas, mediante la solubilización y mineralización de P Inorgánico y orgánico (Walpola & yoo, 2012). En términos de biomasa, los hongos solubilizadores de fosfato (HSP) representan los mayores aportes en la transformación de P, estos constituyen del 0,1 al 0,5 % de las poblaciones de hongos totales en el suelo, y por ende pueden cumplir la función de hacer aprovechable los altos contenidos de P en el suelo no disponibles para las plantas (Khan et al, 2010).

Para solucionar los problemas relacionados con el adecuado uso de fuentes fosfatadas, se han diseñado varias estrategias para incrementar los niveles de solubilización, que incluyen entre otras la biosolubilización o aplicación conjunta de roca fosfórica en los procesos de compostaje, para que por medio de bacterias presentes en el proceso se de la solubilización de fosfato (Khan et al., 2013).

El objetivo del trabajo fue estandarizar la técnica de compostaje como una forma de reaprovechar los residuos orgánicos de la plaza del sur de Tunja, evaluando los efectos en la calidad el producto de la aplicación de diferentes fuentes fosfatadas. Donde se busca aislar potenciales microorganismos solubilizadores de fosfato en cada una de las fases del compostaje en contraste con los parámetros fisicoquímicos del compost para determinar la calidad del producto final.

2.4 MATERIALES Y METODOS

Montaje de la línea de compostaje.

Los residuos empleados en el proceso fueron derivados de la plaza de mercado del sur del municipio de Tunja. El material recolectado (fruta, verdura, raíces, tuberculos, estiércol y madera) en la tabla N° 3 (Anexo 1) se observan los porcentajes del material recolectado, el cual fue pesado, triturado, mezclado y transportado hasta el punto de procesamiento ubicado en la vereda de Pirgua del municipio de Tunja.

El proceso de compostaje se llevó a cabo durante 22 semanas. El diseño experimental fue completamente al azar con 4 tratamientos y 3 repeticiones. Los tratamientos del experimento fueron: T0 (residuos de verduras, frutas Y legumbres), T1: MO y RF (Roca Fosforica) , T2: MO y Superfosfato Simple (SPS) y T3: MO, RF, SPS. La dosis aplicada de P fue de 30 kg de P por tonelada de compost fresco.

Se llevaron a cabo tres muestreos en las semanas: 1, 3 y 20 del proceso de compostaje donde se realizó la toma de muestras en 5 puntos diferentes de las pilas de compostaje, formando una muestra compuesta de 1,1 Kg de cada una de las réplicas por tratamiento y

se depositaron en bolsas plásticas siplot (CIIA,2003). Posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de control biológico de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1000 g fueron destinados para análisis de los parámetros fisicoquímicos y 100 g para las pruebas microbiológicas.

Análisis de los parámetros fisicoquímicos en el proceso de compostaje.

Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos: olor, color, textura y temperatura. En cuanto a los análisis químicos se cuantificó el pH, conductividad eléctrica (CE), Materia orgánica, N, P, K, Mg, Ca, relación carbono-nitrógeno (C:N), y retención de humedad (RH).

Caracterización de microorganismos solubilizadores de fosfato

El proceso de caracterización de microorganismos durante el proceso de compostaje se estableció teniendo en cuenta, la Norma Técnica Colombiana (NTC 4491-2) sobre procedimientos microbiológicos. Se pesaron 10 g de compost, luego se realizó la homogenización en Erlenmeyer con 90 mL de agua peptonada 0,1%(p/v). Los recipientes con muestra fueron mantenidos a 30°C en agitación (150 rpm) por 72 h (Vera *et al.*, 2002). A partir de los Erlenmeyer de, se hicieron diluciones seriadas desde 10^1 a 10^{-10} en tubos de ensayo con 4,5 ml de agua peptonada al 0,1%(p/v). Para determinar la población microbiana se sembró en medio SRSM1 y se aplicó el método de recuento en placa en microgota siguiendo la metodología descrita por Moreno et al., (2000).

Las muestras inoculadas se dejaron secar por 15 minutos a temperatura ambiente; posteriormente se llevaron a incubar a 37 °C durante 48 horas hasta la observación de halos de solubilización alrededor de las colonias, con el diámetro del halo de solubilización y de la colonia se determinó el índice de solubilización (IS) (Santana y Vasquez, 2002, Kurmar y Narula., 1999). Las cepas aisladas fueron debidamente rotuladas y conservadas a 4°C para su posterior análisis microbiológico.

IS= A/B (I) Donde

A= diámetro total (Diámetro de la colonia + Diámetro del halo)

B=Diámetro de la colonia.

(Kurmar y Narula, 1999)

Una vez aisladas las cepas, se realizó la caracterización, con base en los siguientes criterios: tamaño de las colonias; color; forma; elevación de las colonias; bordes; superficie y crecimiento.

Aislamiento e identificación de hongos.

En la siembra de hongos del material compostado se utilizó la técnica de dilución en placa. Siendo uno de los métodos más utilizados para el aislamiento de hongos, también se denomina suspensión en placa. Esta técnica consiste en

suspender la muestra en agua estéril a una concentración de 0,05-02 %, luego de la sedimentación, se realizó la siembra en cajas de agar PDA. (Mueller et al 2004).

Las placas se incubaron a 28°C por 5 días y cada ensayo se realizó por duplicado. (Valaskova y Baldrian, 2006). Los recuentos se realizaron de acuerdo con la norma técnica (para placas entre 30 y 300 UFC g⁻¹ de muestra), promediando los resultados para cada dilución.

Se seleccionaron las cepas fúngicas de hongos que presentaron los halos de solubilización y fueron transferidas a cámaras húmedas en medio PDA donde posteriormente, se procedió a hacer la respectiva identificación.

Para la identificación de los hongos fue utilizada la clave taxonómica de Illustrated genera of imperfect fungi, Fourth Edition de H.I. Barnett., Barry. B. Hunter (1998), y la clave de Domsch, Gams, & Anderson, (2007), y se contó con la asesoría para identificaciones realizadas, por parte del Docente Jorge Blanco Valbuena, Licenciado en Química y Biología de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y Magister en Fitopatología de la Universidad Nacional

Análisis estadístico.

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante el programa estadístico spss versión 23 y Statgraphics. Los datos se procesaron mediante análisis factorial multivariado de componentes principales, que permiten estudiar las relaciones entre las variables cuantitativas. Para determinar la variación de poblaciones de microorganismos en cada uno de los tratamientos se realizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA), adicionalmente se llevó a cabo la prueba de Tukey para comparar los promedios de los recuentos poblacionales de los microorganismos estudiados entre los tratamientos por etapa.

Evaluación de la calidad en el proceso de compostaje.

En la fase culminativa del proceso se realizaron los análisis fisicoquímico y microbiológico del compost para determinar la calidad de acuerdo con los parámetros de madurez planteados por (Hernández s.f); Resolución ICA 0150 del 21 de Enero de 2003 en el cual se dan los lineamientos de calidad y bioseguridad para todos los insumos agrícolas; NTC 1061 abonos o fertilizantes la calidad del compost)

2.5 RESULTADOS Y DISCUSION

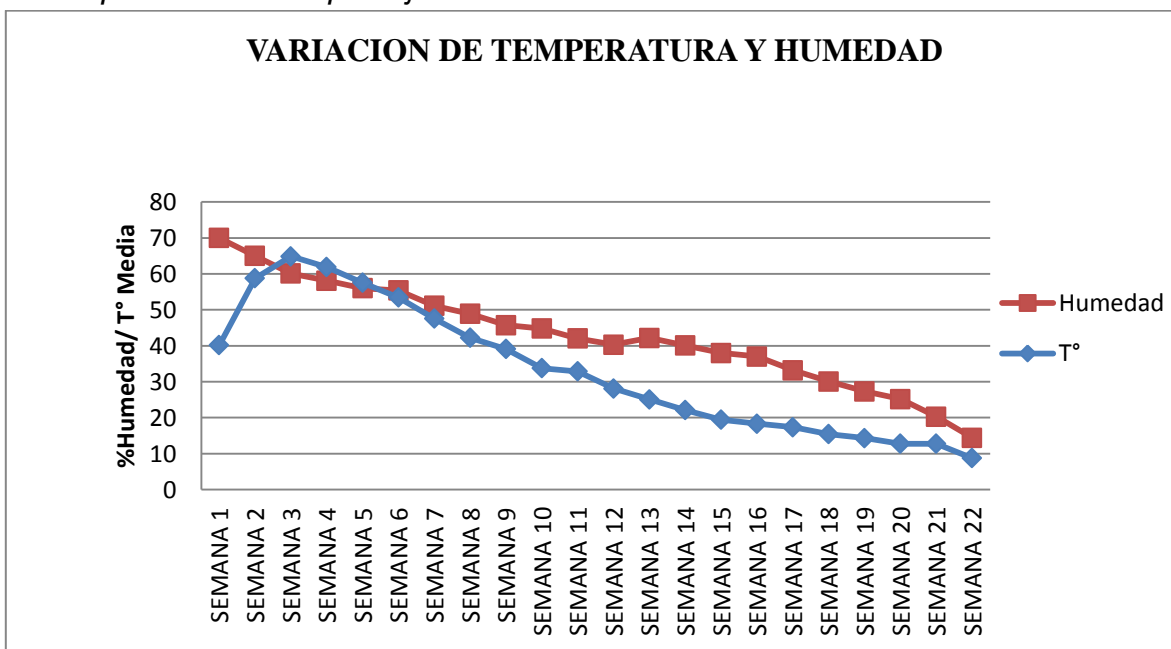
Análisis físico químico del compost

Durante el proceso de compostaje se registró un aumento progresivo de la temperatura en las primeras semanas (Grafico 1), con valores superiores a los 45°C, según la literatura esto se debe a la actividad microbiana mesofila la cual es reemplazada por microorganismos termófilos que pueden soportar altas temperaturas, lo que les permite degradar fuentes de C más complejas, como la celulosa y la lignina, generando un proceso de descomposición rápida, debido a la actividad metabólica facilitando la eliminando algunos patógenos y parásitos (Arce 2014). según Díaz (2007) el proceso de compostaje

comienza con la oxidación o descomposición de la porción de la materia orgánica fácilmente degradable. Posteriormente tiene lugar la estabilización, que incluye la mineralización de moléculas de degradación lenta y otros procesos más complejos como la humificación de los compuestos ligno-celulósicos, para llegar a un producto final denominado compost

Por otra parte la humedad al inicio del proceso estuvo por encima del 60% (Grafico 1) dado que los residuos utilizados fueron predominantemente frutas, verduras y tubérculos, los cuales contiene altas cantidades de agua. La humedad disminuye a medida que transcurre el tiempo. Entre la semana 6 a 16 se mantiene en un rango de 55 a 40%. De acuerdo con Roman et al. (2013) la humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Abajo de 40% de humedad, disminuye la actividad microbiana, disminuyendo la degradación del material y que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Por otro lado, si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá en la oxigenación del material.

Grafico 1. Variaciones de temperatura (°C) y Humedad relativa (%) durante el proceso de compostaje



Durante el proceso de compostaje los residuos presentaron un oscurecimiento gradual y olor característico debido a la presencia de ácidos orgánicos, una vez se inicia el proceso y se da comienzo a la fase mesofila se detecta un fuerte olor acidificante en todos los tratamientos, esto, según algunos autores es debido a la formación de ácido acético, propionico, butírico, valerico, caproico, ácidos grasos volátiles, aldehídos, alcoholes y cetonas (Hernández s.f.). Una vez la temperatura asciende se aprecia que con el volteo continuo los olores son más fuertes, esto se debe principalmente a la producción de piridina

y piracina y finalmente en la etapa de enfriamiento y maduración los olores desagradables desaparecen y por el contrario se aprecia un olor a tierra húmeda causada por la excreción de Geosmina producida por actinomicetos ((Hernández s.f.).

La tabla No 4: registra los parámetros fisicoquímicos obtenidos durante el sistema de compostaje, demostrando las concentraciones por tratamiento y por fases del proceso en el cual se aprecia una variación en los índices de: P, N, K, Na, Ca y C entre tratamientos.

Tabla 4 Análisis físico-químico de tratamientos en el proceso de compostaje.

CARACTERIZACION QUIMICA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS POR ETAPAS													
ETAPAS	TRATAMIENTOS	pH	Na	K	Mg	C	Ca	Mo	P (Asimilab)	N	C:N	Conduct.	CiCr
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	g/Kg	mg/L	%	(mg Kg-1)	g/kg	Relación	Soluble	%
MESOFILA	T0	7,79	4,06	57,04	6,35	64,55	20,75	13,43	1034,00	4,24	15,24	11,11	46,02
	T1	7,47	2,85	40,15	7,45	74,55	26,30	15,02	1243,00	5,32	14,03	11,87	34,20
	T2	7,49	2,41	31,80	4,40	108,50	15,70	21,97	1179,00	7,96	13,63	9,39	35,10
	T3	7,29	2,74	37,87	8,60	100,00	15,05	20,665	1425,50	7,45	13,43	10,96	32,90
TERMOFLA	T0	7,97	4,63	78,69	7,61	51,55	22,30	8,89	1055,00	4,45	11,60	18,08	59,92
	T1	7,69	3,42	41,00	9,82	64,00	29,98	11,04	1385,00	5,52	11,59	18,4	48,10
	T2	7,75	2,98	33,56	6,04	104,20	17,18	17,97	1263,00	8,99	11,60	16,36	49,00
	T3	7,52	3,31	38,10	11,40	90,25	26,89	15,565	1712,50	7,78	11,60	17,93	46,80
ENFRIAMIENTO	T0	8,44	5,28	63,70	5,43	80,60	12,16	16,9	1130,15	6,90	11,68	10,50	64,90
	T1	7,95	3,66	42,00	10,32	57,60	38,25	17,93	1734,80	4,90	11,76	10,67	48,70
	T2	8,44	3,45	42,70	8,94	92,05	20,81	18,88	1469,70	7,90	11,65	10,73	49,40
	T3	7,91	2,84	41,50	10,42	91,60	24,83	19,8	1745,95	7,85	11,67	11,62	42,50

Fuente: proceso de compostaje.

Elaborado por: Investigador.

El pH varía en función de los microorganismos presentes, también varía de acuerdo a los componentes del medio y la temperatura. En la etapa mesofila presenta índices bajos, debido a la acidificación del sustrato y aumenta progresivamente a medida que la temperatura asciende y la humedad disminuye. Una vez alcanzada la etapa termófila del compostaje la humedad presenta porcentajes por debajo del 60% y la temperatura alcanza los 64°C. Según (Roman et al. 2013) en los primeros estadios del proceso, ocurre la acidificación del medio por la formación de ácidos orgánicos, ya en la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro

De acuerdo con Hernández M., “s.f” “el criterio utilizado tradicionalmente para establecer el grado de madurez y definir la calidad agronómica del compost plantea un valor entorno a relación C/N de 30 en material inicial y menor de 15 al final del proceso. Sin embargo, este valor puede variar en materiales bien compostados y dependiendo del sustrato que se utilice. Dentro del proceso de compostaje llevado a cabo la relación C/N inicial presento un valor de 15.2 y final de 11.6. “Por otra parte Bernal (s.f) proponen que para compost de diverso origen, se establece un valor inferior a 12, que se aproxima al valor en torno a 10 de suelos con un alto contenido de materia orgánica altamente

Humificada. Otros autores como Chang et al (2006) manifiestan que el compost está suficientemente maduro cuando alcanza un relación C/N inferior a 6. Investigaciones que al ser contrastadas con los datos obtenidos se considera que el proceso se encuentra entre los rangos establecidos.

Determinación del número de unidades formadoras de colonias de BSP.

El análisis de varianza del $\log_{10} \text{ufc/g}^{-1}$, mostró que existen diferencias significativas entre tratamientos. La prueba Tukey (Tabla 6) separó las medias en dos niveles en donde el nivel máximo fue alcanzado por la población del tratamiento T3, esta prueba separó los tratamientos en 2 grupos T1 y T2 mostrando resultados similares con una baja variación mientras que la población del tratamiento T0 registro valores bajos de $,33278 \times 10^8 \log \text{ufc/g}$ observándose una mayor variación en comparación con los tratamientos que recibieron fuentes fosfatadas.

Tabla 6. Separación de medias mediante la prueba de Tukey para la concentración de bacterias solubilizadoras de P por tratamiento expresados en log base 10 de (ufc/g).

UFC_FOSFATOSOLUBILIZADORAS			
TRATAMIENTO	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T0	9	,33278	
T1	9	,42822	,42822
T2	9	,44133	,44133
T3	9		,62267

Fuente: proceso de compostaje.

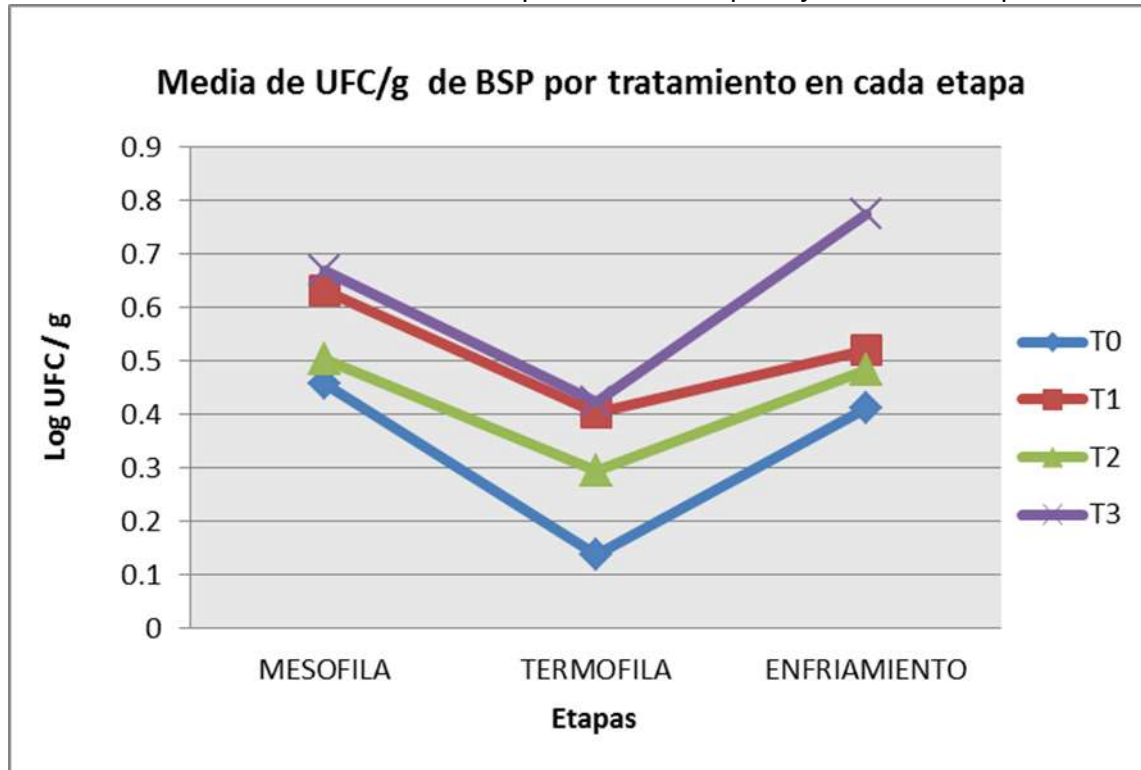
Elaborado por: Investigador.

Las medias de cada uno de los tratamientos son significativamente diferentes en cada una de las etapas, de acuerdo con la **Grafico 2** El tratamiento donde hubo una mayor concentración del $\log_{10} \text{uFC}$ de BSP fue T3, el cual presentó los valores más altos en cada una de las etapas, los tratamientos T1 y T2 no presentan diferencias significativas entre ellos durante todo el proceso, mientras que la población más baja fue determinada para el tratamiento MO.

La Grafico 2 presenta resultados importantes en los cambios generados entre tratamientos, dado que en la etapa mesófila cada tratamiento generó concentraciones por encima de $0.45 \log \text{UFC/g}$, estos disminuyen a medida que aumenta la temperatura e ingresan a la fase termófila donde el tratamiento T1 y T3 generaron resultados similares de población a comparación con el tratamiento control. Una vez alcanzada la etapa de enfriamiento y maduración la población aumenta significativamente, sin embargo y como

se logra apreciar en la fase de enfriamiento y maduración del compostaje los valores son similares en los tratamientos T1 y T2 a comparación del T3 el cual presenta una población de 0.78 log UFC/ siendo 52.5% superior a la población con característica solubilizadoras registradas en el tratamiento control y 38% superior a la registrada en los tratamientos T1 y T2.

Grafico 2 Población de BSP durante el proceso de compostaje. Media de repeticiones.



Fuente: análisis de laboratorio- proceso de compostaje.

Elaborado por: Investigador.

Los recuentos de bacterias evaluados presentaron valores entre 10^4 y 10^6 UFC/ml los cuales fueron expresados en logaritmo base 10. Al comparar estos recuentos con los obtenidos en estudios similares en compost por Bobadilla y Rincon (2008) estos oscilan entre 10^5 y 10^7 UFC/ml, sin embargo otros autores como Bernal (s,f) cuyos valores oscilan entre 10^4 y 10^6 UFC/ml con BSF en raíces de plantas, y en recuentos obtenidos en suelo por Fernandez et al., (2005) los valores oscilan entre 10^2 y 10^3 . Esta variabilidad en los datos indican que los resultados están relacionados con el tipo de sustrato estudiado y las características fisicoquímicas presente en el medio.

De acuerdo con Roman et al. (2013) las bacterias Gram negativas tienden a ser termotolerantes su presencia en concentraciones altas en un compost o material orgánico indica que el proceso térmico ha sido insuficiente o deficiente, por otra parte Moreno y Moral.(2008) afirma que en la fase termófila proliferan exclusivamente microorganismos termotolerantes y termófilos tales como actinomicetos diversos bacillus Gram positivos y bacterias gram negativas, por lo anterior es válido afirmar que la disminución de bacterias

solubilizadoras gram negativas en la fase termófila no afecta de ninguna forma el proceso, por el contrario demuestra la viabilidad del mismo.

Según Roman et al (2013) cuando el material compostado alcanza la fase termófila se da una sucesión de microorganismos capaces de crecer y resistir altas temperaturas, facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el N en amoníaco por lo que el pH del medio sube. Como se muestra en la Grafico 3 las poblaciones de la fase mesofílica son reemplazadas por nuevos organismos responsables de realizar la degradación de polímeros como la celulosa, y llevar a cabo los procesos finales de humificación.

De acuerdo con Coyne (2000) la importancia de la actividad de los microorganismos en el ciclo del P se manifiesta por el alto contenido de este elemento en el tejido microbiano (las bacterias entre 1.5 y 2.5 % de P por peso seco). Las concentraciones de P microbiano son diez veces más elevadas que en las plantas (Perez *et,al* 2012). A bajas concentraciones de P los microorganismos acumulan un exceso de P para cubrir sus necesidades (Coyne (2000) citado por Perez *et,al* 2012).

El índice de solubilización de las colonias revelo que las bacterias presentes en los tratamientos T1 y T2 presentaron el índice más alto con 1,05 y 1,80 (mm) con una variación en el tamaño del halo de 2,0 a 8,0 mm . La dilución donde se generó con mejor detalle el índice de solubilización fue 10^{-5} , con un índice promedio de 1,6. Por otra parte, las características cualitativas se tomaron en referencia al libro de conceptos y prácticas de microbiología general, del cual y de acuerdo con los resultados obtenidos el 96% de las colonias identificadas como BSP presentan tamaño grande, los colores más predominantes entre las cepas es blanca y beige con formas circulares, puntiforme e irregulares, bordes irregulares, continuos, ondulados o lobulados y elevación convexa, plana, y cupuliforme.

Índice de solubilizacion de las colonias.

El IS mostro que la mayoría de los aislamientos solubilizan fósforo, lo que indica que todos los tratamientos evaluados presentan bacterias eficientes en el proceso de solubilización. Las bacterias aisladas que presentaron la mayor capacidad solubilizadora fueron registradas en los tratamientos T3 y T1, así mismo las cepas aisladas, con mayor potencial solubilizador en este estudio fueron las Gram positivas con Bacilos y Estreptobacilos, por lo que deberían tenerse en cuenta para estudios posteriores de eficiencia de solubilización. También es posible notar que el tratamiento MO no se le adicionó ninguna fuente de P. Los tratamientos que recibieron P, registraron variabilidad en la población bacteriana generando un mayor número de cepas que se adaptaron eficazmente al medio y obtuvieron una mejor capacidad solubilizadora.

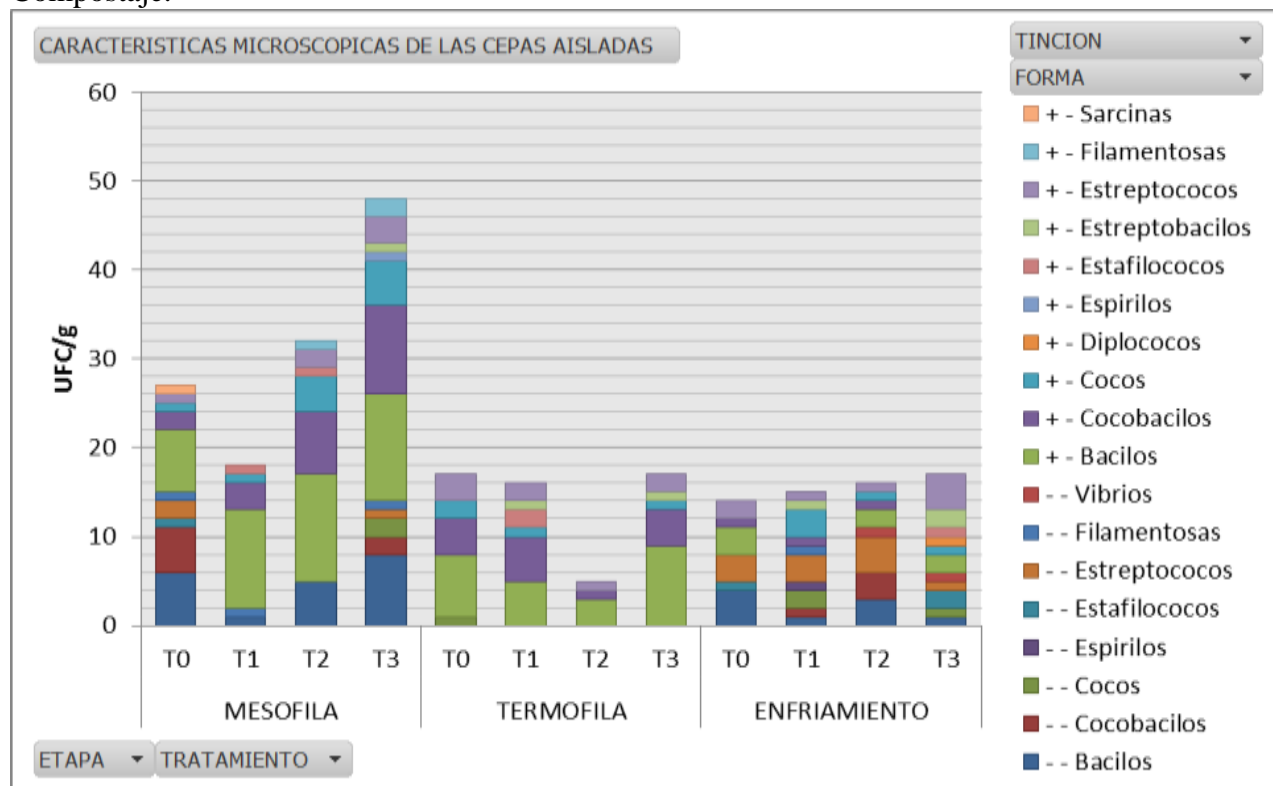
Caracterización microscopica de las cepas Bacterianas aisladas.

Como se puede observar en la Grafico 3 del total de 242 UFC/ml de UFC/g estudiadas en las tres fases del proceso de compostaje que mostraron capacidad de solubilizar fosfato en condiciones “invitro”, 102 presentaron forma bacilar, 50 fueron cocobacilar mientras que

36 fueron *Streptococcus*. Así mismo, los resultados de la técnica de Gram determinaron que la mayoría de las bacterias fueron Gram positivas (171), mientras que solamente 71 fueron Gram negativas. Dentro de las bacterias Gram positivas se observa una alta presencia de Bacilos en las tres fases, con mayor abundancia en la fase mesófila donde se aislaron 42 colonias, seguida por cocobacilos, estreptobacilos y cocos, como los más abundantes en los Gram positivos, mientras que las sarcinas y espirilos solo hicieron su aparición en la fase mesofila.

Por otra parte, en las bacterias Gram negativas se registraron en total 71 colonias, de los cuales los bacilos son los más abundantes con 29, sin embargo para este tipo de bacteria no se observa presencia en la fase termófila, seguidamente los *Streptococcus* y cocobacilos son los más representativos mientras que los espirilos solo aparecieron en la fase de enfriamiento. Las bacterias Gram negativas no fueron representativas en la fase termófila, solo se observó una colonia de cocos Gram negativos.

Grafico 3. Características microscópicas de las BSP aisladas en el proceso de Compostaje.



Fuente: análisis de laboratorio- proceso de compostaje.

Elaborado por: Investigador.

Las BSP representan el 10 % de la población microbiana del suelo. Sin embargo, al realizar la aplicación de fertilizantes fosfóricos en el compost, la población de BSP aumenta paulatinamente. Según Corrales *et al* (2014) los microorganismos predominantes suelen ser *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Burkholderia*, *Rhizobium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*,

pseudomonas que aumentan la disponibilidad de fosfatos insolubles acumulándolos y liberándolos posteriormente. Los resultados obtenidos concuerdan con los llevados a cabo por (Bobadilla & Rincon 2008), dado que en su mayoría, las bacterias tuvieron formas bacilares Gram Negativas propias de enterobacterias en las fases iniciales del proceso las cuales disminuyeron al aumentar la temperatura.

En cuanto a la adición de RF como fuente de P, diversos autores consideran que su uso es apropiado en ambientes tropicales, debido a que es un material de origen natural y su respuesta es mayor en suelos ácidos. (Cisneros et, al 2017) Para los sistemas de compostajes enriquecidos con fuentes fosfóricas en ambientes templados, son escasas sus investigaciones, sin embargo al comparar los resultados obtenidos en este estudio con otros trabajos como el de Silva et, al (2016) “en el cual afirma que la fuente de fosfato mostro cantidades más altas de MSF en relación con otras fuentes de P, siendo la aplicación del fosfato de roca la que proporcionó un nivel más alto de P en el suelo”. Así mismo, Rosatto et,al (2014) plantea que el superfosfato triple promovió los mayores niveles de P en el suelo, independientemente de la presencia del compuesto orgánico. Estas investigaciones afirman los resultados obtenidos en los cuales los tratamientos con superfosfato simple y roca fosfórica obtuvieron un mayor incremento de la población solubilizadora, así mismo, los índices de fosforo, Nitrógeno y Potasio fueron mayores a comparación del tratamiento que no obtuvo fuente fosfórica.

El efecto combinado de la materia organica, la RF y el superfosfato simple, favorecieron los mecanismos en los cuales las bacterias realizan la solubilización del fosfato permitiendo la producción de ácidos orgánicos y el aumento de la acción enzimática (Corrales *et al* 2014), incrementando así los niveles de P disponible en el compost linealmente con otros elementos como el N, K y Ca los cuales estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas (Rico, 2013), así mismo *García (2018)* afirma que el Sodio no se considera esencial debido a su capacidad de actuar sobre la estructura del suelo modificando sus características de manera perjudicial, sin embargo Rico (2013) plantea que se ha demostrado en la práctica que la presencia de sodio incrementa el rendimiento en numerosos cultivos.

Determinación de la población y porcentaje de posibles hongos solubilizadores de fosforo.

Se lograron aislar en total 170 cepas de hongos solubilizadores de fosfato, de los cuales 69 fueron registrados en la etapa mesófila, 43 en la etapa termófila y 58 en la fase de enfriamiento y maduración del compostaje. Estas cepas fueron codificadas según la etapa, tratamiento, repetición y dilución y evaluadas desde el punto de vista cualitativo y cuantitativo.

En la Figura 5 (Anexo N° 3) se muestra el típico halo de solubilización producido por los HSP. El diámetro del halo de solubilización en general para todas las cepas oscilo entre 3 mm y 12 mm. Como se puede observar en la Grafico 4, la mayor abundancia de HSP se dio

en las muestras del tratamiento T1 y T3, mientras la menor presencia de HSP fue determinada para el tratamiento T0.

El análisis de varianza para tratamientos (Tabla A9) generó un $(p\ 0.047 > 0,051)$, por lo tanto se acepta la hipótesis Alternativa y se rechaza hipótesis Nula para HSP dado que el análisis de varianza del logaritmo (base 10) del número de ufc/g, mostró que si existen diferencias significativas entre tratamientos. El coeficiente de variación del experimento fue de 1.26% con un margen de error de 0,16.

Los cuatro tratamientos presentaron diferencias estadísticas significativas en su concentración de HSP y la comparación de medias por la prueba de Tukey permitió discriminar dos grupos (Tabla 11 Anexo 1) El primero formado por los tratamientos T0 y T2 con valores que fluctuaron 0,244 a 0,294 y el otro formado por los tratamientos T2, T1 y T3 con valores de 0,294 y 0,444.

Según la prueba de comparación de medias, los tratamientos T1 a T3 generaron mayores valores en la población de HSP siendo estadísticamente superiores a las del tratamiento control, así mismo y como se observa en la Gráfico 4 los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron resultados similares con baja variación entre ellos en cada una de las etapas del proceso, sin embargo es de apreciar que el tratamiento control incrementó la población en la fase termófila en comparación con los demás tratamientos, ya en la fase de enfriamiento y maduración el tratamiento T4 obtuvo mayores resultados con 10% más población de HSP exponenciales. (Los datos obtenidos en los experimentos se encuentran en la tabla N° 10 (Anexo 1))

En la Gráfico 4. Se aprecian diferencias entre tratamientos y etapas del proceso de compostaje. Se logra evidenciar que el tratamiento T1 (MO y RF) y T3 (MO, RF y SPS) presentaron mayor concentración de HSP y el tratamiento T0 los valores más bajos en las tres etapas. También se aprecia la diferencia por etapas la cual obtuvo los mayores índices en la etapa mesófila y enfriamiento. En la etapa termófila solo algunos hongos lograron sobrevivir a altas temperaturas dado que de acuerdo con Silva et al (s.f). Los hongos se destruyen a temperaturas superiores a 55 °C, aunque algunos permanecen en estado de latencia reactivándose en la etapa de enfriamiento del compost.

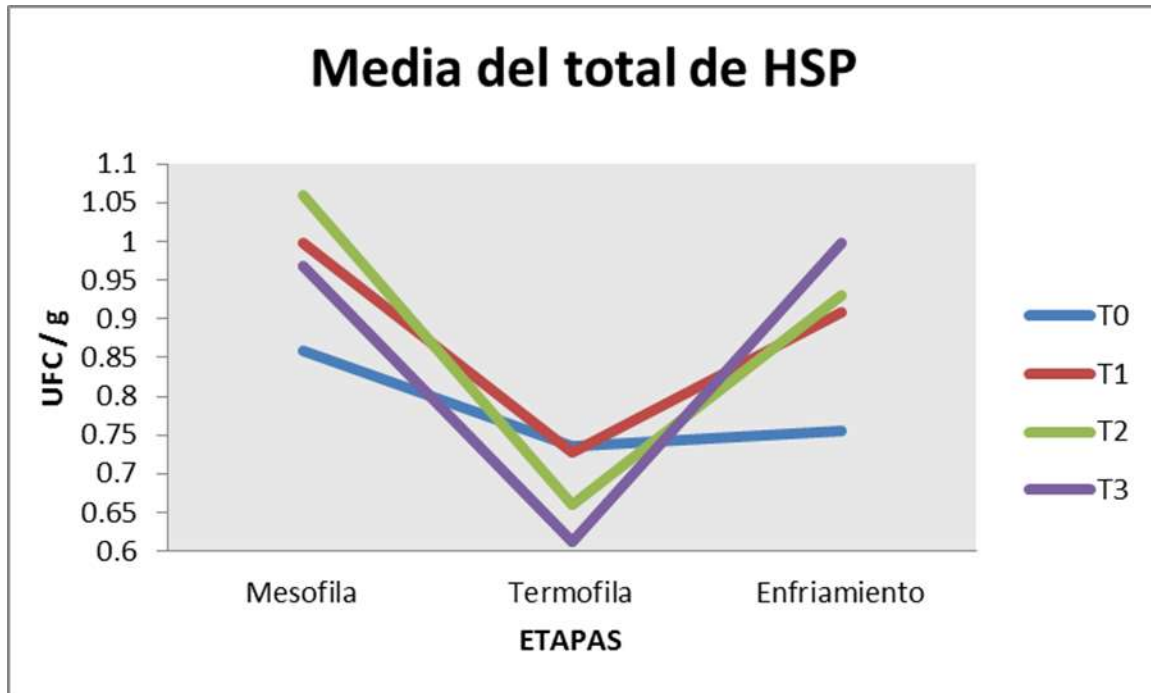


Grafico 4. Abundancias de hongos solubilizadores de fosfato en cada uno de los tratamientos.

En la Grafico 5 se determinaron los HSP basándose en la presencia de halos de solubilización en el medio PDA, de este modo se aislaron las cepas y se purificaron obteniéndose en la fase inicial del compostaje 60 cepas correspondientes a 11 géneros. En la fase Termofila se identificaron 31 Cepas pertenecientes a 5 géneros y en la fase de enfriamiento se aislaron 33 cepas correspondientes a 13 géneros con potenciales solubilizadores de P, algunos de ellos citados en la literatura como organismos solubilizadores de P, de importancia en la industria y la agricultura.

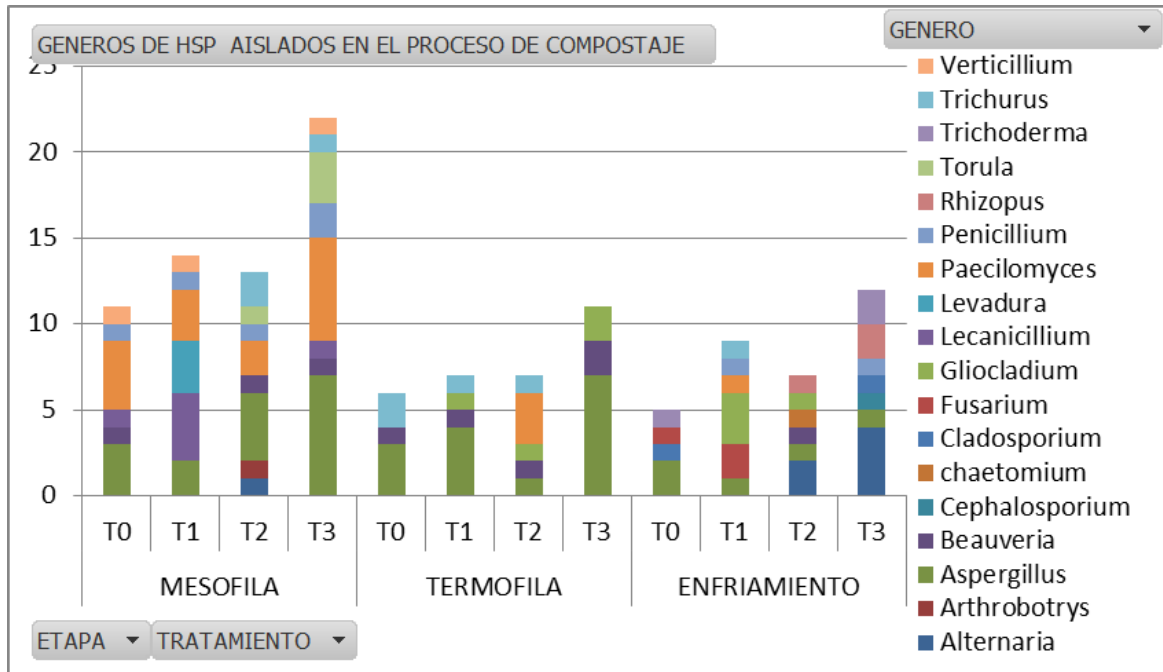


Grafico 5 Log de HSP por etapas en el proceso de compostaje.

De acuerdo con el Grafico5 se identificaron los principales géneros de hongos en cada una de las fases del compostaje, como se observa en todas las fases se identifica la presencia de hongos del genero *Aspergillus*, *Paecilomyces* y *Trichurus*. Una vez la temperatura aumenta llegando a la fase termófila solo algunos hongos toleran altas temperaturas como *Aspergillus*, *Alternaria*, *Gliocladium* y *Fusarium*. Otros géneros se mantienen latentes y se expresan una vez la temperatura descende es el caso del genero *Beauveria*, *Fusarium* y *Cladosporium* (Camacho et al 2014).

En Colombia se han realizado diversos estudios sobre el aislamiento y evaluación de MSP; sobre bacterias ya se tienen registros de su amplio potencial en la solubilizacion de fosfatos, sin embargo, en hongos los datos son escasos (Vera et al 2002; Posada et al. 2012 & Castillo 2015). La mayor abundancia de hongos en el proceso de compostaje se registra en la etapa mesófila con temperaturas por debajo de los 40 °C, con el aumento de la temperatura aumenta la presencia de hongos en su forma latente y una vez descende la temperatura reaparecen y reinician su actividad descomponedor. Sin embargo y como se observa en el Grafico 5 , una amplia población de hongos en la etapa inicial del compostaje, sobresaliendo los géneros *Aspergillum*, *Paecilomyces* y *Verticillium*, los cuales presentan registros en todos los tratamientos..

Como se observa en la Grafico 5 el género de hongo más recurrente por tratamiento en cada una de las fases es *Aspergillus*, el cual soporto altas temperaturas y se mantuvo constante durante el proceso. Este género de hongo es conocido por la producción de ácidos orgánicos, como ácidos cítrico, glucónico, glicólico, oxálico y succínico (Yadav & Verma,

2012; Walpola & Yoon, 2012). Así mismo Reyes, 1991 afirma que cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* y están siendo utilizadas para incrementar la solubilidad de la roca fosfatada y del P fijado en el suelo, siendo algunos de los géneros más eficaces en la solubilización de fosfatos. Sin embargo, su uso ha sido restringido debido a que este género puede ser patógeno bajo ciertas circunstancias y sobre algunos cultivos (Vera, Perez, & Valencia, 2002). También se ha encontrado, por ejemplo, que algunas especies de *Aspergillus* son eficientes en la biolixiviación de varios metales pesados, estas especies son tolerantes sobre una amplia gama de factores como temperatura, pH, salinidad, y la desecación (Xiao, Zhang, Fang, & Chi, 2013).

Los hongos son importantes componentes de la biota natural del suelo y de los organismos descomponedores, su abundancia depende de las condiciones nutricionales (Chakraborty et al., 2010). Una amplia diversidad de HSP han sido reportados como solubilizadores de P: *Fusarium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Rhizoctonia*, *Aspergillus*, *Mucor*, *Scopulariopsis*, *Penicillium*, *Moniliella*, *Rhizopus*, *Mortierella*, *Trichocladium*, *Gongronella*, *Talaromyces*, *Syrialidium*, *Sclerotium*, *Gliocladium*, *Trichoderma* Y *levaduras* (Moratto et al., (2005); Fernández et al., (2005); Prijambada et al., (2009) Paredes et al., (2010); Chakraborty et al., (2010); Scervino et al., (2010); Coutinho et al., (2011); Pérez et al., (2012); Muleta et al., (2013); *Mardad et al., (2013)* & Beltran (2014); Yauyo (2015). En relación con estos estudios y con los resultados obtenidos dentro del proceso de compostaje y el aislamiento de HSP, se registraron también como solubilizadores los géneros: *Arthrotrichum*, *Beauveria*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Lecanicillium*, *Torula*, *Trichurus*, y *Verticillium*.

De acuerdo con Coyne (2000) la importancia de la actividad de los microorganismos en el ciclo del P se manifiesta por el alto contenido de este elemento en el tejido microbiano (El micelio de los hongos contiene entre 0.5 y 1.0% y las bacterias entre 1.5 y 2.5 % de P por peso seco). Las concentraciones microbianas de P son diez veces más elevadas que en las plantas. A bajas concentraciones de P los microorganismos acumulan un exceso de P para cubrir sus necesidades.

Los resultados obtenidos pueden ser atribuidos al efecto combinado de los fertilizantes adicionados (roca fosfórica y superfosfato simple), los cuales favorecen la solubilización, incrementando así los niveles de P en el suelo con la aplicación del compost. linealmente con otros elementos como el C y N indispensable en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los mecanismos implicados en la solubilización del fosfato son la producción de ácidos orgánicos y el aumento de la acción enzimática (Silva Campos *et al*, 2016), atribuido a la actividad de los microorganismos, los cuales registraron una alta presencia en los tratamientos con fuentes fosfóricas a diferencia del tratamiento control.

Los microorganismos aislados tienen la capacidad de convertir las formas insolubles del P en formas asimilables para las plantas; la acción de la solubilización puede generarse a través de procesos como producción de ácidos orgánicos, quelación e intercambio de reacciones (Begonia et al 2004). Las BSP representan el 10 % de la población microbiana del suelo. Sin embargo, al realizar la aplicación de fertilizantes fosfóricos en el compost, la población de MSP aumenta paulatinamente. Los microorganismos predominantes suelen ser *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Burkholderia*, *Rizhobium*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *pseudomonas* y hongos como *Aspergillus*, *Fusarium*, *Sclerotium* y levaduras que aumentan la disponibilidad de fosfatos insolubles acumulándolos y liberándolos posteriormente. Este estudio concuerda con los llevados a cabo por (Bobadilla & Rincon 2008), dado que en su mayoría, las bacterias tuvieron formas bacilares Gram Negativas propias de enterobacterias en las fases iniciales del proceso las cuales disminuyeron al aumentar la temperatura. Así mismo la población de hongos estuvo constituida en su mayoría por *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cephalosporium*, *Chaetomium*, *Cladosporium* y levaduras.

Los resultados obtenidos confirman el efecto positivo de la adición de fuentes fosfóricas en conjunto con las BSP las cuales, pueden tener efectos adicionales en la fertilización de suelos como la fijación biológica de N, el biocontrol de patógenos y la producción de sustancias fitoregulatoras (Archand y Schneider, 2006). De acuerdo con Patiño & Sanchez (2013) las fuentes fosfatadas son altamente eficientes para promover el crecimiento vegetal, especialmente cuando se acompañan con la inoculación de microorganismos solubilizadores de fosfato que además de disponer nutrientes, a través de su actividad fisiológica normal, ejercen otras acciones benéficas sobre el metabolismo y estructura vegetal. Es conveniente señalar que, además de ser una aproximación agrónomicamente eficaz, la fertilización con RF y BSP, es una práctica ambientalmente sostenible y poco costosa, adecuada a las condiciones socio-económicas y ambientales. (Collavino et al (2010); Patiño & Sanchez (2013))

Este estudio permitió obtener resultados positivos en relación a los microorganismos eficientes en la solubilización de P dado que pueden ser utilizados en estudios futuros, así mismo contribuirá a mejorar el proceso de compostaje que permitirá obtener un bioproducto útil para agricultura y la restauración de suelos. Este producto será beneficioso para los agricultores debido a la disminución de costos en el rubro fertilización, como también será benéfico para el ambiente debido a que evitará la acumulación y contaminación de suelos y fuentes hídricas.

2.6 Evaluación de la calidad del compost obtenido en el proceso de compostaje.

Desde el punto de vista de calidad del compost se aprecia que este presentó un correcto proceso de compostación y se considera que se encuentra biológicamente estabilizado. (Tabla 12 Anexo 4).

De acuerdo con los parámetros de madurez planteados por (Hernández M., “s.f”; Resolución ICA 0150 del 21 de Enero de 2003; NTC 1061 abonos o fertilizantes la calidad del compost) el compost obtenido reúne las siguientes condiciones:

- a) Presento estabilidad térmica: dado que pasó por las tres fases del proceso de compostaje, se apreció que en la etapa termófila la temperatura ascendió a los 64.8 °C en la fase termofila, a 2750 m.s.n.m con una temperatura ambiental promedio de 12 °C y la inferior obtenida en el proceso de compostaje por debajo de 8 °C en la fase de maduración y enfriamiento. además del seguimiento a los patrones de olor, color, textura y pH los cuales fueron analizados y comparados con los manuales de compostaje y otros procesos investigativos observándose que el proceso cumplió correctamente con los estándares de estabilidad biológica.

El olor característico de los residuos se debe a la presencia de ácidos orgánicos, una vez se inicia el proceso y se da comienzo a la fase mesofila se detecta un fuerte olor acidificante en todos los tratamientos, esto, según algunos autores se debe a la formación de ácido acético, propiónico, butírico, valerico, caproico, ácidos grasos volátiles, aldehídos, alcoholes y cetonas (Hernández M., “s.f”). una vez la temperatura asciende se aprecia que con el volteo continuo los olores se expanden y estos son aún más fuertes, según las referencias esto se debe principalmente a la producción de piridina y piracina y finalmente en la etapa de enfriamiento y maduración los olores desagradables desaparecen y por el contrario se aprecia un olor a tierra húmeda causada por la excreción de Geosmina producida por actinomicetos (Hernández M., “s.f”).

Durante el proceso de compostaje los residuos presentaron un oscurecimiento gradual a medida que transcurría el tiempo como se puede observar en la Figura N° 4 anexos N° 3.

b.3 Indicadores Químicos de Madurez: de acuerdo con Hernández M., “s.f” “el criterio utilizado tradicionalmente para establecer el grado de madurez y definir la calidad agronómica del compost plantea un valor entorno a relación C/N de

30 en material inicial y menor de 15 al final del proceso. Sin embargo, este valor puede variar en materiales bien compostados y dependiendo del sustrato que se utilice. Dentro del proceso de compostaje llevado a cabo la relación C/N inicial presento un valor de 15.2 y final de 11.6. “Por otra parte Bernal., et al (1998) proponen que para compost de diverso origen, se establece un valor inferior a 12, que se aproxima al valor en torno a 10 de suelos con un alto contenido de materia orgánica altamente Humificada. Otros autores como Chang et al (2006) manifiestan que el compost está suficientemente maduro cuando alcanza un relación C/N inferior a 6. Investigaciones que al ser contrastadas con los datos obtenidos se considera que el proceso se encuentra entre los rangos establecidos.

- b) Evaluar mediante los Criterio de aprobación y rechazo de acuerdo con Resolución ICA 0150 del 21 de Enero de 2003 o según NTC 1061 abonos o fertilizantes la calidad del compost.

2.7 Conclusiones

- El compost obtenido es un fertilizante con alto contenido de nutrientes (P, N, K, Ca, Na, Mg) además de poseer excelentes características para ser usado como acondicionador del suelo por su alto contenido de materia orgánica y por su alto contenido de BSP.
- La aplicación de P en forma de RF en presencia de materia orgánica, proporcionó una mayor población de MSP e incrementó el nivel de P disponible en el compost en relación al tratamiento que no recibió P y al que se le aplicó la fuente de fosfato acidulado.
- La mayor parte de las bacterias aisladas durante el proceso presentaron forma bacilar con tinción Gram positiva.
- El proceso de compostaje de los residuos generados en la plaza de mercado del sur del municipio de Tunja, permitió aislar en la etapa inicial 60 cepas de HSP correspondientes a 11 géneros, en la fase termófila 31 Cepas pertenecientes a 5 géneros y en la fase final 33 cepas correspondientes a 13 géneros de Hongos con potencial de solubización.
-
- Los tratamientos estudiados generaron resultados diferentes encontrándose una mayor población de MSP en los tratamientos que recibieron RF. Mientras que el tratamiento MO presentó la población más baja.
- Este estudio permitió obtener un bioproducto beneficioso para los agricultores debido a la disminución de costos en el rubro de fertilización, como también será benéfico para el ambiente debido a que evitará la acumulación y contaminación de suelos y fuentes hídricas

2.8 Referencias bibliográfica

- Álvarez, J., Figueroa, F., Forero, A., Salamanca, C., Pinzón, L., (2012). Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos, publicación: Abril 9 de 2012, Revista Unicordoba.
- Almeyda, A. & Niño, R. (2010) Obtención de abono enriquecido a partir de roca fosfórica y leonardita mediante procesos piro metalúrgicos y químicos, Universidad industrial de santander, Bucaramanga, Recuperada de http://www.academia.edu/17275659/136438roca_fosforica.
- Arce, S.,(2014) Actividad microbiana en el proceso de compostaje aerobio de residuos sólidos orgánicos, Universidad Peruana Unión - Lima, Revista de Investigación Universitaria, 2014, Vol. 3 (2): 74-84. Recuperado de <file:///C:/Users/USER/Downloads/524-2765-1-PB.pdf>.
- Becerra, J., Quintero, D., Martinez, M., Matiz, A., (2011) Characterization of phosphate solubilizing microorganisms isolated from soils planted with cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). Microbiología Industrial, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá (Colombia). Revista colombiana de ciencias hortícolas - Vol. 5 - No.2 - pp. 195-208, 2011.
- Bernal, M., Paredes, C., Sanchez, M., Cegarra, J., (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technol.*, Pg 63: 91-99.
- Bernal, L.(s,f) Aislamiento de microorganismos solubilizadores de p (psm) de las raices de vanilla SP. Pontificia Universidad Javeriana, Bogota D.C. P 17-18
- Bobardilla, C., Rincón, S., (2008) aislamiento y producción de bacterias fosfato solubilizadoras a partir de compost obtenido de residuos de plaza. Tesis como requisito para optar el título de Microbiologa industrial. Facultad de ciencias Pontificia universidad javeriana.
- CIIA. 2003. Protocolo muestreo de compost. Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería: departamento de ingeniería civil y ambiental, centro de investigaciones en ingeniería ambiental.
- Castillo, D. (2015) Evaluación de la asociación entre propiedades edáficas, hongos solubilizadores de fosfato, hongos formadores de micorriza arbuscular y el contenido nutricional en plantas de banano (*Musa paradisiaca* L.). Corporación universitaria minuto de Dios. Bogota-Colombia pg: 12-20
- Cisneros, C., Sanchez, M., Menjivar, J., (2017) Efecto de bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el desarrollo de plántulas de café, *Agron. Mesoam.* 28(1):149-158. 2017 ISSN 2215-3608 doi:10.15517/am.v28n1.22021 p. 1-10 recuperado de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v28n1/43748637011.pdf>
- Ciavatta, C., Francioso, O., Montecchio, D., Cavani, L. y Grigatti, M. (2001). Use of organic wastes of agro-industrial and municipal origin for soil fertilisation: quality criteria for organic matter. En: I Encuentro Internacional Gestión de residuos orgánicos en el ámbito rural mediterráneo. Cátedra Zurich Medio ambiente de la Universidad de Navarra. pp:117-132.
- Chang J., Tsai, J., & Wu, K., (2006) Thermophilic Composting of food waste. *Bioresource Technol.*, 97: 116-122.

- Collavino, M. Sansberro, P. Mroginski, L. y Aguilar, O (2010). Comparison of in vitro solubilization activity of diverse phosphatesolubilizing bacteria native to acid soil and their ability to promote *Phaseolus vulgaris* growth. *Biol. Fert. Soils* 46(7):727 – 738.
- Corrales, I., Arevalo, Z., Moreno, V., (2014) Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal, Universidad Colegio Mayor de Cundinamarca. Bogotá, Colombia, Publicación Científica en Ciencias Biomedicas, ISSN: (1794-2470. Vol. 12 N° 21.COYNÉ M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid: Editorial panamericana, p 180 – 185.
- Cordell, D.; Drangert, J. A.; y White, S. 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environ. Change* 19:292 - 305.
- COYNÉ M. 2000. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Madrid: Editorial panamericana, p 180 – 185.
- Domsch, K., Gams, W., Anderson, T.,(2007) Compendio de hongos del suelo. Segunda Edición. Pg : 1-672.
- Edwards, A. C.; Walker, R. L.; Maskell, P.; Watson, C. A.; Rees, R. M.; Stockdale, E. A.; y Knox, O. G. 2010. Genetic engineering, biofertilisation, soil quality and organic farming. *sustainable agriculture reviews*. 4:99 - 117.
- Fankem H, Nwaga D, Deubel A, Dieng W, Merbach W. (2006). Occurrence and functioning of phosphate solubilizing microorganisms from oil palm tree (*Elaeis guineensis*) rhizosphere in Cameroon. *African Journal of Biotechnology* 5 (24): 2450- 2460.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2004. Use of phosphate rocks for sustainable agriculture. *Fert. Plant Nutr. Bull.* 13.
- Fernández, L. A., Zalba, P., Gómez, M. & Sagardoy, M. A. (2005). Bacterias solubilizadoras de fosfato inorgánico aisladas de suelos de la región sojera. *Cienc. Suelo*, 23(1), 31-37.
- García, I.(2018) Interacciones entre nutrientes, CANNA Research, Recuperado, http://www.canna.es/interacciones_entre_nutrientes, (Visitado Abril 07,2018)
- García, I.,(2018) Interacciones entre nutrientes, CANNA, Recuperado de http://www.canna.es/interacciones_entre_nutrientes
- Gutierrez, E., Corté, F., Gomez, L.,(2015) Compost como inductor de la sucesión vegetal en un área afectada por minería a cielo abierto en la microcuenca del río la vega, tunja, boyaca, revista universidad Distrital, Colombia forestal, vol.18,Num.2
- Gyaneshwar P, Naresh G, Kumar L, Parekh J, Poole P. 2002. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants. *Plant and Soil* 245: 83–93.
- Hernández, M., (s,f) Aspectos Físico-químicos, bioquímicos y microbiológicos del proceso de compostaje. Evaluación de calidad. Métodos y parámetros para evaluar la madurez del compost. Instituto de recursos naturales y agrobiología. Salamanca- España.
- Hernandez & Barrera, J., (2004). Evaluación del potencial de fertilidad del compost procedente de los residuos sólidos de la central de abastos de Sogamoso en el cultivo de cebolla del bulbo (*Allium Cepa*) en el municipio de Sogamoso (Boyaca). Tesis presentada para obtener el título de ingeniero agrónomo. Facultad de ciencias agrarias universidad pedagógica y tecnológica de Colombia.
- Hyland, C., Ketterings, Q., Dewing, D., Stockin, R., Czymmek, K., (2005). Phosphorus basics.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2005) Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Boyacá. Tomo II. Bogotá, D,C-Colombia. Recuperado de

ftp://gisweb.ciat.cgiar.org/DAPA/users/apantoja/london/Colombia/Suelos/00_shape_suelos/PROYECTO_DNP/MEMORIAS_SUELOS_OFICIALES/BOYACA/94864-Suelos%20Tomo%20II.pdf

- InfoAgro.com, El compostaje (s.f) Recuperado de <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>, (Visitado Octubre 25,2017)
- Jaramillo, G., Zapata L., (2008) Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia; universidad de Antioquia: Monografía en Gestión Ambiental. 21-23
- /Khan, M. S.; Ahmad, E.; Zaidi, A.; y Oves, M. 2013. Functional aspect of phosphate-solubilizing bacteria: Importance in crop production. En: Maheshwari, D. K. et al. (eds.). Bacteria in agrobiolgy: crop productivity. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Lara, C., Esquivel, L., Negrete, J., (2015) Bacterias nativas solubilizadores de fosfato para incrementar los cultivos en el departamento de Cordoba-Colombia, Rev. Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial, Vol. 9 N°. 2 (114-120) Julio-Diciembre 2011.
- Lara, C., Sanes, S., Oviedo, L. (2013) Impacto de Bacterias nativas solubilizadoras de fosfato en el crecimiento y desarrollo de plantas de rabano (Raphanus Sativus L.) Biotecnología Aplicada 2013; Vol.30 N° 4: 271-275
- Lal, R. 2009. En: Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms. SpringerVerlag. 9 - 11.
- Mardad, I., Serrano, A., & Soukri, A. (2013). Solubilization of inorganic phosphate and production of organic acids by bacteria isolated from a Moroccan mineral phosphate deposit. African Journal of Microbiology Research, 7(8), 626- 635.
- Martinez, P., Gacia, D., (2010) Diazotrophic and phosphate solubilizing bacteria isolated from Weinmannia tomentosa AND Escallonia myrtilloides Colombia's high andean forest species, Rev. IntRopIca, ISSN 1794-161X 5: 63-76.
- Moreno, B., Diez, V., Garcia, M., Menes. L., Gutierrez, M.; Polledo, F. (2000). Comisión internacional de especificaciones microbiológicas alimentarias. ICMSF: Ed. Acribia Zaragoza(España). P 125-126.
- Moreno, B., Diez, V., Garcia, M., Menes. L., Gutierrez, M.; Polledo, F. (2000). Comisión internacional de especificaciones microbiológicas alimentarias. ICMSF: Ed. Acribia Zaragoza(España). P 125-126.
- Moreno, J., Moral, R.(2008) Compostaje, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, Barcelona, Mexico, P. 115-251
- Patiño, C., Sánchez, M., (2013) Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (Capsicum annum), Universidad del Tolima; 2Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 11.12.2013.
- Mueller, G., Billis, G., Foster, M., (2004) Biodiversity of Fungi: Inventory and Monitoring methods. Elsevier Academic Pres. Londres. Pg 777.
- Patiño C. 2010. Solubilización de fosfatos por poblaciones bacterianas aisladas de un suelo del Valle del cauca. Estudio de biodiversidad y eficiencia (tesis doctoral en Ciencias Agropecuarias Manejo de Suelos y Aguas). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Patiño, C., Sánchez, M., (2013) Efecto de la aplicación de roca fosfórica y la inoculación con bacterias solubilizadoras de fosfatos sobre el crecimiento del ají (Capsicum annum), Universidad del Tolima; 2Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, 11.12.2013.
- Patiño, T., & Sanclemente, Reyes., (2014). Los microorganismos solubilizadores de fósforo

- (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible. *Revista Entramado*, 10(2), 288-297.
- Plazas, E., (2007) Mejoramiento de un medio de cultivo para la producción de un inoculante con base en bacterias fosfato solubilizadoras. [Tesis de grado]. Colombia.
- Perez, C., De la Ossa., Montes (2012). Hongos solubilizadores de fosfatos en fincas ganaderas del departamento de Sucre, *Rev. Colombiana cienc. Anim.* 4(1):35-45
- Política para la gestión integral de residuos (1997), Santafé de Bogotá, Ministerio del medio ambiente, Política para la Gestión de Residuos.
- Posada, R. H., Prager, M. S., Sieverding, E., Dorantes, K. A., & Abarca, G. P. (2012). Relaciones entre los hongos filamentosos y solubilizadores de fosfatos con algunas variables edáficas y el manejo de cafetales. *Revista de Biología Tropical*, vol. 60, núm. 3, 1075-1096
- Prijambada, I. D., Widada, J., Kabirun, S., & Widianto, D. (2009). Secretion of organic acids by phosphate solubilizing bacteria isolated from oxisols. *J. Tanah Trop.* 14 (3), 245-251
- Restrepo, G., Marulanda, S., Perez, Y., Diaz, A., Baldani, V., Hernandez, A. (2015), Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, Vol. 46, No. 1, pp. 63-76.
- Rico, A., Pérez, R., (2013) Nutrientes para las plantas, UNAM. México, Tomado de https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/quim/quim2/quimicaII/L_nutrplants.pdf (Visitado Abril 07, 2018)
- Roman, P., Martinez, M., Pantoja, A., (2013) Manual de compostaje del agricultor-Experiencias en América Latina, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Oficina Regional para América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, 2013, Pg 22-24
- Rosatto-Moda, Leandro, Mello-Prado, Renato de, Castellanos-González, Leónides, Reyes-Hernández, Alfredo, Caione, Gustavo, & Silva-Campos, C. Naudi. (2014). Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. *Agrociencia*, 48(5), 489-500. Recuperado en 10 de abril de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952014000500003&lng=es&tlng=es.
- Santana, M., y Vasquez C. (2002). Evaluación de cepas de *Azotobacter* sp. Y de bacterias solubilizadoras de fosfato (BFS), como biofertilizante mixto en un cultivo de crisantemo (*chrysanthemum morifolium* Var. Regal suerte). Tesis de pregrado para optar el título de microbiólogo Agrícola y veterinario. Facultad de ciencias pontificia Universidad Javeriana. Bogotá-Colombia.
- Silva Campos, C. N., de Mello Prado, R., Castellanos González, L., Abreu Jiménez, M., & Rosatto Moda, L. (2016). Fuentes de fosfato asociadas a la cachaza y el biofertilizante sobre los microorganismos solubilizadores de fósforo y su contenido en el suelo. *Cultivos Tropicales*, 37, 22-27.
- Vera, D., Perez, H., & Valencia, H., (2002) Aislamiento de hongos solubilizadores de fosfato de la rizosfera de arazá (*Eugenia Stipitata*, Myrtaceae). *Acta Biologica Colombiana* 7(1): 33-40.
- Walpola, B., & Yoon, M.-H. (2012). Prospectus of phosphate solubilizing microorganisms and phosphorus availability in agricultural soils. *African Journal of Microbiology Research*, Vol. 6 (37), 6600-6605.

- Xiao, C., Zhang, H., Fang, Y., & Chi, R. (2013). Evaluation for Rock Phosphate Solubilization in Fermentation and Soil-Plant System Using A Stress-Tolerant Phosphate-Solubilizing *Aspergillus niger* WHAK1. *Appl Biochem Biotechnol* 169:123–133.
- Yadav, B., & Verma, A. (2012). Phosphate Solubilization and Mobilization in Soil Through Microorganisms Under Arid Ecosystems. *The Functioning of Ecosystems*, 93-108



Conclusiones generales.

- ∞ El abono obtenido del proceso de compostaje además de ser rico en nutrientes esenciales para el desarrollo vegetal y la renovación de suelos, es un producto natural obtenido del reciclaje de residuos que además de disminuir la carga contaminante al relleno sanitario de Pírgua, contribuye al mejoramiento del medio ambiente en la ciudad de Tunja y sus alrededores.
- ∞ Este estudio permitió obtener microorganismos eficientes en la solubilización de fósforo que podrán ser utilizados en estudios futuros, su uso será beneficioso para los agricultores.
- ∞ Los resultados obtenidos pueden ser atribuidos al efecto combinado de RF Y SPS, los cuales favorecen la solubilización de P, incrementando así los niveles de P en el suelo linealmente con otros elementos como el carbono y nitrógeno indispensable en el desarrollo y crecimiento de las plantas
- ∞ El tratamiento T3 (MO+ RF+SPS) tiene 35% más de P disponible comparado con el tratamiento T0. De la misma manera el nitrógeno y el carbono presentan altos índices dentro del proceso de compostaje y se reporta mayor aumento para los tratamientos T3 (MO+ RF y SPS) y T1 (MO + RF).



ANEXOS

Anexo 1. DATOS EXPERIMENTALES Y ESTADISTICOS

Tabla N° 3 porcentaje de materias primas utilizadas en el proceso de compostaje.

PORCENTAJE DE MATERIA PRIMA UTILIZADA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE		
TIPO DE MATERIA	CLASIFICACION	porcentajes totales
FRUTA	Naranja	31.70%
	Mandarina	
	Mango	
	Papaya	
	Tomate de Árbol	
	Melones	
VERDURA	Calabacín	50.9%
	Lechuga	
	Berenjena	
	Auyama	
	Pepino	
	Hiervas Aromáticas	
	Desperdicios de cocina	
RAICES Y TUBERCULOS	Papa	6.20%
	Yuca	
ESTIERCOL	vacuno y Equino	6.60%
MADERA	Huacal	4.60%
	Troncos de plátano	

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

Tabla 7 Log UFC de BSP por dilución

UFC/g BACTERIAS FOSFATOSOLUBILIZADORAS EXPRESADAS EN LOGARITMO BASE 10.				
ETAPAS/TRATAMIENTOS	DILUCIONES			
	X10 ⁴	X10 ⁵	X10 ⁶	Total general
MESOFILA	3.032	2.569	0.652	6.253
T0	0.628	0.544	0.368	1.54
T1	0.802	0.352	0.041	1.195
T2	0.699	0.813		1.512



T3	0.903	0.86	0.243	2.006
TERMOFILA	1.681	1.542	1.165	4.388
T0	0.439	0.176	0.1	0.715
T1	0.544	0.602	0.367	1.513
T2	0.301	0.367	0.221	0.889
T3	0.397	0.397	0.477	1.271
ENFRIAMIENTO	2.552	2.04	1.192	5.784
T0	0.244	0.328	0.168	0.74
T1	0.702	0.421	0.141	1.264
T2	0.712	0.501	0.24	1.453
T3	0.894	0.79	0.643	2.327

Tabla N° 8. Medias por mínimos cuadrados para log de UFC/g de BSP

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para UFC de BACTERIAS FOSFATOSOLUBILIZADORAS con intervalos de confianza del 95.0%					
			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	36	0.45625			
ETAPAS					
1	12	0.521083	0.0618581	0.393414	0.648752
2	12	0.365667	0.0618581	0.237998	0.493336
3	12	0.482	0.0618581	0.354331	0.609669
TRATAMIENTO					
1	9	0.332778	0.0714276	0.185358	0.480197
2	9	0.441333	0.0714276	0.293914	0.588753
3	9	0.428222	0.0714276	0.280803	0.575642
4	9	0.622667	0.0714276	0.475247	0.770086
ETAPAS por TRATAMIENTO					
1,1	3	0.513333	0.123716	0.257995	0.768671
1,2	3	0.398333	0.123716	0.142995	0.653671
1,3	3	0.504	0.123716	0.248662	0.759338
1,4	3	0.668667	0.123716	0.413329	0.924005
2,1	3	0.238333	0.123716	-0.0170048	0.493671
2,2	3	0.504333	0.123716	0.248995	0.759671
2,3	3	0.296333	0.123716	0.0409952	0.551671
2,4	3	0.423667	0.123716	0.168329	0.679005
3,1	3	0.246667	0.123716	0.00867144	0.502005
3,2	3	0.421333	0.123716	0.165995	0.676671
3,3	3	0.484333	0.123716	0.228995	0.739671
3,4	3	0.775667	0.123716	0.520329	1.031

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.



Tabla 5. Análisis de varianza para la concentración de BSP por tratamiento expresados en log base 10 de (ufc/g).

ANOVA

UFC/g_ FOSFATOSOLUBILIZADORAS

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:ETAPAS	0.156861	2	0.0784306	1.71	0.02025
B:TRATAMIENTO	0.395532	3	0.131844	2.87	0.05
INTERACCIONES					
AB	0.282833	6	0.0471388	1.03	0.07025
RESIDUOS	1.10201	24	0.0459171		
TOTAL (CORREGIDO)	1.93723	35			
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual					

Tabla 9 Análisis de varianza para el número de unidades formadoras de colonias de Hongos por ETAPAS expresados en log base 10 de (ufc/g).

Análisis de Varianza para TOTAL_HONGOS FOSFATOSOLUBILIZADORES - Suma de Cuadrados Tipo III					
Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:ETAPAS	0.481959	2	0.240979	5.02	0.0165
B:TRATAMIENTO	0.0603636	3	0.0201212	0.42	0.047
INTERACCIONES					
AB	0.102021	6	0.0170035	0.35	0.063
RESIDUOS	1.00769	21	0.0479855		
TOTAL (CORREGIDO)	1.6494	32			
Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual					

Tabla N° 10 Medias por mínimos cuadrados para HSP

Tabla de Medias por Mínimos Cuadrados para HONGOS FOSFATOSOLUBILIZADORES con intervalos de confianza del 95.0%					
			Error	Límite	Límite
Nivel	Casos	Media	Est.	Inferior	Superior
MEDIA GLOBAL	33	0.842531			
ETAPAS					
1	11	0.970792	0.0670719	0.831308	1.11028
2	12	0.683917	0.063236	0.55241	0.815423
3	10	0.872883	0.0774479	0.711821	1.03395
TRATAMIENTO					



T0	9	0.849422	0.0730186	0.697571	1.00127
T1	9	0.877978	0.0730186	0.726127	1.02983
T2	8	0.883611	0.0788691	0.719593	1.04763
T3	7	0.759111	0.0942666	0.563073	0.95515
ETAPAS por TRATAMIENTO					
1,T0	3	0.858333	0.126472	0.59532	1.12135
1,T1	3	0.997667	0.126472	0.734653	1.26068
1,T2	2	1.0595	0.154896	0.737376	1.38162
1,T3	3	0.967667	0.126472	0.704653	1.23068
2,T0	3	0.735333	0.126472	0.47232	0.998347
2,T1	3	0.728	0.126472	0.464987	0.991013
2,T2	3	0.660667	0.126472	0.397653	0.92368
2,T3	3	0.611667	0.126472	0.348653	0.87468
3,T0	3	0.9546	0.126472	0.691587	1.21761
3,T1	3	0.908267	0.126472	0.645253	1.17128
3,T2	3	0.930667	0.126472	0.667653	1.19368
3,T3	1	0.698	0.219056	0.242448	1.15355

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

Tabla 11. Separación de medias de concentración de hongos solubilizadores de P, mediante la prueba de Tukey

HONGOS SOLUBILIZADORES

	ETAPA	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
HSD Tukey ^{a,b}	TERMOFILA	31	,0581	
	MESOFILA	39	,1114	
	ENFRIAMIENTO	26		,2449

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.



ANEXO 2.

CARACTERÍSTICAS MACROSCÓPICAS Y MICROSCÓPICAS

Tabla N° 13 Características macroscópicas y microscópicas de las UFC aisladas de BSP

IS= A/B (I) Índice de solubilización.	Características Microscópicas	Características Macroscópicas.
1.3	Cocos Gram Positivo	Colonias Grandes, cremosas, Circulares, borde entero, Elevado, Beige
1.28	Cocos Gram Negativos	Colonias Grandes, Irregulares, borde Lobulado, Planas, Beige
1.8	Bacilos Gram positivos	Colonias grandes, cremosas, bordes regulares, cóncava, amarillas
1.3	Bacilos Gram Negativos	Colonias grandes, cremosas, bordes irregulares, planas, amarillas
1.4	Cocobacilos Gram positivos	Colonias grades, Irregulares, Bordes Ondulados Elevada, Beige
1.4	Cocobacilos Gram Negativos	Colonias grades, Irregular, Borde Ondulado Convexa Baja, Amarilla
1.2	Diplococos Gram Positivo	Colonias Pequeñas. Circulares, borde Entero Continuo, Convexa Baja, Beige
1.3	Stafilococos Gram Positivo	Colonias Grandes, Puntiformes, borde Ondulado, Planas, Blanca
1.3	Stafilococos Gram Negativo	Colonias Medianas, Irregulares, borde Ondulado, Umbilicadas, Amarilla
1.25	Espirilos Gram Positivos	Colonias Grandes, Circulares, Bordes Continuos, Convexas, Amarilla
1.2	Espirilos Gram Negativo	Colonias Pequeñas, Circulares, bordes Enteros Continuos, Convexa Baja, Amarilla.
1.05	Sarcinas Gram Positivas	Colonias Pequeñas, Circulares, bordes Continuo, Plana, Beige
1.5	Filamentosas Gram Positivas	Colonias Grandes, Irregular, Borde Ondulado, Convexa, Blanca
1.7	Estreptobacilos Gram Positivas	Colonias Grandes, Irregulares, Borde Ondulado, plana, Amarilla
1.5	Estreptococos Gram Positivos	Colonias Pequeñas, Puntiforme s borde Entero Continuo, Convexa Baja, Beige
1.33	Estreptococos Gram Negativos	Colonias Grandes, Irregulares, borde Ondulado, Planas, Beige.
1.4	Vibrios Gram Negativos	Colonias Grandes, Irregulares, borde Ondulado, Umbilicada, Amarilla.

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

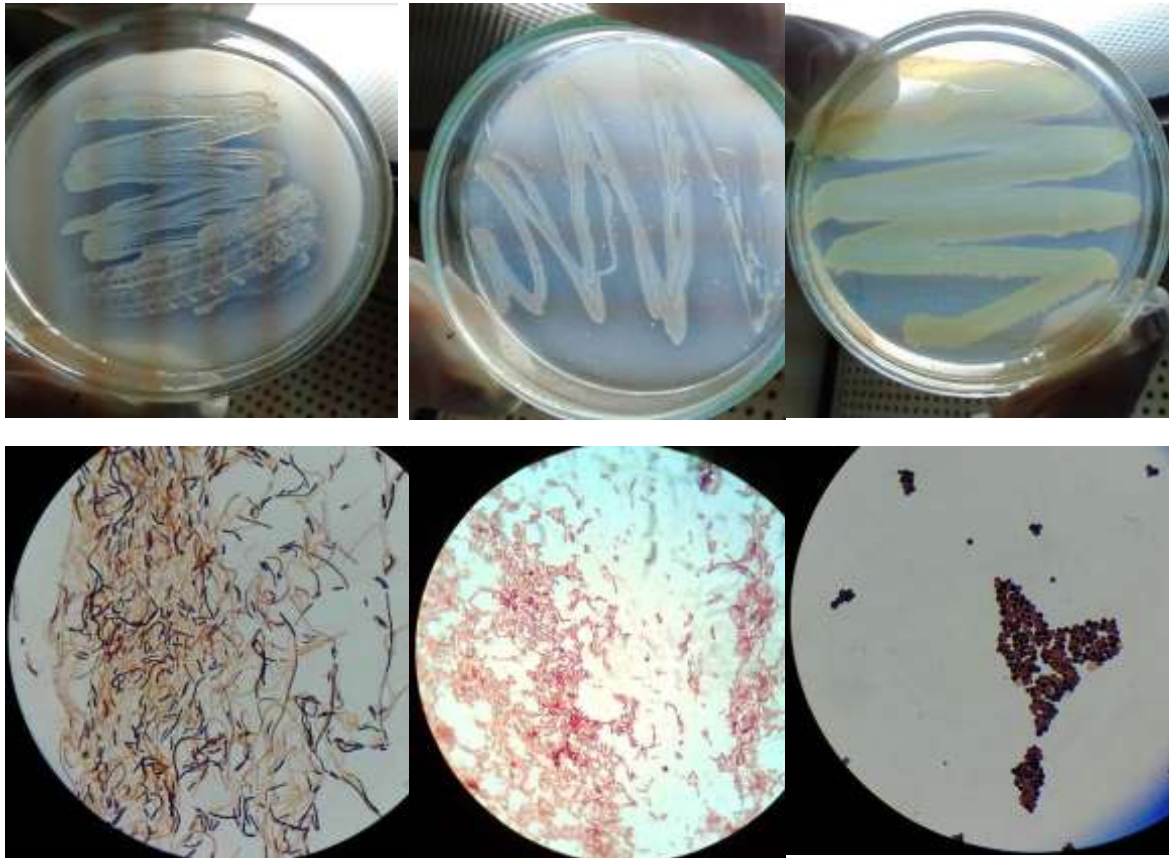
ANEXO 3

LISTA DE FIGURAS E IMAGENES



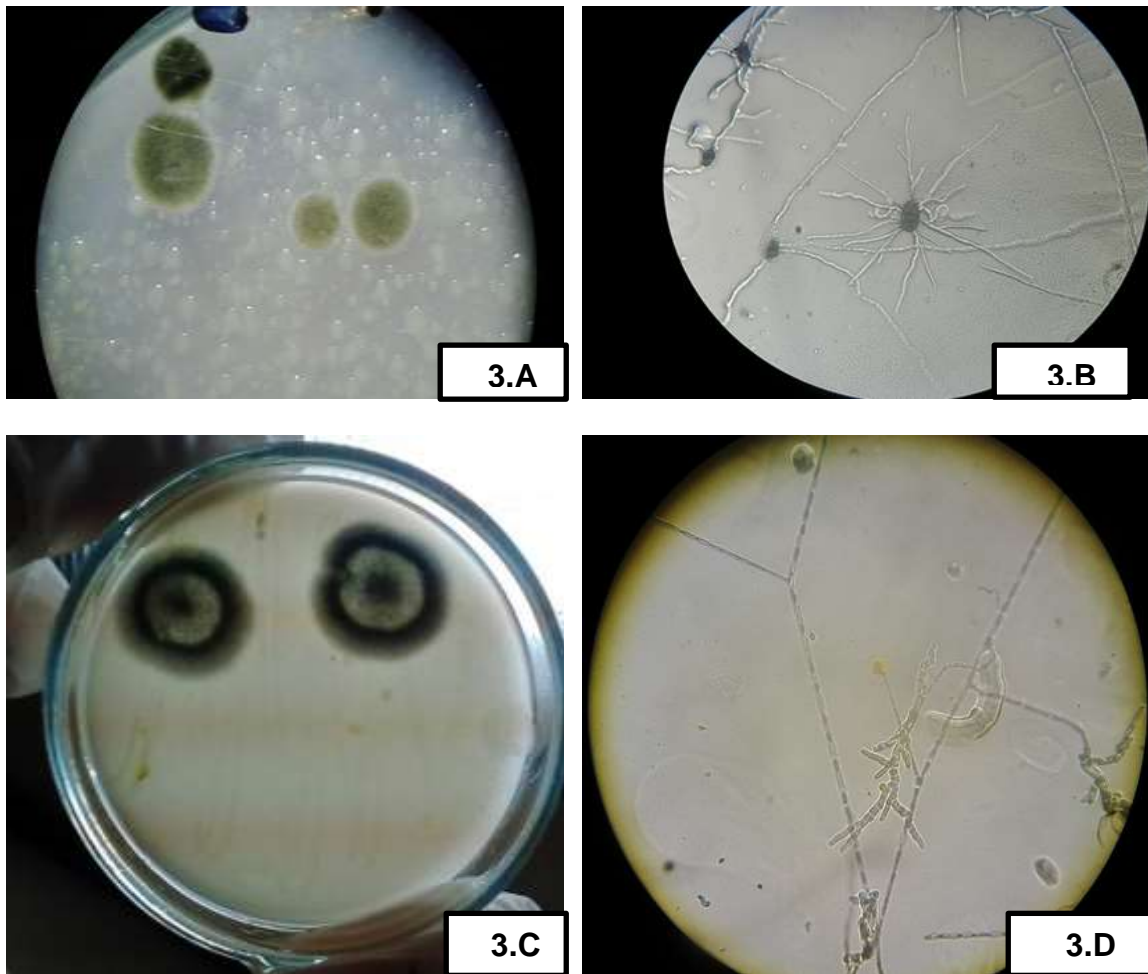
Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

Figura N° 2 proceso de recolección (F1), trituración (F2), Transporte (F3) Estado del material (F4), instalación de tratamientos y volteos (F5) y análisis fisicoquímicos del compost (F6).



Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

Figura N° 3 caracterización macro y microscópica de bacterias solubilizadoras de fosfato.



Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.

Figura 5 Micrografía de las colonias (40x) y estructuras reproductivas (100x) de los Hongos solubilizadores de fosfato.

De acuerdo con la Figura 5. Algunas cepas presentaron las siguientes características morfológicas: *Rhizopus* y/o *Alternaria* desarrollaron forma algodonosas con Color de micelio Blanco; *Aspergillus* y *Botrytis*: Velloso con Tono Beige o amarillos y *Penicillium*: Aterciopelada con tono verde azulados entre otras.



Figura ° 4 Evolución del proceso de humificación del compostaje expresado en cambios de color.



ANEXO 4 PARAMETROS DE CALIDAD.

Tabla 12. Parámetros permisibles y obtenidos de evaluación de calidad del compostaje.

PARAMETRO	Límites permisibles	Valores obtenidos
Humedad	15% máximo	9,4%
Capacidad de intercambio catiónico	30 mep/100g mínimo	48mep/100g
Cont. De carbono orgánico total	5-15%	8,16%
Materia orgánica (MO)	>20%	20,6%
Nitrógeno Total	>2%	2,2%
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)	>4%	15,20%
Riqueza mínima de cada elemento	2%	Na= 3,8% K= 4,7% C= 2,4%
C ₂ O + MO + elementos menores	10% Mínimo	18%
PH	7-8	8,1
Tamaño de partícula	3-4mm	3,53mm
ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO		
Mesofilo aerobio	Reportarlos	Confirmados
Mohos	Reportarlos	Confirmados
Levaduras	Reportarlos	Confirmados

Elaborado por: Adriana Galindo, 2017.