



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA  
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS  
LICENCIATURA EN QUIMICO FARMACOBIOLOGO**

**Instituto de Ciencias**

**Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas  
Laboratorio Microbiología de Suelos**

**“Degradación de residuos orgánicos domésticos a  
través de un consorcio bacteriano para la  
formación de una composta”**

**TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
QUIMICO FARMACOBIOLOGO**

Presenta:

**Yolanda Ruíz Hernández**

Director de Tesis:

M.C. Moisés Graciano Carcaño Montiel

Co-Directora de Tesis:

Dra. Lucía López Reyes

Asesora Interna:

M.C. Reyna del Consuelo Almiray Pinzón de Dios  
Facultad de Ciencias Químicas-BUAP



Puebla, Pue. Septiembre 2020

Esta investigación fue financiada por el Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (PROINNOVA 2017)

**PROYECTO: CONACYT PEI 242723**

**“COMPOSTERO SMART DE ALTA EFICIENCIA CON UN SUPER ACELERADOR MICROBIANO PARA ZONAS URBANAS”.**

SUBPROYECTO

**DESARROLLO DE UN ACELERADOR MICROBIANO DE ALTA EFICIENCIA PARA RESIDUOS ORGÁNICOS DOMESTICOS**

En Coordinación con la empresa: Termoluc Plásticos Decorados, S. de R.L. MI. De Apizaco Tlaxcala.

Y por los proyectos Institucionales “BIOFERTIBUAP Y BIOFOSFOBUAP”

---

El presente trabajo de investigación fue revisado y aprobado por los integrantes del Cuerpo Académico BUAP 99 “Microbiología del Suelo”, por lo que se agradece la participación de:

M. en C. Moisés Graciano Carcaño Montiel

Dra. en C. Lucía López Reyes

Dra. en C. Amparo Mauricio Gutiérrez

M. en C. R. Armando Tapia Hernández

Puebla, Pue Septiembre 2020

---

## **Agradecimientos**

Quisiera agradecer a Dios, por guiarme y poner en mi camino a personas maravillosas que a través de su apoyo, cariño y amistad me han ayudado a culminar esta etapa de manera satisfactoria.

A mis padres María Eva y Demetrio. A mis hermanas Vero, Vivi y Viri y familia, gracias por su paciencia, por cada palabra de aliento y amor incondicional que siempre me han entregado.

Al MC. Moisés Carcaño y a la DC. Lucia López por la oportunidad y la ayuda, al Laboratorio de Microbiología de Suelos por toda la paciencia, confianza y recursos que me ofrecieron.

A mis amigos Ing. Elizabeth Portillo Manzano y la Bióloga Leticia Gómez Velázquez, por el apoyo técnico en las metodologías utilizadas.

También agradezco a: Karlita, Manuel y Lupita por creer en mí e impulsarme a dar lo mejor y por jamás dejarme sola.

A los compañeros del Laboratorio de Microbiología de Suelos Memo, Gaby, Betty y Juan Carlos por su apoyo y su tiempo.

De corazón Gracias...

---

## **Comité Revisor**

### **MC. Edith Díaz Cabrera**

Departamento de Microbiología  
Facultad de Ciencias Químicas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

### **DC. Estibaliz Sansinenea Royano**

Departamento de Microbiología  
Facultad de Ciencias Químicas  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

### **DC. Amparo Mauricio Gutiérrez**

Laboratorio de Microbiología de Suelos  
Institución CONACYT-ICUAP  
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

---

## Contenido

1. RESUMEN .....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	3
3. MARCO TEORICO.....	5
3.1 Suelo .....	5
3.2 Composición del suelo .....	5
3.2.1 Componentes inorgánicos (minerales) .....	5
3.2.2 Componentes orgánicos.....	6
3.2.3 Aire en el suelo.....	7
3.2.4 Agua en el suelo.....	7
3.3 Organismos del suelo (biota) .....	7
3.3.1 Hongos del suelo.....	8
3.3.2 Actinomicetos del suelo .....	8
3.3.3 Bacterias del suelo .....	8
3.3.4 Algas del suelo .....	9
3.4 Macrobiota del suelo.....	9
3.4.1 Lombrices del suelo.....	9
3.5 Influencias de las raíces en las poblaciones microbianas .....	10
3.6 Compost .....	10
3.6.1 Importancia de la composta.....	11
3.6.2 Clasificación de composta.....	11
3.6.2.1 Domestica .....	11
3.6.2.2 De jardín.....	11
3.6.2.3 Subproductos agrícolas .....	12
3.6.2.4 Desechos de ganado.....	12
3.6.2.5 Forestales .....	12
3.6.2.6 Desechos urbanos y agroindustriales.....	12
3.6.2.7 Lombricomposta.....	12
3.7 Realización de la composta .....	13
3.7.1.1 Pre-proceso.....	13
3.7.1.2 Biodegradación .....	13
3.7.1.3 Maduración.....	13
3.7.2 Materia orgánica.....	14
3.7.3 Temperatura.....	15
3.7.4 Humedad.....	15
3.7.5 Aireación .....	16

3.7.6 Oxígeno.....	16
3.7.7 Sustancias húmicas.....	16
3.7.8 Sustancias no húmicas.....	17
3.8 Actividad enzimática .....	17
3.8.1 Actividad Celulolítica de Bacterias.....	17
3.8.2 Actividad proteolítica de bacterias. ....	18
3.8.3 Actividad pectinolítica de bacterias.....	19
3.9 Identificación de Bacterias.....	20
3.9.1 Pruebas presuntivas para identificación de bacterias .....	20
3.9.2 Sistemas miniaturizados API de Biomerieux.....	21
4. MARCO DE REFERENCIA .....	22
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	24
6. JUSTIFICACIÓN .....	25
7. OBJETIVOS .....	26
7.1 Objetivo general.....	26
7.2 Objetivos específicos .....	26
8. HIPÓTESIS .....	27
9. DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	28
10. MATERIALES Y MÉTODOS. ....	31
10.1 Recolección de compostas y aislamiento de bacterias con actividades de degradación de residuos orgánicos.....	31
10.2 Actividad enzimática .....	32
10.2.1 Actividad celulolítica .....	32
10.2.2 Actividad proteolítica .....	32
10.2.3 Actividad Pectinolítica.....	33
10.3 Identificación de Bacterias .....	33
10.4 Control de calidad del consorcio microbiano .....	33
10.5 Experimento de invernadero .....	34
10.6 Pruebas Basadas en la NMX-FF-109-SCFI-2007 .....	36
11. RESULTADOS Y DISCUSION .....	37
11.1 Aislamiento y selección de bacterias con actividad enzimática de las diferentes muestras de compostas.....	37
.....	40
11.2 Identificación de bacterias a través del sistema API.....	42
11.3 Pruebas de degradación de residuos vegetales utilizando las bacterias más eficientes en sus diferentes actividades.....	43
11.4 Verificación de la calidad de los inóculos generados con pruebas de vida de anaquel	

.....	47
11.5 Caracterización física y química de la composta generada a través de la aplicación de diferentes bacterias degradadoras de residuos orgánicos.....	49
12. CONCLUSIONES.....	57
13. PERSPECTIVAS.....	58
14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	59

## Índice

<b>Cuadro 1.</b> Tratamientos, clave de cepas y volumen de inóculo agregado a las cajas con residuos orgánicos. ....	35
<b>Cuadro 2.</b> Actividad Enzimática de bacterias aisladas de diferentes compostas .....	37
<b>Cuadro 3 .</b> Origen y Nombre por género de bacterias aisladas de diferentes compostas.	42
<b>Cuadro 4</b> Porcentaje de degradación final con respecto al peso.....	43
<b>Cuadro 5</b> Peso final de los residuos orgánicos a partir de la adición de bacterias con actividad enzimática e la transformación del material orgánico.	
<b>Cuadro 6</b> Conteo de poblaciones bacterianas en los tratamientos bacterianos utilizados en la transformación de materiales orgánicos. ....	48
<b>Cuadro 7</b> Parámetros físicos y químicos de la materia orgánica con diferentes tratamientos bacterianos y sus valores de referencia. ....	50

## Tabla de Figuras

<b>Figura 1</b> Determinación del índice de degradación del material orgánico .....	32
<b>Figura 2</b> Desperdicio de frutas y verduras en mercados .....	34
<b>Figura 3</b> Triturado de frutas y verduras.....	34
<b>.Figura 4</b> Suspensiones bacterianas con efecto biodegradador de la materia orgánica. .	35
<b>Figura 5</b> Aplicación del consorcio bacteriano sobre los restos vegetales.....	36
<b>Figura 6</b> Halo de degradación de la carboximetilcelulosa, muestra la actividad celulolítica de las bacterias.....	39
<b>.Figura 7.</b> Halo de degradación en medio agar leche donde se observa la actividad proteolítica en las bacterias ensayadas.....	40
<b>Figura 8</b> Crecimiento bacteriano con actividad pectinolítica.....	41
<b>.Figura 9</b> Grado de degradación de la materia orgánica con diferentes tratamientos bacterianos. ....	47

## 1. RESUMEN

Una persona genera aproximadamente doce kilogramos de desechos orgánicos mensualmente, que logran degradarse alrededor 4 meses. Para la descomposición intervienen factores ambientales, físicos, químicos y la acción de microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos a través de la secreción de enzimas celulasas, pectinasas y proteasas. El objetivo de este trabajo fue aislar y caracterizar bacterias con actividad celulolítica, pectinolítica y proteolítica que ayudan a la degradación de residuos orgánicos domésticos para acelerar el proceso de formación de composta. El aislamiento bacteriano se realizó a partir de cinco materiales orgánicos: Composta de café, lombricomposta, composta doméstica, composta de ganado bovino y residuos orgánicos forestales. Se aislaron 17 cepas bacterianas las cuales se caracterizaron por medio del sistema API de Biomerieux® y actividad enzimática. Cinco cepas presentaron las diferentes actividades enzimáticas, se probaron en residuos orgánicos domésticos en forma individual, la mezcla de ellas y un tratamiento control sin inocular. Se evaluó la masa de los residuos orgánicos observando una disminución en volumen y cambios en el pH de los lixiviados semanalmente, los tratamientos terminaron a los 49 días posteriores a la aplicación de los inóculos. Se observó que las bacterias poseen actividad enzimática proteolítica y/o pectinolítica degradan el material orgánico hasta un 5.50% con respecto a la masa inicial. El tratamiento con el consorcio bacteriano presenta diversas actividades enzimáticas logrando degradar hasta el 6.12% la masa inicial, mientras que la cepa del género *Proteus* sp. mostró la tres actividades celulolítica, pectinolítica y proteolítica la cual transformo los residuos orgánicos hasta el 5.50%, siendo el tratamiento más eficiente. Se determinó que todos los tratamientos bacterianos fueron eficientes en la descomposición del material orgánico hasta composta en comparación con el tratamiento control cuya masa inicial se redujo al 7.75% y con evidente presencia de residuos orgánicos sin degradar. El uso de diferentes especies bacterianas que presenten actividades enzimáticas que pueden ayudar en la transformación de residuos orgánicos hasta composta, para disminuir el tiempo de degradación.

Se comparó una serie de pruebas con la norma oficial NMX-FF-109-SCFI-2007 que

establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz y se determinó que los valores de MO% obtenidos con la cepa *Chryseobacterium indologenes* (TZB31) son altos con 21.14%, mientras que el valor más bajo fue de 5.5% que pertenece al tratamiento control. El contenido de nitrógeno total que se presentó con mayor cantidad (4%) fue con la bacteria *Proteus* sp. (TLTB25) y el más bajo con 2.57% con las bacterias *Alcaligenes* sp. y *Chryseobacterium indologenes*. Para la relación carbono nitrógeno el tratamiento con la mezcla de cepas tuvo el valor más alto con 3.23; en cuanto al contenido de humedad, el uso de las bacterias favoreció con el valor más alto de 79.24% y en la densidad aparente, las muestras control obtuvieron el resultado más elevado que fue de 0.53.

**Palabras claves:** Residuos vegetales; bacterias, enzimas; degradación.

## 2. INTRODUCCIÓN

Hasta mayo del año 2019 en México, se cuenta con una población de 133 912 350 habitantes (INEGI, 2019), se calcula que ellos producen tres millones de metros cúbicos mensuales de basura, esto equivale a que cinco personas, producen doce metros cúbicos al año de basura, se considera que el 50% son residuos orgánicos, el 34% son reciclables y el 16% restantes son sólidos inorgánicos. (De la Cruz, 2010).

En la década de los años 50, la población mexicana producía entre 65 y 70% de residuos orgánicos, mientras que en 2012 de acuerdo con Semarnat (2015) se redujo a 52.4%.

Los desechos orgánicos biodegradables son utilizados y transformados a composta o en productos útiles para la mejora del suelo, esto gracias a la población de microorganismos que trabajan en conjunto (Pellegrini *et al.*, 2014).

El contenido de materia orgánica radica alrededor del 28%, y contiene además nutrientes, sustancias húmicas y oligoelementos. Todos estos en conjunto ayudan al desarrollo de los cultivos y enriquecimiento del suelo. Cuando agregamos composta se mejora la fertilidad del suelo y se estimula las poblaciones microbianas benéficas, especialmente bacterias y hongos (Barrera y Charry, 2008).

El proceso de elaboración de la composta se basa en tres momentos: el pre-proceso en el cual la molienda y el tamizaje para separar partículas según su tamaño. La biodegradación requiere de aireación y temperatura como las bases fundamentales ya que teniendo oxígeno disponible y temperaturas elevadas la materia orgánica se descompone más rápido. Y por último momento está la maduración que con ayuda del tiempo, temperatura, oxígeno y microorganismos la materia orgánica original se ha disminuido hasta en 50%. Teniendo lo suficiente: agua, materia orgánica y tiempo para que se forme en aproximadamente 4 meses normalmente para formar una composta (Frioni, 2005).

Un componente principal es el suelo, ya que puede considerarse como un sistema donde se descompone material de desecho que es reciclado dentro de él. Dentro de la composición de la materia orgánica en el suelo encontramos a los componentes inorgánicos tales como los minerales, componentes orgánicos que incluyen los restos

vegetales y animales, el aire en el suelo se relaciona entre el intercambio gaseoso entre el suelo y la atmósfera, el cual favorece a la respiración del suelo. Otro componente de suma importancia es el agua en el suelo que gracias a esta los microorganismos tienen movilidad en el suelo. Existen otros organismos en el suelo que son de importancia para el mantenimiento del mismo, podemos encontrar la biota que incluye: lombrices, microanimales, hongos, actinomicetos, bacterias, algas, además de raíces, sustancias húmicas y no húmicas, etc.

### **3. MARCO TEORICO**

#### **3.1 Suelo**

El suelo puede definirse como el material mineral no consolidado en la superficie terrestre, sometido a la influencia de factores genéticos y ambientales (material parental, clima, macro y microorganismos y topografía), actuando durante un determinado periodo. Se considera como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera y con los estratos que están debajo de él, que influye en el clima y en el ciclo hidrológico del planeta, que sirve como medio de crecimiento de poblaciones naturales. En México existe una gran diversidad de suelos, los cuales interaccionan con diversos factores, como la actividad volcánica, el amplio gradiente altitudinal, la presencia de diferentes tipos de climas, así como de rocas (SEMARNAT, 2015).

En México existen 26 de los 32 grupos de suelo reconocidos por el Sistema Internacional Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (IUSS, 2007). Por ejemplo los Leptosoles (28.3% del territorio), Regosoles (13.7%), Phaeozems (11.7%), Calcisoles (10.4%), Luvisoles (9%) y Vertisoles (8.6%) que juntos ocupan 81.7% de la superficie nacional y el resto corresponde a otros suelos (INEGI 2007).

#### **3.2 Composición del suelo**

##### **3.2.1 Componentes inorgánicos (minerales)**

La fertilidad del suelo está en relación con el contenido de minerales y arcillas e indican su posible uso. Por ejemplo, los silicatos son minerales abundantes que se encuentran en las rocas en más del 90%. La formación del suelo producto del intemperismo físico, químico y biológico es el resultado de las modificaciones estructurales de los minerales (Porta et al., 2011).

### **3.2.2 Componentes orgánicos**

La materia orgánica del suelo forma parte de un sistema complejo con una dinámica propia, que se compone por restos vegetales, animales y otro grupo de sustancias en diferentes proporciones que puede variar de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas.

Una parte considerable de la materia orgánica se deriva de los restos orgánicos, está formada por microorganismos para el proceso de degradación, con una relación C/N menor, de modo que el contenido medio final en el humus debe ser en promedio del 5% de nitrógeno (Jordán, 2005).

La materia orgánica sufre procesos de descomposición a través de los microorganismos que producen enzimas que degradan los diferentes componentes de la materia orgánica. Iniciando con una fragmentación a partículas más pequeñas, luego es colonizada por hongos, bacterias y actinomicetos que favorecen las condiciones de transformación y proveen de nichos adecuados para otros organismos (Porta *et al.*, 1999).

Los hongos producen enzimas que degradan la lignina y celulosa de las membranas de las células vegetales, posteriormente las bacterias continúan con el proceso de degradación aprovechando los carbohidratos y proteínas derivadas del proceso de degradación, en esta etapa hay liberación de compuestos nitrogenados (amonio y nitratos) que pueden ser aprovechados por otros organismos (Porta *et al.*, 1999).

### **3.2.3 Aire en el suelo**

El intercambio gaseoso a través de un proceso de difusión por medio de la respiración entre el suelo y la atmosfera favorece la aireación en la fase solida del suelo que está relacionada con alternancias térmicas y periodos de lluvia (Jordán, 2005).

Los mecanismos más importantes de renovación de la atmósfera del suelo descritos por Jordán, (2005) incluyen: el flujo de masas, es decir el desplazamiento del aire por la acción del viento, la lluvia, temperatura, presión atmosférica, la expansión y contracción de otros componentes del suelo; difusión entre la fase gaseosa del suelo y la atmósfera por la presión de los componentes; difusión de gases entre la fase gaseosa y líquida relacionada con el tamaño de los poros en el suelo.

### **3.2.4 Agua en el suelo**

Según Porta et al. (1999) El contenido de humedad del suelo depende de su estructura y textura, cantidad de materia orgánica y profundidad para obtener una óptima captación, percolación, almacenamiento y uso de la humedad del mismo, por lo que es importante que el suelo tenga las siguientes capacidades físicas: infiltración (capacidad de permitir que el agua entre), permeabilidad (fácil movilidad a través del perfil) y retención del agua (almacenaje de humedad en la zona radical y liberación hacia las raíces).

Un sistema estable de poros permite un fácil intercambio de aire y agua, es indispensable para la sobrevivencia de los microorganismos y su movilidad en el suelo. Los poros muy pequeños retienen fuertemente el agua contra la fuerza de gravedad, pero también impiden que algunos organismos la puedan emplear (Paul, 2014).

### **3.3 Organismos del suelo (biota)**

Los organismos constituyen del 0-15% del total de los componentes del suelo, su acción incluye la transformación de algunos componentes a través de la liberación de sustancias que ayudan a la asimilación y nutrición tanto de plantas como de otros organismos del suelo (Porta et al., 1999).

### **3.3.1 Hongos del suelo**

Los hongos son los dominantes en la microbiota del suelo, ya que su función principal en el suelo es la descomposición de la materia orgánica desde los azúcares simples y aminoácidos hasta polímeros como la lignina y complejos de ácidos húmicos del suelo, esto gracias a su tolerancia a la acidez. La descomposición de la materia orgánica en suelos ácidos es en su generalidad realizada por hongos (Paul, 2014).

### **3.3.2 Actinomicetos del suelo**

Los actinomicetos son bacterias filamentosas muy abundantes en la rizósfera del suelo, desempeñan importantes funciones como: ayudan en la descomposición de la materia orgánica, degradan diversos compuestos recalcitrantes y químicos agrícolas, ayudan al control biológico en plantas y animales, fijan nitrógeno y estimulan el crecimiento vegetal; Dentro de sus características se encuentra la de producir un olor típico a suelo húmedo debido a la producción de un metabolito denominado geosmina, además presenta una actividad metabólica alta, producen terpenoides, pigmentos y enzimas extracelulares que son capaces de degradar la materia orgánica de origen vegetal y animal. En la mayoría de los actinomicetos del suelo, son saprófitos idóneos para descomponer substratos carbonados, debido a su capacidad para degradar compuestos tales como quitina, celulosa y hemicelulosa, con valores altos de pH del suelo. Entre otras cualidades de los actinomicetos del suelo son que producen antibióticos como la estreptomycinina y ayudan a la comunidad de microorganismos del suelo, ejemplo: *Streptomyces*. Por último estos representan un indicador de madurez del proceso de la degradación de la materia orgánica hasta llegar al proceso de compostaje (Salazar *et al.*, 2014).

### **3.3.3 Bacterias del suelo**

Una de las funciones de las bacterias en el suelo es la descomposición de animales, plantas y residuos microbianos. Estos logran ser los microorganismos más numerosos de la comunidad microbiana del suelo. La presencia activa de una bacteria como *Clostridium*, es indicativa de condiciones anaeróbicas, ejemplos: *Rhizobium*, *Bacillus*,

*Pseudomonas*, *Clostridium* (Paul, 2014). *Bacillus* es reconocido industrialmente atractivo por sus altas tasas de crecimiento, gran capacidad para la secreción de enzimas extracelulares, así como su desarrollo en condiciones ambientales extremas. Se sabe que naturalmente metaboliza una amplia variedad de azúcares incluyendo xilosa, arabinosa, celulosa, sacarosa, celobiosa y glucosa (Silva, 2017).

### **3.3.4 Algas del suelo**

La cantidad de algas se ve limitada en su distribución y actividad en las partes del suelo en las que penetra la luz solar, por esto la superficie y las grietas del mismo son las zonas de mayor actividad. Estos organismos son fotoautótrofos, no dependen de materia orgánica preformada en el suelo, por lo que son importantes como colonizadores de áreas desérticas expuestas a la luz solar, estas funciones de colonizar se ve reforzado por la producción de ácidos carbónicos como resultado de su metabolismo, lo cual acelera la descomposición de los minerales y la formación de suelo (Paul, 2014).

## **3.4 Macrobiota del suelo**

En el suelo se pueden encontrar una gran cantidad de organismos con diferentes tamaño y funciones; a nivel microscópico se encuentran bacterias, algas, protozoos y hongos; por otro lado a nivel macroscópico encontramos nematodos, gusanos, lombrices de tierra, moluscos y artrópodos. Muchos de ellos realizan su ciclo biológico completo en el suelo, mientras que otros sólo son habitantes. Cada tipo de organismo realiza una función específica (Salazar *et al.*, 2014).

### **3.4.1 Lombrices del suelo**

Las lombrices de tierra promueven la actividad de los microorganismos por medio de la fragmentación de materia orgánica, además, estimulan el crecimiento extensivo de las raíces en el subsuelo debido a la mayor disponibilidad de nitrógeno en los túneles y a la fácil penetración de las raíces por los canales existentes. Las lombrices digieren

las hojas de las plantas, las raíces, los tallos y los troncos de los árboles en pequeños trozos que alimentan a las bacterias y hongos en la superficie, las lombrices digieren los hongos, los protozoarios, los nematodos y los microartrópodos, además el material orgánico es fragmentado y mezclado con el mucus o secreción producida en sus intestinos e inoculado con microorganismos. La actividad de los microorganismos es favorecida por el efecto que produce esta mezcla y un mayor número es encontrado en las heces y rastros de las lombrices. Estos organismos continúan su actividad en lugares frescos y aportan alimentos a otros microorganismos, por lo tanto, facilitan el reciclaje de los nutrientes, estos pueden convertirse en plagas de los campos agrícolas atacando las raíces de las plantas vivas cuando no hay suficiente material vegetal muerto disponible (Moldenke, 2000).

### **3.5 Influencias de las raíces en las poblaciones microbianas**

La rizósfera es la zona del suelo que está en íntimo contacto con las raíces de las plantas entre 1 y 2 milímetros y está influenciado por los exudados radicales de las raíces, donde las poblaciones microbianas son muy abundantes. Se demostró que en contacto con las raíces y los pelos absorbentes, las poblaciones de microorganismos son elevadas; el suelo adherido a la superficie de las raíces contiene cantidades de microorganismos entre 10 y 50 veces superiores al resto del suelo. Los ápices de crecimiento radicular están generalmente libres de microorganismos, pero la zona de crecimiento situada a continuación del ápice, mantiene una importante población bacteriana, benéfica, neutral y perjudicial, por otro lado, las partes más viejas de las raíces pueden tener una gran población bacteriana (Wild, 1996).

### **3.6 Compost**

Para la elaboración del compost se utilizan diferentes desechos biodegradables tales como: residuos sólidos urbanos, alimentos para animales, residuos agrícolas e industriales, desechos domésticos, estiércol y otros materiales útiles para mejorar el suelo. En el proceso de formación del compost se acelera la degradación de materia orgánica por las poblaciones microbianas que trabajan en conjunto y se encuentran

bajo condiciones controladas (Pellegrini *et al.*, 2014). Los microorganismos que intervienen son bacterias, hongos y actinomicetos produciendo enzimas extracelulares, como celulasas, amilasas, lipasas y proteasas que promueven actividad química catalizando la descomposición de materia orgánica. No obstante, existen ciertos factores que pueden afectar el proceso de compostaje como: factores ambientales, microorganismos involucrados, tipo de residuos y su manejo (Barrera y Charry, 2008).

### **3.6.1 Importancia de la composta**

La calidad de la composta está en función del contenido de nutrientes: nitrógeno 0.65%, fósforo 0.3%, óxido de potasio 0.25%, materia orgánica 28% y la presencia de sustancias húmicas, y de oligoelementos (cobalto, cobre, magnesio, zinc, boro, molibdeno, etc.). Entre los beneficios del uso de compostas son: mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo, aportar y estimular diferentes especies microbianas especialmente de hongos y bacterias que ayudan a la degradación de materia orgánica presente en el suelo (Barrera y Charry, 2008).

### **3.6.2 Clasificación de composta.**

#### **3.6.2.1 Doméstica**

La composta doméstica procede de materia orgánica sobrante de la preparación de comidas, pueden ser productos de origen vegetal (frutas, verduras, etc.) y desechos de origen animal (carne, piel, sangre, huesos, etc.) según SAGARPA, (2014).

#### **3.6.2.2 De jardín**

Esta incluye los restos de cultivos de las huertas, flores muertas, tallos, pastos y hojas secas (SAGARPA, 2014)

### **6.3.2.3 Subproductos agrícolas**

Los residuos de cosechas de cultivos (maíz, frijol, caña, hortalizas, girasol, trigo, etc.) sirven como principal componente de compostas agrícolas así como cascarillas y salvado obtenido de la molienda (SAGARPA, 2014).

### **3.6.2.4 Desechos de ganado**

El estiércol y orina de los animales, es usado después de un proceso de compost por su alto contenido de nitrógeno y otros nutrientes necesarios para el desarrollo de cultivos. (SAGARPA, 2014).

### **3.6.2.5 Forestales**

En ambientes forestales la degradación de hojas, ramas, troncos y otros residuos de origen vegetal se lleva a cabo a través de la acción de enzimas para descomponer grandes cantidades de celulosa y lignina que terminara mineralizándose en el suelo para la formación de compost (SAGARPA, 2014).

### **3.6.2.6 Desechos urbanos y agroindustriales.**

Se componen de la fracción biodegradable de la basura como: pet, cartón, papel y residuos que proceden de la industrialización de productos tales como las hortalizas, cacao, café, arroz, madera, semillas, etc. (SAGARPA, 2014).

### **3.6.2.7 Lombricomposta.**

En la lombricultura se utilizan las lombrices para acelerar la transformación de desechos orgánicos con la finalidad de generar productos naturales tales como el abono de lombriz, material rico en microorganismos; también se puede aprovechar la carne de la lombriz de altos contenidos de proteína, vitaminas y aminoácidos (SAGARPA, 2014).

### 3.7 Realización de la composta

En la elaboración de la composta intervienen factores tales como la presencia y acción de microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos), el origen de la materia orgánica, composición química, relación C/N, humedad, temperatura, pH y aireación. Dentro de la degradación de residuos vegetales se inicia por la ruptura de cadenas de lignina y celulosa que son componentes de las paredes celulares, posteriormente actúa la biomasa microbiana.

El proceso de composta involucra 3 etapas (Frioni, 2005):

#### 3.7.1.1 Pre-proceso

#### 3.7.1.2 Biodegradación

#### 3.7.1.3 Maduración

**Pre-proceso:** en esta fase es necesaria la molienda y pulverización de los materiales orgánicos, la uniformidad del tamaño de partícula es necesaria para el correcto inicio del compostaje y se logra a través del tamizado.

**Biodegradación:** en esta etapa se requiere aireación en las áreas donde se realiza el proceso de composteo. En las primeras semanas, la temperatura del área aumenta debido a la energía liberada por los microorganismos. Teniendo oxígeno disponible y temperaturas elevadas, la materia orgánica se descompone más rápido, las proteínas al degradarse liberan amoníaco y nitratos, mientras que las grasas y carbohidratos forman dióxido de carbono y agua. Está integrada de las siguientes fases:

**Fase mesófila:** en esta predominan bacterias y hongos los cuales producen enzimas y ácidos que atacan a la materia orgánica, generando calor para favorecer el desarrollo de organismos.

**Fase termófila:** a partir del día 100 y con la elevación de la temperatura, la población dominante se compone de actinomicetos, bacterias y hongos. Los microorganismos que crecen a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son eliminados con el aumento de la temperatura, mientras que predominan los microorganismos termófilos (microorganismos esporulados). En esta fase de alta temperatura destruye semillas de malezas y patógenos de animales y plantas por lo tanto acelera el proceso de

degradación. La biodegradación termina cuando los nutrientes y la materia viva se terminan por acción de los microorganismos y la composta va perdiendo temperatura. La materia orgánica se ha estabilizado y se acumula aquella de lenta degradación.

**Etapa de maduración:** en esta última ocurre una lenta degradación de la materia orgánica hasta que el volumen se reduce aproximadamente al 50%. Por lo tanto el material va retornando a una nueva fase mesófila, pero ahora con otra población microbiana y composición química, ya que los nutrientes ya han sido consumidos por los microorganismos. Al mismo tiempo reaparecen, hongos y bacterias provenientes del medio; en esta etapa la composta se va estabilizando a temperatura ambiente donde se encuentran protozoarios, nematodos, hormigas, lombrices e insectos. La maduración involucra mayor biodegradación de materia orgánica y toma varias semanas (Frioni, 2005).

Un factor importante para que la etapa de maduración se deba tomar en cuenta la relación C/N de la materia orgánica, ya que los microorganismos obtienen del carbono (C) su energía vital y el nitrógeno lo utilizan para incorporarlo a su protoplasma. El Carbono en los restos vegetales es muy abundante, aproximadamente del 58%.

Se recomienda, una relación C/N menor de 30 para que la actividad microbiana sea alta; mientras que con una relación C/N mayor a 50 la actividad biológica se ve disminuida al favorecer la producción de ácidos (Salazar *et al.*, 2014).

### **3.7.2 Materia orgánica**

Se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos. Pueden ser hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas, pelo, huesos, animales muertos, productos de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos que aportan al suelo sustancias orgánicas o sus propias células al morir. Estos materiales inician un proceso de descomposición y cambian de su forma orgánica a su forma inorgánica (minerales). Estos minerales cuando son incorporados al suelo son aprovechados por las plantas y organismos, hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación (Barrera y Charry, 2008).

### **3.7.3 Temperatura**

Para que un compost sea de calidad se requiere que las reacciones químicas y biológicas sean a las temperaturas adecuadas. Al inicio se recomiendan temperaturas no mayor a 40°C. Ésta aumenta rápidamente luego de que se ponga la materia orgánica, en esta etapa se recomienda una temperatura promedio de 70°C, después va disminuyendo gradualmente y el proceso de descomposición termina. El extenso intervalo de temperatura que se maneja hace que se encuentren grupos de microorganismos lo que facilita y aumenta el proceso de descomposición. El compostaje ha mostrado ser viable cuando la temperatura ambiente oscila entre los 20 y 30°C (Barrera y Charry, 2008).

La temperatura durante el proceso de compostaje aumenta conforme los microorganismos realizan las actividades para degradar la materia orgánica. Las altas temperaturas son necesarias ya que contribuyen sustancialmente a los altos índices de degradación, pero temperaturas por debajo de los 20°C, han demostrado que causan la inhibición del proceso. Por otra parte, cuando la temperatura excede los 60°C se reduce la actividad de las poblaciones microbianas, es por esta razón que se recomienda que la temperatura máxima se encuentre entre los 52°C y los 60°C (Barrera y Charry, 2008).

### **3.7.4 Humedad**

El contenido de humedad es importante en el composteo, teniendo en cuenta que el agua inicia el proceso de degradación a través de la hidrólisis y provee el medio requerido para llevar a cabo el transporte y la transformación de los nutrientes, por parte de los microorganismos la utilizan para realizar sus actividades metabólicas y fisiológicas. Cuando el porcentaje de humedad presenta valores muy bajos puede indicar la deshidratación de la composta lo que tiene como consecuencia la disminución de las actividades metabólicas y la obtención de una composta inestable). Por otra parte, porcentajes de humedad muy altos (mayores al 65%) pueden generar condiciones anaerobias lo cual disminuye la eficiencia del proceso, además de liberar malos olores y líquidos muy densos y desagradables (Barrera y Charry, 2008).

La humedad óptima del compostaje es del 30 a 55% aunque puede variar dependiendo

del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje y un adecuado flujo de oxígeno para mantener las condiciones aerobias (Barrera y Charry, 2008).

### **3.7.5 Aireación**

Durante el proceso de compostaje la aireación ayuda a facilitar la entrada oxígeno para la degradación microbiana, controla la temperatura y elimina el exceso de humedad de la materia orgánica. Cuando hay una mala aireación en el área de compostaje, se producen condiciones favorables para el inicio de las fermentaciones y las respiraciones anaeróbicas, esto provoca la aparición de olores fétidos o fuerte olor a amoníaco acompañado de la liberación CO<sub>2</sub> y metano. Por lo tanto al inicio del compostaje se recomienda hacer volteos semanales o quincenales, hasta que la composta esté realizada (Barrera y Charry, 2008).

### **3.7.6 Oxígeno**

El compostaje aeróbico es el proceso de degradación que ocurre en presencia de oxígeno; es la forma más rápida para producir una composta de buena calidad, es aprobado como vía para lograr la mejor estabilización de la materia orgánica descendiente de los residuos agrícolas y domésticos hasta convertirlos en productos que puedan ser usados como abono para mejorar la fertilidad el suelo (Barrera y Charry, 2008).

### **3.7.7 Sustancias húmicas.**

La degradación de la materia orgánica durante el proceso de mineralización produce en primer instancia productos carbonados simples, para después, junto con la acción de los microorganismos producen complejos orgánicos llamadas sustancias húmicas. En la primera etapa, tiene lugar una degradación microbiana de los polímeros orgánicos hasta formar compuestos monoméricos, y permanecen los materiales más resistentes, como la lignina, que son cambiados para formar humus a través de otra sucesión microbiana. La reacción en equipo de la materia orgánica, el oxígeno y los microorganismos da como resultado la formación de dióxido de carbono en conjunto

con agua y humus (Materia orgánica + O<sub>2</sub> --> CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O + humus). Esta reacción puede durar semanas o meses, dependiendo de la naturaleza del material y las condiciones favorables en la que se mantenga y a esto se le denomina humificación directa. En la segunda etapa tiene lugar la polimerización de componentes mediante reacciones químicas (autooxidación y oxidación), catalizados por enzimas microbianas. Cuando se incorpora el compost al suelo se produce una actividad microbiana, esto por la abundancia de restos orgánicos aprovechables. Después disminuye la actividad al ir quedando los restos más estables que sólo pueden ser descompuestos por los organismos más agresivos. Al principio actúan hongos, después las bacterias y por último los actinomicetos (Aguilera, 2000).

### **3.7.8 Sustancias no húmicas**

Alrededor de 20 a 30% del humus de los suelos está formado por sustancias no-húmicas constituidas de biomoléculas con propiedades físicas y químicas, son compuestos de las plantas modificados microbiológicamente, mientras que otras son compuestos sintetizados por los microorganismos como subproductos de la descomposición. Entre las sustancias no-húmicas están los polisacáridos, polímeros que tienen estructura similar a los azúcares. Por otro lado existen compuestos simples como ácidos orgánicos de bajo peso molecular y algunos materiales de tipo proteico (Corbella y Fernández, 2006).

## **3.8 Actividad enzimática**

### **3.8.1 Actividad Celulolítica de Bacterias**

La celulosa es el polímero más abundante sobre el suelo. Tiene características fisicoquímicas que permiten que sea utilizado por ciertos microorganismos para convertirlo en energía. Es un compuesto orgánico del tejido de las plantas, formando su estructura principal y rigidez. Su producción es por medio de fotosíntesis y es uno de los compuestos más abundantes en la naturaleza. (Pérez, 2013).

Estructuralmente la celulosa es un polisacárido compuesto de unidades de glucosa

□

enlazadas en una larga cadena lineal, constituida de unidades -D-glucopiranosas unidas por enlaces 1,4-glucosídicos. Estas cadenas lineales de celulosa interactúan entre sí por medio de puentes de hidrógeno dando lugar a la formación de microfibrillas y que se conocen como regiones cristalinas. La formación de estas regiones ocurre cuando a lo largo del haz de cadenas se rompen los puentes de hidrógeno dando origen a las secciones amorfas, que permiten su hidratación y el posterior ataque enzimático por microorganismos celulolíticos que poseen enzimas específicas encargadas para su degradación. La actividad enzimática es el factor más importante en la degradación de celulosa. Los microorganismos son capaces de sintetizar exoenzimas (celulasas), que van a actuar sobre la celulosa y la hidrolizarán en productos que pueden ser utilizados como fuente de carbono y energía (Barrera *et al.*, 2009).

### **3.8.2 Actividad proteolítica de bacterias.**

Las proteínas son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Pueden además contener azufre y en algunos tipos de proteínas, fósforo, hierro, magnesio y cobre entre otros elementos. Los microorganismos proteolíticos que poseen enzimas proteolíticas, constituyen un grupo muy heterogéneo, en el cual se pueden encontrar especies de los géneros: *Clostridium*, *Bacillus*, *Proteus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus*, *Micrococcus*, *Aspergillus*, *Penicillium* y *Mucor*. Las bacterias proteolíticas son aquellas especies que utilizan proteína como única fuente de carbono y energía. Se estima, que alrededor del 12 al 38% de la población total de bacterias existentes en el rumen poseen actividad proteolítica (Nelson y Cox, 2009).

El sistema proteolítico está formado por proteinasas y peptidasas extracelulares (ligadas a la pared o a la membrana celular) e intracelulares, capaces de degradar completamente las caseínas a aminoácidos (Gómez, 1996).

La participación del sistema proteolítico comienza por la acción de las proteinasas extracelulares, los productos originados por las proteinasas extracelulares son degradados por las peptidasas que liberan péptidos pequeños y aminoácidos. Estos productos son transportados al interior de la célula donde se terminan de degradar por

las peptidasas intracelulares y las enzimas responsables del catabolismo de los aminoácidos (Gómez, 1996).

Las proteasas son enzimas que catalizan la hidrólisis de enlaces peptídicos de otras proteínas y péptidos. Cuando estas moléculas son atacadas por las proteasas, no se descomponen directamente a aminoácidos; su degradación siempre sigue un orden: >proteína >proteasas >peptonas >péptidos >aminoácidos. Las proteasas se pueden clasificar por sus propiedades catalíticas en exoproteasas es decir que rompen hacia el extremo de la proteína liberando los aminoácidos terminales y endoproteasas es decir que rompen hacia el interior de la cadena peptídica liberando péptidos (Kalil, 2007).

### **3.8.3 Actividad pectinolítica de bacterias**

Las pectinas son polisacáridos que se componen principalmente de ácidos poligalacturónicos coloides. Se encuentran en los tejidos de las plantas. Las pectinas son útiles por su capacidad para formar geles o jaleas con compuestos polihidroxilados, como azúcares o con cantidades diminutas de iones polivalentes. La función biológica de la pectina en las plantas es fijar una gran proporción (alrededor del 30%) de los polisacáridos de plantas (Arroyo, 2002).

Las pectinas son degradadas por enzimas pectinolíticas, *pectinasas*, los cuales presentan gran diversidad, debida en parte a la compleja naturaleza del sustrato degradado. Las plantas y los microorganismos son los principales productores de estos enzimas (Naidu y Panda, 1998).

En general, durante la maduración de los frutos, los tejidos se reblandecen y pierden cohesión, hay un incremento de pectina soluble en agua acompañada de una pérdida de protopectina. Este incremento de pectina soluble en agua se adjunta a la acción de las poligalacturonasas actuando en concierto con otras enzimas tales como las pectinmetilesterasas y varias glicosidasas. Las endopoligalacturonasas rompen los enlaces 1-4 glicosídicos al azar a lo largo de la cadena de urónido. Los dos tipos de enzimas requieren residuos desesterificados. La acción de las exopoligalacturonasas puede estar limitada en que su acción termina cuando hay otros residuos en la cadena como ramnosa (Pagan, 2001).

## **3.9 Identificación de Bacterias**

### **3.9.1 Pruebas presuntivas para identificación de bacterias**

#### **Tinción Gram**

Permite determinar la reacción al Gram de los microorganismos, según el tipo de pared celular que presentan. Además, permite determinar la morfología y agrupación que presentan las bacterias (Sandoval, 2011).

#### **Oxidasa**

Permite detectar la actividad del citocromo C, esta actividad se determina mediante la oxidación de un reactivo indicador como el tetra-metil-parafenilendiamina y se traduce por un color que va desde el rosa al púrpura (Sandoval, 2011).

#### **Catalasa**

La catalasa es un enzima que presentan la mayoría de las bacterias aerobias, cuya función es catalizar la ruptura del agua oxigenada ( $H_2O_2$ ), liberando oxígeno ( $O_2$ ) al medio ambiente (Sandoval, 2011).

#### **Movilidad**

Es un medio que se utiliza para determinar la presencia de flagelos, así como las enzimas descarboxilasa de ornitina y triptofanasa. Por lo tanto, sirve para determinar la movilidad, descarboxilación de la ornitina y producción de indol.

Algunas bacterias poseen flagelos y otras carecen de ellos. Este medio ayuda a diferenciar las móviles de las no móviles (Sandoval, 2011).

#### **Oxidación/Fermentación (O/F)**

El metabolismo de un glúcido puede seguir la vía oxidativa o fermentativa. En vía oxidativa el aceptor final de electrones debe ser el oxígeno y por consiguiente el proceso es aerobio y produce poca acidez, mientras que en vía fermentativa el aceptor final de electrones es un compuesto orgánico y el proceso es anaerobio, originando mucha acidez en poco tiempo (Sandoval, 2011).

### **3.9.2 Sistemas miniaturizados API de Biomerieux**

El sistema estandarizado y miniaturizado se emplea para la identificación de enterobacterias por medio de pruebas bioquímicas.

#### **API 20E**

Es un sistema estandarizado de pruebas bioquímicas para la identificación de bacterias de la familia Enterobacteriaceae y otros bacilos Gram negativos. Consiste en una serie de medios de cultivo deshidratados colocados en pozos a los que se agrega una suspensión bacteriana equivalente a una población  $10^8$  UFC. Permite realizar 23 pruebas bioquímicas a partir de una colonia bacteriana. Este sistema puede identificar 108 géneros y 104 especies de bacterias. Después de la incubación se observan los cambios de color con o sin adición de reactivos de revelado. La lectura de las reacciones se hace de acuerdo con la tabla de lectura y la identificación mediante el sistema "Analytical Profile Index API 20E" o el software "APILAB" (BioMérieux. 2010).

#### **API 20 NE**

Es una galería conformada por 20 microtubos que contienen medios de cultivos específicos de acuerdo a las pruebas detalladas por este sistema, que permite la identificación de bacilos Gram negativos no pertenecientes al grupo de las enterobacterias como por ejemplo *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Moraxella*, *Vibrio*, *Aeromonas*, entre otros (BioMérieux. 2010).

#### 4. MARCO DE REFERENCIA

En un estudio sobre esquilmos de la industria azucarera Gordillo y Chávez (2010); realizaron pruebas para aprovechar los residuos azucareros de forma viable por medio de la elaboración y estandarización del proceso de compostaje y la evaluación de la calidad final del producto. Los tratamientos fueron diferentes combinaciones de materia prima, fuentes de microorganismos y métodos de aireación: cada semana se midieron los parámetros como: temperatura, pH y conductividad eléctrica. La formulación dos (40% bagazo, 30% cachaza y 30% ceniza) tuvo la relación C/N más aceptable, el mejor método de aireación fue por volteos, los microorganismos comerciales mantuvieron una mayor población microbiana durante y al finalizar el proceso. La formulación tres (50% de bagazo, 25% cachaza y 25% ceniza) fue la que presentó la mayor concentración de materia orgánica en el producto final.

Lezcano (2015) usando tres aceleradores de degradación: aquaclean, munox y mezcál artesanal, y un tratamiento testigo determinó el tiempo requerido para el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos orgánicos de la zona urbano en Trujillo Huanchaco. Con el fin de acelerar el proceso de compostaje se inocularon los tres tipos de aceleradores en pilas de materia hecha a base de residuos orgánicos, ganado vacuno y residuos vegetales. Se observó que los aceleradores son útiles en el proceso de compostaje al disminuir el tiempo desde el 16 al 22% del total del tiempo que demora el tratamiento testigo y en los parámetros de calidad y menciona que todos los tratamientos no presentan diferencias significativas entre ellos.

Con el fin de aprovechar y transformar mediante el proceso de compostaje enriquecido con inoculantes microbianos termófilos. Conformado por bacterias autóctonas con actividad amilolítica del orden de 114.5 unidades enzimáticas (UA) y actividad proteolítica de 98.5 UP, siendo estos valores apreciables para generar descomposición de la materia orgánica de forma eficaz y acelerada en los ensayos de ocho semanas para el manejo y aprovechamiento de la fracción orgánica de residuos sólidos. El producto final se obtuvo libre de *Salmonella* sp, presencia de coliformes y *E. coli* con características fisicoquímicas de 11.13% de carbono orgánico oxidable, cenizas 36.1%, C.I.C. de 32.5 meq 100 g<sup>-1</sup>, relación C/N de 9.66, nitrógeno total

1.16%, fósforo total 1.66%, potasio 2.3%, calcio 3.7% y magnesio 1.09%, valores cercanos a lo exigido en la norma ICONTEC-NTC/516, (2004) y Rodríguez *et al.*, (2007).

En otro experimento al monitorear la actividad enzimática proteolítica y celulolítica cuantitativamente en diferentes cantidades de composta en el transcurso de 90 días, en los tratamientos se ocuparon con diferentes relaciones de composta y suelo, montados en pilas de compostaje con fracción orgánica de residuos sólidos. Detecto una gran actividad celulolítica durante 90 días, dado que en los primeros 60 días se notó mas esta actividad de igual manera sucedió con la actividad proteolítica ya que se mantuvo constante durante todo el proceso presentando a los 30 días una actividad alta (Kalil, 2007).

## **5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El aumento del consumo de alimentos genera una gran cantidad de materia orgánica doméstica, la cual requiere de la adición de elementos microorganismos para optimizar su proceso de degradación, y evitar almacenar desechos orgánicos que pueden traer consecuencias para el medio ambiente y la salud humana.

¿Qué opción sostenible ayudara al mejor almacenamiento y al proceso de degradación de los desechos orgánicos domésticos?

## **6. JUSTIFICACIÓN**

Actualmente en el mundo se procesan y consumen una cantidad de productos alimenticios, que cuando no son bien aprovechados, pueden generar una gran diversidad de residuos que se pueden convertir en recursos fuera de lugar como es la basura. Entre los residuos orgánicos están los derivados del procesamiento de alimentos, que usualmente son desechados. Estos residuos a pesar de ser altamente utilizables y poseer un gran potencial, no tienen un uso alternativo a gran escala.

Los métodos actuales de disposición de los residuos domésticos tienden a acumularse en grandes depósitos, con procesos de degradación a largo plazo y el manejo inadecuado, pueden generar un impacto nocivo al ambiente. Entre los principales problemas ambientales está la contaminación de fuentes de agua, con la quema se generan grandes cantidades de gases a la atmósfera, malos olores, alteración del paisaje, entre otros.

Por lo que, es importante desarrollar biotecnologías alternativas, que permitan degradar y aprovechar los residuos domésticos. El uso de microorganismos con actividad celulolítica, pectinolítica, proteolítica, etc., constituye una opción viable para dar una solución a la problemática de los residuos vegetales, para la obtención de productos agroindustriales de valor agregado.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general**

Aislar y caracterizar bacterias que ayuden a la degradación de residuos vegetales para disminuir el tiempo de producción de la formación de composta.

### **7.2 Objetivos específicos**

1. Aislar bacterias con actividad proteolítica, celulolítica y pectinolítica utilizando diferentes medios de cultivo.
2. Seleccionar las bacterias con actividad por medio del crecimiento y por los halos de degradación de diferentes fuentes de carbono.
3. Identificar bacterias a través de sus actividades enzimáticas utilizando en sistema API.
4. Desarrollar pruebas de degradación de residuos vegetales utilizando las bacterias más eficientes en sus diferentes actividades.
5. Verificar la calidad de los inóculos generados con pruebas de vida de anaquel.
6. Caracterizar física y químicamente la formación de la composta generada a través de la aplicación de diferentes bacterias degradadoras de residuos orgánicos.

## **8. HIPÓTESIS**

La aplicación de bacterias con diferente actividad enzimática disminuye el tiempo de degradación de residuos vegetales para formar productos de uso agroindustrial.

## **9. DISEÑO DE LA INVESTIGACION**

### **Tipo de estudio**

Se realizó la evaluación del tiempo de degradación de la materia orgánica domestica utilizando bacterias con actividad celulolítica, proteolítica y pectinolítica.

### **Tamaño de la muestra**

Corresponde a ocho tratamientos con tres repeticiones: siete de ellos inoculados con baterías con diferente actividad enzimática y un control.

### **Sede y lugar de estudio**

Se realizó en el laboratorio e invernadero pertenecientes al Laboratorio de Microbiología de Suelos, del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas, de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Ubicado en Ciudad Universitaria, Puebla, Puebla.

### **Periodo de muestreo**

Septiembre – Noviembre 2016

### **Criterios de inclusión**

Para los tratamientos:

Bacterias aisladas de diferentes compostas como: composta de café, composta doméstica, composta bovina, lombricomposta y composta de residuos orgánicos forestales

Se evaluó la calidad de las compostas formadas por medio de la norma para medir su nivel madurez y estabilidad, según lo establece la NMX-FF-109-SCFI-2007:

### **Criterios de exclusión**

Para los tratamientos: se excluye aquellas bacterias que no presentan actividad enzimática.

### **Análisis estadístico de la información**

Se analizó por el método de análisis de varianza y para diferenciar entre los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey a  $P=0.05$  de significancia, de acuerdo al programa Statistics.

### **Recursos humanos**

Miembros del cuerpo académico de Microbiología de suelos BUAP CA-99 integrado por:

Director de tesis: MC. Moisés Graciano Carcaño

Montiel Codirectora de tesis: Dra. Lucia López Reyes

Tesista becaria: Yolanda Ruíz Hernández

Personal de apoyo técnico especializado:

Ing. Agrof. Elizabeth Portillo Manzano

Bióloga Leticia Gómez Velázquez

### **Recursos materiales**

Material de vidrio y plástico, equipos, medios de cultivo y reactivos que fueron suministrados por el Laboratorio de Microbiología de Suelos del Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas y los residuos sólidos orgánicos de frutas y verduras fueron donados por locatarios del mercado Emiliano Zapata.

### **Recursos financieros**

Esta investigación fue financiada por el Proyecto: CONACYT PEI 242723

“Compostero Smart de alta eficiencia con un súper acelerador microbiano para zonas urbanas”

Subproyecto: Desarrollo de un acelerador microbiano de alta eficiencia para residuos orgánicos domésticos Y por los programas Institucionales "BIOFERTIBUAP Y BIOFOSFOBUAP.

## **10. MATERIALES Y MÉTODOS.**

### **10.1 Recolección de compostas y aislamiento de bacterias con actividades de degradación de residuos orgánicos.**

Para el aislamiento y la recolección de bacterias degradadoras de celulosa se partió de cinco compostas de diferente procedencia, para lo cual se preparó el medio de cultivo selectivo para celulolíticos (Atlas, 1995).

1. Composta de café la cual se sometió a propagación en un medio enriquecido: caldo soya tripticaseína (TSA).
2. Lombricomposta proporcionada por el Departamento de Investigación de Ciencias Agrícolas (DICA), del ICUAP.
3. Composta formada por desechos orgánicos domésticos.
4. Composta de ganado bovino proporcionada por la Empresa Productores de Ovinos y Caprinos de México ubicada en el municipio de Tepeyahualco de Cuauhtémoc, Puebla.
5. Residuos orgánicos forestales de los bosques del Municipio de Zautla, Puebla.

De estas últimas cuatro compostas se pesó 1.0 g de cada una, para depositar en 9 mL de agua destilada estéril para hacer diluciones de -1 a -7. Se sembraron las diluciones - 5, -6 y -7 con ayuda de un asa de vidrio se sembró en diferentes medios: Agar Soya Trypticaseína, Agar Czapek Dox, Agar Dextrosa Papa, Agar MacConkey y Medio Selectivo para Celulolíticos; esto con la finalidad de contabilizar las unidades formadoras de colonias (UFC) y seleccionar las bacterias de cada composta con actividad celulolítica para purificarlas, propagarlas en medio agar soya tripticaseína (TSB).

## 10.2 Actividad enzimática

### 10.2.1 Actividad celulolítica

Para la determinación de esta actividad se utilizó el medio selectivo para celulolíticos, de acuerdo a lo descrito por Manfredi et al., (2015), para lo cual se depositó de 1 a dos colonias (de cada bacteria aislada de las compostas) directamente de la placa a los tubos con caldo soya tripticaseína (TSA) para dejarlos en agitación por 24 horas a aprox. 35°C, 24 horas después ajustarles la población con el nefelómetro # 4 de McFarland (que equivale a  $1.2 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup>)

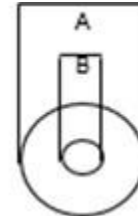
Posteriormente se sembró en las placas con el medio selectivo para celulolíticos usando el replicador de Sterr por triplicado, se dejaron en incubación a 35°C para que a las 24 horas posteriores se realizó la lectura midiendo con el vernier los halos formados alrededor de las colonias, posteriormente se dejaron en incubación hasta las 48 horas y realizar la última medición con la siguiente formula: descrita en la Figura 1.

$$\text{Índice de Solubilización} = A/B$$

Donde:

A= Diámetro de la colonia + zona del halo

B= Diámetro de la colonia



**Figura 1** Determinación del índice de degradación del material orgánico

### 10.2.2 Actividad proteolítica

La actividad proteolítica se utilizó el medio Agar-Leche el cual se realizó disolviendo 2.0 gramos de leche descremada en polvo en 10 mL de agua destilada, por otro lado se preparó una suspensión en 90 mL de caldo nutritivo, se esterilizó 15 min en recipientes separados la leche y el medio, se dejó enfriar y se mezcló la leche al medio para después agitar cuidadosamente y verter en cajas Petri estériles.

Con las bacterias aisladas de las diferentes compostas se sembraron en tubos con caldo TSA para dejar en agitación por 24 horas a 30°C. Transcurrido el tiempo se ajustó la población de las bacterias con el nefelómetro # 4 de McFarland (que equivale

a  $1.2 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup>). Posteriormente con ayuda del replicador se sembraron las bacterias en las placas de Agar-Leche por triplicado.

Transcurridas las 24 de incubación a 35°C se midió con el vernier el halo formado alrededor de la colonia y transcurridas las 48 horas se midió por última vez con el vernier (Inat, 2016).

### **10.2.3 Actividad Pectinolítica**

Para la medición de la actividad pectinolítica se realizó el medio Pectin Medium (Atlas, 1995). Las bacterias aisladas de las compostas se sembraron en tubos de caldo TSA para dejarlos en incubación por 24 horas a 30°C en agitación.

Transcurrido el tiempo se ajustó población de bacterias con el nefelómetro # 4 de McFarland que equivale a  $1.2 \times 10^9$  ufc mL<sup>-1</sup> y con ayuda del replicador se sembraron las bacterias en el medio Pectin Medium por triplicado y se dejaron en incubación a 30°C.

A las 24 y 48 horas después se observaron los resultados teniendo como positivo (+) el crecimiento de la cepa en la placa o como negativo (-) el no crecimiento de la bacteria en la placa (Feoli *et al.*, 1997).

### **10.3 Identificación de Bacterias**

Para la identificación de bacterias se realizaron las pruebas presuntivas de: oxidasa, catalasa, movilidad, OF, Tinción de Gram y teniendo estos datos se utilizó el sistema miniaturizado API 20E y API 20NE de Biomerieux.

### **10.4 Control de calidad del consorcio microbiano**

Las cinco bacterias seleccionadas para los tratamientos y la mezcla de ellas se sembraron en caldo TSA, se realizó una cuenta total por diluciones decimales, este conteo se realizó cada 30 días para verificar la población bacteriana en cada uno de los inóculos (Cuadro 1)

### 10.5 Experimento de invernadero

Se colectaron desechos orgánicos consistentes de restos de frutas y verduras, se trituraron, se llenaron las cajas de plástico con un peso inicial uniforme de 800 g, como se muestra en las Figuras 2 y 3



**Figura 2** Desperdicio de frutas y verduras en mercados



**Figura 3** Triturado de frutas y verduras

Con las bacterias debidamente caracterizadas se seleccionarán cinco cepas con diferente procedencia para después realizar un experimento de degradación de materiales orgánicos (residuos de frutas y verduras de mercado) y que consisten en tratamientos con bacterias solas, mezcla de ellas y un control por triplicado (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Tratamientos, clave de cepas y volumen de inóculo agregado a las cajas con residuos orgánicos.

Tratamientos (Clave de cepas)	Volumen de inóculo
Cepa 1: TLTB25	7.5 mL
Cepa 2: TLTB27	7.5 mL
Cepa 3: MPcom1	7.5 mL
Cepa 4: TZB31	7.5 mL
Cepa 5: IQ2-2	7.5 mL
Mezcla TLTB27 + TZB31	7.5 mL
Mezcla de cepas 1, 2, 3, 4 y 5.	7.5 mL
Control	7.5 mL

Se les aplicó el inóculo bacteriano (Figura 4) en las cajas llenas del material orgánico con sus respectivos tratamientos con 5 atomizadas, la cual cada una equivale a 1.5 mL y en total se le agregaron 7.5 mL de inóculo por cada muestra (Figura 5) se dejaron 49 días para observar la degradación del material.

De acuerdo al avance que tenía la degradación del material orgánico, se llegó a la determinación de hasta 49 días, se realizaron las últimas mediciones de peso, volumen y pH de los líquidos colectados de los residuos generados



**Figura 4** Suspensiones bacterianas con efecto biodegradador de la materia orgánica.

Cada semana se realizaron 3 medidas a las cajas: peso, volumen y pH del lixiviado. También se volvieron a inocular las cajas con su tratamiento correspondiente poniendo

5 atomizadas que equivale una a 1.5 mL en total se le inocularon 7.5 mL a cada muestra. Por diferencia de peso se observara cual tratamiento es el más efectivo y rápido para la degradación de la materia orgánica.



*Figura 5 Aplicación del consorcio bacteriano sobre los restos vegetales*

#### **10.6 Pruebas Basadas en la NMX-FF-109-SCFI-2007**

Teniendo los resultados y la Materia orgánica convertida en composta se le realizaron una serie de diferentes pruebas las cuales se basaron en la NMX-FF-109-SCFI-2007 que establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz.

- Determinación del pH
- Determinación de conductividad eléctrica
- Determinación de humedad por el método gravimétrico
- Determinación de materia orgánica por calcinación
- Determinación de la relación carbono – nitrógeno
- Determinación de la densidad aparente
- Determinación de Nitrógeno Total Método Kjeldahl

## 11. RESULTADOS Y DISCUSION

### 11.1 Aislamiento y selección de bacterias con actividad enzimática de las diferentes muestras de compostas.

Para realizar el aislamiento y selección de bacterias con actividad celulolítica, proteolítica se determinaron diferentes índices de degradación. Se monitoreo el halo de degradación en medio selectivo para cada actividad durante 48 horas.

**Cuadro 2.** Actividad Enzimática de bacterias aisladas de diferentes compostas

Origen	Cepa	Índice de Actividad Celulolítica	Índice de Actividad Proteolítica	Actividad Pectinolítica
Café	IQ2-2	0.607 ± 0.095 a	0.77 ± 0.082 a	+
	5Qa1	-	-	+
	2Q	-	0.642 ± 0.037 a	+
Composta Casera	MPcom1	-	0.728 ± 0.068 a	-
	MPcom2	-	0.66 ± 0.093 a	-
	MPcom3	-	0.645 ± 0.045 a	-
	TLTB20	0.628 ± 0.068 a	0.812 ± 0.145 a	-
	TLTB21	0.587 ± 0.064 a	-	-
Lombricomposta	TLTB22	-	-	-
	TLTB24	0.519 ± 0.162 a	0.65 ± 0.198 a	-
	TLTB25	0.435 ± 0.095 a	0.81 ± 0.117 a	+
Ganado Bovino	TLTB26	0.282 ± 0.013 b,c,d,e	0.536 ± 0.044 a	-
	TLTB27	-	-	+
	TZB29	0.567 ± 0.09 a,b	0.477 ± 0.055 b,c,d	+
Residuos Forestales	TZB30	0.324 ± 0.021 b,c,d,e	0.379 ± 0.008 b,c,d,e,f	+
	TZB31	0.345 ± 0.051 b,c,d	0.296 ± 0.018 b,c,d,e,f,g,h	+
	TZB32	0.553 ± 0.041 a,b	0.5 ± 0.097 a,b,c	+

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

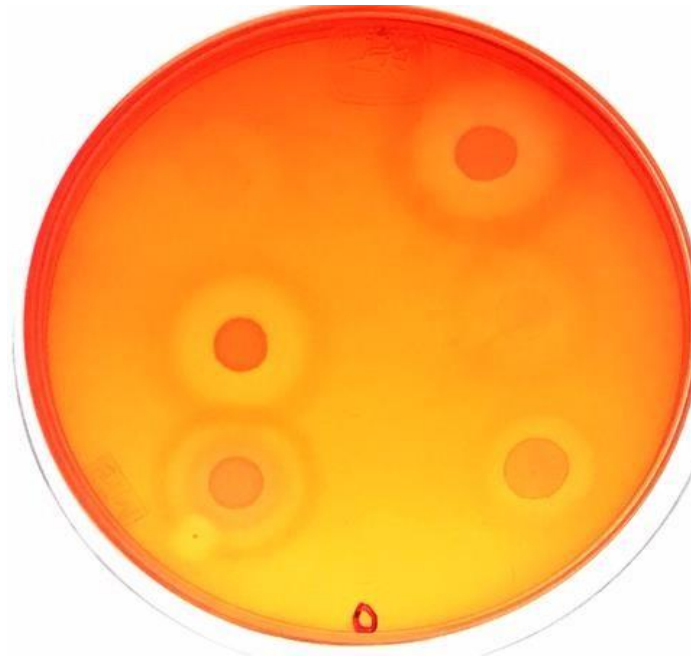
+: Crecimiento en caja

-: No presento crecimiento en caja

En la actividad celulolítica las cepas IQ2-2, TLTB20, TLTB21, TLTB24 y TLTB25 no presentaron diferencia estadística significativa entre ellas, sin embargo, presentan los valores más altos de índice de degradación que va desde 0.628 a 0.435. También las cepas TLTB26 y TZB31 presentaron diferencia estadística significativa pero por el contrario representan los valores más bajos en índice de degradación de 0.282 y 0.345 respectivamente (Cuadro 2).

En la selección de las bacterias celulolíticas se utilizó el medio Agar Carboximetilcelulosa se logró determinar por los halos alrededor de la colonia. El método permite visualizar la capacidad del colorante rojo Congo de adherirse a la carboximetilcelulosa tornándose la placa de color rojo, al ser degradado este sustrato por el complejo enzimático celulasa; además es posible observar el crecimiento de microorganismos que no generan halos alrededor de su colonia, al carecer del sistema enzimático para liberar celulasas, en crecimiento de otras bacterias en el medio de cultivo posiblemente de deba a que han utilizado algunos otros componentes como son el extracto de levadura, peptona, o bien los azúcares formados por los microorganismos celulolíticos. De acuerdo a Rodríguez *et al.* (2007) mencionan que la variación del índice de degradación a través de la formación del halo, puede deberse porque hay microorganismos que producen más enzimas celulasas que otras, esto es debido al complejo enzimático o al mecanismo de hidrólisis que poseen para degradar este sustrato. En este caso la cepa TLTB20 que produce las enzimas celulasas con un índice de 0.628. (Figura 6), también se han empleado criterios microbiológicos clásicos, donde se seleccionan un conjunto de aislados bacterianos de acuerdo con su potencial celulolítico, como producción de halo prominente de celulosa en placa Petri y /o evidencia de degradación del papel filtro (Manfredi *et al.*, 2015). Por otra parte, muchas especies microbianas son capaces de lograr la transformación de la pared celular de la planta produciendo un extenso repertorio de enzimas dirigidas a la degradación de la estructura compuesta de celulosa, esto es comúnmente producido por múltiples microorganismos con capacidades complementarias, estas características han sido evaluadas mediante el uso de varios

enfoques, como la selección de consorcios microbianos capaces de degradar de manera eficiente la biomasa de la planta (Okeke y Lu, 2011).



**Figura 6** Halo de degradación de la carboximetilcelulosa, muestra la actividad celulolítica de las bacterias.

En la prueba de actividad proteolítica (Figura 7) se monitoreo el halo de degradación en medio Agar-Leche durante 48 horas. Se observa en el Cuadro 2, las cepas IQ2-2, 2Q, MPcom1, MPcom2, MPcom3, TLTB20, TLTB24, TLTB25 y TLTB26 no presentaron diferencias significativas, sin embargo las cepas TLTB20 y TLTB25 tiene los valores más altos de índice de degradación que van de 0.812 a 0.8. Por otro lado, la cepa TZB31 tiene diferencia significativa con todas las cepas y por lo tanto representa el valor más bajo de índice de degradación con un valor de 0.296.

Cruz *et al.* (2018) mencionan que la abundancia de bacterias proteolíticas es mayor a la de bacterias celulolíticas en todos los casos, probablemente como consecuencia de que las fuentes proteicas son de más fácil degradación que la celulosa, ya que es un polímero más complejo, también menciona que los hongos y bacterias pueden actuar e diferentes etapas durante el proceso de composteo.

La población proteolítica se presenta en mayor proporción posiblemente porque la materia orgánica presente en el contenido ruminal contiene nitrógeno orgánico disponible de rápida degradación, mientras el pasto predigerido aun contiene fuentes de carbono completas constituido por celulosa y hemicelulosa, con una relación C/N de 150:1, hacen más lenta su degradación esto sugerido por Rodríguez *et al.*, (2007).



**.Figura 7.** Halo de degradación en medio agar leche donde se observa la actividad proteolítica en las bacterias ensayadas

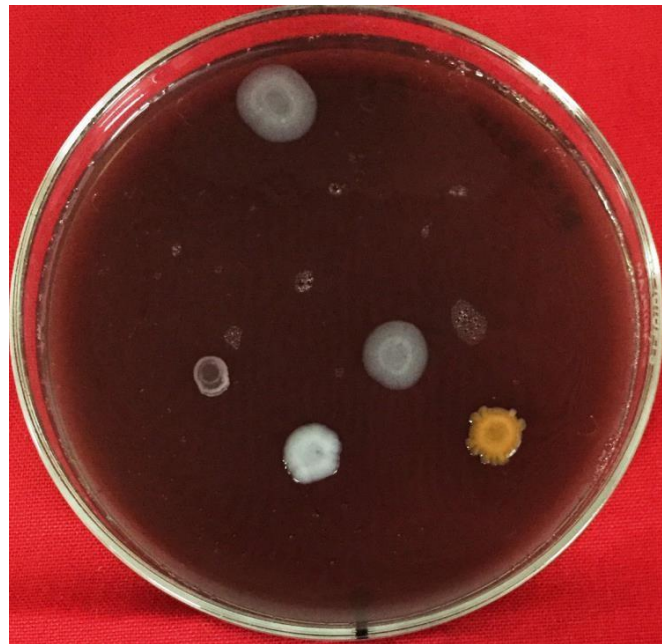
Para la evaluación de la actividad pectinolítica se monitoreo el crecimiento en medio selectivo para pectinolíticas durante 48 h, las cepas que presentaron crecimiento se les denomino positivas (+): IQ2-2, 5Qa1, 2Q, TLTB25, TLTB27, TZB29, TZB30, TZB31 y TZB32, mientras que las cepas que no presentaron crecimiento fueron negativas (-): MPcom1, MPcom2, MPcom3, TLTB20, TLTB21, TLTB22, TLTB24 y TLTB26.

Las bacterias que presentaron crecimiento positivo son resultado de la producción de las pectinasas, es decir, enzimas que degradan la pectina. La pectina forma parte de la pared vegetal, su degradación favorece la descomposición natural de los vegetales.

Para que las bacterias crecieran en el medio fue necesario que degradaran la estructura que producen pectinasas, cuya expresión se regula con base en la fuente

de carbono que está disponible, según Martínez *et al.*, (2008).

Las bacterias que no presentaron crecimiento alguno podría deberse a que las actinobacterias a pH de 5.5 y a todas las temperaturas de incubación al igual que a pH de 8.5 y 55 °C de incubación no presentan una actividad pectinolítica. Esto podría explicarse de acuerdo a Camacho *et al.*, (2014), que menciona que las enzimas pectinolíticas son inhibidas a valores de pH ácidos y a cualquier temperatura como las bacterias y las actinobacterias.



**Figura 8** Crecimiento bacteriano con actividad pectinolítica.

Es importante tener en cuenta que la distribución observada de los aislados, en este trabajo esta necesariamente asociada con la diversidad bacteriana encontrada en las muestras analizadas. El enfoque basado en los diferentes medios de cultivo utilizados nos llevó a obtener cepas con actividades de acuerdo a los medios de cultivo y los componentes clave de las muestras de origen. También cabe hacer mención que algunos de los aislados durante el proceso de purificación podrían haber perdido su actividad. Otros estudios dependientes de los medios de cultivo que utilizan procedimientos de enriquecimiento para aislar (Manfredi *et al.*, 2015).

## 11.2 Identificación de bacterias a través del sistema API

Se realizó la identificación de las bacterias aisladas de diferentes orígenes: Bacterias aisladas de composta de café, lombricomposta, composta doméstica, composta de estiércol de ganado bovino y residuos orgánicos forestales; las cuales se determinó por el sistema API de Biomerieux obteniendo las siguientes identificaciones descritas en el Cuadro 3

**Cuadro 3** . Origen y Nombre por género de bacterias aisladas de diferentes compostas.

Origen	Clave	Identificación API
Café	2Q	<i>Shingomonas</i> sp.
	5Qa1	<i>Acinetobacter iwoffii</i>
	IQ2-2	<i>Stenotrophomonas maltophilia</i>
Composta casera	MPcom1	<i>Ochrobactrum anthropi</i>
	MPcom2	<i>Ochrobactrum anthropi</i>
	MPcom3	<i>Brevundimonas vesicularis</i>
Lombricomposta	TLTB20	<i>Pseudomonas luteola</i>
	TLTB21	<i>Sphingomonas paucimobilis</i>
	TLTB22	<i>Pseudomonas stutzeri</i>
	TLTB24	<i>Brevundimonas vesicularis</i>
	TLTB25	<i>Proteus</i> sp.
Estiércol Ganado bovino	TLTB26	<i>Brevundimonas vesicularis</i>
	TLTB27	<i>Alcaligenes</i> sp
Residuos Forestales	TZB29	<i>Burkholderia</i> sp.
	TZB30	<i>Aeromonas</i> sp.
	TZB31	<i>Chryseobacterium indologenes</i>
	TZB32	<i>Pseudomonas fluorescens</i>

A pesar de la gran variedad de cepas bacterianas que se encontraron en las diferentes

compostas, Morales *et al.*, (2014) aislaron de suelos húmedos cepas con actividad celulolítica como: *Cytophaga* sp., *Corynebacterium* sp., *Vibrio* sp., *Pseudomonas* sp., *Bacillus* sp., *Cellulomonas* sp., *Microbispora* sp., *Thermomonospora* sp. Esto nos lleva a que existen dos *Pseudomonas* encontradas de Lombricomposta y una de residuos forestales en los que existe suelo húmedo con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su presencia.

### 11.3 Pruebas de degradación de residuos vegetales utilizando las bacterias más eficientes en sus diferentes actividades

Con base en los estudios realizados, se seleccionaron las cinco mejores cepas, como se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4** Porcentaje de degradación final con respecto al peso.

Tratamiento	%
T1 <i>Proteus</i> sp.	5.50
T2 <i>Alcaligenes</i> sp.	7.25
T3 <i>Ochrobactrum anthropi</i>	7.12
T4 <i>Chryseobacterium indologenes</i>	8.25
T5 <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	9.25
T6 <i>Alcaligenes</i> sp. + <i>Chryseobacterium indologenes</i>	9.75
T7 Mezcla de Tratamientos T1,T2,T3,T4 y T5	6.12
Control	7.75

Cariello *et al.*, (2007) nos dice que *Bacillus* presenta la capacidad de degradar una enorme variedad de derivados de los tejidos animales y vegetales (celulosa, almidón, pectina, proteínas, agar) y además intervienen en los procesos de nitrificación y fijación biológica de nitrógeno. Esto quiere decir que existen más bacterias capaces de

degradar celulosa, como las que se han encontrado. Por otro lado, *Pseudomonas fluorescens*, producen amilasas que degradan el almidón, además produce proteasas, glucoamilasas y pectinasas. Estas dos tienen la capacidad de degradar la materia orgánica.

Otro estudio por Escobar et al. (2012) demostró que una composta de residuos orgánicos de fincas cafeteras se aislaron cinco géneros del grupo de bacterias Gram negativa (*Enterobacter*, *Escherichia*, *Morganella*, *Proteus* y *Pseudomonas*). Siendo el género más representativo, *Pseudomonas*, se identificó: *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas stutzeri*. Esto coincide con los resultados encontrados en este trabajo, donde en los Residuos Forestales, Lombricomposta y Composta de casa, se aislaron los mismos géneros: *Proteus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Pseudomonas stutzeri*.

Para evaluar la degradación de residuos vegetales se montó un experimento a nivel invernadero el cual consistió en recolectar desechos de basura orgánica para después triturarla de modo uniforme, esto citando a Altamirano y Cabrera, (2006) que dice que de la consistencia de los restos vegetales (materiales más finos que han sido triturados fermentan más rápido) depositados en canastos de plástico y depositados en recipientes no herméticos se pusieron 800 g de basura orgánica en cada canasto. De acuerdo con los resultados, la actividad enzimática mostrada en la medición de halos, se eligieron cinco cepas diferentes las cuales se definieron en siete tratamientos y con un Control: T1 (TLTB25), T2 (TLTB27) TLTB2), T3 (MPcom1), T4 (TZB31) (7), T5 (IQ2-2), T6 (TLTB27+TZB31), T7 (mezcla T1+T2+T3+T4+T5) y Control (Cuadro 5).

**Cuadro 5**

Peso final de los residuos orgánicos a partir de la adición de bacterias con actividad enzimática en la transformación del material orgánico.

Tratamiento	Peso (g) de residuos orgánicos por día.						
	7	14	21	28	38	42	45
TLTB25	526.66	418	305.66	225.33	154.33	120.66	57.66
TLTB27	541.33	437.66	314.66	259.33	164	131	66.33
MPcom1	558	442.66	312.33	240.33	154.33	126.33	58
TZB31	566.33	441	313.33	251.66	169	139	74.33
IQ2-2	563.66	420	287	205	131.33	111.33	44.66
TLTB27 + TZB31	560.33	447.6	320	245	166.33	141.33	78.66
TLTB25 + TLTB27 + MPcom1 + TZB31 + IQ2-2	545	401	270	209	128.66	107	49
Control	532	378.33	254	186.33	137.33	115.66	62.66

Con estos mismos se preparó un inóculo para que semanalmente se rociaran con 5 atomizadas, cada una equivale a 1.5 mL que en total se agregaron 7.5 mL. Al tratamiento control solo se adiciono agua estéril, posteriormente se movió la materia orgánica y por último se midió el volumen de lixiviados y se pesó caja por caja para observar la cantidad de disminución de materia restándole los 49.0 g que ocupa el canasto vacío.

En las dos primeras semanas los pesos de los siete tratamientos disminuyeron gradualmente lo que significa que gracias a los microorganismos inicio la fase mesófila que aumento la temperatura hasta 45°C; y por lo que explico que en la semana dos el control no tuvo una marcada disminución de peso ya que no se le inocularon microorganismos (esto evaluado en 14 días). Sin embargo Camero *et al.* (1999) realizo un estudio en el cual utilizo dos métodos para la observar la variación de parámetros en el proceso de compostaje durante 165 días, en el monitoreo de temperatura se observó que la etapa mesófila tuvo una duración de sólo dos días en los dos procesos variando desde 17 °C hasta una temperatura máxima de 62°C. Y el porcentaje de materia orgánica disminuyo en los dos procesos a medida que transcurre el tiempo de compostaje, la disminución es más pronunciada en las primeras ocho semanas, esto podría explicar por qué la materia orgánica de los tratamientos disminuyó la cantidad en peso.

Lezcano (2015) evaluó tres formulaciones para acelerar el compostaje por lo que incrementando el número de microorganismos en residuos sólidos de naturaleza orgánica. Llego a la conclusión de que el tiempo que tarda el proceso de compostaje sin usar ningún inóculo es de 129 días, usando los aceleradores disminuye desde 31 días hasta 24 días. Lo que nos conlleva a que gracias a los microorganismos se puede degradar más rápido la materia orgánica que sin ayuda del consorcio microbiano, además gracias a los microorganismos la materia orgánica disminuyo más como lo vemos en la Figura 9, en cambio sin ayuda del consorcio bacteriano la materia orgánica no se degrado de igual forma ni en tiempo como lo vemos en el tratamiento control.

Rodríguez *et al.* (1997) señalan que esta disminución se debe a la oxidación del carbono a dióxido de carbono y a la pérdida de humedad es por eso que nuestros valores al transcurrir el tiempo y con ayuda de los microorganismos disminuyeron la masa del material original.



**.Figura 9** Grado de degradación de la materia orgánica con diferentes tratamientos bacterianos.

#### **11.4 Verificación de la calidad de los inóculos generados con pruebas de vida de anaquel**

Para la evaluación de los inóculos se hicieron diluciones y se sembraron: -4,-5 y -6 para cada tratamiento en placas de TSA (agar soya tripticaseína) realizando un conteo total. Carriello *et al.* (2007) durante 20 semanas activaron el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos por medio de inóculos bacterianos, con una concentración de  $1 \times 10^7$  UFC mL<sup>-1</sup> y lo aplicaron por aspersión 2 mL. En el presente trabajo se inocularon 7 mL en cada tratamiento; estos autores tomaron alícuotas a

distintos tiempos para efectuar recuento en placa y la que tuvo más crecimiento fue *Pseudomonas* sp. En nuestro caso la bacteria *Chryseobacterium indologenes* fue la de mayor crecimiento en el primer mes de monitoreo como se muestra en el Cuadro 6.

**Cuadro 6** Conteo de poblaciones bacterianas en los tratamientos bacterianos utilizados en la transformación de materiales orgánicos.

Tratamiento	Meses					
	1	2	3	4	5	6
TLTB25	$30 \times 10^7$	$104 \times 10^7$	$19 \times 10^7$	$61 \times 10^6$	$39 \times 10^6$	$81 \times 10^5$
TLTB27	0	$286 \times 10^5$	$63 \times 10^7$	$78 \times 10^7$	$34 \times 10^7$	$47 \times 10^6$
MPcom1	$30 \times 10^7$	0	$10 \times 10^7$	$95 \times 10^7$	$40 \times 10^6$	$37 \times 10^5$
TZB31	$62 \times 10^7$	$149 \times 10^7$	$215 \times 10^6$	$55 \times 10^7$	$120 \times 10^6$	$51 \times 10^6$
IQ2-2	$13 \times 10^7$	$82 \times 10^7$	$205 \times 10^5$	$125 \times 10^7$	$39 \times 10^7$	$44 \times 10^6$
TLTB27 + TZB31	$30 \times 10^7$	$173 \times 10^7$	$72 \times 10^7$	$155 \times 10^6$	$31 \times 10^6$	$110 \times 10^6$
TLTB25 + TLTB27 + MPcom1 + TZB31 + IQ2-2	$10 \times 10^7$	$231 \times 10^7$	$67 \times 10^6$	$35 \times 10^7$	$92 \times 10^6$	$253 \times 10^6$

Nota: valores expresados en unidades formadores de colonias

Barrera y Charry (2008) evaluaron una formula microbiana amilolítica a partir del compostaje de residuos de lechuga; con un inoculante mixto formado por cinco cepas de microorganismos amilolíticos, este permitió acelerar el proceso en un principio, sin embargo las características finales fueron similares al control especialmente en el contenido de materia orgánica.

### **11.5 Caracterización física y química de la composta generada a través de la aplicación de diferentes bacterias degradadoras de residuos orgánicos.**

La calidad que una composta se basa en la NMX-FF-109-SCFI-2008 la cual establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el humus de lombriz que se produce o se comercializa en territorio Nacional.

Tomando como referencia la norma, aunque hay que aclarar que la composta formada procede de un proceso realizado a través de la acción de bacterias con actividades específicas y no de lombrices. Se utilizaron los métodos que indica para determinar: conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono/nitrógeno, humedad y densidad aparente. Los valores de especificaciones físicas y químicas se muestran en el Cuadro 7 donde se comparan los valores obtenidos en los tratamientos con los valores de referencia.

#### **Conductividad Eléctrica (CE)**

La concentración de sales solubles presentes en la solución de un sustrato se mide mediante la CE como una medida de la capacidad de un material de conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo, y significa que a mayor CE mayor es la concentración de sales, Se recomienda que la CE de un sustrato como la composta sea baja, en lo posible menor a 1 dS m<sup>-1</sup>, esto puede facilitar el manejo de la fertilización y se evitan problemas de toxicidad en los cultivos Barbaro et al. (2014). La conductividad eléctrica encontrada en los tratamientos, indica que todos los valores están dentro del intervalo de referencia ya que todos son  $\leq 4$  dS m<sup>-1</sup> lo cual indica que la calidad es buena de acuerdo con Gordillo et al. (2010), la conductividad eléctrica aumenta durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, lo que produce un aumento o disminución en la concentración de nutrientes, debido a la lixiviación provocada por una humectación excesiva.

**Cuadro 7** Parámetros físicos y químicos de la materia orgánica con diferentes tratamientos bacterianos y sus valores de referencia.

Tratamientos	Conductividad Eléctrica <sup>ω</sup> dS m <sup>-1</sup>	Materia orgánica %	Nitrógeno %	Relación C/N	Humedad %	Densidad Aparente g mL <sup>-1</sup>
<b>Valores de Referencia</b>	≤ 4	20 a 50	1 a 4	≤20	20 a 40	0.40 a 0.90
T1 ( TLTB25 )	0.75	14.74±0.014 a	4.00±0.001 a	2.13±0.188 a	69.22±6.454 a	0.41±0.015 a
T2 (TLTB27)	0.85	7.65±0.022 b	3.68±0.005 b	1.19±0.189 a	73.78±6.696 a	0.42±0.070 a
T3 (MPcom1)	0.83	6.31±0.027 b	3.68±0.003 b	0.97±0.329 a	77.69±1.477 a	0.42±0.010 a
T4 (TZB31)	0.79	5.50±0.011 b	3.79±2.166 b	0.77±0.168 b	77.64±10.045 a	0.43±0.012 a
T5 (IQ2-2)	0.82	8.35±0.004 a	3.83±0.002 ab	1.26±0.077 a	78.36±5.109 a	0.45±0.029 a
T6 (TLTB27 + TZB31)	0.85	8.99±0.029 a	2.57±0.014 bc	2.63±0.316 a	79.24±2.916 a	0.42±0.023 a
T7 (Tratamientos T1,T2,T3,T4 y T5)	0.7	18.90±0.041 ab	3.47±0.004 ab	3.23±1.061 ab	53.62±20.498 ab	0.44±0.025 a
CONTROL	0.4	21.14±0.003 ab	3.41±0.003 bcd	2.77±0.018 bc	46.75±29.491 b	0.53±0.057 b

\*Diferentes letras en la misma columna indican diferencia estadística significativa de acuerdo a la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ).

ω: No se realizaron análisis estadísticos por tener solo una muestra.

### **Materia Orgánica (MO%)**

Al evaluar la materia orgánica derivada de materiales orgánicos y transformada a través de bacterias (Cuadro 7), los valores obtenidos en todos los tratamientos están por abajo del valor reportado en la norma (20-50%) a excepción del tratamiento control, el cual presenta un mayor contenido de materia orgánica, cabe recordar que al tratamiento control no se le agregó el inoculante bacteriano, sino solo agua estéril y la descomposición se realizó en forma natural. En cambio todos los demás tratamientos fueron inoculados con cepas bacterianas, con presencia de enzimas celulolíticas, proteolíticas y pectinolíticas, las cuales ayudaron a acelerar el proceso de descomposición del material orgánico. La disminución en el contenido de materia orgánica en los tratamientos inoculados, puede ser que ya se ha estabilizado y pudo haberse transformado hasta sustancias húmicas o fúlvicas como lo describen Soliva y López (2004). De acuerdo con Kalil (2007) la descomposición de la materia orgánica se debe a poblaciones de microorganismos; lo que implica que en los tratamientos con bacterias el material orgánico se degrada y en el control no lo suficiente. Este mismo autor indica que la tasa de descomposición depende de la eficacia de las bacterias y la capacidad del suelo para proporcionar donantes de electrones.

Lezcano (2015) menciona que la cantidad de materia orgánica presente en las compostas se obtiene por la participación de microorganismos, tanto naturales como artificiales que intervienen en el proceso de compostaje, y varía en función de la evolución de la temperatura, nutrientes, oxígeno, pH, etc. Este autor utilizó tres aceleradores microbianos y un testigo el cual no presentó ninguno, todo esto para disminuir el tiempo de residuos sólidos urbanos, por lo que la MO% van desde el 43.2% - 37.6% lo que significó que también influyeron los microorganismos para la degradación.

## **Nitrógeno Total**

En relación al contenido de nitrógeno total, en el Cuadro 7 de acuerdo a la NMX-FF-109- SCFI-2008 menciona que una composta debe tener una concentración de nitrógeno total del 1 a 4%. El nitrógeno es uno de los nutrimentos más importantes en una composta, cuando se analiza su contenido total se refiere a la suma de sus formas inorgánicas (amonio, nitrato y nitrito) y orgánicas como: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos y otros compuestos orgánicos que tengan nitrógeno en su estructura).

En este parámetro los valores que se reportan entran en lo estipulado por la norma. Por otro lado, se le realizó la prueba de Tukey la cual nos dice que el tratamiento 1 presento una diferencia significativa con los demás tratamientos dando el valor mayor de 4% esto como consecuencia pudo traer según Kalil (2007) que al ver mucho nitrógeno prolifera el crecimiento de la microbiota y acelera la descomposición, lo cual puede crear problemas de mal olor y alta demanda de oxígeno lo que produce condiciones anaerobias. Por otro lado cuando existe poco nitrógeno la población microbiana no crece y la transformación es lenta; esto es claro en los tratamientos 6 y el control mantienen los valores más bajos con 3.41% y 2.57%, y la materia orgánica es mayor.

Los tratamientos fueron inoculados con medio líquido por lo cual como consecuencia la humectación semanal del tratamiento y por lo tanto quedaba como resultado en las últimas fechas de medición un estado acuoso en los tratamientos. Todo esto como consecuencia interfiere en la medición de nitrógeno y lo respalda Camero *et al.* (1999) quien dice que la cantidad de nitrógeno en estado acuoso proviene en su mayoría de aminoácidos solubles que se liberan tras la ruptura de las cadenas peptídicas, los que estarían en menor cantidad en las primeras semanas del proceso.

## **Relación Carbono /Nitrógeno**

La relación Carbono/Nitrógeno (C/N) (Cuadro 7) es uno de los principales y más importantes parámetros ya que para varios autores es un índice de estabilidad /madurez, el carbono es utilizado como fuente de energía para realizar los procesos metabólicos y el nitrógeno para construir tejidos y crecer. La relación C/N de una composta es un indicador muy útil para evaluar el desarrollo y calidad de la composta. El valor de la relación, puede variar y se estima entre 25:1 o 40:1. Esto quiere decir que existen 25 o 40 partes de carbono por una de nitrógeno. En los tratamientos inoculados, en el Cuadro 7 se muestran los valores muy por debajo de la norma, como ejemplo se presentan los valores más altos del tratamiento siete 3.23 y el control 2.77. Se dice que si el proceso de compostaje almacena un alta cantidad de elementos con contenido de carbono, se puede producir una eliminación en forma de dióxido de carbono al ambiente y el proceso puede ser lento y de temperatura baja y se tardara más tiempo en obtener la composta. En el caso de exceso de nitrógeno, se puede producir una pérdida de amoníaco a la atmosfera acompañada de la emisión de olores desagradables y temperaturas altas. (La relación C/N es baja cuando hay un alto contenido de nitrógeno y una relación C/N alta se presenta cuando el contenido de carbono es alto).

En los resultados aunque se encuentran dentro de los parámetros de la norma de igual forma son muy bajos, esto se puede deber y citando a Rodríguez (1997) a que hay perdida de nitrógeno como amoníaco en el compostaje y esto da una relación C/N baja, es deseable que esta relación este en el rango de 20/1 a 40/1. La mayoría de microorganismos usan 30 partes en peso de carbón por una de nitrógeno por, lo que la relación 30 a 1 es lo ideal para un buen composteo.

Kalil (2007) dice que al final el carbono se convierte en anhídrido carbónico y la relación C/N desciende durante el proceso, la cual debe alcanzar un valor alrededor 10/1 al concluir el proceso, es decir no se presenta actividad metabólica y la energía bioquímica disminuye como resultado de la actividad enzimática de los microorganismos y es por esta razón que nuestros valores resultan bajos al final.

El experimento en invernadero se realizó por 49 días y su relación carbono: nitrógeno pudo haber alcanzado los valores aún más bajos pero esto es poco probable ya que

de acuerdo a la cantidad de materia orgánica que pusimos al inicio fue poca para seguir degradándose. Sin embargo, fuera el caso de tener más materia orgánica y citando a Kalil (2007), cuando el índice C/N es mayor a 35 la duración del proceso puede prolongarse.

## **Humedad**

Siendo el compostaje un proceso biológico, la presencia de agua es indispensable para los requerimientos fisiológicos de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias que sirven de alimento a las células.

Respecto a la humedad en el Cuadro 7 nos indicó que el control tiene diferencia significativa con todos los demás tratamientos y respecto a los valores van de 53.62% a 46.75% fueron los valores más bajos, aunque cumplen con lo descrito en la norma. En los tratamientos con las bacterias solas y mezcladas se muestran valores de 69 hasta 79

% de humedad, y puede ser por la adición de los inóculos líquidos. La humedad óptima para el crecimiento microbiano esta entre 50-70%, la actividad biológica decrece mucho cuando la humedad es menor del 30% y a una humedad mayor al 70% el agua desplaza al aire en los espacios libres de los materiales, en este caso se reduce la concentración de oxígeno y se puede producir anaerobiosis, liberando otros gases, disminuyendo el proceso de descomposición (Miyatake y Iwabuchi, 2006).

De acuerdo con Gordillo *et al.*, (2010) los valores de humedad para que pueda darse una descomposición aeróbica están entre el 30%-70%; además hay que evitar valores inferiores a este rango ya que dificultan la actividad biológica. Lo que nos lleva a los valores obtenidos en los tratamientos ya que los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 6 superan el 70% de humedad.

Lo que difiere por lo encontrado en el producto final de Kalil (2007) que en un proceso de 75 días y con una composición de 60% de residuos de plaza, 20% residuos de poda y 20% de contenido ruminal da como resultado un 35% de humedad.

Estudios realizados para el reciclado de residuos orgánicos por los autores Pellegrini *et al.* (2014) destacan que la humedad en el proceso de compostaje si no hay suficiente agua (<40%) la actividad microbiana disminuye y el proceso se vuelve lento,

y con demasiada humedad (>80%) se produce una mala aireación que lleva a condiciones anaerobias y a la putrefacción de la materia orgánica lo que conlleva al mal olor. En el experimento invernadero se voltearon semanalmente las canastas con la materia orgánica y citando a los mismos autores estos dicen que el volteo periódico tiene la función de airear y homogenizar las condiciones de exposición a altas temperaturas de la materia orgánica, permitiendo la eliminación de patógenos y semillas de maleza, esta aireación favorece la elevación de temperatura y tiene relación estrecha con la humedad.

### **Densidad Aparente**

Es la relación que existe entre el peso del material y el volumen. La mayor parte de la composta presenta una densidad aparente entre 400 y 700 kg.m<sup>3</sup> lo cual se ve afectado por la humedad del producto, la distribución de las partículas, el contenido de materia orgánica y su grado de descomposición de acuerdo a Gordillo *et al.* (2010) Con respecto a este parámetro, en el Cuadro 7 se observó que solo el control tuvo diferencia significativa con todos los tratamientos, este con el valor de 0.53 g mL<sup>-1</sup> entrando dentro del intervalo de calidad que marca la norma de 0.40 – 0.90 g mL<sup>-1</sup> La densidad va incrementando con el tiempo de compostaje y como consecuencia vemos una mayor descomposición y reducción del tamaño de las partículas y dado esto justifica porque en el experimento invernadero dieron valores incrementando desde 0.41 hasta 0.53 g mL<sup>-1</sup> (Gordillo *et al.*, 2010).

El valor más bajo de 0.41 g mL<sup>-1</sup> fue del tratamiento TLTB25, que de acuerdo con Cuevas *et al.* (2006) la menor densidad aparente es el resultado de la mayor macroporosidad, ya que se generan espacios dentro de la matriz del suelo por efecto del material orgánico adicionado. Mayores cantidades de composta adicionados generan menores valores de densidad aparente y aumentos en los valores de porosidad total.

Kalil (2007) evaluó el seguimiento del proceso de humificación en composta inoculado utilizando una composta proveniente de 60% residuos de mercado, 20% residuos de poda y 20% de contenido ruminal dando como resultado 0.78 g mL<sup>-1</sup> de densidad

aparente.

Un estudio donde evalúan las propiedades físicas de una composta obtenido a partir de residuos de poda tuvo como resultado  $0.38 \text{ g mL}^{-1}$  de densidad aparente, este contenido indican que la composta, producido a partir de residuos de poda, posee un alto contenido de poros. Esto lo hace apto para ser usado como agente capaz de aumentar la porosidad de otros materiales a compostar, esto realizado por Pierini *et al.*, (2010).

Finalmente, los microorganismos realizan procesos biológicos mediante la descomposición o procesamiento de la materia orgánica de origen vegetal o animal a través de su sistema enzimático. Todos los compuestos orgánicos de origen natural son susceptibles de descomposición, sea por un solo microorganismo específico o por varias especies que actúan en combinación.

Durante el proceso de compostaje se produce una intensa competencia por el alimento entre los microorganismos: se generan antagonismos, se forman antibióticos y es invadido por macrofauna como: ácaros, hormigas, lombrices, etc. que contribuyen a la descomposición mediante la maceración de las partículas finas (Lampkin, 1998).

## 12. CONCLUSIONES

1. De las compostas utilizadas para el aislamiento, se encontraron bacterias con actividad proteolítica, celulolítica y pectinolítica en diferentes medios de cultivo con actividad en la transformación de residuos vegetales.
2. Las bacterias con actividad biodegradadora se identificaron con el sistema API, las cuales corresponden a: *Proteus* sp, *Alcaligenes* sp. *Ochrobactrum anthropi*, *Chryseobacterium indologenes*, *Stenotrophomonas maltophilia*, *Alcaligenes* sp. *Acinetobacter iwoffii* como las más frecuentes.
3. Durante el proceso de compostaje la utilización de bacterias nativas aisladas de compostas, ofrece mayores ventajas en acelerar el proceso y reducción del tiempo de descomposición por el proceso de adaptación, ocurrido en las primeras etapas del proceso.

### **13. PERSPECTIVAS**

Se requiere de la búsqueda de microorganismos con potencial de bioconversión, entrenado y adaptado a las condiciones físicas, químicas y biológicas estresantes como el pH, sustrato y concentraciones de sales de los materiales a transformar.

Caracterizar previamente los materiales para diseñar el tipo y las condiciones para la mejora de los tratamientos biológicos de residuos vegetales.

#### **14. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

Aguilera, S. M. 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. In Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín 14:77-85.

Altamirano Flores, M. y C. Carranza C. 2006. Estudio comparativo para la elaboración de compost por técnica manual. Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, 9(17):75-84.

Arroyo Orbegoso, A. G. 2002. Producción de enzimas pectinasas por actinomycetos en cultivo sumergido utilizando pectina y cascara de naranja. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Perú.

Atlas, R. M. 1995. HANDBOOK OF Media for Environmental Microbiology. Boca Raton, Florida: CRC Press, Inc.

Barbaro, L. A., M.A. Karlanian y D.A. Mata. 2014. Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para las plantas. INTA. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Instituto de Floricultura.

Barrera, B. L. C. y N. Charry U. 2008. Producción y evaluación de un inoculante microbiano con capacidad amilolítica a partir de un proceso de compostaje de residuos de lechuga. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Carrera de Microbiología Industrial. 102p

BioMérieux. 2010. Método estandarizado de identificación manual. Sistemas miniaturizados API.

Bremmer J. M. 1965. Total nitrogen. In: Black CA (ed.), Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9: 1149-1178. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Buitrago Morales, S. M., E.M. Sánchez Castelblanco y H. J. Guerrero Suarez. 2014. Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celulíticos y lignolíticos a partir de suelo de humedales de Bogotá. *Revista SENNOVA* 1 (1):148-155.

Camacho, A. D., L. Martínez, H. Ramírez Saad, R. Valenzuela y M. Valdés, 2014. Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*, 32(4), 291-300.

Camero, D. M. F., M. I. Ballesteros, y M. Bendeck, 1999. Variación de parámetros fisicoquímicos durante un proceso de compostaje. *Revista Colombiana de Química*, 28(1): 75-86.

Cariello, M. E., L. Castañeda, I. Riobo y J. González. 2007. Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *RC Suelo Nutr. Veg*, 7(3): 26-35.

Corbella, R., y J. Fernández de Ullivarrí. 2006. *Materia orgánica del suelo*. Facultad de Agronomía y Zootecnia–Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. 10p.

Cuevas, J.C., O. Seguel S., A. Ellies Sch, y J. Dörner F. 2006. Efectos de las enmiendas orgánicas sobre las propiedades físicas del suelo con especial referencias a la adición de lodos urbanos. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal*. 6(2): 1-12.

Escobar, N., J. Mora, y N. Romero, 2012. Identificación de poblaciones microbianas en compost de residuos orgánicos de fincas cafeteras de Cundinamarca. *Boletín Científico Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 16(1): 75-88.

Feoli, M., Z. Gómez y A. Muñoz. 1997. Aislamiento y caracterización de microorganismos con actividad pectinolítica a partir de *Mangifera indica*. *Rev. Col. Cienc. Quim. Farm.* 26:33-37.

Froni, L. 2005. Microbiología. Básica, ambiental y agrícola. Facultad de Agronomía. Universidad de la Republica, Uruguay 2005. 466p

García Álvarez A. y A. Bello. 2004. Diversidad de los organismos del suelo y transformaciones de la materia orgánica. I Conferencia Internacional eco-biología del suelo y el compost, soil ACE, León. España. p211-212.

Gómez De la Cruz M. J. 1996. Degradación de péptidos hidrófobos por bacterias lácticas. Aplicación en la eliminación del sabor amargo en queso. Tesis Doctoral Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas. 263p.

Gordillo, F., y Chávez, E. 2010. Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, Centro de Investigación Científica y Tecnológica.

Inat Trigueros, C. 2016. Estudio sobre el crecimiento de bacterias proteolíticas y lipolíticas en leche y quesos obtenidos a partir de cabras tratadas con Euroflozacin. Tesis de Grado en Gestión de la Seguridad y Calidad Alimentaria. Universidad Politécnica de Valencia. 22p.

INEGI. 2007. Conjunto de Datos Vectorial Edafológico, escala 1: 250 000, Serie II (Continuo Nacional). México.

Jordán, L. 2005. Manual de Edafología. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. 143.p

Kalil P. S. P 2007. Seguimiento del Proceso de Humificación en Compost Inoculado. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Bogotá, Colombia. 89p.

Lampkin, N. 1998. Agricultura ecológica, Gestión de los estiércoles y residuos

orgánicos, Ediciones Mundi Prensa, México D.F. 85-104.

Lezcano, B. C.N. 2015. Efecto de tres aceleradores de degradación en el tiempo de compostaje utilizando residuos sólidos orgánicos urbanos en Huanchaco, Trujillo. Peru. 77p.

Manfredi, A., N.L. Perotti y M.A. Martínez. 2015. Cellulose degrading bacteria isolated from industrial samples and the gut of native insects from Northwest of Argentina. *J. Basic Microbiology* 55:1384-1393

Miyitake, F. y K. Iwabuchi. 2006. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy caattle manure. *Biores. Technol.* 961-965.

Moldenke, A.R. 2000. Arthropods. Chapter 7 *In: Soil Biology Primer*. Soil and Water Conservation Society. Rev. Edición. Ankeny Iowa.

Morales, S. M. B., Castelblanco, E. M. S., y Suárez, H. J. G. 2014. Aislamiento de microorganismos amilolíticos, celulolíticos y lignolíticos a partir del suelo de humedales de Bogotá. *Revista del Sistema de Ciencia Tecnología e Innovación (SENNOVA)*, 1(1):148-155.

Naidu, G. S. N. y T. Panda. 1998. Production of pectolytic enzymes. A review. *Bioprocess Engineering* 19: 355-361.

Nelson, D.L. y Cox M.M. *Lehninger: Principles of Biochemistry*. Fourth edition. Worth Publisher. New York. USA. 1120p

Okeke, B.C. y Lu, J. 2011. Characterization of a defined cellulolytic and xylanolytic bacterial consortium for bioprocessing of cellulose and hemicellulose. *Appl. Biochem Biotechnol.* 163: 869-881

Pagani Gilabert, J. 2001. Degradación enzimática y características físicas y químicas de la pectina del bagazo de melocotón (Doctoral dissertation, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agraria de la Universitat de Lleida. Universidad de Lleida). 142p

Pellegrini, A., Lanfranco, J., Vacisek, A., Gelati, P., y Palancar, T. 2014. Capacitación para el reciclado de residuos orgánicos. UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA. 9-32.

Pérez Valiente, R.A 2013. Screening efectivo de actividad celulolítica microbiana. Facultad de Ciencias. Universidad República de Uruguay 45P.

Pierini, V., Ratto, S., Avedissian, F., Zubillaga, M., y Arancio, J. 2010. Propiedades físicas de un compost obtenido a partir de residuos de poda. Rev Fac. Agron. 95-99.

Porta, C.J., M. López-Acevedo, R. y C. Roquero De Laburu. 1999. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa Segunda Edición. 849p.

Rodríguez, D., A. Ruiz, M. Martínez-Salgado y A. Matiz. 2007. Uso de un inoculante termofílico en la transformación de residuos sólidos urbanos (RSU). Universitas Scientiarum. 12 (2):57-67.

Rodríguez, R. J. C. 1997. Balance de la relación carbono-nitrógeno para una óptima descomposición aeróbica de la bora (*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms en abono orgánico. Saber 9:47-53.

Román, P. M. M. Martínez y A. Pantoja. 2013. Manual de Compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Santiago de Chile. 112p.

Sabaris Di Lorenzo, G. J. 2001. Prospección, aislamiento y caracterización de bacterias celulolíticas de suelo de bosque nativo de Misiones, Argentina. Instituto de Biotecnología, CICVyA- INTA. 14p.

Salazar, Loaiza, A. M., C. A. Ordoñez Guerrero, D. Hernández Serna, L. M. Castaño Pulgarin, K. Peña Pérez, J. R. Rodríguez Núñez y L. Bueno López. 2014. Actinomicetos aislados del suelo del Jardín botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira. *Scientia Et Technica*. 19 (2):223-229.

Sandoval Irureta, F. J. 2011. Bacterias del río calle-calle (sector pishuinco), implicadas en la degradación de celulosa. Facultad de Ciencias Universidad Austral de Chile. 39p.

SAGARPA. 2014. Elaboración de composta. Subsecretaria de desarrollo rural. Dirección General de apoyos para el desarrollo rural. 8P.

SEMARNAT. 2015. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales, Indicadores Clave de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Capítulo 7. Residuos. Dirección General de Estadísticas e Información Ambiental de la SEMARNAT. 44P.

Silva, L. A. R. y L. L. Díaz, 2017. Aislamiento y selección de bacterias celulolíticas a partir de compost de residuos orgánicos. *REVISTA REBIOL*, 36(1): 19-28.

Soliva, M y M. López. 2004. Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. Valsaín CENEAM/MIMAM. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, UPC [www.upc.cat](http://www.upc.cat). 20p

Cruz, C. N., D. Castellanos, S., H. Argüello A. 2018. Aislamiento y caracterización de microorganismos xilanolíticos, celulolíticos, proteolíticos y amilolíticos, provenientes de dos tipos de compost. IV Simposio sobre Biofábricas Los Grupos de Investigación en Biotecnología y la Formación de Investigadores. Secretaría de Educación del

Distrito Capital. Colombia. 2-16p.

Wild, A. 1996. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 1045p.

Paul, E, 2014. Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry. 4<sup>th</sup> edition. Academic Press. 598p.