



**ESPAMMFL**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ  
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

**CARRERA DE AGRÍCOLA**

**INFORME DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGERIERÍA AGRÍCOLA**

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**INOCULACIÓN DE UN CONSORCIO MICROBIANO  
AUTÓCTONO ENCAPSULADO CON CAPACIDAD  
CELULOLÍTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE  
CALIDAD EN MANABÍ-ECUADOR**

**AUTORES:**

**DIANA MERCEDES ANDRADE LOOR**

**AQUILES ELÍAS AVELLÁN REALPE**

**TUTOR:**

**ING. ANGEL MONSERRATE GUZMÁN CEDEÑO, Ph.D**

**CALCETA, JULIO 2020**

## DERECHOS DE AUTORÍA

Diana Mercedes Andrade Loor y Aquiles Elías Avellán Realpe, declaran bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de propia autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que se ha consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.



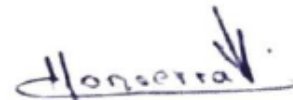
.....  
Diana Mercedes Andrade Loor



.....  
Aquiles Elías Avellán Realpe

## CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA

**ÁNGEL MONSERRATE GUZMÁN CEDEÑO** certifica haber tutelado el trabajo de titulación **INOCULACIÓN DE UN CONSORCIO MICROBIANO AUTÓCTONO ENCAPSULADO CON CAPACIDAD CELULOLÍTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE CALIDAD EN MANABÍ-ECUADOR**, que ha sido desarrollado por **DIANA MERCEDES ANDRADE LOOR Y AQUILES ELÍAS AVELLÁN REALPE**, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



.....  
Ing. Ángel M. Guzmán Cedeño, Ph.D

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **INOCULACIÓN DE UN CONSORCIO MICROBIANO AUTÓCTONO ENCAPSULADO CON CAPACIDAD CELULOLÍTICA PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST DE CALIDAD EN MANABÍ-ECUADOR**, que ha sido propuesto, desarrollado y defendido por **Diana Mercedes Andrade Loor y Aquiles Elías Avellán Realpe**, previa la obtención del título de Ingeniero Agrícola, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



.....  
Ing. Freddy W. Mesias Gallo, Mg  
**MIEMBRO**



.....  
Ing. Luis E. Párraga Muñoz, Mg  
**MIEMBRO**



.....  
Ing. Gonzalo B. Constanze Tubay, Mg  
**PRESIDENTE**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fuerza y salud cada día para haber logrado la meta propuesta.

A mis padres a Orlando y Amarilis y a mi hermano Erick, por todo el apoyo incondicional a lo largo de toda su vida, por ser mi fortaleza, mi motor de vida, aquellos que me impulsaron en cada momento con amor y paciencia hacia el éxito alcanzado.

Agradezco a mi abuelo Pablo Loor por su apoyo incondicional y por brindarse su cariño sincero.

A la familia Moreno Bravo, que me abrieron las puertas de su hogar y me enseñaron que para ser familia no es necesario llevar la misma sangre, ya que siempre me brindaron su apoyo, y me demostraron sentimientos de respeto, cariño y consideración; agradezco de manera especial a mi mejor amiga, a la que considero mi hermana, la Ing Cecilia Moreno Bravo, Mgs. Gracias a ella porque siempre ha estado apoyándome en el transcurso de mi vida universitaria y por darme palabras de aliento y motivarme a seguir adelante aún en los momentos difíciles.

A mí tutor de tesis Ing. Ángel Guzmán Cedeño, PhD; al Ing. Diego Zambrano Pazmiño, investigador del laboratorio de Biología Molecular, por ser guías durante la ejecución de mi tesis.

A la “ESPAM MFL” que me dio la oportunidad de prepararme profesionalmente.

A la Abg. Lady Laura Muñoz por apoyarme con la materia prima para la elaboración de esta investigación.

DIANA MERCEDES ANDRADE LOOR  
**AUTORA**

## AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, porque su amor y bondad no tienen fin, me permite sonreír ante todos mis logros que son resultado de su ayuda, y cuando caí y me puso a prueba, aprendí de mis errores y me pude dar cuenta que los puso en frente mío para que mejore como ser humano, y crezca de diversas maneras.

Le agradezco a mis padres, Aquiles y Flor quienes fueron los primeros promotores de este sueño y pese a las adversidades nunca me abandonaron y siempre estuvieron junto a mí llenándome de valor para seguir adelante y triunfar. Le agradezco a una mujer dedicada y luchadora por su familia, una admirable persona que entrego y entrega todo por los que ama, mi abuela, mi Lala quien, durante el transcurso de esta carrera, fue un pilar muy importante, tanto en inspiración como en fuerza para cada día despertarme con ganas de alcanzar el éxito y luchar por cada uno de mis metas, sueños y anhelos. La vida me premio con cuatro hermanos: Jimmy, Joel, Karla y Anthony quienes de distinta manera estuvieron junto a mí en esta gran travesía mi agradecimiento y gratitud siempre estará presente para ellos.

Le agradezco a mi novia Romina, siendo la mayor motivación en mi vida encaminada al éxito, fue el ingrediente perfecto para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida, y poder haber culminado esta carrera. le agradezco por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida; eres mi inspiración y mi motivación.

Y para finalizar agradezco a todos mis amigos y compañeros quienes hicieron de esta travesía más llevadera y me llenaron de anécdotas y momentos los cuales por siempre recordare.

AQUILES ELÍAS AVELLÁN REALPE  
**AUTOR**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo se lo dedico principalmente a mis padres por ser el motor principal de mi vida y para demostrarles que el apoyo que me dieron no fue en vano y que lo supe aprovechar desde el primer momento que ingresé a la universidad.

Se lo dedico también a mi hermano Erick para que le sirva de ejemplo a seguir y que tenga presente que con esfuerzo y dedicación se puede conseguir todas las metas.

DIANA MERCEDES ANDRADE LOOR  
**AUTORA**

## DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con todo cariño y amor a mis padres Aquiles y Flor quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades y hacerme saber que Dios está conmigo siempre.

A mí querida Lala quien me inspira a seguir luchando por mis sueños. Puedo decir plenamente que eres además de mi abuela, mi segunda madre, y los valores y los aportes que has realizado para mi vida son simplemente invaluables.

AQUILES ELÍAS AVELLÁN REALPE  
**AUTOR**



## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA .....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL .....	ix
ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	4
1.4. Hipótesis.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Encapsulación.....	6
2.1.1. Métodos de encapsulación.....	6
2.1.2. Técnicas de encapsulamiento.....	7
2.1.3. Agentes encapsulantes .....	8
2.2. Microorganismos celulolíticos .....	9
2.2.1. <i>B. subtilis</i> .....	9
2.2.2 <i>B. licheniformis</i> .....	9
2.2.3 <i>T. longibrachiatum</i> .....	10
2.3. Uso de inóculos durante el compostaje.....	10
2.4. Compostaje .....	11
2.4.1. Sistemas del compostaje.....	12
2.4.2. Fases del compostaje.....	13
2.4.3. Tamaño de la pila o volumen en compostaje.....	14
2.4.4. Inoculación de microorganismos en la pila de compostaje .....	15
2.4.5. Parámetros a controlar durante el proceso de compostaje.....	15
2.4.6. Elementos a cuidar en el compostaje.....	19
2.4.7. Calidad del compost .....	19
2.4.8. Beneficios del compost.....	23

2.4.9. Características de los residuos a usar en el ensayo .....	24
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	25
3.1. Ubicación.....	25
3.2. Características climáticas <sup>1/</sup> .....	25
3.3. Duración del trabajo.....	25
3.4. Fase 1: Laboratorio (viabilidad y pureza del consorcio microbiano).....	25
3.4.1 Factor en estudio .....	25
3.4.2 Nivel y tratamientos del factor en estudio.....	26
3.4.3. Unidad experimental .....	26
3.4.4. Esquema de viabilidad del consorcio microbiano encapsulado .....	26
3.4.5. Diseño experimental .....	26
3.4.6. Esquema de análisis de varianza .....	27
3.4.7. Manejo del experimento .....	27
3.4.8. Datos tomados y método de evaluación .....	29
3.5 fase 2: De campo (evaluación del consorcio microbiano).....	30
3.5.1. Factor en estudio .....	30
3.5.2. Niveles del factor.....	30
3.5.3. Tratamientos .....	30
3.5.4. Unidad experimental .....	30
3.5.5. Diseño experimental .....	31
3.5.6. Manejo del experimento .....	31
3.6. Variables y métodos de evaluación .....	32
3.6.1. Parámetros ambientales.....	32
3.6.2. Parámetros físicos-químicos .....	33
3.6.3. Parámetros microbiológicos .....	34
3.6.4. Parámetro de fitotoxicidad.....	34
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	36
4.1. Fase de laboratorio .....	36
4.1.1 Supervivencia encapsulados de <i>B. subtilis</i> , <i>B. licheniformis</i> .....	36
4.1.2 Supervivencia encapsulados de <i>T. longibrachiatum</i> .....	36
4.2 Fase de campo (evaluación del compost).....	37
4.2.1 Parámetros ambientales.....	37
4.2.2 Parámetros físicos-químicos .....	42
4.2.3 Parámetros microbiológicos .....	49
4.2.4 Parámetro de fitotoxicidad.....	52

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	54
5.1 Conclusiones.....	54
5.2 Recomendaciones .....	54
Bibliografía.....	55
Anexos .....	66

## ÍNDICE DE CUADROS Y GRÁFICOS

### CUADROS:

2.1. Indicadores de la evolución del proceso de compostaje .....	15
2.2. Requisitos microbiológicos .....	21
2.3. Requisitos de los nutrientes en el compost .....	22
3.1. Adeva de la prueba de viabilidad del encapsulado.....	27
3.2. Dosis del consorcio microbiano en el proceso de compostaje .....	30
4.1 Cepas <i>B. subtilis</i> y <i>B. licheniformis</i> encapsulados (UFC/mL).....	36
4.2 Supervivencia de cepa <i>T. longibrachiatum</i> (UFC/mL) .....	37
4.3. Comportamiento de la materia orgánica en el compostaje .....	44
4.4. Relación C/N durante el proceso de compostaje .....	45
4.5. Macronutrientes en 30 y 60 días en el proceso de compostaje .....	46
4.6. Macronutrientes en 90 y 120 días en el proceso de compostaje .....	46
4.7. Micronutrientes en 30 y 60 días en el proceso de compostaje .....	48
4.8. Micronutrientes en 90 y 120 días en el proceso de compostaje .....	48

### GRÁFICOS:

4.1. Comportamiento de la temperatura en la evaluación del compostaje .....	38
4.2. Comportamiento del pH en la evaluación del compostaje.....	40
4.4. Comportamiento de la CE en la evaluación del compostaje. ....	43
4.5. Comportamiento de Coliformes fecales en el compostaje .....	49
4.6. Comportamiento de <i>Staphylococcus</i> en el compostaje .....	50
4.7. Comportamiento de Mesófilos aerobios en el compostaje .....	51
4.8. Índice de germinación durante el proceso de compostaje. ....	52

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue obtener compost de calidad a partir de residuos agropecuarios inoculado con microorganismos autóctonos encapsulados. Se realizó en la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador. La investigación constó de dos fases: 1) de laboratorio y 2) de campo. En la primera se realizó la activación y multiplicación de las bacterias *B. subtilis* y *B. licheniformis* y el hongo *T. longibrachiatum* y el encapsulamiento del consorcio microbiano; se realizó la viabilidad y pureza del encapsulado, con 4, 5, 6 g de agente activo a los 30, 60, 90 y 120 días. En la segunda fase se formaron cuatro pilas de compostaje que contenían igual proporción (2:1) de residuos agropecuarios (200 Kg de cáscara de maní y 100 Kg de gallinaza), según los valores de C/N; se inocularon las variantes: T1 (200 g), T2 (400 g), T3 (600 g) y testigo (sin inóculo). Se inició con una humedad de 55% de los residuos agropecuarios, se volteó cada ocho días, y se evaluaron los parámetros ambientales, físicos-químicos los primeros 15 días, luego cada 15 días; finalmente se analizaron la fitotoxicidad, macro y micronutrientes, C/N y MO. Se determinó que la concentración que mantuvo la mayor viabilidad y pureza de los microorganismos es de 6 g para las bacterias y 4 g para el hongo. El compost de mejor calidad según las normas establecidas es T1 (200 g de cápsulas de consorcio microbiano), ya que cumple con la mayor cantidad de parámetros.

**Palabras clave:** *Bacillus*, *Trichoderma*, inóculo, fitotoxicidad, compostaje

## ABSTRACT

The objective of this work was to obtain quality compost from agricultural residues inoculated with encapsulated autochthonous microorganisms. It was held at Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador. The research consisted of two phases: 1) laboratory and 2) field. In the first, the activation and multiplication of the bacteria *B. subtilis* and *B. licheniformis* and the fungus *T. longibrachiatum* and the encapsulation of the consociated microbial were carried out; the viability and purity of the encapsulation was performed, with 4, 5, 6 g of active agent at 30, 60, 90 and 120 days. In the second phase, four composition piles were formed that contained the same proportion (2:1) of agricultural residues (200 Kg of peanut shells and 100 Kg of chicken manure), according to the C / N values; variants were inoculated: T1 (200 g), T2 (400 g), T3 (600 g) and control (without inoculum). They were analyzed with a humidity of 55% of the agricultural residues, turned every eight days, and the environmental, physical-chemical parameters were evaluated the first 15 days, then every 15 days; finally, phytotoxicity, macro and micronutrients, C / N and OM were analyzed. The concentration that affects the highest viability and purity of the microorganisms was determined to be 6 g for bacteria and 4 g for fungus. The best quality compost according to established standards is T1 (200 g of microbial consortium capsules), since it meets the highest number of parameters.

**Keywords:** *Bacillus*, *Trichoderma*, inoculum, phytotoxicity, composting.

# CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

## 1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La siembra incesante de cultivos ocasiona el desgaste de los residuos orgánicos y de los nutrientes del suelo. Por lo tanto, para reponer los nutrimentos consumidos por los vegetales y obtener grandes beneficios, los agricultores utilizan abonos inorgánicos en los suelos (Naik, 2007). Sin embargo, están, provocando la salinidad, acidez y acaparamiento de elementos químicos en los suelos con aptitud agrícola; por ende, también afectan la salud de productores y consumidores. Según Rodríguez (2016) este modelo de agricultura ha hecho que los agricultores se vuelvan dependientes de los insumos externos para poder cosechar sus productos.

Por otra parte, la implementación de técnicas biotecnológicas ayuda a la evolución de los residuos agropecuarios como abono, para mejorar las características física, química y biológica de los suelos agrícolas. Una alternativa del manejo de estos residuos es el compostaje, definido como un proceso bio-oxidativo que exige un condicionante biológico para su funcionamiento y, por tanto, existen factores muy diversos, que influirán en mayor o menor grado en la optimización de la actividad microbiana (Guzmán *et al.*, 2014).

Los mismos autores mencionan que el proceso implica sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en su tamaño. Durante la transformación suceden diferentes etapas, que concluyen en reacciones de diferente significado, con producción de metabolitos intermedios que pueden resultar fitotóxicos, de ahí la importancia del control de la maduración de compostaje. Finalmente, el proceso conduce a la liberación de CO<sub>2</sub>, agua, minerales y materia orgánica (MO) más o menos estabilizada, rica en poblaciones microbianas útiles y en bioactivadores de la fisiología vegetal.

Se reconoce que la cantidad de residuos biodegradables en las actividades antropogénicas se ha acelerado con el crecimiento de la población (Manjula & Meenambal, 2012). La producción agropecuaria genera abundantes residuos vegetales y gran cantidad de estiércol proveniente principalmente de animales de interés zotécnico, la mayor parte de los residuos agrícolas son quemados en el campo, generando una fuente de contaminación para el medio ambiente (Bernal, Albuquerque & Moral, 2009; Anyanwu, Ngohayon, Ildefonso & Ngohayon, 2015)

Según Bazrafshan, Kord, Poormollae, Mahmoodi & Zazouli (2016) los residuos orgánicos, sin un manejo adecuado, representan una amenaza potencial para la salud pública por la presencia de organismos patógenos. Por lo expuesto, se formula la siguiente interrogante: ¿Qué concentración y dosis del consorcio microbiano celulolítico, inoculado en el proceso de compostaje de residuos orgánicos fibrosos, contribuye en la obtención de un compost de calidad?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El proceso de compostaje es convertir los residuos orgánicos inestables, a un producto de calidad, a través de la fermentación oxigenada, dicha transformación comprende la evolución orgánica, en productos útiles. Las poblaciones microbianas, son en el mecanismo dinámico de los métodos de biodegradación y transformación durante el compostaje; en este mecanismo, los residuos orgánicos son biológicamente descompuestos bajo situaciones controladas, obteniendo un mejorador de suelos.

Los residuos agropecuarios e industriales, incluidos la cáscara de maní y gallinaza, pueden ser utilizados como insumos en la bioconversión de abono orgánico. Por lo tanto, estos productos, necesitan ser efectivamente destinados para optimar la producción agrícola. Esto también ayudará a prevalecer los obstáculos en el crecimiento de las plantas; por ello, se está dando una mayor atención en el desarrollo de compostaje, ya que son potencialmente útiles en la obtención de elementos nutritivos para las plantas (Naik, 2007).

Uno de los beneficios que brinda el compost es mejorar las características físicas, químicas y biológicas del suelo como textura, estructura y capacidad de retención de humedad; también conduce nutrientes y materia orgánica al suelo, permitiendo el mayor desarrollo en las raíces de los cultivos; además reduce la temperatura del suelo y favorece la presencia de los microorganismos benéficos, tornándose las plantas más saludables y resistentes a plagas y enfermedades, con ello se evita el uso de agroquímicos de síntesis.

Sin duda alguna, asegurar el aumento de carga microbiana en el proceso de compostaje mediante la inoculación de microorganismos autóctonos es más favorable que usar los Microorganismos Eficientes (EM) introducidos, ya que su acción es más efectiva; además, no necesitan adaptarse a las condiciones de clima, humedad y poblaciones de microorganismos que se encuentran en la zona donde se les utiliza (Kumar & Gopal, 2015).

Concomitantemente, el desarrollo biotecnológico permite aumentar la eficiencia de los microorganismos autóctonos mediante la encapsulación, lo cual le facilita la protección absoluta a las condiciones de pH, conductividad y temperatura que se muestran en el compostaje, ofreciendo la liberación de su contenido a velocidad controlada en el lugar y sitio adecuado, aumentando la población microbiana benéfica y de esta manera acelera la degradación de los residuos agropecuarios para obtener un compost de calidad.

La intención de generar prácticas orgánicas y agroecológicas es un mandato constitucional en el Ecuador; en tal sentido, un grupo de investigadores de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí "Manuel Félix López" viene trabajando en el aislamiento, selección, y caracterización de microorganismos autóctonos, así como en la validación de sus funciones específicas en diferentes componentes de la producción agropecuaria. Como resultado de ello, en el laboratorio de Biología Molecular de la Politécnica de Manabí existe un consorcio microbiano autóctono cuya capacidad celulolítica ha sido demostrada en los estudios de compostaje de residuos



agropecuarios llevados a cabo por (Aveiga, 2013; Guzmán *et al.*, 2014; Guzmán *et al.*, 2015; Conforme & Vera, 2015).

Estos microorganismos se encuentran debidamente conservados y disponibles para ser evaluados en los distintos procesos naturales y tecnológicos que se desarrollan e implementan en los sistemas de producción agropecuarios; este consorcio microbiano es capaz de realizar funciones específicas en la transformación de la materia orgánica por lo que se presenta la oportunidad de desarrollar biotécnicas para el manejo de los desechos y residuos orgánicos, a través, de compostaje y convertirlos en abonos que contribuyan en la implementación de un modelo de agricultura eficiente y sostenible en la zona de influencia de esta Institución de Educación Superior de Manabí-Ecuador.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Obtener compost de calidad a partir del compostaje de residuos agropecuarios inoculado con microorganismos autóctonos encapsulados.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la concentración del consorcio microbiano que mantenga la viabilidad y pureza de los microorganismos en el tiempo.
- Determinar la dosis del consorcio microbiano que logre la transformación de los residuos agropecuarios en un compost de calidad.
- Evaluar los parámetros: Ambientales, físicos-químicos, microbiológicos y de fitotoxicidad del compost en base a las normas establecidas.

## **1.4. HIPÓTESIS**

La inoculación de una mayor concentración del consorcio microbiano encapsulado, elaborado con cepas autóctonas, permitirá obtener un compost de calidad.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ENCAPSULACIÓN**

La encapsulación es una estrategia en la que las gotas, ya sean líquidas, partículas sólidas o gaseosas, se cubren con una película polimérica porosa que contiene una sustancia activa, de esta manera se puede mantener su viabilidad y estabilidad. Las microcápsulas, ayudan a que los residuos agropecuarios empleados en el proceso de compostaje, mejoren la estabilidad, el aroma, el color, la apariencia y el valor nutritivo (Parra & Medina, 2012).

De acuerdo a Rodríguez, Rojas & Rodríguez (2016) la encapsulación es un proceso que se aplica con la finalidad de proteger la biodisponibilidad, estabilidad, la viabilidad y conservación de los componentes bioactivos en microorganismos, mediante un material de recubrimiento o pared.

#### **2.1.1. MÉTODOS DE ENCAPSULACIÓN**

El método de encapsulación a utilizarse depende de algunos parámetros a tomarse en cuenta como son: propiedades físicas del agente encapsulante, del tamaño medio de la partícula requerida, del mecanismo de liberación deseado y del coste, de las aplicaciones del material encapsulado propuesto y de la sustancia a encapsular. (Martínez, Morales, Gallardo & Martínez, 2009).

Según Zou, *et al.* (2011) los métodos de encapsulación radican en la solidificación de las macromoléculas con el objetivo de retener y proteger a las bacterias del medio adyacente; el mismo puede ser llevado a cabo por distintos procesos físicos o químicos. Loyeau (2017) expresa que una técnica efectiva y de bajo costo para lograr la contracción de probióticos a temperatura ambiente y sin el agregado de sustancias que puedan ser perjudiciales para estos microorganismos ni para el ser humano, consiste en la gelificación del alginato con calcio.

- **Métodos físicos:** Secado y enfriamiento por aspersión, liofilización, recubrimiento por lecho fluidizado, extrusión, co-extrusión, extrusión-fusión, cocrystalización.
- **Métodos químicos:** Coalescencia, inclusión molecular, encapsulación por liposomas.

### 2.1.2. TÉCNICAS DE ENCAPSULAMIENTO

La selección de la técnica de encapsulación adecuada se determina por las propiedades físico-químicas del material soporte y la aplicación final deseada, para garantizar la biodisponibilidad de los compuestos, su funcionalidad e incluso su fácil incorporación en los alimentos sin la alteración de sus propiedades sensoriales (Pal, Kunal, Paulson, Allan & Rousseau, 2009).

- **Encapsulación por extrusión:** La técnica consiste en establecer gotas de solución de alginato que contiene el componente a encapsular al hacer pasar dicha solución por un dispositivo extrusor de velocidad y tamaño de goteo controlado. Estas gotas caen sobre un baño que incluye la fuente del ión divalente, quien induce la solidificación mediante el mecanismo de gelificación externa. Además, se debe considerar parámetros que contribuyen en su forma esférica y tamaño como la distancia de separación de la boquilla al baño, el efecto de la gravedad y la tensión superficial de la solución que induce la solidificación (Chan, Lee, Ravindra & Poncelet, 2009).
- **Encapsulación en emulsión:** La técnica de encapsulación en emulsión es el proceso de dispersión de un líquido en otro líquido inmiscible donde la fase dispersa consta de la matriz que incluye el componente a encapsular (Poncelet, 2001).
- **Encapsulación mediante secado por atomización:** El secado por atomización es una técnica ampliamente empleada por la industria debido a su reproducibilidad y economía. Su aplicación principal ha sido para disimular

sabores, aromas y la encapsulación de vitaminas. El procedimiento consiste en la elaboración de una emulsión o suspensión que contenga al compuesto a encapsular y el material polimérico, el cual es molido sobre un gas caliente que generalmente es aire originando así la evaporación instantánea del agua, permitiendo que el principio activo presente quede atraído dentro de una película de material encapsulante (Villena, Morales, Gallardo & Ruíz, 2009; Hernández & Orestes, 2010).

### 2.1.3. AGENTES ENCAPSULANTES

De acuerdo Alonso (2011) el tipo de agente encapsulante utilizado tiene efecto sobre la permanencia de la solución antes de secar, sobre el espesor de la partícula, las propiedades y sobre la vida útil del material encapsulado deshidratado.

Además, señala que los agentes encapsulantes en la microencapsulación son:

- **Materiales minerales como los silicatos:** El silicato de sodio ha demostrado ser un poderoso encapsulante de materiales amenazadores, en procesos de biorremediación, convirtiendo productos solubles en insolubles, volátiles en no volátiles. Los mecanismos eficaces debidamente micro encapsulados cambian sus condiciones físico-químicas, de tal manera que sean resistentes a la acción del viento, lluvia y ataques ácidos.
- **Alginato:** el alginato forma parte de la familia de los polisacáridos y está constituido por dos unidades monoméricas: el ácido gulorónico (G) y manurónico (M), enlazados en bloques de secuencias MM, MG y bloques GG, GM unidos por enlaces glucosídicos (1-4). Las proporciones de las distintas regiones de bloques G y M dependen de la fuente proveniente del alginato, en este caso de las distintas algas y bacterias productoras.
- **Carbohidratos:** son conjuntos de compuestos, que, debido a su alta disolución acuosa, resistentes a temperatura ambiente, carácter no absorbente, y de bajo

coste son muy utilizados como agentes encapsulantes. Dentro de este grupo se pueden citar el azúcar, almidón, dextrinas, la celulosa y el quitosano.

## **2.2. MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS**

### **2.2.1. *B. subtilis***

Se ha señalado que las bacterias del género *Bacillus* presentan un gran potencial como antagonistas, principalmente por la gran cantidad de catalizadores líticos, anticuerpos y otros contenidos como acción biocida, que son aptos para causar efectos de control sobre las especies de consorcios fitopatógenos (Reyes, Castillo, Gallegos, Flores & Rodríguez, 2015).

Castañeda & Sánchez (2016) mencionan que el crecimiento del *B. subtilis* se encuentra condicionado por la cantidad de sustratos fundamentales como fuentes de carbono y nitrógeno, cuando se limitan estos requisitos nutricionales los bacilos se estresan y esporulan siendo concluyentes como fuentes de carbono, glucosa, sacarosa, harina de maíz y almidón; fuentes de nitrógeno, peptona, polvo de levadura,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KNO}_3$ , y  $\text{NaNO}_3$ ; y las sales minerales:  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ , y  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .

### **2.2.2 *B. licheniformis***

Es una bacteria que se ha reportado con capacidad incompatible sobre microorganismos fitopatógenos, por lo que se le atribuye gran viabilidad como biocontrolador de agentes patógenos (Reinoso 2006; citado por Sotelo, Jiménez, Zan & Cueto, 2012); además, tienen gran acción enzimática nitrogenasa, que depende en gran medida de la fuente carbonada del medio de cultivo, se ha evidenciado mayor actividad nitrogenasa cuando la fuente de carbono se basa en fructosa.

### 2.2.3 *T. longibrachiatum*

*T. longibrachiatum* es un hongo aeróbico, con resistencia a un amplio intervalo de temperaturas, de 4 a 33°C (Martínez, Infante & Reyes, 2013). Este microorganismo es el encargado de dar mayor uso en métodos de control biológico como mecanismos de los fitopatógenos (Vinale, Sivasithamparam, Ghisalberti, Marra & Sheridan, 2008). Además, *T. longibrachiatum* tiene rasgos de su propio género, y también puede destacar características específicas que lo hacen principalmente adecuado para el empleo como agente de control biológico (Feltre, 2009).

El mismo autor señala que, *Trichoderma* ejerce su acción de antagonista y colonizador de las raíces, como son: incremento del sistema radicular que facilita la tolerancia al estrés por parte de la planta; solubilización y permeabilidad de nutrientes minerales, estimulación del crecimiento de las plantas e inducción de resistencia. Además, Donoso, Lobos & Rojas (2008) mencionan que esta especie es reconocida por sus características como biocontrolador de patógenos de la tierra y por ser un habitante común del suelo, cosmopolita, saprofito y regularmente agrupado a la rizósfera.

## 2.3. USO DE INÓCULOS DURANTE EL COMPOSTAJE

Según Bejarano & Delgadillo (2007), la inoculación en las pilas de compostaje con microorganismos, cumple con la función de reducir el tiempo de obtención del sustrato orgánico, obteniendo un compost microbiológico y nutricionalmente estable.

Las principales ventajas de microorganismos inoculados en el compostaje son:

- Estos microorganismos tienen la capacidad de acelerar las temperaturas, de tal manera que se mantenga en la etapa termófila del proceso, independiente de la aireación y las circunstancias ambientales
- Originan la transformación oxigenada de compuestos orgánicos, previniendo la desintegración de la materia orgánica por oxidación, en la que se liberan

gases productores de olores incómodos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos). Adicionalmente, evita la propagación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no localizan un lugar idóneo para su crecimiento

- Aumenta la eficacia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el transcurso de fermentación se liberan y se producen sustancias, compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles que, al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas-químicas y microbiológicas
- Adelantan la transformación del compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional (5-8 semanas).

### ➤ **CONSORCIO MICROBIANO**

Es una asociación microbiana o natural de diferentes especies, que operan colectivamente como una agrupación de una modalidad compleja, donde todos se favorecen de las acciones de los demás. El consorcio manifiesta cualidades de vida de forma sinérgica (“comiendo juntos”) en que la evolución y el flujo constante de nutrimentos se trasfiere más segura y eficiente en localidades individuales (López, Domínguez & García, 2007).

Los grupos microbianos dependen del medio en donde se desarrollen, ya que requieren condiciones ambientales idóneas para su crecimiento y reproducción; sin embargo, adquieren la habilidad de adaptarse a otros medios que se encuentran en condiciones extremas, utilizando la estrategia de mutación (Morris & Blackwood, 2007).

## **2.4. COMPOSTAJE**

El compostaje se caracteriza por tener un procedimiento biológico en condiciones óptimas aeróbicas, el proceso consiste en la mezcla de la materia orgánica en transformación con la adecuada humedad y temperatura, que asegura una excelente



higiene de los residuos orgánicos en un material uniforme, para mejorar la estructura de la superficie y proporcionar nutrientes aprovechables por los vegetales (FAO, 2013).

En el compostaje se da el proceso de oxidación en la materia orgánica, mineralización, humificación parcial de las sustancias orgánicas mediante reacciones microbianas que da lugar a un producto estable (Varnero, Galleguillos & Rojas, 2011). En el compostaje hay una duración variable, esto depende de la calidad de los residuos agropecuarios, volumen de la partícula, aeración, humedad y el consorcio microbiano que entre ellos se encuentran los hongos filamentosos (Varnero *et al.*, 2011). Los hongos filamentosos, se involucran por medio de la degradación con presencia de oxígeno en la materia orgánica (Munero, González, Pérez, Manso & Díaz, 2005; Pérez, Rebolledo & Martínez, 2010).

#### **2.4.1. SISTEMAS DEL COMPOSTAJE**

Según Larreátegui (2013) los sistemas para la elaboración del compostaje consisten en hacer una pila o montón de envolturas de residuos secos (hojas y ramas) combinadas en capas de desechos de materiales húmedos (restos de poda, restos de alimentos). Las capas pueden ser sobrepuestas; unas sobre otras, o heterogéneas.

Para Márquez, Díaz & Cabrera (2005) los factores importantes para decidir el sistema de compostaje son:

- Etapa de evolución
- Requerimiento de espacio
- Seguridad higiénica requerida
- Material de partida (ausencia o presencia de residuo de origen animal)
- Requisitos meteorológicos del terreno (temperaturas bajo cero, tornados fuertes, aguaceros tormentosos u otros acontecimientos atmosféricos excesivos).

## Sistemas abiertos

Larreátegui (2013) manifiesta que este sistema se lleva a cabo al aire libre o por medio de hileras o pilas; puesto que para alcanzar la oxigenación es obligatorio ejecutar volteos permanentes, los cuales contribuirán la cantidad necesaria de oxígeno que necesita la pila para llevar a cabo la transformación de la descomposición.

- **Pilas simples:** para la producción de compost es recomendable aplicar este sistema de pila simple, por sus bajos costos, alta eficacia, y las condiciones climáticas del lugar donde se ejecutará el estudio. Sin embargo, al momento de tener los materiales dentro de la pila es necesario realizar constantes volteos y mantener controles permanentes de los parámetros físico-químicos, para lograr oxigenar los materiales y conseguir una eficaz vigilancia de los niveles de humedad y calor, ya que por medio de los volteos la mezcla se homogeniza.

## Sistemas cerrados

Estos sistemas necesitan un tiempo de seis a nueve meses, ya que se realiza un proceso anaeróbico y en espacios cerrados, con esto existe la presencia de ciertos vectores como insectos, ratas y moscas, por lo que se generan malos olores, de tal manera que exige a los agricultores buscar métodos de ventilación, por lo que estos sistemas se ejecutan en pilas, contenedores y tanques totalmente cerrados.

### 2.4.2. FASES DEL COMPOSTAJE

Según FAO (2013) la temperatura generada durante el proceso, genera las siguientes etapas:

1. **Fase mesófila:** El material inicia a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este incremento de temperatura es ocasionado por el consorcio microbiano, ya que en esta fase los microorganismos utilizan C y N produciendo combustión. La desintegración

de los complementos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4 o 4,5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

- 2. Fase termófila o de higienización:** Los microorganismos que se incrementan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que intervienen en la degradación de fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina, esto sucede cuando el material obtiene temperaturas mayores a 45°C.
- 3. Fase de enfriamiento o mesófila II:** durante esta fase continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40°C los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino.
- 4. Fase de maduración:** el proceso de compostaje empieza con temperatura ambiente, sin embargo, en la fase de maduración regresa a período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

### **2.4.3. TAMAÑO DE LA PILA O VOLUMEN EN COMPOSTAJE**

Las dimensiones de la pila, como la gran altura, afecta al contenido de temperatura, humedad y oxígeno; mientras que las de baja altura y base ancha, tiene buena humedad inicial y relación C/N, esto se evidencia en que el calor ocasionado por los microorganismos se pierda fácilmente, generando baja temperatura, además, el tamaño de una pila depende de los residuos a compostar; generalmente, las pilas se realizan de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros (FAO, 2013).

#### 2.4.4. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EN LA PILA DE COMPOSTAJE

Según Naranjo (2013) la aplicación de microorganismos (bacterias fototróficas, bacterias lácticas, hongos y levaduras) se lo efectúa mediante una bomba manual, cubriendo la pila de compost de una solución total. Además APROLAB (2007) menciona que el proceso de inoculación del consorcio microbiano en la partición de las capas de los diferentes restos orgánicos, se va inoculando uniformemente con bomba de mochila, empleando una dosis de 100 a 200 mL en 20 litros de agua.

#### 2.4.5. PARÁMETROS A CONTROLAR DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Román, Martínez & Pantoja (2013) señalan que es fundamental tener conocimiento sobre el proceso de compostaje, por este motivo se debe mantener controlados los parámetros físicos-químicos presentes en el proceso (Tabla 2.1).

Cuadro 2.1. Indicadores de la evolución del proceso de compostaje

Indicador	Rango en fase Mesófila I (semana 1)	Rango ideal en fase termófila II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost madura (3-6 meses)
C/N	30:1	25:1 – 20:1	10:1- 20:1
Temperatura	Temperatura ambiente hasta 40°C	40-60°C	Temperatura ambiente
Humedad	40-60%	40-60%	40-60%
pH	<7	>8	Neutro = 7
Densidad aparente	0,25-0,40 g/mL	<0,70 g/mL	<0,70 g/mL

### ➤ **Temperatura**

Un buen proceso de descomposición conlleva a mantener rangos óptimos de temperatura, ya que esta juega un papel fundamental en la descomposición e higienización de la materia orgánica, dependiendo de la fase en la que se encuentra, será el rango adecuado, generalmente varía entre 55 a 60°C (Román *et al.*, 2013).

### ➤ **Humedad**

Según Larreátegui (2013) la humedad es un factor importante en el proceso del compostaje, ya que no debe superar dentro de los límites establecidos que van desde 40 a 60% incluyendo desde la etapa inicial y final del proceso. Cuando la humedad supera los rangos máximos (>60%) el agua provoca una podredumbre en la materia orgánica que interacciona en el proceso de compostaje, y a su vez se torna anaeróbico provocando olores incómodos y lentitud en la velocidad del proceso; pero, al contrario, cuando los rangos son menores a los ideales, el proceso se vuelve lento, pero no por la putrefacción de los residuos sino por la actividad microbiana que disminuye, sin dejar de mencionar que los niveles óptimos de humedad dependen de la cantidad de residuos a compostar.

### ➤ **Relación C/N**

Márquez *et al.* (2005) determinan que la relación de C/N es de gran importancia, debido a la interacción constante de los microorganismos en el residuo vegetal, ya que son los principales componentes del proceso y requieren 30 partes de carbono para 1 de nitrógeno (30/1 C/N), ya que la relación debe de ser equilibrada.

La velocidad del proceso de compostaje depende de la relación adecuada de C/N, si la relación sobrepasa los límites, la actividad biológica se reducirá; mientras que, si los productos a ser compostado contienen una relación C/N baja, surgirá un efecto de rapidez como consecuencia de la pérdida de carbono, a causa del exceso de nitrógeno que provoca la formación de amoníaco, por lo cual el producto final será escaso en nutrientes sin dejar beneficios en las diferentes actividades en los cultivos

vegetales que será utilizado. Una relación equilibrada de C/N garantiza la presencia de nutrientes como S, K, Ca, P, en cantidades adecuadas para ser aportadas al suelo (Román *et al.*, 2013).

➤ **Tamaño de partículas**

De acuerdo a Márquez *et al.* (2005) el tamaño de la partícula en la producción de compost, debe tener valores entre 1 a 3 cm, ya que, si es demasiado grande o demasiado pequeña, la descomposición con oxígeno se dará en la superficie, obteniendo como resultado la aparición de malos olores y esto ocasiona que la degradación de la materia prima sea muy lenta.

Según Bueno, Díaz & Cabrera (2013) el tamaño inicial de las pilas de compostaje es un parámetro muy indispensable que debe ser tomado en cuenta, ya que la reacción al ataque de los microorganismos es directamente proporcional a la superficie expuesta, es decir a mayor espacio por unidad de masa, más rápida será la reacción, y esto hace que la velocidad del proceso facilite el ataque del consorcio microbiano. Además, Fallas (2016) indica que la dimensión de las partículas debe ser a 5 cm, por lo que se les tritura para reducir el tamaño antes de la descomposición y estas se puedan degradar fácilmente por los microorganismos.

➤ **pH (potencial de hidrógeno)**

De acuerdo a Cajahuanca (2016) el potencial de hidrógeno al inicio del proceso del compostaje debe tener un valor de 5, debido a la aparición de ácidos orgánicos por la acción de los microorganismos mesofílicos; seguidamente después de tres días, comienza la etapa termofílica y el pH empieza a elevarse, llegando hasta valor de 8,5; durante el transcurso del compostaje el pH debe estar entre 5 a 7 por el progreso de la degradación de la materia orgánica. En la etapa de disminución de la temperatura, disminuye el valor de pH alcanzando a un valor de 7 en un compost maduro. Si el grado de aireación no es el adecuado, se producirán condiciones sin oxígeno, reduciendo el pH hasta un valor de 4,5 y retrasándose el proceso de compostaje.

### ➤ Oxígeno

En el compostaje se da una transformación aeróbica y se debe conservar una aireación apropiada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al aire. Así mismo, la ventilación evita que el material se petrifique o se inunde. Las necesidades de oxígeno son importantes durante el proceso del compostaje, ya que este alcanza la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (FAO, 2013).

El mismo autor indica que la saturación de oxígeno en el contorno no debe descender del 5%, siendo recomendable el 10%; además un exceso de aireación impulsaría la caída de la temperatura y una mayor disminución en la humedad por evaporación, ocasionando que el proceso de descomposición se paralice por falta de agua. Las células de los microorganismos se evaporan, algunos originan esporas y se suspende la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos.

### ➤ CE (Conductividad eléctrica)

Gordillo & Chávez (2016) expresan que la conductividad eléctrica procura aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento en la concentración de nutrientes, o un descenso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, inducidos por una saturación extrema de la misma. Sus valores al iniciar y finalizar el proceso no deben pasar de los 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

### ➤ Densidad aparente

Según Gordillo & Chávez (2016) la relación existente entre el peso y el volumen del sustrato representa un indicador de humedad dado que a menor densidad aparente mayor humedad; a mayor densidad menor humedad, es decir, existe la presencia de resequedad. El rango óptimo de densidad aparente en un proceso de compostaje va desde 0,40 a 0,70  $\text{g}/\text{mL}$ , al mismo tiempo se garantiza la presencia de una adecuada humedad.

De acuerdo a Moreno & Moral (2011) la densidad aparente en el proceso de compostaje puede incrementar o reducir dependiendo del nivel de humedad existente. El espacio libre reduce y el producto se endurece cuando la humedad es alta; si la humedad es baja, la densidad aparente se incrementa y los lugares porosos son ocupados por el aire.

#### **2.4.6. ELEMENTOS A CUIDAR EN EL COMPOSTAJE**

Según Gómez, González & Rubalcaba (2004) es importante batallar con ciertos microorganismos que logran interferir en la calidad del producto final como:

- **Patógenos:** Estos tipos de microorganismos (*Escherichia coli* y *Brucella abortus*) se encuentran a temperaturas menores a los 55°C, ya que en temperaturas bajas se facilita su reproducción, es decir, que el menor número de patógenos se obtiene en temperaturas mayores.
- **Coliformes fecales:** Estas bacterias se propagan en seres humanos y animales. Las altas temperaturas hacen que estas se inactiven (>55°C).
- **Salmonella spp:** Este microorganismo se adquiere a través de las frutas y vegetales en malas condiciones, por lo que resulta indispensable tener precaución con los residuos, debido a que su presencia puede afectar en la calidad del producto final. Es muy importante que la temperatura aumente a 55°C para deshacer este tipo de microorganismos.

#### **2.4.7. CALIDAD DEL COMPOST**

La calidad del compost se determina de acuerdo al uso que se le dé al producto, lo cual se precisa con la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de la vegetación, con un minucioso impacto ambiental y sin peligro para la salud pública” (Ansorena, Batalla & Merino, 2014).



El valor del compost está relacionado con el uso agronómico y comercial como un acondicionador del suelo, basándose en sus propiedades físicas y químicas, como humedad, pH, relación C/N, contenido de materia orgánica, sales minerales, y metales pesados. Un buen manejo de estos parámetros garantiza un compost de excelente calidad, con las siguientes ventajas: capacidad de retención de agua, aséptico, libre de contaminación, libre de malas fragancias, permanencia microbiológica, potencial de protección de erosión y de fertilización (Avendaño, 2003).

### ➤ **NORMALIZACIÓN SEGÚN LA NORMA CHILENA (NCH 2880)**

La NCH 2880 (2004), indica todos los parámetros a tomarse en cuenta para la clasificación del compost, de acuerdo a los requisitos que exige la norma, a continuación, se detalla:

#### ✓ **CLASIFICACIÓN DEL COMPOST**

- **Clase A:** producto de alto nivel de calidad que cumple con los requerimientos establecidos en el compost clase A. Este producto no muestra limitaciones de uso, debido a que ha sido sometido a la humificación.
- **Clase B:** nivel intermedio en los requerimientos establecidos para el compost clase B. Este producto tiene limitaciones de su uso para ser empleado a macetas y requiere ser combinado con otros elementos apropiados.
- **Inmaduro:** materia orgánica que ha pasado por las fases mesofílica y termofílica del transcurso del compostaje, donde ha sufrido una descomposición inicial, porque no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración necesarias para obtener un compost clase A o clase B.

## ✓ REQUISITOS DEL PRODUCTO COMPOSTADO

### ✓ Requisitos sanitarios

Todas las clases de compost deben cumplir con los requerimientos sanitarios como se establece en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2. Requisitos microbiológicos

Tipo de microorganismo	Tolerancia
<i>Coliformes fecales</i>	< A 1000 NMP por gramo de compost, en base seca.
<i>Salmonella sp</i>	Ausencia
NMP = Número más probable	

- **Requisitos físicos-químicos**

#### **Olores**

Todas las clases de compost deben presentar olores normales para el producto, según la cercanía de las instalaciones de producción a áreas pobladas, a las restricciones que establezca la autoridad competente respecto a las emanaciones.

#### **Materia prima**

Las materias primas para el compostaje deben provenir de residuos vegetales y animales que aporten materia orgánica no contaminada para ser procesada.

#### **Humedad**

Todo tipo de compost producido y comercializado en el país (clase A, B o C) debe presentar un contenido de humedad no menor al 30% en peso.

## Contenido de nutrientes

Todas las clases de compost deben tener contenidos de nutrientes de acuerdo al cuadro 2.3.

Cuadro 2.3. Requisitos de los nutrientes en el compost

Nutrientes	Contenido
Fósforo soluble	Menor o igual de 5 mg/L en extracto
Fósforo total	Menor o igual a 0,1%, en extracto
Nitrógeno amoniacal	Menor de 300 mg/L en extracto
Nitrógeno como nitrato	Mayor de 100 mg/L en extracto
Boro	Menor de 200 mg/kg de masa, en base seca.
Sodio	Menor de 1%, sobre base seca.

## CE (Conductividad eléctrica)

Las distintas clases de compost deben cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Clase A: menor o igual a 5 mmho/cm.
- b. Clase B: debe ser entre 5 mmho/cm y 12 mmho/cm.
- c. Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestándar.

## Relación C/N

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación (C/N) siguientes:

- a. Clase A, la relación (C/N) debe ser entre 10 y 25
- b. Clase B, la relación (C/N) debe ser entre 10 y 40
- c. Inmaduro o subestándar la relación (C/N) debe ser como máximo 50.

### **pH (potencial de hidrógeno)**

- a. El pH normal del compost entre 5,0 y 7,5
- b. El pH está entre 7,5 y 8,5, la relación de adsorción de sodio debe ser menor a 7
- c. El compost se considera inmaduro si posteriormente de una incubación de 24 h en condiciones sin oxígeno, a una temperatura de 55°C, el pH del producto es mayor a 6
- d. Si el pH es mayor a 7,5 se debe indicar en el rotulo el contenido de  $\text{CaCO}_3$

### **Materia orgánica**

Las clases de compost deben cumplir con los siguientes requerimientos:

- a. Compost clase A: mayor o igual a 45%
- b. Compost clase B: mayor o igual a 25%
- c. Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestándar

### **Tamaño de partículas**

Para toda clase de compost, el tamaño máximo de las partículas que lo componen debe ser mínimo o igual a 15 mm.

### **Fitotoxicidad**

Para todas las clases de compost el índice de germinación debe ser mayor o igual a 90% de las semillas sembradas en el compost.

## **2.4.8. BENEFICIOS DEL COMPOST**

Torres (2013) menciona los beneficios que facilita el compost a las plantas y suelos:

- Incremento de nutrientes y materia orgánica
- Disminución del uso de fertilizantes en los cultivos
- Mejora en la calidad del suelo

- Reduce la compactación presente del mismo
- Obtención de cultivos de calidad
- Reduce el riego de erosión
- Aumenta la capacidad de intercambio de cationes
- Controla enfermedades que padece el suelo, especialmente ocasionadas por la descomposición de las raíces de las plantas
- Incremento de las actividades microbianas.

#### **2.4.9. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A USAR EN EL ENSAYO**

##### **➤ Gallinaza**

Según Pérez & Villegas (2009) la gallinaza se considera un residuo orgánico característico que genera el volumen de los excrementos avícolas. Sin embargo, la gallinaza es un subproducto producido a diario en las granjas avícolas. La composición entre cama (viruta), deyecciones sólidas, y líquidas de las aves, se utilizan como propiedades para el abono orgánico y son reconocidas por el sector agrícola.

Los autores indican que la transformación de la gallinaza se compone en una alternativa para proveer el valor agregado a un residuo orgánico abundante y mitigar el impacto ambiental negativo que este puede ocasionar cuando no se procesa, debido a una mala utilización o disposición.

##### **➤ Cáscara de maní**

El residuo generado por su geometría cóncava le permite el ingreso de importante cantidad de aire en su interior. Eso hace que su aporte en volumen sea significativo. El peso específico de la cáscara de maní es aproximadamente de 45-50 g/L (INFOAGRO, 2010).

## **CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO**

### **3.1. UBICACIÓN**

La presente investigación se realizó en el laboratorio de Biología Molecular y en la Unidad de Docencia Investigación y Vinculación del hato porcino ubicado en el área Agropecuaria de la carrera de Medicina Veterinaria de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, que se encuentra en el sitio “El Limón” del cantón Bolívar situado geográficamente entre las coordenadas 0°49'23” Latitud Sur, 80°11'01” Longitud Oeste, con una altitud de 15 msnm.

### **3.2. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS<sup>1/</sup>**

Precipitación media anual:	838,7 mm
Temperatura media anual:	25,5°C
Humedad relativa:	81,9%
Heliofanía anual:	1245,1 (horas sol)
Evaporización:	1269,6 mm

### **3.3. DURACIÓN DEL TRABAJO**

La presente investigación tuvo una duración de ocho meses, desde mayo/2019 a enero/2020

### **3.4. FASE 1: LABORATORIO (VIABILIDAD Y PUREZA DEL CONSORCIO MICROBIANO)**

#### **3.4.1 FACTOR EN ESTUDIO**

A. Concentración de consorcio microbiano

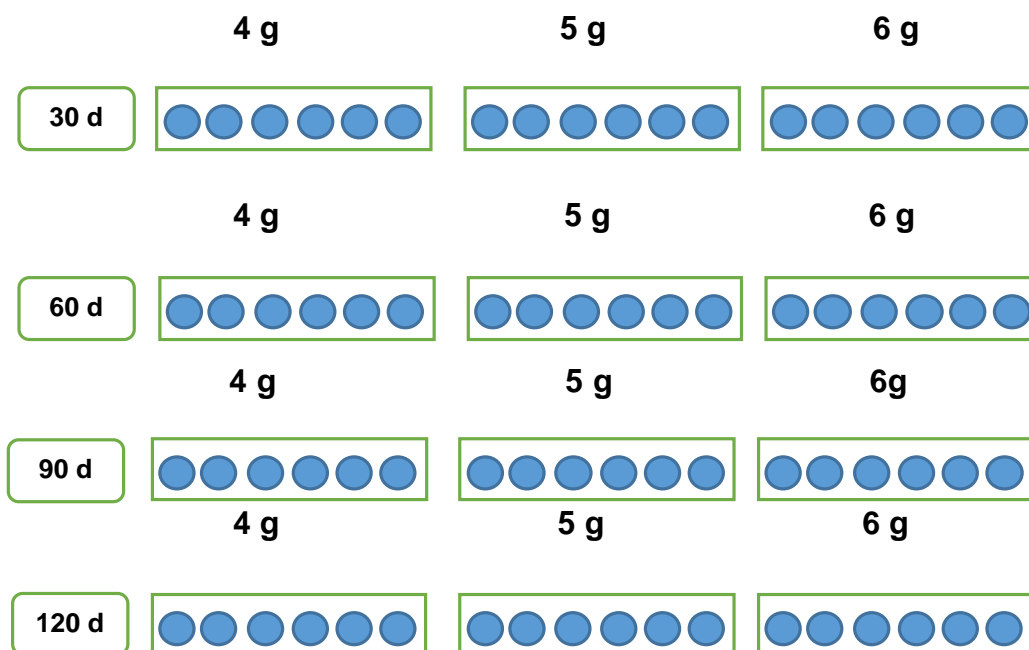
### 3.4.2 NIVEL Y TRATAMIENTOS DEL FACTOR EN ESTUDIO

- a1. 4 g de agente activo por cada 100 g de alginato
- a2. 5 g de agente activo por cada 100 g de alginato
- a3. 6 g de agente activo por cada 100 g de alginato

### 3.4.3. UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental estuvo conformada por seis cápsulas, obteniendo un total de 12 unidades experimentales.

### 3.4.4. ESQUEMA DE VIABILIDAD DEL CONSORCIO MICROBIANO ENCAPSULADO



### 3.4.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se utilizó el diseño completamente al azar (DCA) con cuatro réplicas.

### 3.4.6. ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Cuadro 3.1. Adeva de la prueba de viabilidad del encapsulado

ADEVA	
Fuentes de variación	Grados de libertad
Tratamiento	2
Error	9
Total	11

### 3.4.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO

- Activación de cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis*. y *T. longibrachiatum*

Las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis* y *T. longibrachiatum* fueron proporcionadas por el laboratorio de Biología Molecular que se encuentra adscrito a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM-MFL). Las cepas bacterianas estaban conservadas a -20°C, utilizando glicerol como crioprotector. La cepa fúngica la conservaban a 4°C por el método de repiques sucesivos. *B. subtilis* (21 BMC, 20 BP, 31 BMC, E-54, 50 BP) y *B. licheniformis* (E-44) se activaron en placas de agar nutritivo (AN) incubándolas a 37°C durante 18 horas. Pasado este tiempo, se realizó la tinción de Gram para verificar la pureza. *T. longibrachiatum* se cultivó en agar papa dextrosa (PDA) a 30°C durante 72 horas.

- Multiplicación de los microorganismos
  - *B. subtilis* y *B. licheniformis*
    - ✓ Para la multiplicación de las cepas de *B. subtilis* y *B. licheniformis* se preparó caldo nutritivo y se lo esterilizó en autoclave (yamato SM510).
    - ✓ Posteriormente se inoculó adicionando 100 µL de agente activo de cepas *B. subtilis* y *B. licheniformis*, seguidamente se incubó a 37°C durante 18 horas, esto constituyo el preinóculo.



- ✓ A partir del preinóculo se tomaron 1,5 mL de cultivo y se colocaron en tubos de micro centrifugas (Eppendorf).
  - ✓ Luego se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos
  - ✓ Se eliminó el sobrenadante y se resuspendió en 1 mL de solución salina (0,85).
  - ✓ Inmediatamente se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos.
  - ✓ Se volvió a eliminar el sobrenadante y se resuspendió en 1 mL, el concentrado obtenido se colocó en tubos Falcon y se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos.
  - ✓ Después se eliminó el sobrenadante y se resuspendió en solución salina estéril.
  - ✓ Posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos.
  - ✓ Finalmente se eliminó el sobrenadante y el ingrediente activo se conservó en refrigeración hasta su encapsulación.
- *T. longibrachiatum*
    - ✓ Para la multiplicación de *T. longibrachiatum* se preparó el medio de cultivo agar DG-18, se lo esterilizó en autoclave y se lo vertió en placas Petri.
    - ✓ Se realizó una siembra en el medio de cultivo punción en tres puntos equidistantes del agar DG-18.
    - ✓ Posteriormente se incubó a 30°C durante 72 horas.
    - ✓ A partir de este crecimiento se removieron las esporas, aplicando tween 80 (lobachemie) y la espátula de Drigalsky.
- Encapsulación del consorcio microbiano
- ✓ A partir del concentrado celular obtenido en la multiplicación tanto de la bacteria (*B. subtilis* y *B. licheniformis*) y hongo (*T. longibrachiatum*).
  - ✓ Se pesaron 4, 5 y 6 g de cada microorganismo por cada 100 mL de alginato de sodio (Cabe mencionar que en cada esfera formada están todas las cepas mencionadas anteriormente).

- ✓ Cada una de las variantes (4, 5, 6 g) se mezclaron con alginato de sodio y se agitó para homogenizar.
- ✓ Posteriormente se utilizó el sistema de goteo continuo el cual estuvo conformado por jeringas.
- ✓ Por último, se succionó la mezcla de alginato con ingrediente activo y se dejó caer a la solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) lo que ocasionó la formación de las esferas.

### 3.4.8. DATOS TOMADOS Y MÉTODO DE EVALUACIÓN

- Viabilidad y pureza del consorcio microbiano encapsulado
  - ✓ La valoración de la viabilidad del consorcio microbiano encapsulado se realizó durante 120 días de almacenamiento a  $4^\circ\text{C}$ , evaluando cada 30 días.
  - ✓ Se tomaron 6 cápsulas y se las colocó en  $0,9 \mu\text{L}$  (microlitro) de citrato de sodio (Lobachemic).
  - ✓ Una vez disueltas las cápsulas se realizaron diluciones seriadas hasta  $10^{-5}$  en solución salina estéril (0,85).
  - ✓ A partir de las diluciones  $10^{-3} - 10^{-4} - 10^{-5}$  se sembraron  $100 \mu\text{L}$  en agar nutritivo para el crecimiento de las bacterias de *B. subtilis* y *B. licheniformis*.
  - ✓ En las diluciones  $10^{-1} - 10^{-2}$  se sembraron en agar DG-18 para el crecimiento de la cepa *T. longibrachiatum*.
  - ✓ Luego se incubaron durante 24 horas y  $37^\circ\text{C}$  para cepas de *B. subtilis* y *B. licheniformis* y 72 horas a  $28^\circ\text{C}$  para *T. longibrachiatum*.
  - ✓ Culminado el tiempo de incubación se registró el número de unidades formadoras de colonias por mL.

## 3.5 FASE 2: DE CAMPO (EVALUACIÓN DEL CONSORCIO MICROBIANO)

### 3.5.1. FACTOR EN ESTUDIO

- Dosis de cápsulas del consorcio microbiano

### 3.5.2. NIVELES DEL FACTOR

- T1 200 g de cápsula
- T2. 400 g de cápsula
- T3. 600 g de cápsula
- Testigo (Sin inóculo)

### 3.5.3. TRATAMIENTOS

Cuadro 3.2. Dosis del consorcio microbiano en el proceso de compostaje

Tratamiento	Dosis del consorcio microbiano / 300 Kg de residuos agropecuarios
T1	200 g
T2	400 g
T3	600 g
Testigo	Sin inóculo

### 3.5.4. UNIDAD EXPERIMENTAL

Cada unidad experimental estuvo conformada por una pila de compost a base de 300 kg de residuos agropecuarios (100 kg de gallinaza y 200 kg de cáscara de maní) en condiciones adecuadas para dar la relación de C/N ideal para la elaboración de compost.

### 3.5.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el análisis de los parámetros de temperatura, pH, humedad, conductividad eléctrica se aplicó estadística descriptiva, para la visualización de los valores promedio de cada muestra, en los parámetros evaluados de los tratamientos en estudio se procedió a graficarlos en el programa Excel; la calidad del compost se verificó a los 120 días, empleando las normas.

En cada parámetro evaluado se muestra la categorización emitida por las normas de calidad del compost. En el parámetro de fitotoxicidad se realizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con tres repeticiones por tratamiento; cada replica estuvo conformada por muestras de compost tomadas en diferentes puntos equidistantes en las pilas de compost, el análisis de varianza (ANOVA) de un factor y la comparación de medias se realizó a través de la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ) en el programa estadístico Infostat.

### 3.5.6. MANEJO DEL EXPERIMENTO

- Recolección de residuos del compostaje

El residuo de cáscara de maní se obtuvo de la empresa Producom, ubicada en el cantón Tosagua, la gallinaza se la obtuvo en la granja avícola Bitar ubicada en Calceta, barrio Mocochal. Cada pila de compost tuvo un total de 300 kg (100 kg de gallinaza y 200 kg de cáscara de maní). La cáscara de maní se trituró en un molino eléctrico para facilitar su descomposición.

- Caracterización de los residuos agropecuarios

La mezcla se realizó en base a los resultados obtenidos de los análisis de la relación C/N de la cáscara de maní y gallinaza.

Cuadro 3.3. Caracterización de los residuos del proceso de compostaje

Características	Cáscara de maní	Gallinaza
Relación C/N	7,98	1,54
Materia orgánica (%)	5,49	5,91

Fuente: Laboratorio de Agro análisis

- Formación y manejo de las pilas de compostaje
  - ✓ Para la elaboración de las pilas de compostaje se tomó en cuenta la humedad inicial de los residuos agropecuarios de 55%, logrando una actividad microbiana ideal.
  - ✓ La inoculación de los microorganismos encapsulados se aplicó al voleo mientras se realizaban las capas, posteriormente se homogenizó cada capa mediante el mezclado manual.
  - ✓ Una vez conformadas las pilas se cubrieron con plástico negro.
  - ✓ La aireación en el interior de las pilas se logró mediante volteos, que se realizaban cada 8 días, con la intención de regular la temperatura, humedad y pH.

### 3.6. VARIABLES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN

#### 3.6.1. PARÁMETROS AMBIENTALES

La temperatura se analizó consecutivamente durante los primeros 15 días, mientras que el pH y la humedad durante 11 días; las siguientes evaluaciones se registraron cada 15 días, tomándose muestras del sustrato en cinco puntos equidistantes de la pila de compost y posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Biología Molecular. Las técnicas empleadas se mencionan a continuación:

- **Temperatura:** para determinar la temperatura se colocó directamente el termómetro punzón en cinco puntos equidistantes de la pila.
- **pH (Potencial Hidrógeno):** a partir de las muestras tomadas de los tratamientos en estudio se procedió a pesar 10 g del sustrato y se mezcló en

50 mL de agua destilada (relación 1:5 p/v), posteriormente se dejaron en reposo durante 5 minutos, a continuación, se determinó el pH empleando el potenciómetro (OAKLOON).

- **Humedad:** para determinar el % de humedad se procedió a pesar 1,5 g de la muestra del sustrato, a continuación, las muestras se ubicaron en la estufa durante 4 horas a 105°C. Transcurrido éste tiempo se obtuvo el peso seco de la muestra, determinándose el porcentaje (%) de humedad mediante la siguiente ecuación:

$$\% \textit{ humedad} = (M1 * M2) * 100 / M$$

**Donde:**

**M1:** Peso del crisol muestra húmeda

**M2:** Peso del crisol más muestra seca

**M:** Peso de la muestra (1,50 g)

### 3.6.2. PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS

La conductividad eléctrica se analizó consecutivamente durante los primeros 11 días, las siguientes evaluaciones se registraron cada 15 días, tomándose muestras del sustrato en cinco puntos equidistantes de la pila de compost, y posteriormente las muestras fueron trasladadas al laboratorio de Biología Molecular. En lo relacionado con la determinación del porcentaje (%) de materia orgánica y de los macros y micros elementos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, Cu, Fe, Mn) se realizó a los 30, 60, 90 y 120 días del proceso, para esto se tomaron 500 g de muestra de cada tratamiento colocándose en fundas (Ziploc). Las muestras fueron enviadas al laboratorio de INIAP-Pichilingue para su respectivo análisis. Las técnicas empleadas se describen a continuación:

- **Conductividad eléctrica (CE):** a partir de las muestras tomadas de los tratamientos en estudio se procedió a pesar 10 g del sustrato y se mezcló en 50 mL de agua destilada (relación 1:5 p/v) posteriormente se dejaron en reposo

durante 5 minutos, a continuación, se determinó el CE empleando el conductímetro (OAKLOON).

- % Materia orgánica, relación carbono/nitrógeno, macros y micronutrientes: Las muestras fueron enviadas al laboratorio de INIAP-Pichilingue para su respectivo análisis.

### 3.6.3. PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

Los indicadores de patógenos Coliformes fecales, *Staphylococcus* y *Mesófilos aerobios* se determinaron a los 60, 90 y 120 días. Para ello se trasladaron las muestras al laboratorio de microbiología de la ESPAM MFL.

- ✓ Se pesó 10 g de sustrato por cada tratamiento, se le añadió 90 mL de agua destilada, y se agitaron las muestras.
- ✓ Después se sembró 1 mL en agar nutriente en caja Petri para el crecimiento de bacterias *Mesófilos aerobios*, con la dilución  $10^{-4}$ .
- ✓ Luego se sembró 1 mL en un medio manitol para el crecimiento de *Staphylococcus*, con la dilución  $10^{-3}$ .
- ✓ Se sembró 1 mL en el medio mackonkey para el crecimiento de Coliformes fecales y totales, en la dilución  $10^{-2}$ .
- ✓ Finalmente, las muestras se ubicaron a la estufa durante 24 horas a 35°C. Culminado el tiempo se registró el número de unidades formadoras de colonias (UFC/mL).

### 3.6.4. PARÁMETRO DE FITOTOXICIDAD

Para este ensayo se emplearon tres réplicas por cada tratamiento.

- ✓ La fitotoxicidad de las muestras del compost se determinó en cajas Petri previamente esterilizadas revestidas con papel filtro Whatman #2.

- ✓ A partir de la muestra extraída se pesaron 10 g y se transfirieron a 900 mL de agua destilada
- ✓ Luego se agitó en el agitador magnético durante una hora, posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 5 minutos.
- ✓ Después de la centrifugación se separó el sobrenadante y se filtró a través de un filtro de membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ .
- ✓ A continuación, se ubicaron uniformemente 10 semillas de rábano (*Raphanus sativus*) dejándose en oscuridad durante 8 días temperatura ambiente, para el testigo se utilizaron semillas colocadas en papel filtro humedecido solo con agua destilada (Gao, Liang, Yu, Li & Yang, (2010); Guo *et al.* (2012).
- ✓ Después del período de incubación se registró el porcentaje de germinación, además se midió la elongación de la raíz primaria y se expresó como índice de germinación (IG), mediante las siguientes fórmulas propuestas por Zucconi, Pera, Forte & Bertoldi (1981); Tiquia & Tam (1998):

$$\text{Donde: PGR} = \frac{\text{Numero de semillas germiadas en el extracto}}{\text{Numero de semillas germinadas en el testigo}} * 100$$

$$\text{CRR} = \frac{\text{Elongación de radículas en el sustrato}}{\text{Elongación de radículas en el testigo}} * 100$$

$$\text{IG} = \frac{\text{PGR} * \text{CRR}}{100}$$



## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. FASE DE LABORATORIO

#### 4.1.1 SUPERVIVENCIA ENCAPSULADOS DE *B. subtilis*, *B. licheniformis*

Las microcápsulas elaboradas y evaluadas en este estudio mostraron una buena tasa de supervivencia de las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis* (Cuadro 4.1) durante los 120 días de almacenamiento; sin embargo, a partir de los 60 días se observó una disminución de las UFC bacterianas para todos los tratamientos; a los 120 días de almacenamiento la concentración de ingrediente activo de 6 g fue la que mantuvo la mayor cantidad de UFC de las cepas de *B. subtilis*, *B. licheniformis*.

Cuadro 4.1 Cepas *B. subtilis* y *B. licheniformis* encapsulados (UFC/mL)

Ingrediente activo	Tiempo (días)			
	30	60	90	120
T1 (4 g)	$6,8 \times 10^7$	$4,5 \times 10^3$	$5,5 \times 10^3$	IN
T2 (5 g)	$1,7 \times 10^8$	$5,6 \times 10^3$	$4,5 \times 10^3$	IN
T3 (6 g)	$7,5 \times 10^7$	$6,0 \times 10^3$	$5,0 \times 10^3$	IN

IN: Incontable

Los resultados obtenidos son similares a lo reportado por Bregni, *et al.* (2000); Fritzen, *et al.* (2012); Amir, Badinloo, Ohadi, Dehghan & Noudeh (2016); Jantarathin, Borompichaichartkul & Sanguandeeikul (2017). La supervivencia de las cepas bacterianas y del hongo *T. longibrachiatum* (Cuadro 4.2) posiblemente se deba a la protección que le confiere el material de recubrimiento (Pérez, Bueno, Brizuela, Tortoló, & Gastón, 2013). Las cepas de *B. subtilis* y *B. licheniformis* también presentan como característica de protección la producción de endosporas, que las mantiene viable cuando las condiciones se tornan desfavorables (Hernández, Badía & Pérez, 2011).

#### 4.1.2 SUPERVIVENCIA ENCAPSULADOS DE *T. longibrachiatum*

El estudio sobre la supervivencia de las microcápsulas con alginato durante el almacenamiento a 4°C, demostraron que *T. longibrachiatum* se mantuvo viable durante los 120 días; de los cuales, a los 30 días el que tuvo mayor UFC/mL fue 2,6

$\times 10^4$ ; a los 60 días fue el T3 con  $1,2 \times 10^4$ ; a los 90 días fue T1  $8,4 \times 10^4$ ; y a los 120 días fue T1  $6,4 \times 10^4$  (Cuadro 4.2).

Cuadro 4.2 Supervivencia de cepa *T. longibrachiatum* (UFC/mL)

Ingrediente activo	Tiempo (días)			
	30	60	90	120
T1 (4 g)	$1,3 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$	$8,4 \times 10^4$	$6,4 \times 10^4$
T2 (5 g)	$1,5 \times 10^4$	ND	$3,0 \times 10^4$	$2,3 \times 10^4$
T3 (6 g)	$2,6 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$3,2 \times 10^4$	$2,6 \times 10^4$

ND. No determinado

La investigación muestra resultados que coinciden con los trabajos realizados por Adzmi, Meon, Musa & Yusuf (2012); Mancera, Izquierdo, Escalante, Ibarra & Barrera (2018). Se observan diferentes valores para la concentración de conidios a los 30, 60, 90 y 120 días, esto puede deberse a la diferente capacidad de captura de los conidios, para cada tratamiento en estudio, que está relacionada con la formación compleja entre matrices encapsulantes (Locatelli, Santos, Botelho, Finkler & Bueno, 2018). Al final del proceso de almacenamiento la concentración de ingrediente activo de 4 g fue la que mantuvo la mayor cantidad de germinación de conidios de *T. longibrachiatum*.

## 4.2 FASE DE CAMPO (EVALUACIÓN DEL COMPOST)

### 4.2.1 PARÁMETROS AMBIENTALES

#### ➤ Temperatura

Como se observa en el gráfico 4.1, las pilas de compostaje iniciaron con temperatura ambiente, luego los tratamientos aumentaron durante los primeros días, de tal manera que a las 48 horas de haber iniciado el proceso, ya se alcanzaron valores de  $64^\circ\text{C}$ , al quinto día se evidenciaron temperaturas mayores a  $65^\circ\text{C}$  en todas las pilas de compostaje, durante el segundo y octavo día antes del volteo, se mostraron temperaturas que oscilan de  $57$  a  $69^\circ\text{C}$ ; entre los 30 y 90 días, y se mantuvieron en descenso desde  $39^\circ\text{C}$  hasta  $30^\circ\text{C}$ , a los 120 días; T1 y T3 presentaron el valor más bajo de temperatura, el mismo que fue de  $30^\circ\text{C}$ , el resto presentaron valores entre 33

y 35°C; como se pudo notar, el testigo tuvo el mismo comportamiento que los otros tratamientos.

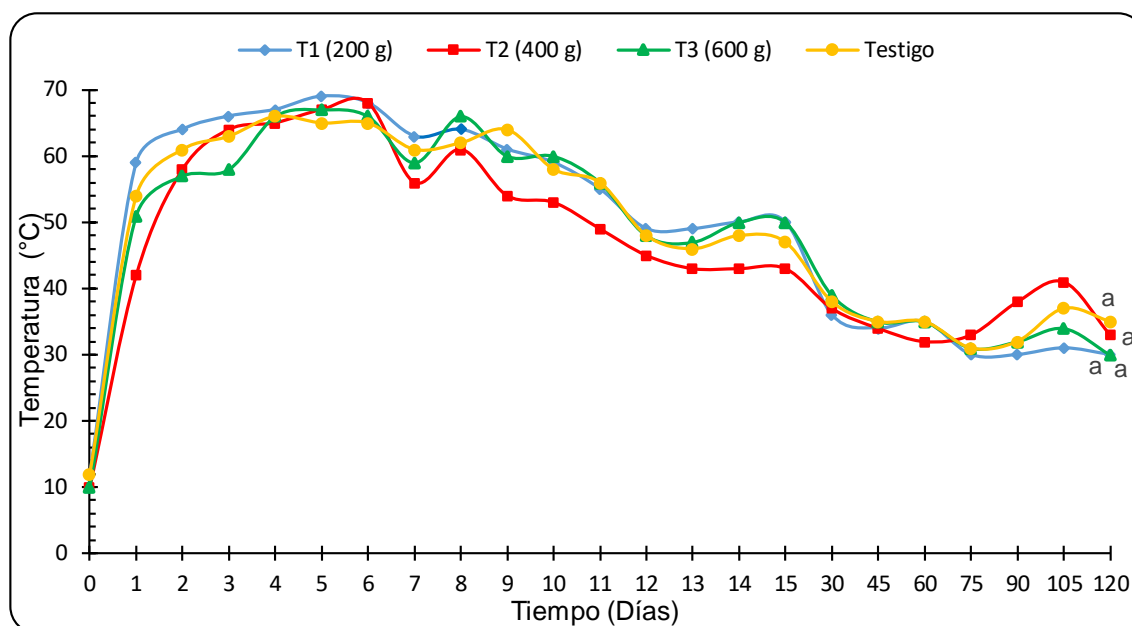


Gráfico 4.1. Comportamiento de la temperatura en el tiempo de evaluación del compostaje

Los resultados obtenidos, coinciden con publicaciones de Silva, Piedad & Valencia (2004); FAO (2013) en donde manifiestan que, al inicio del proceso de compostaje, las pilas se encuentran a temperatura ambiente, luego se presenta una fase de adaptación en donde se da un aumento gradual, debido a que, los microorganismos deben adaptarse al tipo de sustrato, posteriormente la temperatura se incrementa rápidamente hasta lograr la etapa termofílica de 40 a 60°C.

Van Heerden, Cronje, Swart & Kotze (2002) aseguran que es muy importante una temperatura mayor o igual de 55°C en los primeros 15 días; esto ayuda a la destrucción de microorganismos como los patógenos y la inhibición de la germinación de semillas indeseables que podrían causar inconvenientes en el compost al momento de usarlo, así lo afirman (Sauri & Castillo, 2002; Benito, Masaguer, Moliner & Antonio, 2005; Defrieri, Jiménez, Efron & Palma, 2005; Hoyos, Vargas & Velasco, 2010).

Además, Brito, Coutinho & Smith (2008); Kader, Robin, Paillat & Leterme (2007) afirman que el volteo incrementa la aireación natural, permitiendo alcanzar los mayores parámetros de temperaturas del proceso y concluyen que el volteo incrementa la tasa de mineralización y que ésta presenta una estabilización, después de las primeras cuatro semanas.

Estos resultados también concuerdan con la NCH 2880 (2004) la cual plantea que la temperatura se mantenga en valores mayores a 55°C al menos tres días consecutivos antes de un volteo o entre 45-50°C para conseguir la reducción de los patógenos; además, el tamaño de las partículas de la cáscara de maní posibilita mayor aeración y por ende liberación de calor, haciendo que las pilas de compostaje reduzcan su temperatura, tal como lo afirman (Carriello, Castañeda, Riobo & González, 2007).

Mientras que Turan, Matías & Arrigo (2009) mencionan que cuando la materia orgánica comienza a estabilizarse, la actividad microbiana y el proceso de descomposición decrecen y la temperatura disminuye hasta el nivel ambiental, como señal de que el proceso ha finalizado. Coincidiendo con lo planteado por varios investigadores Paneque & Calaña (2004); Benito *et al.* (2005) quienes sostienen que la temperatura es un indicador de estabilidad del compost al momento de la cosecha y sugieren además que la temperatura debe ser igual a la del ambiente.

#### ➤ **pH (potencial de hidrógeno)**

El gráfico 4.2 muestra que al inicio del proceso del compostaje los tratamientos T1, T2, T3 y testigo tuvieron un pH ligeramente básico con los valores de 8,5; 8,5; 8,6 y 8,2; respectivamente; después de los 30 días, las pilas de compostaje tuvieron un pH alcalino, luego fue decreciendo, hasta evidenciar un pH neutro que se mantuvo hasta los 90 días; a los 120 días hubo un descenso de pH en T1 y Testigo, mostrando valores 7,6 y 7,9; en T2 y T3 subieron los valores de pH hasta alcanzar 8,1 y 8.

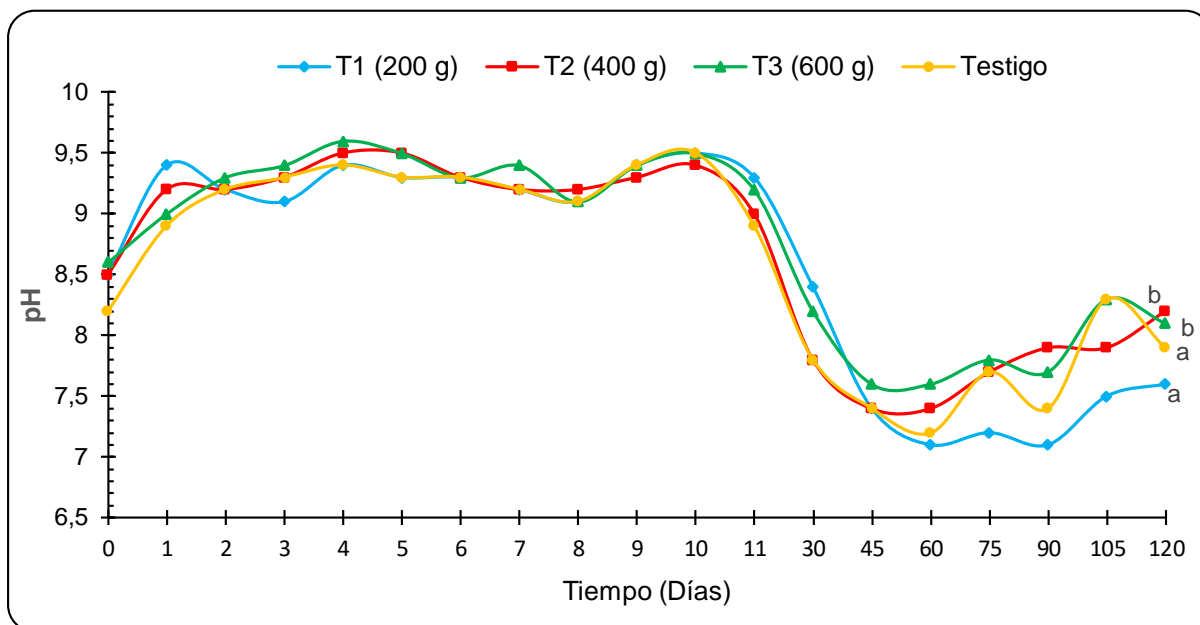


Gráfico 4.2. Comportamiento del pH en la evaluación del compostaje

Desde el inicio del proceso del compostaje las pilas presentaron valores básicos; estos resultados concuerdan con autores como Smárs, Gustafsson, Beck & Jonsson (2002); Sundberg, Smárs & Jonsson (2004); Nakasaki, Nag & Karita (2005); Tognetti, Mazzarino & Laos (2007); Muñoz & Pérez (2015) quienes indican que valores básicos de pH se asocia con la temprana producción de ácidos grasos de cadenas pequeñas y a la producción de gas amonio ( $\text{NH}_3$ ), que es producto de la desintegración microbiana de la materia orgánica fácilmente degradable.

Según Paredes, Bernal, Roig & Cegarra (2001); Márquez (2003) el pH es efecto directo de la evolución biológica del proceso oxidativo del compostaje y ejerce una consecuencia evidente sobre la disponibilidad de los nutrientes, porque determina la solubilidad, controla la clase y tipo de actividad microbiológica y por lo tanto la mineralización de la materia orgánica y el aumento del pH está asociado a las altas temperaturas presentadas en la etapa termofílica principalmente por la acción metabólica de algunos tipos de ácidos como los carboxílicos y los grupos fenólicos.

De acuerdo a lo que se indica en la NCH 2880 (2004) el T1 y Testigo se ubican en un compost de categoría A (valores entre 7- 8), mientras que T2 y T3 en categoría B

(valores mayores a 8); otros autores como Paneque & Calaña (2004); Pérez, Céspedes & Núñez (2008); Varnero, Rojas & Orellana (2007) sugieren valores cercanos al neutro, desde el empleo agropecuario. Román *et al.* (2013) expresan que el pH es un parámetro que indica un buen desarrollo del proceso y la actividad de los microorganismos.

Los valores de pH en los tratamientos guardan similitud al estudio realizado por Arias, Pérez, Laines & Castañón (2009) sobre la comparación de dos técnicas de aireación en la degradación de la materia orgánica, obtuvieron un pH inicial de 8,02 y final 7,85; Torres, Pérez, Escobar, Uribe & Imery (2007) realizaron compostaje de biosólidos de plantas de tratamientos de agua residuales obtuvieron pH inicial 7,05 y el producto final 7,40. Pérez, Sánchez, Palma & Salgado (2011) indican que al obtener el producto final, este desciende hasta llegar a pH neutro.

- **Humedad**

En este ensayo todas las pilas de compostaje se iniciaron con una humedad de 55%; los primeros 11 días se mantuvo en un rango de 51 a 60%, desde los 30 a 60 días, a los 90 días se evidenció un intervalo de 56 a 57%; y los 120 días se alcanzaron valores que van desde 55 y 60% en todos los tratamientos.

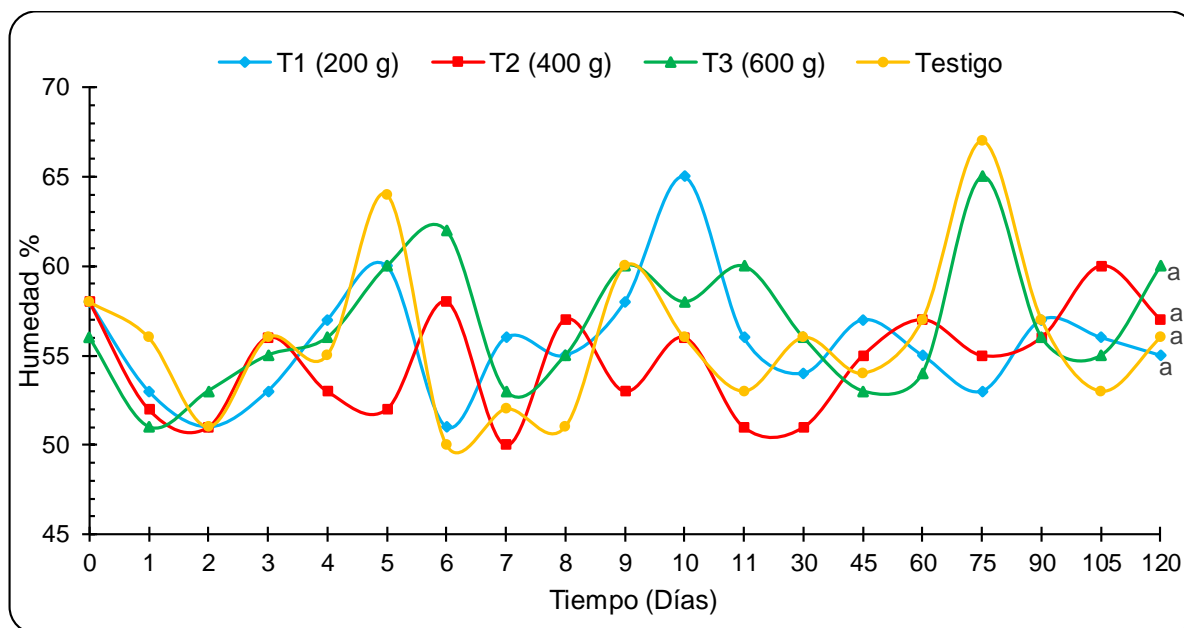


Gráfico 4.3. Comportamiento de humedad en la evaluación del compostaje.

El valor óptimo de la humedad para garantizar un compost de calidad es de 55%; sin embargo, el estado físico, el tamaño de las partículas y el sistema empleado para realizar el compostaje, juegan un papel importante en la variación de dichos valores; ya que, si se obtienen valores menores a 45%, se disminuye la actividad microbiana, evitando que se completen las fases de degradación, ocasionando que el compost sea biológicamente inestable; además si se obtienen valores mayores a 60%, el agua evitará la oxigenación del material (FAO, 2013).

Richard, Hamelers, Veecken & Silva (2002); Chang, Tsai & Wu (2006) mencionan que el rango óptimo de humedad durante el proceso de compostaje, para garantizar un compost de calidad es de 50-70%. Según Álvarez (2010); Bertran, Ordenar, Soliva & Trillas (2014); Muñoz & Pérez (2015); Ahmand, Arshad, Jilani & Zahir (2007) consideran que la humedad es uno de los aspectos críticos para lograr la optimización del compostaje; para promover la actividad microbiana.

Gordillo, Peralta, Chávez, Contreras & Campuzano (2011) indican que se deben evitar valores mayores a 70% de humedad ya que dificultan la actividad biológica, esto hace que el agua desplace al aire en los espacios libres existente entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciendo anaerobiosis, lo cual es suficiente para sostener la población de hongos y actinomicetos que actúan en la etapa de estabilidad del compost; de acuerdo a la NCH 2880 (2004), un compost maduro debe estar en rangos de 50-70% de humedad, coincidiendo así con los resultados obtenidos en esta investigación.

#### **4.2.2 PARÁMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS**

##### **➤ Conductividad eléctrica (dS.m<sup>-1</sup>)**

Como lo muestra el gráfico 4.4, al inicio del proceso de compostaje, en las pilas T1, T2, T3 y Testigo, la CE fue de 1,4; 1,06; 1,04; 0,96 dS m<sup>-1</sup>; respectivamente. En los días 5 y 6, la CE aumentó significativamente en todos los tratamientos, mostrando valores que oscilan entre 4,46 a 5,7 dS m<sup>-1</sup>. A partir de los 7 días la CE estuvo entre

(1,54 a 2,13)  $\text{dS m}^{-1}$ , luego estos, se mantuvieron en un rango similar hasta los 120 días, que se evidenciaron los siguientes datos: T1, T2, T3 y Testigo, con 1,58; 1,03; 1,4 y 1,39  $\text{dS m}^{-1}$  respectivamente.

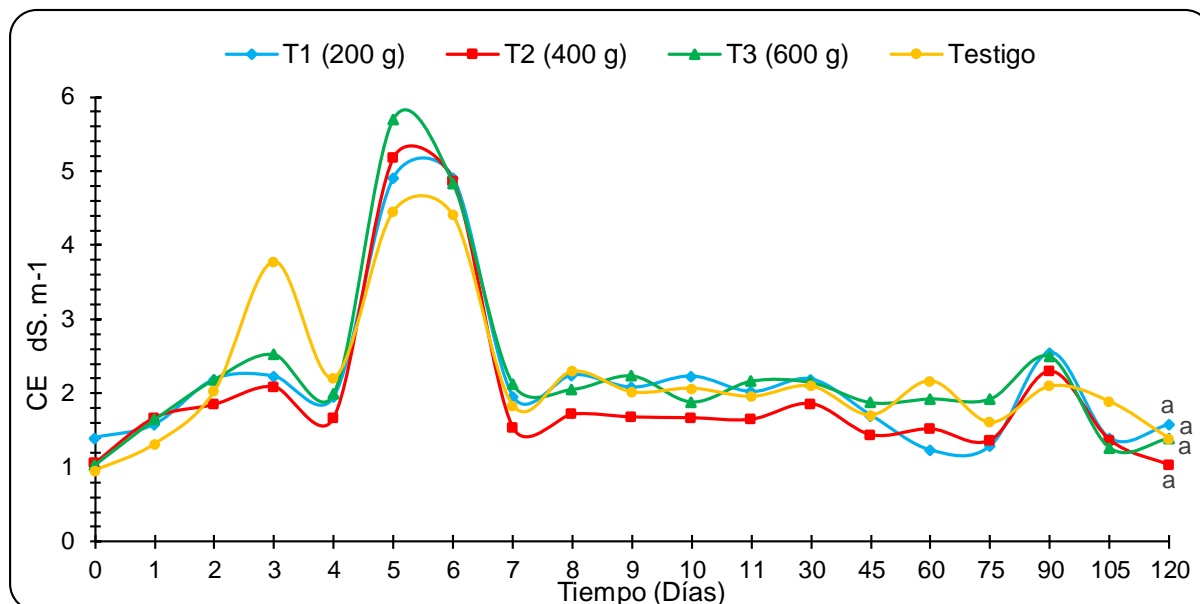


Gráfico 4.4. Comportamiento de la CE en la evaluación del compostaje.

La conductividad eléctrica es un cuantificador importante en la calidad del compost como indicador de la concentración de sales en el sustrato (Maheshwari, 2014), ya que el exceso de sales minerales como el Na puede ocasionar inhibición en el desarrollo de las plantas (Bernal *et al.*, 2017) o cual puede ocasionar problemas de germinación y de desarrollo radicular (Stoffella & Kahn, 2001).

Expresan Sánchez, Roig, Paredes & Bernal (2001) que la naturaleza y composición de los residuos, son un factor muy importante en la CE del compost, fundamentalmente por su contenido de sales y en menor grado por la presencia de iones amonios o nitrato formados durante el proceso; habitualmente la CE aumenta durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento en la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de las mismas.



De acuerdo a la NCH 2080 (2004), el compost realizado en la presente investigación coincide con valores para un compost maduro que debe ser menor o igual a 5 dS m<sup>-1</sup>; de tal forma que ubica el compost en clase A; además Hargreaves, Adl & Warman (2008) en un estudio realizado en biorresiduos, obtuvo un producto final que arrojó valores de CE entre 3,69 a 7,49 dS.m<sup>-1</sup> y que mostraron no tener problemas con el crecimiento de las plantas. Otros estudios realizados por Koivula, Raikkonen, Urpilainen, Ranta & Hanninen (2004), mostraron un valor de 4 dS/m<sup>-1</sup>; Dimambro, Lillywhite & Rahn (2006) reportaron compost con valores < 2 dS/m<sup>-1</sup>; es decir que las pilas de compostaje presentaron valores dentro de los parámetros reportados para su uso en la agricultura.

- **Materia orgánica (%)**

Como se puede observar el cuadro 4.3, la materia orgánica (MO), en T1, T2, T3 y Testigo, a los 30 días reflejó valores desde 19 a 19,6%; mientras que, en los 60 días, estos fluctuaron entre 17,8 y 19,2% de MO; en los 90 días se evidenciaron medidas desde 19 a 19,6 %; finalmente a los 120 días se evidenciaron datos entre 19,2 y 22,5 %.

Cuadro 4.3. Comportamiento de la materia orgánica en el compostaje

Tratamientos	Tiempo de compostaje (días)			
	30	60	90	120
T1 (200 g)	19,2	19,0	19,0	19,2 <sup>a</sup>
T2 (400 g)	19,1	19,2	19,6	22,0 <sup>a</sup>
T3 (600 g)	19,0	19,0	19,4	22,5 <sup>a</sup>
Testigo	19,6	17,8	19,4	19,5 <sup>a</sup>

a, b, c categorización de calidad de compost de acuerdo a la Norma Chilena 2880

La rapidez con la que se transforma la materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen en el proceso; entre ellos, la humedad, aireación, temperatura y pH (Michel, Pecchia & Rigot, 2004). Coincidiendo con la NCH 2880 (2004) y FAO (2013) quienes señalan que un compost maduro debe tener valores menores o iguales a 25%. Por lo tanto, el presente estudio, ubica a todos los tratamientos como compost de clase A y se lo puede considerar confiable.

Según Tchegueni *et al.* (2013), señalan que si la MO es altamente humificada (estable), el efecto del compost será más duradero. Similares resultados fueron reportados por Torres *et al.* (2007) quienes obtuvieron valores finales de materia orgánica entre 16,7 y 22,4% en compostajes elaborados con la mezcla de biosólidos.

- **Relación C/N**

Tal como se muestra en el cuadro 4.4, a los 30 días el tratamiento que tuvo mayor relación C/N fue el testigo con 10,1 y el menor fue T1 con 5,8. A los 60 días se evidenció un promedio de 7,2 a 10,9; a los 90 días, se registraron valores entre 6,1 a 10,6; a los 120 días, la relación C/N en T1, T2, T3 y Testigo de 6,8; 7,4; 7,7 y 8,1 respectivamente.

Cuadro 4.4. Relación C/N durante el proceso de compostaje

Tratamientos	Tiempo de compostaje (días)			
	30	60	90	120
T1 (200 g)	5,8	7,2	6,1	6,8
T2 (400 g)	7,0	10,9	7,1	7,4
T3 (600 g)	7,0	8,9	9,4	7,7
Testigo	10,1	9,0	10,6	8,1

Al final del proceso de compostaje se registraron valores bajos en la relación C/N en todos los tratamientos (Cuadro 4.4), esto puede deberse por el contenido de humedad inicial que estuvo por debajo del 60%; estos resultados son muy similares a los alcanzados por Shen, Yang, Huang, Hu & Long (2015) que obtuvieron una relación C/N de 8,39; 11,81 y 7,09 en los experimentos con contenido de humedad 55, 60 y 65% en su orden.

Conocer el contenido de humedad inicial de cada uno de los residuos que se utilizan en procesos de compostaje es primordial para obtener una relación C/N adecuada. Al respecto, Shen *et al.* (2015) y Yang *et al.* (2013) mencionan que la relación C/N tiende a disminuir a medida que se incrementa el porcentaje del agua atrapada y se reduce el porcentaje de agua monocapa, debido a la degradación de bastante cantidad de materia orgánica biodegradable y el nitrógeno presente se concentra.

- **Macronutrientes % (N, P, K, Ca, Mg)**

Como se muestra en el cuadro 4.5 de los macronutrientes, a los 30 días el N está en un rango de 1,10 a 1,90%; el P está en valores de 0,52 a 0,61%; K evidencia datos desde 1,05 hasta 1,48; Ca tuvo porcentajes de 3,11 a 3,84%; Mg se encuentra entre 0,34 a 0,41. A los 60 días arrojaron los siguientes datos: N de 1,00 a 1,50%; el P está en un intervalo de 0,25 a 0,47%; K mostró un rango de 0,69 a 1,39%; Ca desde 3,19 a 3,97%; Mg se encuentra en un intervalo de 0,21 a 0,36%.

Cuadro 4.5. Macronutrientes en 30 y 60 días en el proceso de compostaje

Tratamiento	Tiempo de compostaje (días)									
	30					60				
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	N%	P%	K%	Ca%	Mg%
T1 (200 g)	1,90	0,50	1,07	3,84	0,34	1,50	0,47	1,11	3,97	0,34
T2 (400 g)	1,60	0,52	1,05	3,11	0,36	1,00	0,45	1,15	3,45	0,36
T3 (600 g)	1,60	0,61	1,48	3,35	0,41	1,20	0,45	1,39	3,72	0,35
Testigo	1,10	0,52	1,33	2,52	0,37	1,20	0,25	0,69	3,19	0,21

A los 90 días los macronutrientes en el (cuadro 4.6) indicaron que N está en un rango de 1,10 a 1,60%; el P en un intervalo de 0,40 a 0,81%; K mostró 0,91 a 1,45%; Ca reflejó parámetros desde 2,88 a 4,56%; Mg se encuentra en 0,33 a 0,51%. A los 120 días el N estuvo en 1,60 a 1,70%; el P en un intervalo de 0,92 a 1,19%; K muestra valores desde 1,50 a 1,93%; Ca desde 3,35 a 4,71%; Mg evidenció datos desde 0,41 hasta 0,69%.

Cuadro 4.6. Macronutrientes en 90 y 120 días en el proceso de compostaje

Tratamientos	Tiempo de compostaje (días)									
	90					120				
	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	N%	P%	K%	Ca%	Mg%
T1 (200 g)	1,60	0,52	1,05	3,11	0,36	1,60 <sup>a</sup>	0,61 <sup>a</sup>	1,50 <sup>a</sup>	3,35 <sup>a</sup>	0,41 <sup>a</sup>
T2 (400 g)	1,60	0,51	0,91	3,62	0,33	1,70 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	1,93 <sup>a</sup>	4,67 <sup>b</sup>	0,69 <sup>a</sup>
T3 (600 g)	1,20	0,81	1,45	4,56	0,51	1,60 <sup>a</sup>	1,31 <sup>a</sup>	1,79 <sup>a</sup>	4,71 <sup>b</sup>	0,67 <sup>a</sup>
Testigo	1,10	0,40	1,15	2,88	0,36	1,70 <sup>a</sup>	0,92 <sup>a</sup>	1,77 <sup>a</sup>	3,61 <sup>b</sup>	0,60 <sup>a</sup>

a, b, c categorización de calidad de compost de acuerdo a la NCH 2880; Técnica Colombiana 5167, NMX-AA-180-SCFI; Sullivan, Bary, Miller, & Brewer

Comparando la concentración de elementos de todas las variantes estudiadas con lo que indica la NCH 2880 (2004) para un compost maduro, ya que se establece que el N total debe ser mayor o igual a 0,5%. Los tratamientos en estudio están dentro de los parámetros establecidos por la norma. Además, Zambonino (2013) realizó un trabajo similar, en el que encontró valores finales de nitrógeno de 0,50 a 0,73% en compostajes de tres tipos de materia orgánica con la aplicación de microorganismos (ácido láctico, levaduras y actinomicetos).

Según la NMX-AA-180-SCFI (2018) el P está en un rango de 1 a 3%, los tratamientos T2 y T3, se considera en un compost A, por encontrarse dentro del rango establecido en la norma; mientras que T1 y Testigo se encuentran con valores inferiores al rango, considerándose compost de tipo B.

En otro estudio ejecutado por Torres *et al.* (2007) reportó valores de N en un rango de 1,85% y P en 2,06% en compostajes de biosólidos procedentes de plantas de tratamientos de agua residuales; además, los valores que refleja el K en la investigación coincide con la Norma Técnica Colombiana 5167 (2004), en la que se indica que un compost maduro debe tener valores mayores a 1,5%. De igual manera, otro trabajo desarrollado por Vásquez, López, Fuentes & Cote (2010) expresan que al compostar pulpa de café inoculado con microorganismos nativos, obtuvieron un compost terminado con porcentajes de potasio de 1,9 a 8,9 %.

Algunos autores como Bohórquez, Puentes & Menjivar (2014) indican que un compost producido con subproductos agroindustriales de caña de azúcar tiene un valor de calcio de 3,5 a 3,7%. Sin embargo, Sullivan, Bary, Miller & Brewer (2018) el calcio está entre 1,5 a 3,5% coincidiendo con T1; los mismos autores indican que el Magnesio está en un rango de 0,25 a 0,7%; por lo tanto, todos los tratamientos están dentro de los rangos establecidos. En un estudio realizado por López, Andrade, Herrera, González & García (2017) a partir de un compost obtenido de residuos caña de azúcar mostraron que el magnesio es menor o igual a 1,1%.

- **Micronutrientes (B, Zn, Cu, Fe, Mn)**

Como se muestra en el cuadro 4.7 de los micronutrientes, el B a los 30 días está en un rango de 41 a 58 ppm; el Zn está en un intervalo de 0,75 a 0, 78 ppm; Cu muestra valores desde 27 hasta 31 ppm; Fe está desde 781 a 797 ppm; Mn se encuentra entre 192 a 204 ppm. A los 60 días el B fue de 26 a 35 ppm; el Zn evidenció datos de 42 a 75 ppm; Cu mostró un rango de 11 a 27 ppm; Fe desde 661 a 802 ppm; Finalmente el Mn se encontró oscilando desde 71 a 165 ppm.

Cuadro 4.7. Micronutrientes en 30 y 60 días en el proceso de compostaje

Tratamientos	Tiempo de compostaje (Días)									
	30					60				
	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
T1 (200 g)	43	75	27	784	184	35	74	27	775	165
T2 (400 g)	58	76	30	797	196	34	71	26	802	156
T3 (600 g)	41	77	30	786	204	26	75	27	794	164
Testigo	35	78	31	781	192	32	42	11	661	71

En el cuadro 4.8 se muestran los micronutrientes, donde se indica que, a los 90 días, el B está en un rango de 19 a 31 ppm; el Zn en un intervalo de 72 a 79 ppm; Cu mostró un rango de 26 a 36 ppm; Fe reflejó valores desde 795 a 803 ppm; Mn se encuentra en 228 a 272 ppm. A los 120 días el B está en un intervalo de 41 a 49 ppm; el Zn mostró datos de 74 a 76 ppm; Cu está en 38 a 44 ppm; Fe desde 679 a 701 ppm; Mn fluctúa entre 220 a 272 ppm.

Cuadro 4.8. Micronutrientes en 90 y 120 días en el proceso de compostaje

Tratamientos	Tiempo de compostaje (días)									
	90					120				
	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	B (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Fe (ppm)	Mn (ppm)
T1 (200 g)	31	74	26	795	172	47	74	38	685	220
T2 (400 g)	27	76	30	796	184	44	75	44	697	272
T3 (600 g)	22	79	36	796	246	49	76	41	679	264
Testigo	19	72	27	803	175	41	74	39	701	228

De acuerdo a la investigación de un compost elaborado con tres tipos de mezclas de desechos de producción orgánica, que realizó Vargas (2007), el valor del boro fue de 47,55 a 49 ppm; los mismos que coinciden con los datos de esta investigación. Así lo

afirman Bohórquez *et al.* (2014), en un estudio realizado por en la evaluación de la calidad del compost producido a partir de sus productos agroindustriales de la caña de azúcar, arrojando un rango de zinc de 80 a 90 ppm y cobre de 35 a 67 ppm. De igual forma, la investigación de Cataleño (2010) sobre compost con bioestimulantes orgánicos sólidos, dio como resultado un manganeso de 222 ppm.

### 4.2.3 PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS

- **Coliformes fecales (UFC/g)**

Como se observa en el Grafico 4.5 de coliformes fecales, a los 90 días en el T1 se presencié un aumento de UFC/g, luego descendió a los 120 días; en el T2 hubo un descenso a los 90 días, mientras que a los 120 días aumentó significativamente; T3 disminuyó notablemente a los 90 días y ascendió a los 120 días; y en el Testigo se incrementó progresivamente en los 90 y 120 días.

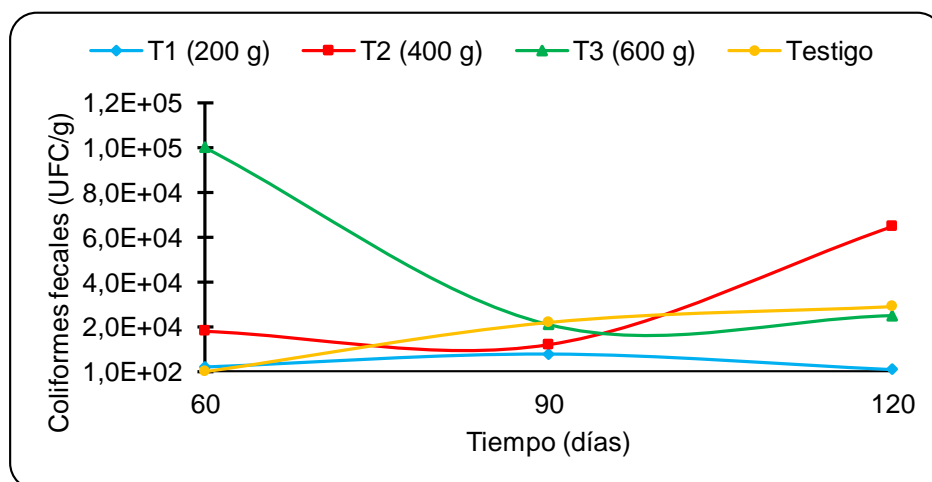


Gráfico 4.5. Comportamiento de Coliformes fecales en el compostaje

De acuerdo a Bernal, Albuquerque & Moral (2009), afirman que la presencia de los patógenos en el compost viene en gran medida por el uso de estiércoles, seguido del uso de aguas contaminadas, y de las personas que manipulan el compost. De acuerdo a la NCH 2880 (2004), señala que el valor límite de coliformes fecales es <1000 UFC/g, esta norma indica que ninguno de los tratamientos se ajusta al rango de sus parámetros, debido a que no cumple con el valor de <1000 UFC/g.

En experimentos realizados Hassen, Belguith, Jedidi, Cherif & Boudabous (2001) en la sexta semana del proceso se presentaron los menores valores de coliformes fecales, hacia la novena hubo un incremento atribuido a la recontaminación del producto o la redistribución durante el volteo de las pilas; Además Gamboa, Moreno, Cárdenas & Campos (2007) en un medio húmedo y de baja temperatura, algunos coliformes fecales pueden sobrevivir muchos meses.

- ***Staphylococcus* (UFC/g)**

Como se observa en el gráfico 4,6, el T1 a los 60 días hubo un aumento de UFC/g, luego a los 90 días descendió y a los 120 días volvió a aumentar; T2 y T3 desde los 60 días los valores descendieron hasta los 120 días; el Testigo ascendió a los 60 días, luego a los 90 días hubo un leve descenso y finalmente a los 120 días aumentaron las colonias de *Staphylococcus*.

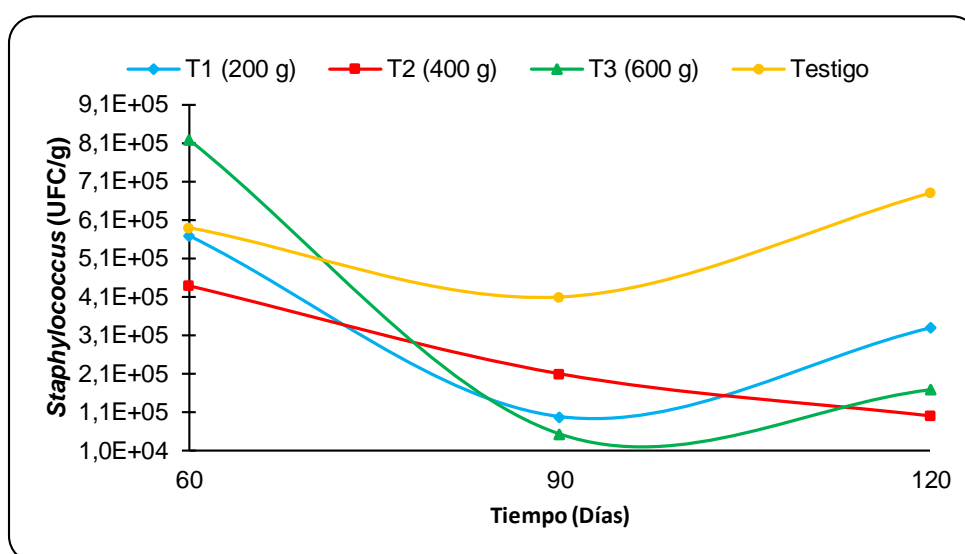


Gráfico 4.6. Comportamiento de *Staphylococcus* en el compostaje

En el proceso de compostaje también se observaron insectos, roedores como cucarachas, quilópodos, y hormigas; Ramírez (2001), que en un estudio realizado en un laboratorio de Rumania se examinó la flora intestinal en las cucarachas y se encontró *S. epidermidis* determinando así que estos insectos son portadores de

dichos patógenos; Atlas, Bartha & Guerrero (2002) señalan que el *Staphylococcus* presente en el compost, no presenta ningún riesgo en los cultivos.

En un estudio realizado por Escobar, Sánchez & Azero (2012) se evidenció la presencia de microorganismos *Staphylococcus*, al evaluar diferentes muestras de compostaje. Rocha (2011) señala que la alta ocurrencia de estos microorganismos se debe a una significativa diversidad de poblaciones microbianas patógenas que se encuentra en las heces animales, pero sobre todo con una alta capacidad de degradación de materiales carbonáceos.

- **Mesófilos aerobios (UFC/g)**

La población de bacterias mesófilas encontradas en el T1 en los 90 y 120 días fue de  $2,1 \times 10^6$  y  $1,2 \times 10^6$  respectivamente; T2 en los 90 días evidenció  $4,9 \times 10^6$ ; mientras que en los 120 días  $7,3 \times 10^6$ ; T3 mostró un valor de  $4,3 \times 10^6$  a los 90 días y a los 120 días  $1,7 \times 10^6$ ; el Testigo reflejó  $6,5 \times 10^6$  en los 90 días, y finalmente a los 120 días el valor de  $1,8 \times 10^6$ .

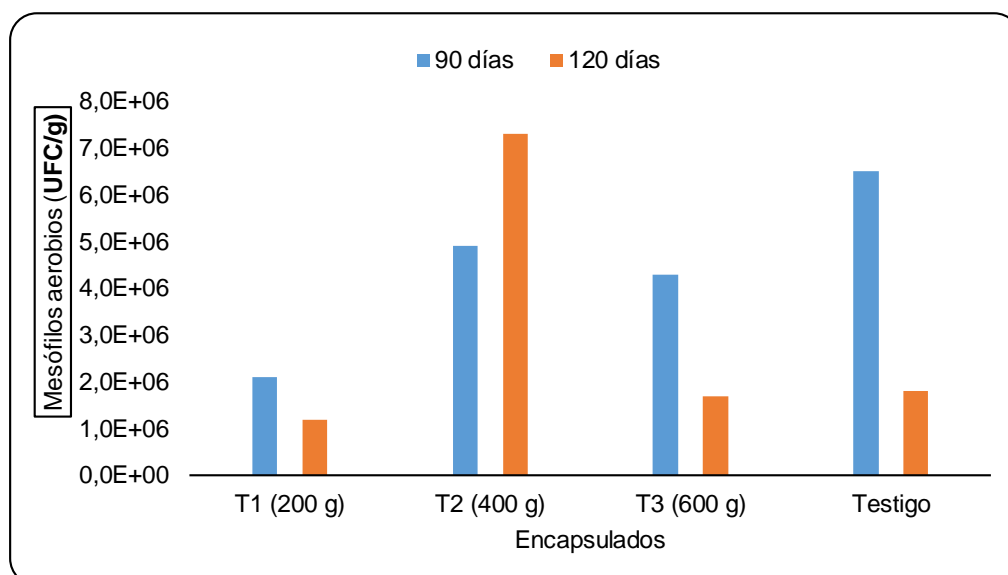


Gráfico 4.7. Comportamiento de Mesófilos aerobios en el compostaje

De acuerdo a Polanco (2004) para que las bacterias aerobias se activen se debe a las condiciones cercanas a la neutralidad del pH, el contenido de humedad en la fase inicial de 50-60% es un nivel óptimo para el desarrollo de las bacterias. En cuanto a



la temperatura, las bacterias mesófilas son favorecidas en la fase inicial, debido a que su actividad metabólica genera altas temperaturas para favorecer a las bacterias. Según Gómez (2009) la dinámica poblacional bacteriana depende de la interacción compleja de factores físicos-químicos y de manejo involucrados en el proceso de degradación de los residuos orgánicos.

#### 4.2.4 PARÁMETRO DE FITOTOXICIDAD

- **Fitotoxicidad**

El cuadro 4.5 muestra el índice de germinación (IG) de los tratamientos, a los 30 días el tratamiento con mayor IG fue T2 con 71,50%, mientras que T3 y testigo tuvieron un menor IG con 50,73%; a los 60 días el mayor IG lo presentó T2 con 85,17% y el de menor valor fue para el Testigo con 50,73%; en los 90 días tuvo mayor porcentaje T3 con 91,00% y el de menor valor lo evidenció el Testigo con 61,00%; y a los 120 días, el tratamiento que obtuvo mayor porcentaje de IG fue T3 con 96,51%, mientras que el Testigo fue el menor con 81,09%.

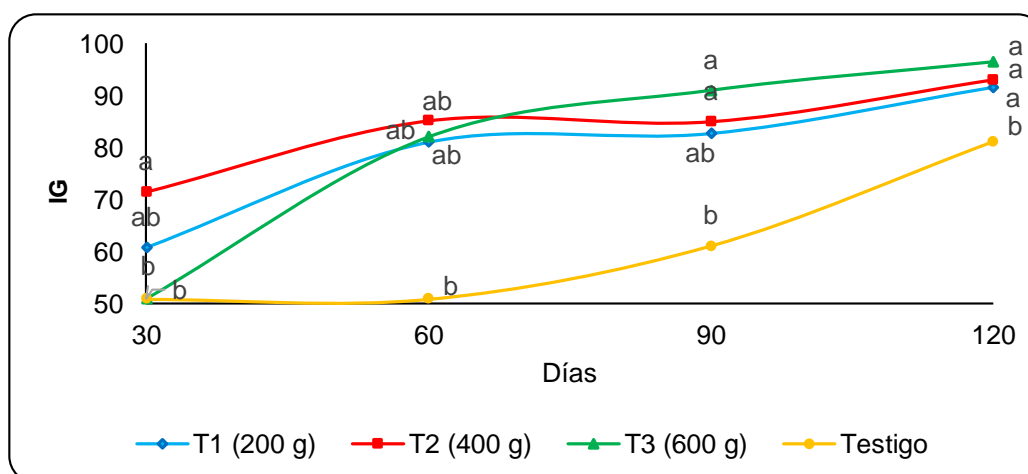


Gráfico 4.8. Índice de germinación durante el proceso de compostaje.  
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los resultados obtenidos en la investigación están de acuerdo a las normas California compost quality council (2001); NCH 2880 (2004), quien considera como parámetro óptimo para ubicar un compost maduro y de clase A, el IG >90%, por lo tanto, se

establece el T1, T2 y T3 como un compost de clase A; mientras que al Testigo se lo ubica como B.

En varias investigaciones realizadas por Varnero *et al.* (2007); Tiquia (2000); Emino & Warman (2004) evaluaron el índice de germinación empleando semillas de rábano, por su sensibilidad a los compuestos fitotóxicos. Durante el proceso de compostaje el % IG aumentó, similar a lo reportado por Miaomiao, Wenhong, Xinqiang, Donglei & Guangming (2008); Tiquis (2017), esto puede deberse a la reducción de los compuestos fitotóxicos a medida que avanza el proceso de compostaje (Garilio, Buyatti, Pillatti, González & Acosta, 2002).

# CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- Se determinó que la concentración de ingrediente activo que mantuvo la mayor cantidad de UFC/mL durante el almacenamiento de las cepas de *B. subtilis* y *B. licheniformis* fue al 6 g, mientras que para el hongo *T. longibrachiatum* fue de 4 g.
- La dosis del consorcio microbiano que logró la transformación de los residuos agropecuarios fue T1 (200 g de cápsula).
- De acuerdo a las normas establecidas, el compost de mejor calidad es T1 (200 g de cápsulas de consorcio microbiano), ya que cumple con la mayor cantidad de parámetros, tales como ambientales (temperatura, pH), físicos-químicos (conductividad eléctrica, Ca), microbiológico (Coliformes fecales) e índices de germinación.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar la vida de anaquel de las cepas encapsuladas de *B. subtilis*, *B. Licheniformis* y *T. Longibrachiatum* por períodos prolongados que sirvan como sustento para su posible comercialización.
- Por cada 300 Kg de residuos agropecuarios utilizar la dosis de 200 g de cápsulas de consorcio microbiano para la elaboración de compost.
- A otros investigadores, evaluar residuos agropecuarios con diferentes valores de humedad para determinar el porcentaje óptimo que garantice una relación C/N basado a las normas establecidas.

## BIBLIOGRAFÍA

- Adzmi, F., Meon, S., Musa, M., Yusuf, N. (2012). Preparation, characterization and viability of encapsulated *Trichoderma harzianum* UPM40 in alginate-montmorillonite clay. *J. Microencapsulate*. 29 205–210. 10.3109/02652048.2012.659286.
- Ahmand, R., Arshad, M., Jilani, G., & Zahir, Z. (2007). Bio-conversion of organic wastes for their recycling in agriculture: An overview of perspectives and prospects. *Annals of Microbiology* 57 (4): 471-479. doi 10.1007 / BF03175343
- Alonso, M. (2011). *Microencapsulación de biocidas*. (Tesis de grado). Universidad del País de Vasco. Vizcaya - España.
- Álvarez, J. (2010). Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía (Colombia). 48.
- Amir, B., Badinloo, S., Ohadi, M., Dehghan, Noudeh G. (2016). Bioencapsulación de biosurfactantes productores de *Bacillus subtilis* (PTCC 1023) en cuentas de alginato, *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2016; 11 (4): e33935. doi: 10.17795 / jnpp-33935.
- Ansorena, J., Batalla, E., & Merino, D. (2014). Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos.
- Anyanwu, Ch., Ngohayon, S., Ildefonso, R., Ngohayon, J. (2015). Application of Indigenous Microorganisms (IMO) for Bio-Conversion of Agricultural Waste. *International Journal of Science and Research*, 4(5), 778-784.
- APROLAB (Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú. (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces. Perú.
- Arias, I., Pérez, J., Laines, G., Castañón, N. (2009). Comparison of two ventilation techniques in the decomposition of organic matter. *Universidad y ciencia*. 25(3) 233-243,2009.
- Aveiga C. (2013). Uso de inóculos microbianos en el compostaje de residuos orgánicos generados en la ULEAM, (Tesis maestría), CEPIRCI- ULEAM, Ecuador. p 120.
- Avendaño, R. (2003). El Proceso de Compostaje. (Tesis grado). Santiago, Chile.
- Bazrafshan, E., Kord, F., Poormollae, N., Mahmoodi, S., & Zazouli, M. (2016). Maturity and Stability Evaluation of Composted Municipal Solid Wastes. *Health Scope*, 5(1), 1-9.

- Bejarano, E., & Delgadillo, S. (2007). Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá. (Tesis de grado). Colombia - Bogotá.
- Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., & Antonio, R. (2005) Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology* 97(16): 2071-6.
- Bernal, M., Alburquerque, J., & Moral, R. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technol*, 100(22), 5444-5453.
- Bernal, P., Sommer, G., Chadwick, D., Qing, C., Guoxue, L., & Michel C. (2017). Current Approaches and Future Trends in Compost Quality Criteria for Agronomic, Environmental, and Human Health Benefits. *Advances in agronomy*, 144, 143-233. Doi: 10.1016/bs.agron.2017.03.002
- Bertran, E., Ordenar, X., Soliva, M., & Trillas, O. (2014). Composting winery waste: sludges and grape stalks. *Bioresource Technology*. 95(2) 203-208. doi.org/10.1016/j.biortech.2003.07.012
- Bregni, C., Degrossi, J., García, R., Lamas, M., Firenstein, R., D'Aquino, M. (2000). Alginate microspheres of *Bacillus subtilis*. *Ars Pharmaceutica*, 41(3): 245-248.
- Brito, M., Coutinho, J., & Smith, R. (2008). Methods to improve the composting process of the solid fraction of dairy cattle slurry. *Bioresource Technol.* 99, 8955-8960.
- Bohórquez, A., Puentes, Y., Menjivar, J. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Corpoica Cienc. Technol. Agropecu.* 15(1) 73-81
- Bueno, P., Díaz, M., & Cabrera, F. (2013). Factores que afectan al proceso de Compostaje. (Tesis de grado). Recuperado: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- California compost quality council, (2001). Compost maturity index, California compost quality council Nevada. California: City.
- Cajahuanca, S. (2016). Optimización del manejo de los residuos orgánicos por medio de la utilización de microorganismos eficientes (*Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus* sp., *Lactobacillus* sp.) en el proceso de compostaje. (Tesis. Ingeniería ambiental). Universidad de Huánuco.

- Carriello, M., Castañeda, A., Riobo, I., & González, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. R.C. *Suelo Nutr. Veg.* 7 (3) 2007 (26-37).
- Castañeda, E., & Sánchez, L. (2016). Evaluación del crecimiento de cuatro especies del género *Bacillus* sp primer paso para entender su efecto biocontrolador sobre *Fusarium* sp. *Nova*, 13(26) 1-55.
- Cataleño, D. (2010). Lombricompost o humus solido de lombriz. Disponible en: [http://www.lombricol.com/fertilizante\\_solido.php](http://www.lombricol.com/fertilizante_solido.php)
- Chang, J., Tsai, J.; Wu, H. (2006). Thermophilic composting of food waste. *Biorresource Technology* 97: 116-122.
- Chan, E., Lee, B., Ravindra, P., & Poncelet, D. (2009). Prediction models for shape and size of ca-alginate macrobeads produced through extrusion-dripping method. *Journal of Colloid and Interface Science.* 338(1):63- 72
- Conforme, M., & Vera, B. (2015). Evaluación de un inoculante microbiano nativo, en el proceso de compostaje de porquinaza. (Tesis de grado). Universidad Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador. Dimambro, E., Lillywhite, D., & Rahn, R. (2006). Biodegradable municipal waste composts: analysis and application to agriculture. Warwick HRI, University of Warwick
- Defrieri, L., Jiménez, P., Efron, D., & Palma, M. (2005) Utilización de parámetros químicos y microbiológicos como criterios de madurez durante el proceso de compostaje. *Agriscientia XXII (1):* 25-31.
- Dimambro, E., Lillywhite, D., & Rahn, R. (2006). Biodegradable municipal waste composts: analysis and application to agriculture. Warwick HRI, University of Warwick
- Donoso, E., Lobos, G., & Rojas, N. (2008). Efecto de *Trichoderma harzianum* y compost sobre el crecimiento de plántulas de *Pinus radiata* en vivero. *Revista Bosque*, 29(1), 52-57.
- Escobar, F., Sánchez, J., & Azero, M. (2012). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C/N y la adición de preparados biodinámicos en la Granja Modelo Pairumani. *Revista bolivariana.*
- Emino, E., & Warman, P. (2004). Biological assay for compost quality. *Compost Science & Utilization* 12(4): 342-348.
- Fallas, D. (2016). Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada. (Tesis de grado). Universidad Rodrigo Facio, Costa Rica.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2013). Manual del compostaje del agricultor.
- Feltrer, R. (2009). Análisis de la formación de cloroanisoles por *Trichoderma longibrachiatum*. (Tesis de grado) Universidad de León.
- Fritzen, C., Prudêncio, S., Amboni, C., Pinto, S., Negrão, N., & Murakami, S. (2012). Microencapsulation of bifidobacteria by spray drying in the presence of prebiotics. *Food Research International*, 45(1), 306–312. doi: 10.1016/j.foodres.2011.09.020.
- Gao, M., Liang, F., Yu, A., Li, B., & Yang, L. (2010). Evaluation of stability and maturity during forced-aeration composting of chicken manure and sawdust at different C/N ratios. *Chemosphere*, 78(5), 614-619.
- Garilio, N., Buyatti, M., Pillatti, R., González, R., & Acosta, M. (2002). Use of a germination bioassay to test compost maturity of willow (*Salix* sp.) sawdust. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 30(2):135-139 10.1080/01140671.2002.951420
- Gómez, T., González, M., & Rubalcaba, S. (2004). Microorganismos presentes en el compost: Importancia de su control sanitario. Habana-Cuba, Cu. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 4 (7), 1683-8904.
- Gómez, T. (2009). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros microbial. *Agronomía Trop.*59 (3).
- Gordillo, F & Chávez, E. (2016). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Guayaquil - Ecuador, EC. *Revista Ciencia y Tecnología*, 4-9.
- Gordillo, F., Peralta, E., Chávez, E., Contreras, A., & Campuzano, O. (2011). Producción y evaluación del proceso de compostaje a partir de desechos agroindustriales de *Saccharum officinarum* (caña de azúcar) *Revista de investigaciones agropecuarias* 37(2): 140-149.
- Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., & Shen, Y. (2012). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, 112, 171-178.
- Guzmán, A., Zambrano, D., Rondón, A., Laurencio, M., Pérez, M., León, R., & Rivera, R. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. *Revista. Fac. Cienc. Agrar., Univ.* 46 (2) ,177-189.

- Guzmán, A., Zambrano, D., Rivera, R., Rondón, A., Laurencio, M., Pérez, M., & León, R. (2015). Aislamiento y selección de bacterias autóctonas de Manabí-Ecuador con actividad celulolítica. *Cultivos Tropicales*, 36 (1), 7-16.
- Hargreaves, C., Adl, S., & Warman, R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123(1-3): 1–14.
- Hernández, B., Badía, M., & Pérez, M. (2011). Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*. 42 (3): 131-138.
- Hernández, L., & Orestes, D. (2010). Microencapsulación de sustancias oleosas mediante secado por aspersión. *Revista Cubana de Farmacia*. 44(3):381-389.
- Hoyos, L., Vargas, C. A., & Velasco, R. J. (2010). Evaluación de compost obtenido en pila móvil empleando mezclas de gallinaza de jaula con material celulósico. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 8(1), 54 – 60.
- INFOAGRO. (2010). Cultivo de tomate (En línea). España, Editorial Agrícola Española, S.A.
- Jantarathin, S. Borompichaichartkul, C. & Sanguandeeikul, R. (2017). Microencapsulation of probiotic and prebiotic in alginate-chitosan capsules and its effect on viability under heat process in shrimp feeding. [https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.111.4\(5\)](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.111.4(5)): 6166-6172.
- Kader, A., Robin, P., Paillat, M., & Leterme, P. (2007). Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresource Technol.* 98, 2619-2628.
- Koivula, N., Raikkonen, T., Urpilainen, S., Ranta, J. & Hanninen, K. (2004). Ash in composting of source-separated catering waste. *Bioresource Technol.* 93, 291-299.
- Kumar, B., Gopal, D. (2015). Papel efectivo de los microorganismos indígenas para el medio ambiente sostenible. 3. *Biotech*, 5(6), 867-876.doi: 10.1007/s13205-015-0293-6.
- Larreátegui, R. (2013). Estudio comparativo en la producción de dos tipos de compost con residuos orgánicos. (Tesis de grado). Universidad Américas, San Gabriel - Santo Domingo.
- López, E., Andrade, A., Herrera, M., González, O., García, A. (2017). Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. *Ctro. Agr.*44 (3).



- López, T., Domínguez, L., & García, J. (2007). Arreglo estructural de un consorcio microbiano de interés alimentario en la producción del vinagre. Trabajo presentado en el octavo Congreso Nacional de Microscopía, octubre, México.
- Loyeau, P. (2017). Encapsulación de bacterias probióticas, *Bifidobacterium animalis* subsp. (En línea). Consultado 10 de enero. 2019. Formato PDF. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8080/colecciones/bitstream/handle/123456789/8832/8.2.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Locatelli, O., Santos, F., Botelho, S., Finkler, C., & Bueno, A. (2018). Development of *Trichoderma* sp. formulations in encapsulated granules (CG) and evaluation of conidia shelf-life. *Biol. Control* 117: 21–29. 10.1016/j.biocontrol.2017.08.020.
- Maheshwari, K. (2014). Composting for sustainable agriculture. *Springer*. 3. doi: 10.1007/978-3-319-08004-8.
- Manjula. G., & Meenambal, T. (2012). Determination of phytotoxicity of static pile compost from organic fraction of municipal solid waste and dairy sludge. *International Journal Pollution Research*. 31(3), 337-339.
- Mancera, M. Izquierdo, W., Escalante, A., Ibarra, J., & Barrera, J. (2018). Encapsulation of *Trichoderma harzianum* conidia as a method of conidia preservation at room temperature and propagation in submerged culture. <https://doi.org/10.1080/09583157.2018.1535053>. 29(2):107-130.
- Márquez, M. (2003). Estudio de la aceleración del compostaje de residuos de jardinería por incubación de hongos *Trichoderma* spp. Tesis de Maestría. Instituto de Minatitlan, Veracruz, 87 pp.
- Márquez, P., Díaz, J., & Cabrera, F. (2005). Factores que afectan al proceso de Compostaje. (Tesis de grado), Universidad Huelva. Carmen- Sevilla.
- Martínez, M., Morales, M., Gallardo, V., & Martínez, A. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *España, Es. Pharmaceutica*, 50(1), 43-50.
- Martínez, R., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma* spp y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista protección vegetal*, 28(1), 1-11.
- Miaomiao, H., Wenhong, L., Xinqiang L., Donglei W., & Guangming, T. (2008). Efecto del proceso de compostaje sobre la fitotoxicidad y la especiación de cobre, zinc y plomo en lodos de depuradora y estiércol porcino. *Waste Management (Nueva York, NY)*. 29 (2): 590-597. DOI: 10.1016 / j.wasman.2008.07.005

- Michel, C., Pecchia, A., Rigot, J. (2004). Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. *Compost Sci. Util.*, 12 (4): 323-334.
- Moreno, J., & Moral, R. (2011). *Compostaje*. Barcelona, España: Mundial Prensa.
- Morris, S., & Blackwood, C. (2007). *The Ecology of Soil Organisms (Ed), Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, Oxford: Elsevier.
- Munero, P., González, J., Pérez, C., Manso, M., & Díaz, F. (2005). Aislamiento, caracterización y determinación de la actividad celulolítica de Hyphomycetes nativos. (Tesis de grado). Investigaciones agropecuarias. Marta Abreu. Villa Clara- Cuba.
- Muñoz, J., & Pérez, E. (2015). Sistema de compostaje y lombricompostaje aplicado en residuos orgánicos de una galería municipal. *Suelo ecuatoriales*. 45 (2): 72-83.
- NCH (Norma Chilena de Compost 2880). (2004). *Compost - Clasificación y Requisitos*, 23 pp
- Nakasaki, K., Nag, K., & Karita, S. (2005) Microbial succession associated with organic matter decomposition during thermophilic composting of organic waste. *Waste Management & Research* 23: 48-56.
- Naik, P. (2007). *Studies on microbial consortia for production and enrichment of bio-compost from grapevine residues*. (Tesis de grado), University of agricultural sciences.
- Naranjo, E. (2013). *Aplicación de microorganismos para acelerar la transformación de desechos orgánicos en compost*. (Tesis de grado). Ambato-Ecuador.
- Norma Técnica Colombiana 5167 (2004). *Productos para la industria agrícola productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*.
- NMX-AA-180-SCFI (Norma Mexicana) (2018). *Que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales*.
- Orestes, C. (2006). *Métodos artesanales de producción de bioplaguicidas a partir de hongos entomopatógenos y antagonistas*. Instituto de Investigaciones de Sanidad Vegetal (INISAV). La Habana, Cuba. 1-61.
- Parra, H., & Medina, O. (2012). *Sobrevivencia y encapsulación de bacterias y su efecto en las propiedades sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas del yogurt*. Medellín-Colombia, Co. *Revista Vitae*, 19 (1), S90-S92.

- Pal, Kunal, Paulson, Allan, T., & Rousseau, D. (2009). Biopolymers in controlled release delivery systems. In *Modern biopolymer science. Bridging the divide between fundamental treatise and industrial application*. Academic Press. pp. 519-557.
- Paneque, V., & Calaña, J. (2004). *Abonos orgánicos. Segunda (Ed)*. La Habana-Cuba. p 54.
- Paredes, C., Bernal, M., Roig A, & Cegarra J (2001) Effects of olive mill wastewater addition in composting of agroindustrial and urban wastes. *Biodegradation* 12: 225-234.
- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista Ciencias del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(3): 10-29.
- Pérez, M., & Villegas, R. (2009). *Procedimientos para el manejo de residuos orgánicos avícolas. (Tesis de grado)*. Universidad de Antioquia. Medellín- Colombia.
- Pérez, Y., Rebollido, R., & Martínez, S. (2010). Isolation and identification of fungi in compost from municipal solid waste. *Revista Agro Sur*, 38 (1), 1-7.
- Pérez, M., Sánchez, R., Palma, D., Salgado, S. (2011). Caracterización química del compostaje de residuos de caña de azúcar en el sureste de México *Interciencia*, vol. 36, núm. 1, pp. 45-52.
- Pérez, H., Bueno, G., Brizuela, M., Tortoló, K., & Gastón, C. (2013). Microencapsulación: una vía de protección para microorganismos probióticos. *ICIDCA*. 47(1): 14-25.
- Polanco, G. (2004). *Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. Tesis (Ing. Agr)*. Universidad Central de Venezuela. Maracay-Venezuela.
- Poncelet, D. (2001). Production of alginate beads by emulsification/internal gelation. In *Bioartificial organs III: tissue sourcing immunoisolation and clinical trials*. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 944:74-82.
- Ramírez, A. (2001). *Staphylococcus aureu* *Food Microbiology Fundamentals & Frontiers*. ASM. USA: 411-434.
- Reyes, F., Castillo, F., Gallegos, G., Flores, A., & Rodríguez, R. (2015). Efectividad in vitro de *Bacillus* y polifenoles de plantas nativas de México sobre *Rhizoctonia-Solani*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 45 (2), 549-562.

- Richard, L., Hamelers, M., Veeken, M. & Silva, T. (2002). Moisture relationships in composting processes. *Compost Science and Utilization*, 10, 286–302.
- Rocha, J. (2011). Cerdaza. Nutrición animal. (Tesis de grado). Universidad Nacional Agraria. Guayaquil-Ecuador.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. 12-8.
- Rodríguez, C. (2016). La agricultura convencional y su efecto en la erosión del suelo agrícola. (Tesis de grado). Univesidad Facultad de Ciencias Naturales. Guayaquil.
- Rodríguez, Y., Rojas, A., & Rodríguez, S. (2016). Encapsulación de probióticos para aplicaciones alimenticias. *Revista Biosalud*, 15(2), 106-115.
- Sauri, R., & Castillo, R. (2002) Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería Revista Académica* 6(003): 55-60.
- Sánchez, M., Roig, A., Paredes, C., & Bernal, M. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores Technol.* 78(3): 301-308.
- Smárs, S., Gustafsson, L., Beck, B. & Jonsson, H. (2002). Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. *Bioresource Technol.* 84, 237-241.
- Silva, V., Piedad, M., & Valencia, A. (2004). Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. 25360 Cali-Colombia.
- Shen, S., Yang, Q., Huang, L., Hu, F., & Long, Y. (2015). Water state changes during the composting of kitchen waste. *Waste Management*, 38, 381–387. doi: 10.1016/j.wasman.2015.01.011.
- Sotelo, L., Jiménez, J., Zan, A., & Cueto, M. (2012). Efecto de inoculación de microorganismos en crecimiento de rábano (*Raphanus sativus*). *Bioteconología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 10(1), 21-31.
- Stoffella, J., & Kahn, A. (2001). Compost utilization in horticultural cropping systems. *CRC press*. Doi: 10.1201/9781420026221
- Sullivan, D., Bary, A., Miller, O & Brewer, J. 2018. Interpreting Compost Analyses. Oregon State University. Extension work is a cooperative program of Oregon State University, the U.S. Department of Agriculture, and Oregon counties.

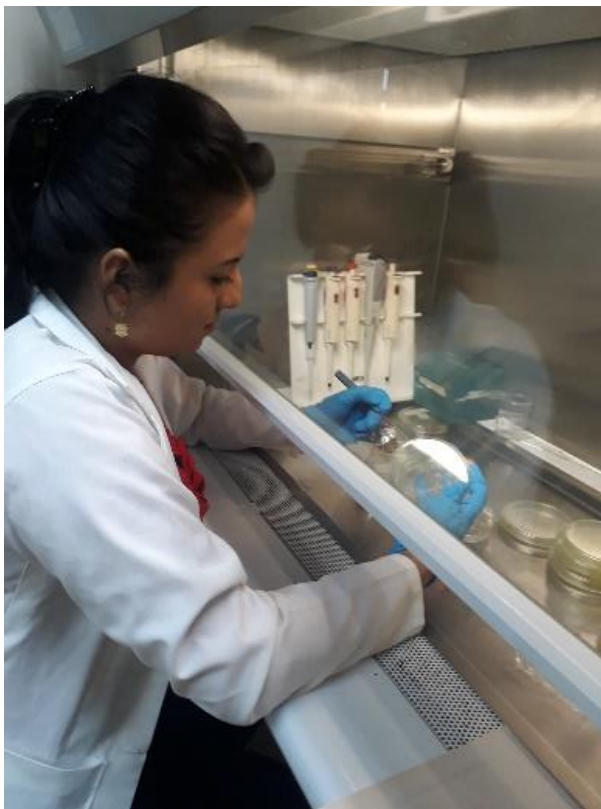
- Sundberg, C., Smárs, S., & Jonsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. *Bioresource Technol.* 95, 145-150.
- Tchegueni, S., Koriko, E., Koledzi, M., Bodjona, K., Kili, G., Tchangbedji, G., Hafidi, B. (2013). Physicochemical characterization of organic matter during co-composting of shea-nut cake with goat manure. *Afr. J. Biotechnol.* 12:3466-3471.
- Tiquia, M., (2000). Evaluating phytotoxicity of pig manure from the pig – on – litter system. Warman y B.R. Taylor, Ed., Proceedings of the International Composting Symposium, CBA Press Inc.Truro, NS, p: 625-647.
- Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*, 65(1-2), 43-49.
- Tiquis, S. (2017). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spend big-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource technology* (65). 45-49.
- Tognetti, C., Mazzarino, M., & Laos, F. (2007). Co-composting biosolids and municipal organic waste: effects of process management on stabilization and quality. *Biol Fertil Soils* 43: 387-397.
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J., Uribe, I., & Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. *Ingeniería Agrícola Jaboticabal* 27: 267-275. 2007.
- Torres, L. (2013). Elaboración de composta. *Secr Agric Ganad Desarrollo Rural pesca y Aliment*, 2-18.
- Turan, M., Matías, P., & Arrigo. P. (2009). Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje. *Ciencia del Suelo.* 26. (1). 41-50.
- Vargas, Y. (2007). Evaluación del contenido nutricional del compost elaborado con tres tipos de mezclas de desechos orgánicos y su efecto en el rendimiento del cultivo de brócoli. (Tesis de grado). Ingeniería Agronómica. Riobamba-Ecuador.
- Van Heerden, V., Cronje, C., Swart, H., Kotze, M. (2002) Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. *Bioresour Technol* 81:71–76
- Varnero, M., Galleguillos, K., & Rojas, R. (2011). Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo. *Revista Inf Tecnol*, 22(5), 49-56.

- Varnero, M., Rojas, A., & Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos durante el compostaje. *Suelo Nutr. Veg.* 7 (1) (28-37).
- Vásquez, M., López, A., Fuentes, B., & Cote, E. (2010) Aceleración de proceso de compostaje de residuos de post-cosecha (pulpa) de café con la inoculación de microorganismos nativos. *Revista CENIC. Cuba* 41: 1-7.
- Villena, M., Morales, E., Gallardo, V., & Ruíz, M. (2009). Técnicas de microencapsulación: una propuesta para microencapsular probióticos. *ARS Pharmaceutica.* 50(1):43-50.
- Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E., Marra, R., & Sheridan, L. (2008). Trichoderma –planta – interacciones patógenas. *Revista biología del suelo y bioquímica*, 40(1), 1-10.
- Yang, Q., Shen, S., Li, N., Xu, D., Long, Y., & Lu, Y. (2013). Co-digestion of kitchen waste and fruit-vegetable waste by two-phase anaerobic digestion. *Environmental Science and Pollution Research*, 20(4), 2162–2171. doi:10.1007/s11356-012-1414-y.
- Zambonino, A. (2013). Una evaluación de compostaje de tres tipos de materia orgánica con la aplicación de microorganismos (ácido láctico, levaduras y actinomicetos) en el cantón salcedo”. (Tesis de grado). Ingeniero Agropecuario. Quito-Ecuador.
- Zou, Q., Zhao, J., Liu, X., Tian, T., Zhang, H., Zhang, H., & Chen, W. (2011). Microencapsulación de Bifidobacterium bifidum F-35 in reforzado alginateh microsters preparados por emulsificación. *Revista International Journal of FoodScience*, 46, 1672.
- Zucconi, F., Pera; M. Forte & M. de Bertoldi (1981). Evaluating toxicity of immature compost. *BioCycle*. 22(4), 54-57.

## **ANEXOS**

## FASE DE LABORATORIO

### ANEXO 1: Activación del hongo y bacterias



1-A: Siembra de *T. longibrachiatum*



1-B: Preparación de caldo nutriente



1-C: Ajuste de pH

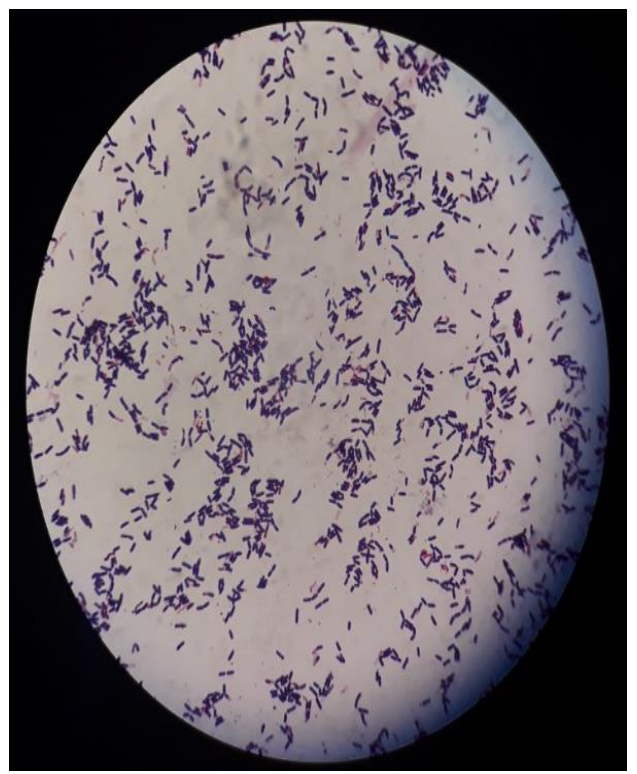


1-D: Inoculación de las bacterias *B. subtilis* y *B. licheniformis*





1-E: Tinción de gran de las bacterias *B. subtilis* y *B. licheniformis*



1-F: Observación microscópica de las bacterias *B. subtilis* y *B. licheniformis* (pureza)

## ANEXO 2: Multiplicación del hongo y bacterias



2-A: Multiplicación de *B. subtilis* y *B. licheniformis*

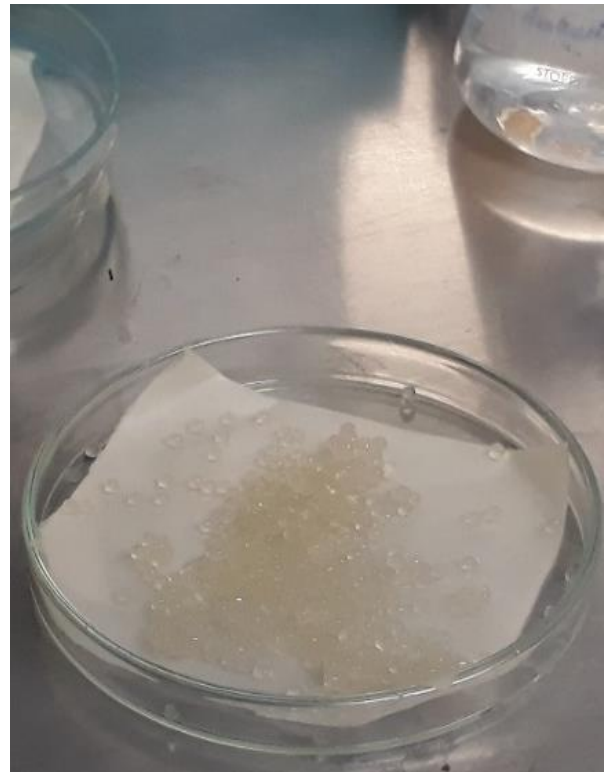


2-B: *T. longibrachiatum*

## ANEXO 3: Encapsulación



3-A: Proceso de encapsulación del consorcio microbiano



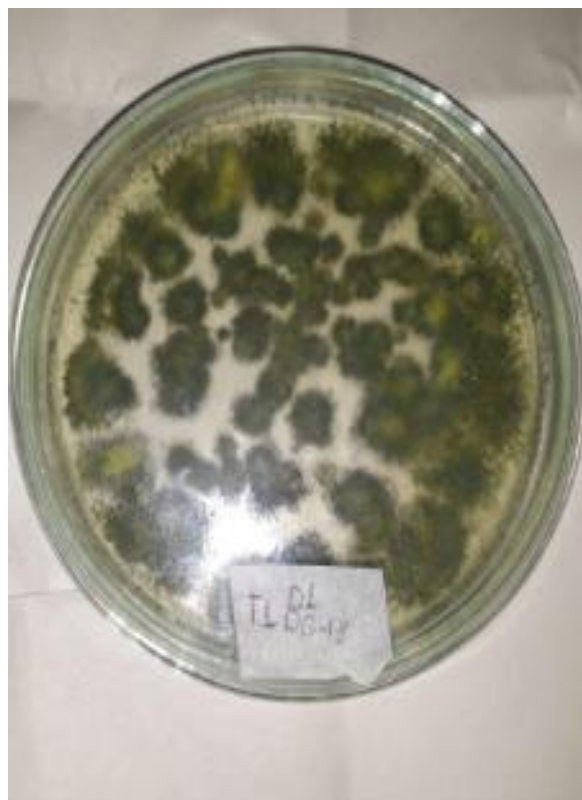


3-B: Obtención de las cápsulas a partir del consorcio microbiano

#### ANEXO 4: Viabilidad de las cápsulas



4-A: Viabilidad de *B. subtilis*, y *B. licheniformis*



4-B: Viabilidad del *T. longibrachiatum*

## FASE DE CAMPO

### ANEXO 5: Formación de las pilas de compostaje



5-A: Construcción de las pilas



5-B: Ubicación de las cápsulas en las pilas

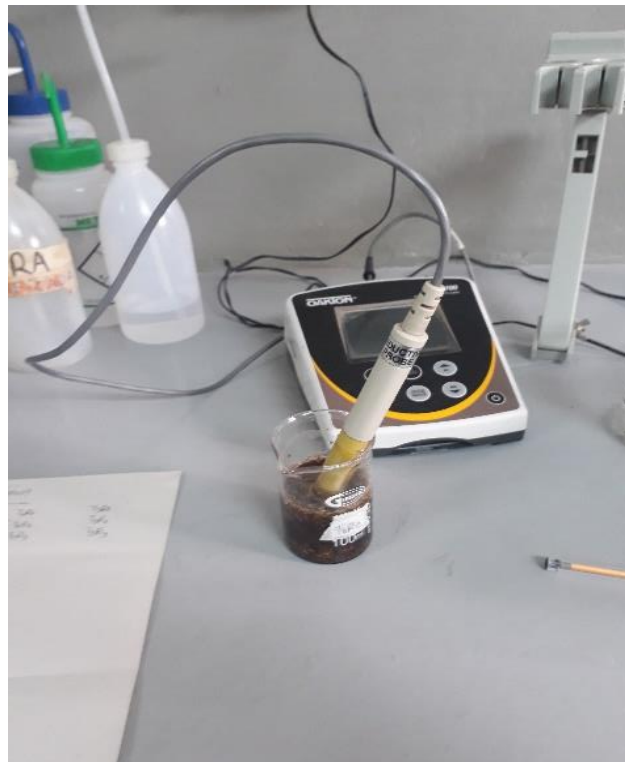


5-C: volteo en las pilas de compostaje

## ANEXO 6: Medición de parámetros ambientales, físicos-químicos y microbiológicos



6-A: Temperatura



6-B: pH



6-C: Peso del sustrato



6-D: Ubicación de la muestra en la estufa



6-E: CE

## ANEXO 7: Compost terminado



7-A: T1: 200 g de cápsulas



7-B: T2: 400 g de cápsulas



7-C: T3: 600 g de cápsulas



7-D: Testigo



7-E: Compost terminado

### ANEXO 8: Prueba de fitotoxicidad a los 30 días



8-A: T1: 200 g de cápsulas



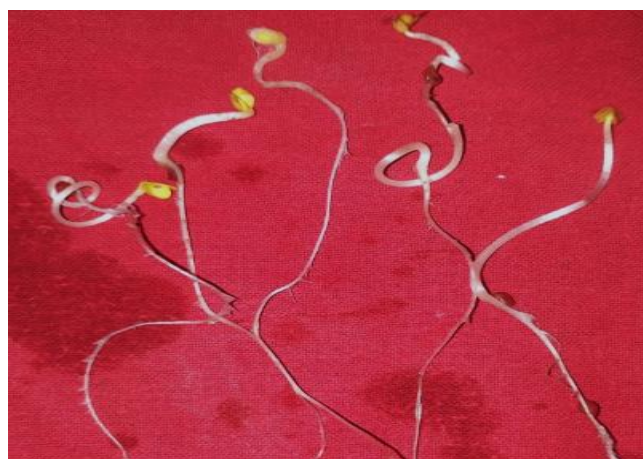
8-B: T2: 400 g de cápsulas



8-C: T3: 600 g de cápsulas



8-D: Testigo



8-E: Tratamiento de agua



### ANEXO 9: Prueba de fitotoxicidad a los 60 días



9-A: T1: 200 g de cápsulas



9-B: T2: 400 g de cápsulas



9-C: T3: 600 g de cápsulas



9-D: Testigo



9-E: Tratamiento de agua

### ANEXO 10: Prueba de fitotoxicidad a los 90 días



10-A: T1: 200 g de cápsulas



10-B: T2: 400 g de cápsulas



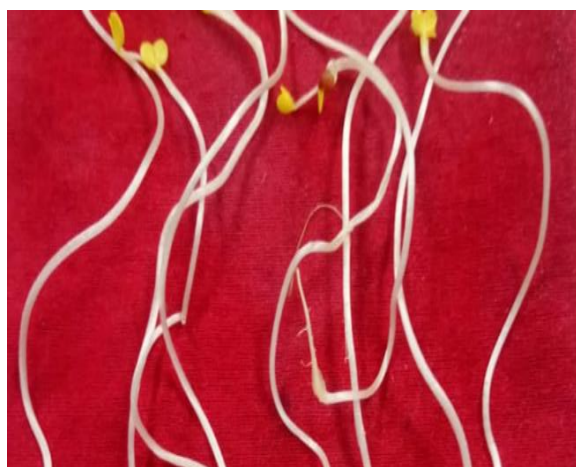
10-C: T3: 600 g de cápsulas



10-D: Testigo



10-E: Tratamiento de agua

**ANEXO 11: Prueba de fitotoxicidad a los 120 días****11-A: T1: 200 g de cápsulas****11-B: T2: 400 g de cápsulas****11-C: T3: 600 g de cápsulas****11-D: Testigo****11-E: Tratamiento de agua**