



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y AMBIENTALES

Trabajo de Fin de Carrera Titulado:

Evaluación de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de una granja porcina, Latacunga, Ecuador

Realizado por:
Franklin Javier Sango Viracocha

Director de proyecto:
Eduardo Alexis Lobo Alcayaga Ph. D

Como requisito para la obtención del título de:
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

Quito, 18 de febrero de 2020

DECLARACIÓN JURAMENTADA

Yo, FRANKLIN JAVIER SANGO VIRACOCHA, con cédula de identidad # 0502780620, declaro bajo juramento que el trabajo aquí desarrollado es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado a calificación profesional; y, que las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.



Franklin Javier Sango Viracocha

C.I: 0502780620

DECLARATORIA

El presente trabajo de investigación titulado:

Evaluación de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de una granja porcina, Latacunga, Ecuador

Realizado por:

FRANKLIN JAVIER SANGO VIRACOCHA

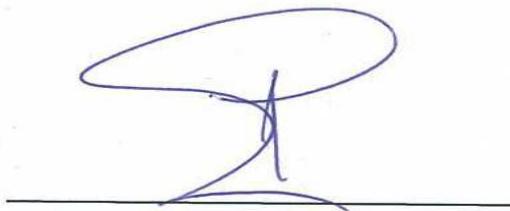
como Requisito para la Obtención del Título de:

MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

ha sido dirigido por el profesor

EDUARDO ALAEXIS LOBO ALCAYAGA

quien considera que constituye un trabajo original de su autor



Eduardo Lobo Alcayaga
Director

LOS PROFESORES INFORMANTES

Los Profesores Informantes:

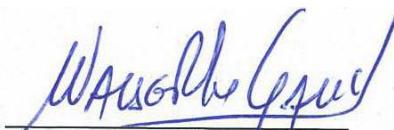
WALBERTO GALLEGOS

MIGUEL MARTÍNEZ-FRESNEDA

Después de revisar el trabajo presentado,

lo han calificado como apto para su defensa oral ante

el tribunal examinador



Walberto Gallegos



Miguel Martínez-Fresneda

Quito, 18 de febrero de 2020

DEDICATORIA

*A Dios por darme salud, vida y sabiduría para poder
terminar exitosamente mi maestría.
A mi esposa e hijas por su apoyo, cariño y comprensión
ya que sin ustedes hubiera sido difícil recorrer todo
este camino.
A mis padres por su ejemplo de lucha y superación por
guiarme y apoyarme en cada una de mis decisiones.*

AGRADECIMIENTO

*Al profesor Dr. Eduardo Lobo, por su apoyo personalizado y direccionamiento acertado para la consecución del presente trabajo.
A los profesores Miguel Martínez y Walberto Gallegos, quienes con sus observaciones y sugerencias aportaron para la culminación del trabajo.*

Al Dr. Ivan Yanchaguano por apoyarme y compartir sus conocimientos en la realización de este trabajo de investigación en la granja porcina.

Al Dr. Jhonny Barreno por su apoyo en esta investigación.

“EVALUACIÓN DE UN INOCULANTE MICROBIANO EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGÁNICOS DE UNA GRANJA PORCINA, LATACUNGA, ECUADOR”

Franklin Javier Sango Viracocha¹ & Eduardo Alexis lobo Alcayaga²

¹Universidad Internacional SEK, facultad de ciencias naturales y ambientales, Quito, Ecuador. Email: franklins23@hotmail.com

² Universidad de Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brasil. Universidad Internacional SEK,
Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales, Quito, Ecuador. Email: lobo@unisc.br

AUTOR DE RESPONSABILIDAD PRINCIPAL: Franklin Javier Sango Viracocha

AUTOR DE CORRESPONDENCIA: Eduardo Alexis Lobo Alcayaga Ph.D.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD UNO: Miguel Martínez-Fresneda
Ph.D, Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales.
Quito, Ecuador.

AUTOR APORTANTE DE RESPONSABILIDAD DOS: Walberto Gallegos M.Sc.,
Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Naturales y Ambientales. Quito,
Ecuador.

Título corto o Running title: Evaluación de un inoculante microbiano en una granja porcina.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de un inóculo microbiano en el proceso de compostaje utilizando residuos orgánicos de una granja porcina, Latacunga, Ecuador, a través de análisis físicos y químicos del compost orgánico producido. Para este propósito, se prepararon 6 tratamientos de compostaje, que se distribuyeron de la siguiente manera: 3 para el tratamiento de control (TC), muestras 1, 2 y 3, sin la adición del inoculante bacteriano, realizado el 12/02/2019, y 3 para el tratamiento experimental (TE), muestras 1, 2 y 3, que contiene el inoculante bacteriano, realizado en 04/02/2020. Siguiendo la instrucción normativa n° 25/2009, del Ministerio de Agricultura y Ganadería de Brasil, publicada en 2009, las variables analizadas fueron: temperatura, conductividad eléctrica, humedad, nitrógeno total, carbono orgánico, pH y relación de nitrógeno de carbono (C/N). En cada tratamiento se tomaron 500 g de una muestra compuesta de cinco submuestras específicas para realizar análisis de fertilizantes orgánicos, recolectados de diferentes secciones de cada celda, en la fase de compostaje inicial y termofílica. Considerando el diseño experimental propuesto, concluimos que la adición del inóculo en el Tratamiento Experimental (TE), no contribuyó para aumentar la eficiencia del proceso de compostaje, ya que no hubo diferencias significativas entre las variables temperatura y conductividad eléctrica ($p>0.05$), así como los parámetros humedad, pH, nitrógeno total, carbono orgánico y Relación C/N ($p>0.05$). Además, todos estos parámetros se encuentran dentro de los estándares establecidos por la Instrucción Normativa 25/2009 (BRASIL, 2009) para abonos orgánicos provenientes del proceso de compostaje, resultando en un producto para uso seguro en la agricultura.

Palabras clave: Inóculo microbiano, compostaje de residuos orgánicos, granja porcina, Latacunga, Ecuador.

ABSTRACT

The research aimed at evaluating the efficiency of a microbial inoculant in the composting process using organic wastes from a pig farm, Latacunga, Ecuador, through physical and chemical analysis of the organic compost produced. For this purpose, 6 composting treatments were prepared, which were distributed as follows: 3 for the control treatment (CT), samples 1, 2 and 3, without the addition of the bacterial inoculant, performed on 12/02/2019, and 3 for the experimental treatment (ET), samples 1, 2 and 3, containing the bacterial inoculant, performed on 04/02/2020. Following the normative instruction n ° 25/2009, of the Ministry of Agriculture and Livestock of Brazil, published in 2009, the variables analyzed were: temperature, electrical conductivity, humidity, total nitrogen, organic carbon, pH, and carbon nitrogen (C/N) ratio. In each treatment, 500 g of a composite sample of five specific subsamples were taken to perform organic fertilizer analysis, collected from different sections of each cell, in the initial and thermophilic composting phase. Considering the proposed experimental design, we conclude that the addition of the inoculum in the Experimental Treatment (ET), did not contribute to increase the efficiency of the composting process, since there were no significant differences between the variables temperature and electrical conductivity ($p > 0.05$), as well as the parameters humidity, pH, total nitrogen, organic carbon and C/N ratio ($p > 0.05$). In addition, all these parameters are within the standards established by Normative Instruction 25/2009 (BRAZIL, 2009) for organic fertilizers from the composting process, resulting in a product for safe use in agriculture.

Keywords: Microbial inoculum, organic waste composting, pig farm, Latacunga, Ecuador.

1. Introducción

Según Cervantes et al. (2007), la porcicultura ha tenido un fuerte crecimiento en los últimos años, en respuesta a la demanda del mercado nacional e internacional, convirtiéndose en una fuente significativa de ingresos económicos, esto a su vez ha generado impactos ambientales relacionados con el deficiente manejo de desechos.

Según el informe de AGROCALIDAD, ASPE & MAGAP (2010), a finales del año 2010 se realizó el primer censo porcino con el objetivo de obtener la información necesaria para construir la línea base de la industria en el País, destacando que este fue un trabajo de cooperación entre el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), la Agencia Ecuatoriana para el Aseguramiento de la Calidad (AGROCALIDAD) y la Asociación de Porcicultores Ecuador (ASPE)

Según los mismos autores, los datos obtenidos apuntan que hasta 2010 existían en Ecuador 1.737 granjas porcinas con 20 o más animales, o con un mínimo de 5 madres, destacando que el 79 % de las granjas registradas se encuentran en las regiones Sierra y Costa, que cuentan con el 95 % de la población porcina. Además, de forma general, en tres regiones del Ecuador (Costa, Sierra y Oriente) los purines de la mayoría de las granjas porcinas se descargan en ríos y quebradas, entre 45% y 53%. La excepción es Galápagos, donde el porcentual de descarga alcanza 90%.

De acuerdo a las estadísticas porcícolas generadas por la asociación de porcicultores Ecuador (ASPE, 2016), realizada en el año 2016, la producción de granjas tecnificadas y semitecnificadas generan 84.000 TM/año, mientras que la producción cerdo traspasio/Familiar genera 56.000 TM/año, totalizando 140.000 TM/año. El consumo estimado de carne de cerdo en 2010 era de 7,3 kg/persona/año. En el año 2016 la cifra aumentó para 10 kg/persona/año.

1.1 Contaminación Ambiental

Según Rosario Perez Espejo. (2006), la contaminación ambiental ocasionada por los desechos porcinos genera impactos adversos al agua, suelo, aire, que incluyen olores desagradables y la proliferación de plagas de insectos. Los principales componentes son heces, orina y alimento desperdiciado, que son arrastrados por el agua residual durante el proceso de limpieza. La cantidad de residuos generados tiene relación con las etapas del proceso productivo, alimentación y cantidad de agua consumida. Conforme Medina et al. (2018), se generan gases como el metano (CH_4), y los efluentes que se lixivian causan contaminación de los mantos freáticos con nitratos (NO_3).

1.2 Compostaje

El compostaje es una de las alternativas para gestionar los residuos orgánicos. La duración del proceso está relacionada con el origen de los residuos, el tamaño de partícula, la disposición de la pila, la aireación, la humedad y la población biológica activa. El área destinada para el efecto es directamente proporcional a la cantidad de residuos y el tiempo del proceso (Azurduy et al., 2016).

El compost es un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica. En condiciones controladas de humedad y temperatura, que oscila entre 50 y 70°C, provocando así la destrucción de elementos patógenos y por tanto la total inocuidad del producto. Este material es usado para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Yepes et al., 2008). Los factores que afectan a los microorganismos requieren control en el proceso de compostaje la aireación, contenido en humedad y temperatura, pH, factores nutricionales y la relación C/N (Negro et al., 2000).

1.3 Fases del compostaje

Según el Manual de Compostaje del Agricultor (Román, Martínez & Pantoja, 2013), fomentado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el compostaje es el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. Según la temperatura que alcance durante el proceso de compostaje, se establece tres etapas en el proceso:

Fase Mesófila.

En la fase mesófila ($T<45^{\circ}\text{C}$), el proceso de compostaje empieza a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso horas) alcanza la temperatura en mención, debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N para el efecto.

Fase Termófila o de Higienización.

En la fase termófila ($T>45^{\circ}\text{C}$), los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias termófilas debido a que crecen a mayores temperaturas, contribuyendo a la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. La fase de higienización ($T>60^{\circ}\text{C}$) permite la destrucción de bacterias y contaminantes de origen fecal, como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp.

Fase de Enfriamiento o Mesófila II.

Consumidas las fuentes de carbono, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, y la temperatura desciende nuevamente ($T < 45^{\circ}\text{C}$), 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.

Fase de Maduración.

Es un 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 (Román, Martínez & Pantoja, 2013).

1.4 Inóculos

La utilización de preparados microbianos (inóculos) como aceleradores de la degradación de la materia orgánica en el compostaje, debe garantizar la constitución de agregados significativos en número, para producir una bioaumentación y la reducción del tiempo de formación y maduración del compost, con el fin reducir costos de producción y espacio en el proceso de compostaje (Medina et al., 2018). En la medida que la actividad de los microorganismos es mayor, la acumulación de CO₂ es mayor, y la calidad del compost y su madurez se garantizan cuando disminuye la cantidad de CO₂. Esto se puede atribuir a que el abono orgánico presenta diferentes etapas de descomposición.

Sin embargo, el uso de estos inoculantes microbianos es un tema controversial debido a que mientras algunos investigadores no han encontrado diferencias significativas al comparar con procesos de compostaje, sin adición artificial de microorganismos, (Barker, 2000; California Integrated Waste Management Board, 2001; Acevedo et al., 2005).

1.5 Delineamiento del problema

La granja porcina trabaja con procesos de compostaje de sus residuos orgánicos desde enero del 2017. Sin embargo, en el mes septiembre de 2019 hubo una denuncia por parte de la comunidad vecinal ante el Ministerio del Ambiente, reclamando de la existencia de (malos) olores expelidos por el proceso normal de producción y de compostaje de la empresa. Por estos motivos, la empresa, consciente de su papel social y ambiental en la comunidad donde está ubicada, optó por la adquisición de un preparado microbiano (inóculo), para tratar este problema, además de incorporar beneficios al proceso de compostaje debido a la adición de este inóculo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la eficiencia de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje utilizando residuos orgánicos de una granja porcina.

2.2. Objetivos Específicos

2.2.1. Analizar las variables temperatura y conductividad eléctrica en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de la granja porcina, sin y con la adición del inoculante microbiano.

2.2.2. Analizar los parámetros humedad, pH, nitrógeno total, carbono orgánico y Relación C/N en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de la granja porcina, sin y con la adición del inoculante microbiano.

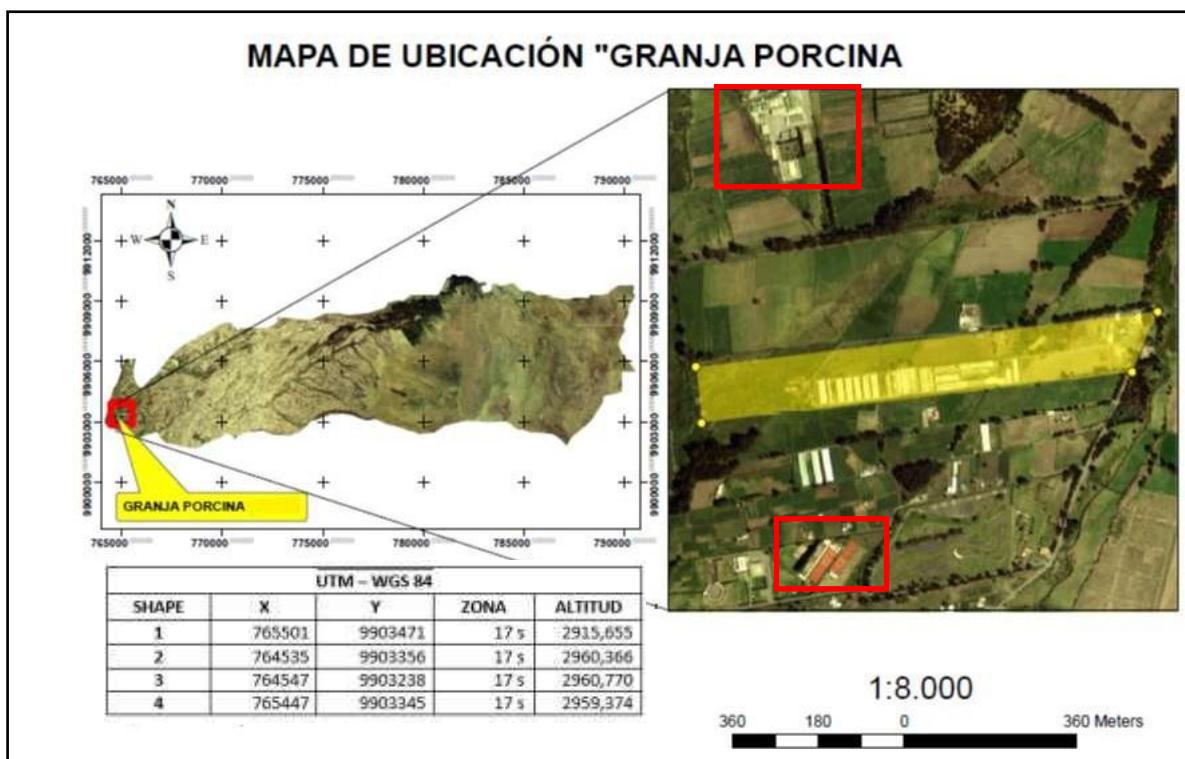
2.2.3. Verificar la eficiencia de la adición del inoculo microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de la granja porcina, comparando un tratamiento control TC (sin la aplicación del inóculo bacteriano) con un tratamiento experimental TE (con la aplicación del inóculo bacteriano), utilizando normas de producción vigentes.

3. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

El presente trabajo de investigación se desarrolló en las instalaciones de una granja porcina, que se ubica geográficamente en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, (Fig. 1), Ocupa una superficie de 15 Hectáreas y una población de 13000 cerdos aproximadamente.

Figura 1. Área de estudio, indicando la localización de Granja Porcina, en el Cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, Ecuador.



3.2. Compostera

El lugar designado para el ensayo fue la planta de compostaje que se encuentra ubicado junto a planta de tratamiento de aguas residuales (Fig. 2), en los exteriores de la

granja porcina, destacando que el piso del área de compostaje es impermeabilizado con geomembrana.

Figura 2. Área de compostaje, ejecución del diseño experimental, en el Cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, Ecuador.



3.3. Inóculo bacteriano

El inóculo microbiano empleado es un Biocatalizador Microbiano de Desechos Orgánicos (BMDO©), adquirido junto a la empresa BioControlScience, Ecuador, a partir de un convenio establecido entre ambas empresas. El inóculo microbiano tiene las siguientes características:

3.3.1. Formulación

Esporas, células vivas, enzimas, proteínas, péptidos, polipéptidos, biopolímeros microbianos y metabolitos secundarios de:

Alfa proteobacterias: Acetobacter sp., PSL890, Burkholderia sp. PSL828, Bradhyrrizobium sp. PSL29554, Caulobacter sp. PSL- 2355, Methylobacferium, sp, PSL225488, Nitrobacter, sp. 547, Phyllobacterium sp. 01245.

Betaproteobacterias: Achromobacter sp., PSL 5548, Acidovorax sp. PSL 6958, Alcaligenes PS5874, Nitrosomonas sp., PSL 4757.

Gamma proteobacterias: Acidithiobacillus thiooxidans PSL 2145, Azornonas PSL 8547, Azotobacer sp., PSL 3214; Citrobacter sp., PSL9567, Klebsiella sp., PSL7275, Pantaea sp., 8754, Proteus sp., PSL5142, Pseudomonas fluorescens PSL98564.

Levaduras: Candida sp, PSL 1242, Geotrichum sp. PSL4217, Pichia sp. PSL7487, Aureobasidium pullulans, PSL 12324.

Hiphomicetes: Geotrichum sp, PSL5321 Hyponectria sp. 7458, Hyphomices sp., PSL 58798; trichoderma reseii PSL 87548; Trichoderma sp. PSL321358; Trichoderma sp., PSL874154

Basidiomicetes: lentinus sp., PSL755, Mycena sp., PSL 75 Coprinus sp. PSL6958, PhlebiaPSL7458.

3.3.2. Dosisificación

De acuerdo a las recomendaciones del laboratorio fabricante, se utilizaron las siguientes dosis (tabla 1).

Tabla 1. Dosisificación de inoculante microbiano.

Característica	Actividad	Dosis ml
Fase de inicio	Volteos	100
Fase media	Volteos	500
Fase última	Cosecha	500

3.4. Procedimiento

El compostaje fue realizado durante 8 semanas donde se ejecutaron las siguientes actividades (Fig. 3):

3.4.1. Recepción de efluentes

Los efluentes procedentes de la granja porcina que contienen cascarilla de arroz y estiercol son recolectados en la piscina de recepcion, en donde mediante una bomba es impulsado al separador de solidos.

3.4.2. Separación de solidos

Mediante el separador de solidos de tornillo es separada la cascarilla de arroz y estiercol, que se utilizará como base para formar las pilas de elaboracion de compost.

3.4.3. Formación de pilas

Con la ayuda de un tractor se forman las pilas de cascarilla de arroz y estiercol. El montaje se realizó a cielo abierto, donde se prepararon 6 tratamientos de compostaje (Tabla 2), que fueron distribuidos 3 para el tratamiento control y 3 para el tratamiento experimental, que poseen las siguientes dimensiones: 5 m de largo y 1,20 m de alto y 2 m de base.

Tabla 2. Residuos orgánicos utilizados en el Tratamiento control y experimental, obtenidos de la granja porcina, Cotopaxi, Ecuador.

Residuos orgánicos para compostaje	
Cascarilla de arroz	2 m ³
Estiércol de cerdos	4 m ³
Concentrado de estiércol	6 m ³
Total de residuos dispuestos para el diseño experimental por tratamiento: 12 m³	

3.4.4. Inyección de concentrado de estiércol

Dos veces por semana los lodos procedentes de las piscinas de engorde son evacuadas a la piscina de recepcion, y enviadas a las pilas de cascarilla para el proceso de compostaje através de un sistema de tuberias.

3.4.5. Aplicación del Inoculante microbiano

Aplicacion del Inoculante microbiano. Una vez inyectado el concentrado de estiercol en las pilas del tratamiento, se hace la aplicación de la dilucion del Incoulante microbiano en la siguiente secuencia:

- Primera inoculacion: Al inicio del proceso, la dosis empleada es 100 ml/20 litros de agua.
- Segunda inoculacion: En la fase media, 500 ml/20 litros de agua.
- Tercera inoculacion: Fase de cosecha, 500 ml/20 litros de agua.

3.4.6. Volteos

Una vez aplicado el inoculo microbiano los volteos se realizan 3 veces por semana utilizando una volteadora industrial.

3.4.7. Toma de parámetros de control

Durante todo el proceso de compostaje, se midieron ls variables temperatura y conductividad eléctrica.

Figura 3. Fases del compostaje en el Cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, Ecuador. 3.3.1. Tanque de recepción de aguas residuales. 3.3.2. Separador de sólidos de tornillo. 3.3.3. Tractor con pala frontal utilizado para transportar material separado y armar pilas. 3.3.4- 3.3.5. Inyección de concentrado de estiércol y dosificación de inoculante microbiano. 3.3.6. Volteo. 3.3.7. Toma de parámetros de control.



3.5. Análisis de laboratorio de las muestras.

El 02 de diciembre del 2019 empieza el proceso de compostaje, y culmina el 04 de febrero del 2020, donde se realizó la cosecha para el tratamiento control y para el tratamiento experimental. En cada tratamiento se tomaron 500 g de una muestra compuesta de cinco submuestras puntuales, de diferentes secciones de cada pila en fase inicial y termofílica, para realizar análisis del fertilizante orgánico. Los parámetros analizados fueron seleccionados siguiendo la instrucción normativa SDA/MAPA n° 25,

de julio de 2009, del Ministerio de Agricultura, Pecuaria y Abastecimiento del Brasil (BRASIL, 2009). Los parámetros analizados fueron: humedad, Nitrógeno (N) total, carbono orgánico (C), pH, relación carbono nitrógeno C/N. La tabla 3 presenta los valores permitidos para las especificaciones de los fertilizantes orgánicos, mezclados o compuestos, que garantizan la calidad del abono producido (BRASIL, 2009). Las muestras fueron enviadas a un laboratorio particular autorizado AGROBIOLAB - Grupo Clínica Agrícola, para las determinaciones analíticas.

Los valores de los parámetros medidos fueron contrastados con los valores mínimos y máximos permisibles, según la Norma Brasileña nº 25 de Julio de 2009 (BRASIL, 2009). Se utilizó esta norma internacional debido a que en el Ecuador no existe una norma que sea específica para compost orgánico, destacando que existe un manual emitido por La Agencia de regulación y Control Fito y Zoosanitario que se llama “*Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola*” (www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/manualfertilizantesversion.pdf), que fue elaborado en base a normas internacionales, entre ellas la Norma Brasileña nº 25/2009. Sin embargo, este manual no es completo porque no habla específicamente del compost (abono orgánico), que es el tema básico de esta investigación.

3.6. Análisis de los datos

Para el análisis de los datos se aplicó la estadística descriptiva para la visualización e interpretación de medidas de tendencia central y dispersión (promedio ± desviación estándar; Coeficiente de Variación, CV), conforme Callegari-Jacques (2006). Los tratamientos fueron comparados utilizando la prueba estadística no paramétrica de Mann-

Whitney con nivel de significancia $\alpha=5\%$, disponible en el programa computacional PAST (HAMMER et al., 2001).

Tabla 3. Especificaciones de los fertilizantes orgánicos, mezclados o compuestos, conforme la Instrucción Normativa Brasileña 25/2009 (BRASIL, 2009).

Garantía	Abono (Compost)
	Clase C
Humedad (máx.)	50 %
Nitrógeno total - N (mín.)	0,5 %
*Carbono orgánico (mín.)	10 %
*CTC ⁽¹⁾	Conforme declarado
pH (mín.)	6,0
Relación C/N (máx.)	14 %
*Relación CIC/C⁽¹⁾	Conforme declarado
Otros nutrientes	Conforme declarado

*Valores expresos en base seca, unidad determinada a 65°C.

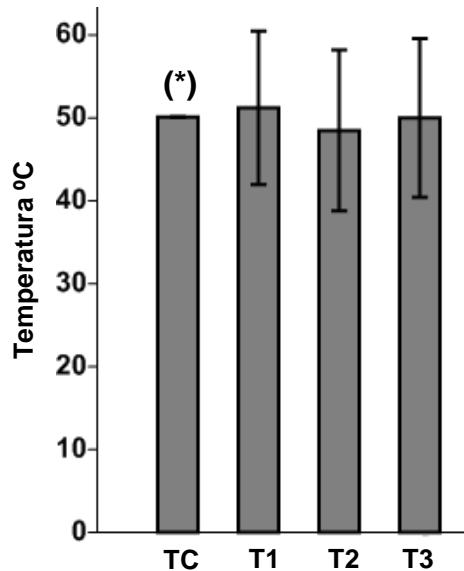
(1) Es obligatoria la declaración en el proceso de registro del producto.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables temperatura y conductividad.

Las variables temperatura y conductividad eléctrica son consideradas medidas de vital importancia en el proceso de compostaje. Según Velasco (2013), la temperatura es el factor que influencia más críticamente en la velocidad de descomposición de la materia orgánica durante el compostaje. Los límites inferior y superior se sitúan en 20 y 59°C, respectivamente. Según Negro et al. (2000), la conductividad eléctrica es importante porque depende de los materiales con los que se ha elaborado el compost (purines, agua, etc.). Los resultados se presentan en las figuras 4 y 5, respectivamente.

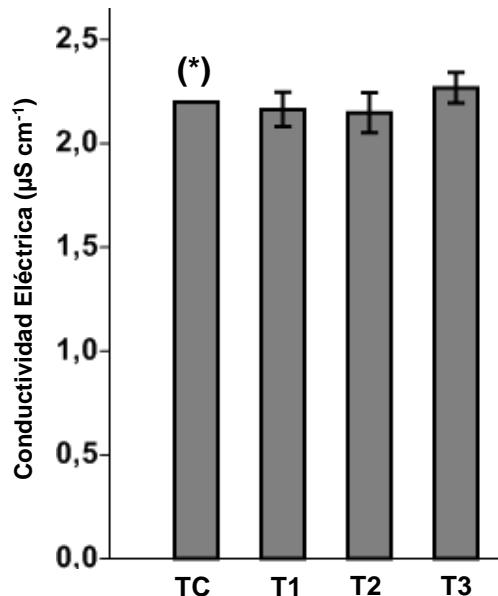
Figura 4. Promedio (\pm desviación estándar) de la temperatura (°C) del proceso de compostaje de residuos de cerdos para el Tratamiento Control TC (sin la aplicación del inóculo bacteriano) y para los valores experimentales T1, T2 y T3 (con la aplicación del inóculo bacteriano), realizado en una granja porcina, entre 02/12/2019 a 04/02/2020. (*) Diferencia no significativa ($p>0.05$).



Comparando el Tratamiento Control (TC) y el Tratamiento Experimental (TE), en función del promedio (\pm desviación estándar) calculado, se observa que tanto la temperatura como la conductividad eléctrica no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$) (figs. 4 y 5). Estos resultados indican que, considerando el diseño experimental

propuesto, la adición del inóculo en el Tratamiento Experimental (TE), no contribuyo para aumentar la eficiencia del proceso de compostaje, ya que no hubo diferencias significativas entre las variables temperatura y conductividad eléctrica.

Figura 5. Promedio (\pm desviación estándar) de la conductividad eléctrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) del proceso de compostaje de residuos de cerdos para el tratamiento control TC (sin la aplicación del inóculo bacteriano) y para los valores experimentales T1, T2 y T3 (con la aplicación del inóculo bacteriano), realizado en una granja porcina, entre 02/12/2019 a 04/02/2020. (*) Diferencia no significativa ($p>0.05$).



4.1. Análisis de fertilizantes (compost)

Los resultados del Tratamiento Control (TC), muestras 1, 2 y 3, que no contienen inoculo bacteriano, realizada el 02/12/2019, comparados con el Tratamiento Experimental (TE), muestras 1, 2 y 3, que contienen inoculo bacteriano, realizada el 04/02/2020, para la elaboración del compost a partir de residuos orgánicos de la granja porcina, se presentan en la tabla 3 y figura 6.

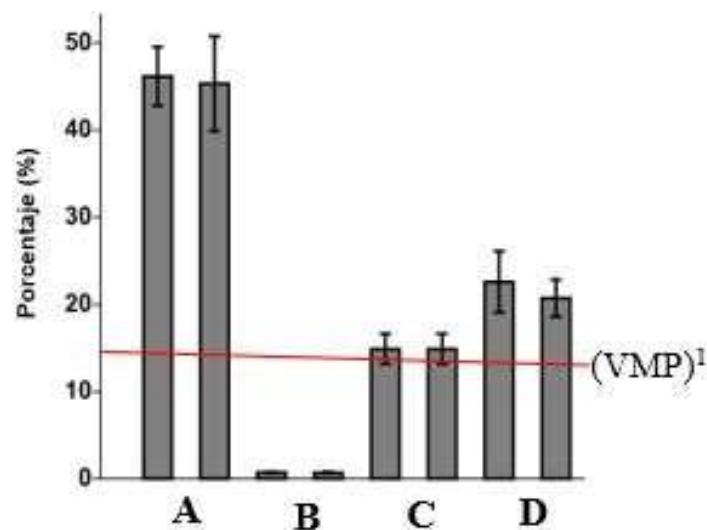
Comparando el Tratamiento Control (TC) y el Tratamiento Experimental (TE), en función del promedio (\pm desviación estándar) calculado, se observa que el pH, humedad,

nitrógeno total y carbono orgánico se encuentran dentro de los límites establecidos por la Instrucción Normativa (IN) 25/2009 (BRASIL, 2009) para abonos orgánicos provenientes del proceso de compostaje (Tabla 3). La relación C/N fue el único parámetro que presentó valores superiores al valor límite establecido por la IN 25/2009, $22,6 \pm 3,5\%$ para TC y $20,7 \pm 2,2\%$ para TE, que estipula un máximo de 14% (BRASIL, 2009).

Tabla 3. Promedio (\pm desviación estándar) ($P \pm DS$) y Coeficiente de Variación (CV), de los parámetros medidos (%) en el compost producido utilizando residuos orgánicos de la granja porcina, para el tratamiento control TC (sin la aplicación del inóculo bacteriano), muestras 1, 2 y 3, y el tratamiento experimental TC (con la aplicación del inóculo bacteriano), muestras 1, 2 y 3 (HU: Humedad. PH: pH. NT: Nitrógeno Total. CO: Carbono Orgánico, CN: Relación C/N).

Parámetros	HU TC	HU TE	PH TC	PH TE	NT TC	NT TE	CO TC	CO TE	CN TC	CN TE
Muestras	49.8	39.1	6.5	6.5	0.65	0.69	12.9	12.9	26.4	18.6
	45.6	49.2	6.5	6.5	0.75	0.78	16.2	16.2	21.9	20.7
	43.1	47.7	6.5	6.5	0.79	0.68	15.6	15.6	19.5	22.9
(P \pm DS)	46,2 $\pm 3,4$	45,3 $\pm 5,4$	0	0	0,73 $\pm 0,07$	0,72 $\pm 0,06$	14,9 $\pm 1,6$	14,9 $\pm 1,8$	22,6 $\pm 3,5$	20,7 $\pm 2,2$
CV	7,3%	12%	0	0	10,0%	7,70%	11,8%	11,8%	15,5%	10,4%

Figura 6. Promedio (\pm desviación estándar) de los parámetros medidos (%) en el compost producido utilizando compostaje en el Tratamiento Control (TC – 04/02/2020) Y el Tratamiento Experimental (TE – 04/02/2020). A (Humedad - TC y TE). B (Nitrógeno Total – TC y TE). C (Carbono Orgánico – TC y TE). D (Relación C/N – TC y TE). (VMP)¹: Valor Máximo Permitido para la relación C/N = 14% (Brasil, 2009).



La diferencia observada para el parámetro relación C/N, sin embargo, no compromete la calidad del compost producido, considerando los resultados de la investigación de Soto & Meléndez, (2004), los cuales concluyeron que se considera un compost maduro el que tenga una relación C/N < 20-25%, condición que caracterizó la relación C/N en las muestras analizadas. Según los autores, la calidad de un abono está dada por el uso al que destina. Lo que puede ser considerado como un abono de muy buena calidad para un productor de banano, puede ser considerado inefectivo o poco práctico para el productor de hortalizas. Sin embargo, como resultado de esta investigación y con base en la norma IN 25/2009 (Brasil, 2009), el compost producido resulta en un producto para uso seguro en la agricultura.

Cabe destacar, por último, que al comparar los análisis de los fertilizantes orgánicos en el compost del Tratamiento Control (TC), muestras 1, 2 y 3, con el Tratamiento Experimental (TE), muestras 1, 2 y 3, no hubo diferencias significativas para todos los parámetros ($p>0.05$): humedad, pH, nitrógeno total, carbono orgánico y Relación C/N.

Estos resultados indican que, considerando el diseño experimental propuesto, la adición del inóculo en el Tratamiento Experimental (TE), no contribuyo para aumentar la eficiencia del proceso de compostaje, ya que no hubo diferencias significativas entre los parámetros medidos comparando TC con TE. Además, todos ellos se encuentran dentro de los límites establecidos por la Instrucción Normativa (IN) 25/2009 (BRASIL, 2009) para abonos orgánicos provenientes del proceso de compostaje.

Además, estos resultados coinciden con los trabajos de Barker (2000), California Integrated Waste Management Board (2001) y Acevedo et al. (2005), los cuales no encontraron diferencias significativas al comparar procesos de compostaje, sin y con la

adicción artificial de microorganismos (inóculos), como aceleradores de la degradación de la materia orgánica en el compostaje.

Es importante destacar que las evidencias empíricas mostraron que por lo menos el problema fitosanitario que origino este experimento, básicamente la existencia de malos olores provenientes de la granja porcina, a través de denuncias por parte de la comunidad vecinal ante el Ministerio del Ambiente, fue resuelto, ya que la aplicación del inoculo bacteriano disminuyó a niveles aceptables los olores expelidos por la granja porcina, lo cual ha sido ratificado por funcionarios del ente regulador y la comunidad vecinal.

5. CONCLUSION

Considerando el diseño experimental propuesto, concluimos que la adición del inóculo en el Tratamiento Experimental (TE), no contribuyó para aumentar la eficiencia del proceso de compostaje, ya que no hubo diferencias significativas entre las variables temperatura y conductividad eléctrica ($p>0.05$), así como los parámetros humedad, pH, nitrógeno total, carbono orgánico y Relación C/N ($p>0.05$). Además, todos estos parámetros se encuentran dentro de los límites establecidos por la Instrucción Normativa (IN) 25/2009 (BRASIL, 2009) para abonos orgánicos provenientes del proceso de compostaje, resultando en un producto para uso seguro en la agricultura.

En relación a la denuncia por malos olores generada por la comunidad de influencia directa ante el Ministerio del ambiente, se concluye que la aplicación del inoculo microbiano redujo los olores expelidos a niveles considerables, una vez que esta condición fue ratificado por el ente regulador y la comunidad.

6. RECOMENDACIONES

Con el objetivo de ratificar los resultados obtenidos en esta investigación, en relación a la utilización de preparados microbianos (inóculos) como aceleradores de la degradación de residuos orgánicos para la formación de compost, a través de un proceso de compostaje en una granja porcina, se recomienda:

- 6.1. Proponer un nuevo diseño experimental, aumentando tanto el tamaño de muestra, como la periodicidad del muestreo.
- 6.2. Implementar técnicas de producción más limpias de producción y control del proceso de compostaje de residuos orgánicos de la granja porcina, una vez que los resultados de esta investigación demostraron que el inóculo bacteriano fue eficiente, apenas en la disminución de malos olores expelidos por el proceso, condición que no justifica la inversión y con ello contribuir al equilibrio financiero de la empresa.

REFERENCIAS CITADAS

- AGROCALIDAD, ASPE, & MAGAP. (2010). Encuesta Nacional Sanitaria De Granjas De Ganado Porcino. In *Agrocalidad* (Vol. 1).
- ASPE. (2016). Estadísticas porcícolas 2016. 13/02/2020, de Asociación Porcícola Ecuador. <https://www.aspe.org.ec/index.php/informacion/estadisticas/estadisticas-porcicolas-2016>
- Azurduy, S., Azero, M., Ortúñoz, N., Bolivia, C., PROINPA Centro El Paso, F., Meneses, A., & El Paso, Z. (2016). Evaluación de Activadores Naturales para Acelerar el Proceso de Compostaje de Residuos Orgánicos en el Municipio de Quillacollo. *Acta Nova*, 7, 1683–0768.
http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v7n4/v7n4_a02.pdf
- Barker (2000), California Integrated Waste Management Board (2001) y Acevedo et al. (2005),
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa DAS n. 25, de 23 de julho de 2009. Diário Oficial da União, Brasília, v. 142, p. 20, jul. 2009.
- Callegari-Jaques, S. D. Bioestatística. Princípios e Aplicações. Porto Alegre: Artmed. 255p. 2006.
- California Integrated Waste Management Board. (2001) Compost Microbiology and the soil food web. Consultado en Julio de 2013, desde
<http://www.calrecycle.ca.gov/publications/Organics/44200013.doc>
- Cervantes, F. J., Saldívar-Cabrales, J., & Yescas, J. F. (2007). Estrategias para el

aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. In *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* (Vol. 3, Issue 1).

https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Cervantes/publication/228790955_Estrategias_para_el_aprovechamiento_de_desechos_porcinos_en_la_agricultura/links/0a85e52f8e422c6f03000000.pdf

Negro, M., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Cristóbal, M., Benito, A. DE, García Martín, Román, P., Martínez, M. M., Pantoja, A (2013). Manual de compostaje del agricultor.

Negro, M., Villa, F., Aibar, J., Alarcón, R., Cristóbal, M., Benito, A. DE, ... Toledo, S. (2000). *PRODUCCIÓN Y GESTIÓN DEL COMPOST*. Retrieved from http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000_Compost_CIEMAT.pdf

Medina, M. S., Quintero, R., Espinosa, D., Alarcón, A., Etchevers, J. D., Trinidad, A., Víctor, F., & Martínez, C. (2018). del compostaje. *Aam*, 50(2), 206–210.

Ministério da Agricultura, P. e A. (2009). *Instrução normativa DAS n. 25*.

Rosario Pérez Espejo(2006). Granjas porcinas y medio ambiente Contaminación del del agua en La Piedad, Michoacán http://ec.unam.mx/1960/1/04_GranjasPorcinas.pdf

Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Santiago de Chile (<http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>).

Soto, G., & Meléndez, G. (2004). *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología (Costa Rica)/Cómo medir la calidad de los abonos orgánicos Introducción*. 72, 91–97.

Velasco M.M Utilización de la densidad aparente como herramienta en el balance de masa del proceso de compostaje de forma y cuantificación y caracterización de los

rechazos. caso concreto de la planta de compostaje de Manresa, Tesis de grado para la obtención de título de Ingeniería Agrícola, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2016.

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/100294/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

HAMMER, & O. (2001). PAST : Paleontological statistics software package for education and data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 9p. Http://Palaeo-Electronica.Org/2001_1/Past/Issue1_01.Html. Retrieved from <https://ci.nii.ac.jp/naid/10030566307/>

Yepes, S. M., Lina, ;, Naranjo, J. M., & Orozco Sánchez, F. (2008). valorización de residuos agroindustriales-frutas-en medellín y el sur del valle del aburrá, colombia agroindustrial waste valorization-fruits-in medellín and the south of valle de aburrá, colombia. in *rev.fac.nal.agr.medellìn* (vol. 61). retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a18v61n1.pdf?>