



Universidad de San Carlos de
Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química



Universidad de Ciencias Aplicadas y
Ambientales
Facultad de Ciencias Ambientales
Bogotá, Colombia

**EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES
AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL
REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A**

Beatriz Adriana Valle Oliva

Asesorado por el Zootecnista Marco Tulio Espinosa e Ing. Víctor Monzón

Guatemala, julio de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS
Y AMBIENTALES



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

**EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES
AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL
REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

BEATRIZ ADRIANA VALLE OLIVA
ASESORADO POR EL ZOOTECNISTA MARCO TULIO ESPINOSA
Y EL ING. VÍCTOR MONZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA AMBIENTAL

GUATEMALA, JULIO DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoá
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. María Alejandra Má Villatoro
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Carlos Vinicio Godínez Miranda
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 13 de junio de 2013.



Beatriz Adriana Valle Oliva

Calle 222 N°. 55-37 PBX: (57-1) 668 4700		Fax:(57-1) 676 1132
Sede Norte Calle 72 No. 14-20	Tel: 2179345 - 3450396	A.A.34204
Nit. 860.403.721-2	www.udca.edu.co	Bogotá D.C - Colombia

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A



ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Bogotá – Colombia, el día 16 de octubre de 2012 se realizó la presentación del trabajo de graduación titulado: *"Evaluación de un Producto Comercial de Microorganismos Eficientes Aerobios en Producción de Compost en la Unidad Docente Productiva El Remanso, de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A"* a cargo de la estudiante Beatriz Adriana Valle Oliva de la Universidad de San Carlos de Guatemala y como parte del Programa de Intercambio y Movilidad Académica PIMA, en el período comprendido entre los meses de Abril a Octubre de 2012.

Asistieron a la presentación, además de estudiantes de los programas de Ingeniería Agronómica y Ciencias Ambientales, los siguientes profesores:

Marco Tulio Espinosa López – Asesor del Trabajo
Juan Carlos Montoya – Revisor del Trabajo
Luz Marina Cabrera – Evaluadora
Luis Hernando Estupiñan - Evaluador

El trabajo se aprobó de acuerdo a lo establecido en la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.

Se firma a los dieciséis (16) días del mes de octubre de 2012, en la ciudad de Bogotá D.C.


Luis Hernando Estupiñan
Decano
Facultad de Ciencias Ambientales

Calle 222 N°. 55-37 PBX: (57-1) 668 4700	Fax:(57-1) 676 1132	
Sede Norte Calle 72 No. 14-20	Tel: 2179345 - 3450396	A.A.34204
Nit. 860.403.721-2	www.udca.edu.co	Bogotá D.C - Colombia

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A



Bogotá D.C., Colombia, 16 de octubre de 2012

Señores
Escuela de Ingeniería Química.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.
Presente.

Respetados Señores.

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación al informe final de trabajo de graduación titulado **"EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A"**, realizado por la estudiante de Ingeniería Ambiental Beatriz Adriana Valle Oliva quien realizó dicho estudio en nuestra universidad como parte del Programa de Intercambio y Movilidad Académica PIMA, en el período comprendido en los meses de abril a octubre del presente año.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente;

Marco Tulio Espinosa
Docente Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.,
Bogotá, Colombia
Asesor

Calle 222 N°. 55-37 PBX: (57-1) 668 4700		Fax:(57-1) 676 1132
Sede Norte Calle 72 No. 14-20	Tel: 2179345 - 3450396	A.A.34204
Nit. 860.403.721-2	www.udca.edu.co	Bogotá D.C - Colombia

UNIVERSIDAD DE CIENCIAS
APLICADAS Y AMBIENTALES
U.D.C.A



Bogotá D.C. , Colombia, 16 de octubre de 2012

Señores
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Respetados Señores:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación al informe final de trabajo de graduación titulado **"EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A"**, realizado por la estudiante de Ingeniería Ambiental Beatriz Adriana Valle Oliva quien realizó dicho estudio en nuestra universidad como parte del Programa de Intercambio y Movilidad Académica PIMA, en el período comprendido en los meses de abril a octubre del presente año.

Sin otro particular me suscribo de usted.

Atentamente;

Juan Carlos Montoya
Juan Carlos Montoya

Docente Facultad de Ingeniería Agronómica
Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A.,
Bogotá, Colombia
Revisor



Guatemala, 16 de octubre de 2012

Ing. Víctor Monzón
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Por medio de la presente **HAGO CONSTAR** que he revisado y dado mi aprobación al informe final de trabajo de graduación titulado **“EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A”**, realizado por la estudiante de ingeniería ambiental Beatriz Adriana Valle Oliva, quien realizó dicho estudio en la universidad UDCA, en la ciudad de Bogotá, Colombia; como parte del Programa de Intercambio y Movilidad Académica –PIMA- en el período comprendido en los meses de abril a octubre del presente año.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente;



Ing. Víctor Monzón

Asesor

Ing. Qco. Víctor Manuel Monzón Valdez
Colegiado No. 656



Guatemala, 21 de junio de 2013
Ref. EI.Q.TG-IF.037.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-103-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **Beatriz Adriana Valle Oliva.**

Identificada con número de carné: **2006-11059.**

Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A.

El Trabajo de Graduación es asesorado por: **el Ingeniero Químico Víctor Manuel Monzón Valdez y el Zootecnista Marco Tulio Espinosa López.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo





DTG. 490.2013.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN DE UN PRODUCTO COMERCIAL DE MICROORGANISMOS EFICIENTES AEROBIOS EN PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LA UNIDAD DOCENTE PRODUCTIVA EL REMANSO, DE LA UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS Y AMBIENTALES, U.D.C.A.**, presentado por la estudiante universitaria **Beatriz Adriana Valle Oliva**, como parte de la política de Internacionalización y el Programa de Intercambio de Movilidad Académica de la Facultad de Ingeniería, con la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, Bogotá Colombia, por tanto autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 11 de julio de 2013.

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por bendecir mi vida y permitirme culminar con éxito una segunda carrera universitaria.
- Virgen María** Por acompañarme y guiarme todos los días de mi vida.
- Mis padres** Juan Salvador Valle Palacios y Angela Aracely Oliva de Valle, por su apoyo incondicional. Los quiero y admiro.
- Mis hermanos** Angelita Aracely, Juan Salvador, Margarita María y Fernando Rafael Valle Oliva, por su comprensión y apoyo en todo momento.
- Mi familia** Abuelas, tíos y primos por su apoyo y cariño.
- Mis amigos** Por los buenos momentos compartidos y por brindarme su amistad.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por darme la vida y permitirme alcanzar este sueño.
Mis padres	Por su amor, esfuerzo, confianza, y los valores inculcados.
Mis asesores	Profesor Marco Tulio Espinosa e ingeniero Víctor Monzón, por su valioso tiempo y por la asesoría recibida durante el desarrollo de esta investigación.
La Facultad de Ingeniería, USAC	Por la formación académica recibida y la oportunidad de realizar un intercambio académico en el extranjero.
Decano FIUSAC	Ingeniero Murphy Paiz, por promover los programas de movilidad académica y el apoyo a los estudiantes.
Licda. Sandra Velásquez	Por todo el apoyo recibido durante el proceso de intercambio académico.

Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, U.D.C.A. Por la cooperación, apoyo técnico y la oportunidad de realizar esta investigación en Colombia.

Facultad de Ciencias Ambientales, U.D.C.A. Todos sus integrantes, por la colaboración y apoyo indispensables para realizar con éxito mi trabajo de graduación.

Jazmín Henao Por todo el apoyo recibido en Colombia y por su sincera amistad.

Ing. Vinicio Montero Por su amistad, consejos y el apoyo recibido en mi vida profesional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Residuos sólidos orgánicos	7
2.1.1. Actividad agropecuaria como fuente de residuos sólidos orgánicos	7
2.1.1.1. Granja porcícola	8
2.1.1.1.1. Tipos de cerdos en una granja de cría.....	9
2.1.1.1.2. Residuos sólidos orgánicos generados en las granjas porcícolas.	10
2.1.1.2. Granja cunícola	12
2.1.1.2.1. Residuos sólidos orgánicos generados en las granjas cunícolas.....	12

2.2.	Lodos de aguas residuales.....	14
2.2.1.	Origen de los lodos.....	14
2.2.1.1.	Fosas sépticas	15
2.2.2.	Propiedades de los lodos	15
2.2.2.1.	Propiedades físicas.....	16
2.2.2.2.	Propiedades químicas.....	17
2.2.2.3.	Propiedades biológicas.....	18
2.2.3.	Tratamiento de los lodos	20
2.3.	Elaboración de compost	21
2.3.1.	Definición de compost	21
2.3.2.	Sistemas de compostaje	22
2.3.2.1.	Compostaje en hileras	22
2.3.2.2.	Pilas estáticas	22
2.3.2.3.	Reactores cerrados.....	23
2.3.3.	Materias primas para el compostaje	24
2.3.4.	Técnica para la formulación de la mezcla para el compostaje	25
2.3.5.	Descripción del proceso de compostaje.....	26
2.3.5.1.	Etapas del proceso	28
2.3.6.	Parámetros para el control en el proceso de compostaje	32
2.3.6.1.	Relación carbono/nitrógeno	33
2.3.6.2.	Humedad.....	33
2.3.6.3.	Temperatura.....	34
2.3.6.4.	pH.....	34
2.3.6.5.	Granulometría	35
2.3.6.6.	Homogenización.....	35
2.3.6.7.	Aspectos microbiológicos.....	36
2.3.6.8.	Tamaño de la pila.....	38

2.3.7.	Parámetros de calidad del compost	39
2.3.8.	Aplicación del compost	40
2.3.9.	Microorganismos eficientes	41
2.3.9.1.	Uso de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost.....	41
3.	DISEÑO METODOLÓGICO	45
3.1.	Variables	45
3.1.1.	Variables independientes	45
3.1.2.	Variables dependientes	46
3.2.	Delimitación del campo de estudio	49
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	50
3.4.	Recursos materiales disponibles	51
3.5.	Técnica cualitativa	58
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	59
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	75
4.	RESULTADOS.....	85
4.1.	Diagnóstico de manejo de residuos sólidos orgánicos granjas de cerdos y conejos	85
4.2.	Proceso de producción de compost con microorganismos eficientes aerobios	87
4.3.	Efecto de los microorganismos eficientes sobre la composición física, química y microbiológica del compost	89
4.4.	Efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje versus el método convencional.....	90

5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	91
5.1.	Diagnóstico de manejo de residuos sólidos orgánicos granjas de cerdos y conejos	91
5.2.	Proceso de producción de compost con microorganismos eficientes aerobios	94
5.3.	Efecto de los microorganismos eficientes sobre la composición física, química y microbiológica del compost	98
5.4.	Efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje versus el método convencional.....	101
	CONCLUSIONES	103
	RECOMENDACIONES	105
	BIBLIOGRAFÍA.....	107
	APÉNDICE	109
	ANEXOS.....	123

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Proceso de biodegradación aeróbica	27
2.	Zonas en la pila de compostaje	28
3.	Etapas del proceso de compostaje atendiendo a la evolución de la temperatura	29
4.	Diagrama de técnica cualitativa	58
5.	Diagrama de diagnóstico de generación y manejo de residuos sólidos orgánicos.....	85
6.	Diagrama de diagnóstico de manejo de residuos sólidos orgánicos	86
7.	Diagrama de proceso de producción de compost con OIKO BAC-174	87
8.	Comportamiento de temperatura de la mezcla compostada.....	88
9.	Comportamiento de pH de la mezcla compostada.....	88

TABLAS

I.	Producción típica de estiércol de estiércol por animal en una granja porcícola	11
II.	Cantidades medias de excretas para las diferentes categorías de conejos	13
III.	Lodos comunes del agua y de las aguas de desecho	16
IV.	Metodología de formulación de la mezcla a compostar.....	26
V.	Punto crítico de la muerte de algunos patógenos y parásitos comunes en el proceso de compostaje.....	37

VI. Etapas del proceso de compostaje y parámetros que lo afectan	38
VII. Composición de OIKO BAC-174	42
VIII. Ventajas del compostaje con microorganismos eficientes	43
IX. Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta.....	48
X. Diseño experimental de la formulación de la mezcla compostada...	61
XI. Producción de estiércol en granja de cerdos del remanso	76
XII. Producción de estiércol en granja de conejos del remanso	76
XIII. Análisis de humedad y materia seca de materias primas	77
XIV. Análisis fisicoquímicos de materias primas	77
XV. Determinación de carbono total	78
XVI. Relación carbono/nitrógeno de materias primas	78
XVII. Análisis fisicoquímicos de materias primas datos experimentales determinando carbono por el método de Walkley-Black	79
XVIII. Análisis fisicoquímicos de materias primas datos experimentales determinando carbono por Tilsley.....	79
XIX. Composición teórica de los materiales compostados.....	80
XX. Comparación de porcentaje de carbono y nitrógeno teórico versus real en materias primas y mezcla a compostar.....	80
XXI. Comparación de relación C/N teórica versus real utilizando los datos de carbono determinados por Walkley-Black.....	81
XXII. Comparación de relación C/N teórica versus real utilizando los datos de carbono determinados por Tilsley	81
XXIII. Monitoreos durante el proceso de compostaje	82
XXIV. Producción de estiércol en granja de cerdos y granja de conejos del remanso.....	86
XXV. Parámetros de calidad del compost obtenido por los dos tratamientos y por el método convencional	89

XXVI. Rendimiento de los procesos de compostaje y estabilización con cal	90
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
°C	Grado Celsius
g	Gramo
kg	Kilogramo
mg	Miligramo
mL	Mililitro
%	Porcentaje
pH	Potencial de hidrógeno
T	Temperatura

GLOSARIO

Aerobio	Proceso que tiene lugar en presencia de oxígeno.
Afluente	Agua captada por un ente generador de aguas residuales.
Anaerobio	Proceso que tiene lugar en ausencia de oxígeno.
Biodegradable	Producto o sustancia que puede descomponerse en sus elementos químicos que los conforman, debido a la acción de agentes biológicos bajo condiciones ambientales naturales.
Compost	Abono orgánico o biofertilizante de características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas.
Cunícola	Relativa a crianza de conejos.
Efluente o descarga	Aguas residuales emitidas por un ente generador.

Heno	Leguminosa seca, cortada y utilizada como alimento para los animales.
Lodos	Sólidos con un contenido variable de humedad, provenientes del tratamiento de aguas residuales.
Mesófilo	Organismos con temperatura óptima de crecimiento de entre 15 y 35 °C.
Microorganismos eficientes	Es un cultivo mixto de microorganismos benéficos, obtenidos de ecosistemas naturales y seleccionados por sus efectos positivos en los cultivos.
Pecuario	Perteneiente o relativo al ganado.
Porcícola	Relativa a crianza de cerdos.
Termófilo	Se aplica a organismos vivos que pueden soportar condiciones extremas de temperatura relativamente altas, por encima de los 45°C.

RESUMEN

El propósito del presente trabajo fue evaluar el uso de un producto comercial de microorganismos eficientes aerobios en la producción de compost, a partir de residuos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y granja de conejos de la Unidad Docente Productiva El Remanso de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales, frente al manejo y tratamiento usado actualmente. Para cumplir con el objetivo principal de la investigación se realizó una mezcla con los residuos sólidos orgánicos de las granjas, consistentes en estiércol de cerdo y de conejo, lodos de la fosa séptica, heno y aserrín; este último utilizado como material de mezcla y proporcionado por la clínica veterinaria de la universidad.

Se compararon tres tratamientos: adicionando microorganismos eficientes aerobios (OIKO BAC-174), sin adicionar microorganismos, y el método convencional de estabilización con cal del estiércol de cerdo y lodos. Los tratamientos 1 y 2 se sometieron al proceso de compostaje, monitoreando temperatura diariamente y pH después de realizar volteos del material durante nueve semanas. A los productos finales obtenidos por los tres tratamientos, se les realizó una caracterización fisicoquímica y microbiológica en los laboratorios de la universidad en base a lo establecido en la norma técnica colombiana, NTC 5167 sobre productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.

Los resultados obtenidos indican que la aplicación de microorganismos eficientes en las pilas de compost acelera el proceso y brinda un producto con mejores características que los tratamientos sin microorganismos y de estabilización con cal, ya que influyen las mayores temperaturas alcanzadas con la destrucción implícita de microorganismos patógenos.

OBJETIVOS

General:

- ✓ Evaluar el uso del producto comercial OIKO BAC-174, compuesto por microorganismos eficientes aerobios, en la producción de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y granja de conejos de la unidad docente productiva el remanso de la U.D.C.A. frente al manejo y tratamiento usado actualmente.

Específicos:

1. Realizar un diagnóstico de la situación actual del manejo de residuos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y granja de conejos de la unidad docente productiva el remanso.
2. Producir compost a partir de los residuos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y granja de conejos a través de la aplicación de microorganismos eficientes aerobios.
3. Determinar el efecto de los microorganismos eficientes sobre la composición física, química y microbiológica del compost, comparando con el método convencional empleado actualmente en el remanso.
4. Comparar el efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos de las granjas de cerdos y conejos frente al método convencional.

INTRODUCCIÓN

La actividad porcina es una de las actividades más antiguas de la producción animal, la cual se ha sostenido hasta nuestros días constituyéndose en la principal fuente de proteína de origen animal en el mundo con una “producción del 38.9% de las carnes y un consumo per cápita de 15.01 kg”.¹ La producción de carne de conejo ocupa el quinto lugar después de la de porcino, aves, bovino y ovino-caprino, representando un “2% de la carne producida en el mundo y un consumo de 280 g de carne de conejo por habitante”²; dicha producción se estima en 1,5 millones de toneladas anuales, siendo el principal país productor del mundo China.

En Colombia y Guatemala, en la medida en que las explotaciones en granjas de cerdos y conejos han ido creciendo han surgido algunos inconvenientes con el manejo de los residuos generados. Estos residuos pueden ser de tipo orgánico o inorgánico. Pero sin lugar a dudas uno de los residuos que genera mayor controversia es la excreta, principalmente la porcina debido al volumen generado y a sus “características físico-químicas que dificultan su manejo, por el elevado porcentaje de humedad que poseen”.³

¹ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. p. 2.

² Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. *El conejo, cría y patología*. p. 5. <<http://www.fao.org/docrep/014/t1690s/t1690s.pdf>>

³ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. p. 2.

Otra de las preocupaciones a nivel internacional es la disposición de los lodos provenientes de sistemas de tratamientos de agua residual, en el caso de las granjas de cerdos y conejos de la sede el Remanso, las aguas residuales de ambas descargan a un mismo sistema de tratamiento; en el cual los lodos recolectados en una fosa séptica están constituidos por los sólidos arrastrados en las aguas residuales y conformados por estiércol, restos de pelos y restos de concentrado.

Una solución viable para el destino de los residuos sólidos orgánicos generados en estas granjas, es la producción de compost aplicando microorganismos eficientes aerobios en una mezcla balanceada de bacterias tales como bacillus, pseudomonas, actinomicetos y hongos; los cuales interactúan entre sí, y permiten conseguir diversos efectos a nivel del suelo acelerando la descomposición de la materia orgánica para la producción de compost.

Con estas alternativas de manejo de residuos se reducen problemas de contaminación ambiental al destinar un residuo como materia prima para obtener un abono orgánico con valor agronómico. A través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio del reciclaje a través del compostaje que “conlleva beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos”⁴. Además la aplicación de microorganismos eficientes acelera el proceso de compostación requiriendo un menor tiempo para la estabilización de los residuos. Si los residuos de las granjas se aprovechan de esta manera tendrán un destino seguro evitando un impacto negativo sobre el ambiente.

⁴ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Decreto 1505 de 2003: Planes de gestión integral de residuos sólidos*. p. 4.

1. ANTECEDENTES

Se ha revivido recientemente, con mucho interés la antigua técnica de la obtención de compost. La diferencia principal es que el método moderno es más intensivo y con mayores controles en el volteo, pérdidas de calor y el contenido humedad.

El primer desarrollo significativo de la compostación proviene de una experiencia realizada en la India en 1925. En esta primera experiencia se realizó la “compostación por medio de la descomposición anaeróbica de desechos sólidos, hojas más estiércol, que se acumulaban en pilas por un período de seis meses”⁵, este método se conoce como proceso Indore y ha sufrido modificaciones con el tiempo para pasarlo de anaeróbico a aeróbico. Entre las mejoras podemos mencionar las de “colocar capas sucesivas de paja y material compostable, proceso que se llamó Bangalore”⁶.

Simultáneamente a las experiencias que se obtenían en India, en Italia en el año 1922, se desarrollaba un método que utilizaba tanto el proceso aeróbico como anaeróbico en un sistema cerrado, este proceso se denominó de Beccari.

⁵ Mario Opazo Gutiérrez. Fondo Rotatorio Editorial. *Tecnología Apropriada y Participación comunitaria*. Bogotá, Colombia. 1990. p. 11, 26-30

⁶ Ibid.

En América Latina existen algunas experiencias más recientes de compostación, en plantas operadoras manualmente a nivel de pequeños y medianos municipios y a nivel de barrios, concretamente en Brasil, Guatemala, Chile y Colombia. La mayor parte de las experiencias han nacido como una “alternativa tecnológica al grave y creciente problema del manejo y disposición final de las basuras en las áreas urbanas”⁷.

La unidad productiva el remanso tiene a su cargo las granjas porcícola y cunícola de la facultad de ciencias pecuarias de la universidad de ciencias aplicadas y ambientales. La granja porcícola se constituye como una granja de cría “cuya finalidad es producir lechones para la venta desde su nacimiento hasta lograr un peso de 22 – 25 kilos, aproximadamente”.⁸ Maneja reproductores, hembras en gestación, hembras en lactancia, lechones lactantes, hembras vacías, lechones en preinicio y cerdos en levante. En lo que respecta a la granja cunícola, ésta tiene como objetivo final la “producción de carne de conejo, teniendo una producción semi-intensiva”⁹.

Tanto la granja de cerdos como de conejos tienen asociados problemas ambientales derivados de la generación de residuos sólidos, líquidos y gaseosos. Estos animales en etapa de crecimiento generan grandes cantidades de residuos sólidos, conformados por el estiércol, restos de concentrado, además de lodos provenientes del sistema de tratamiento de aguas residuales.

⁷ Ibid

⁸ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. p. 20.

⁹ CORTÁZAR, Gabriel. Acovez. *Potencial de las especies menores en Colombia. Situación de la cunicultura en Colombia*. Volumen 37 No. 1. p. 24

La política actual de la unidad el remanso con sus excretas es la producción de un material estabilizado con cal a partir de dichos residuos, sin embargo este proceso no ha dado los resultados esperados debido a que los volúmenes de residuos sólidos generados sobrepasan la capacidad instalada para su disposición en las áreas de volteo para estabilización, por lo que aparentemente el material es en realidad pseudo-estabilizado y deben mejorarse las condiciones del tratamiento de residuo para potencializar los aspectos positivos de obtener un compost maduro, para ser utilizado en agricultura.

En el Remanso, los lodos generados en la fosa séptica anteriormente eran extraídos por una empresa externa para su tratamiento y disposición final, sin embargo por ser elevado el costo de este servicio se optó por manejarlos de la misma forma que el estiércol por el método actual de adición de cal y dejar secar por varios meses.

A lo largo de los años se han investigado alternativas para acelerar el proceso de compostación, entre estas alternativas está la producción de compost aplicando microorganismos eficientes aerobios en una mezcla balanceada de bacterias tales como bacillus, pseudomonas, actinomicetos y hongos; los cuales interactúan entre sí, y permiten conseguir diversos efectos a nivel del suelo acelerando la descomposición de la materia orgánica para la producción de compost sin generar mal olor; y además se evita la contaminación que generan los residuos de las granjas.

Los microorganismos eficientes son una combinación de varios microorganismos benéficos. Esta tecnología fue desarrollada por Teruo Higa, Ph. D., profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón.

Inicialmente los microorganismos eficientes fueron utilizados únicamente como un acondicionador de suelos. “Hoy en día son usados no solo para producir alimentos de altísima calidad, libres de agroquímicos, sino también para el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria”.¹⁰

En Guatemala no existe normativa vigente que regule la obtención de abonos orgánicos, por tal razón es posible tomar como referencia normativas de otros países. En el caso de Colombia existe la norma técnica colombiana NTC 5167 sobre productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo.

Para el manejo de los residuos sólidos orgánicos generados en las granjas de cerdos y de conejos de la sede el Remanso, la NTC 1927 sobre principales fuentes de fertilizantes y acondicionadores del suelo define al estiércol como “mezcla de heces y orina en proceso de transformación biológica”¹¹. Debido a los volúmenes de producción de estos residuos y además del valor nutritivo de los mismos, estos pueden aprovecharse en el marco de la gestión integral de residuos sólidos; para ello la NTC 5167 indica que “todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación”.¹²

¹⁰ Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú – APROLAB-. *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces*. p. 35.

¹¹ Norma Técnica Colombiana NTC 1927. *Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas*. p. 2.

¹² Norma Técnica Colombiana NTC 5167. *Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. p.1.

Para el manejo del estiércol de cerdos el Real Decreto 324/2000, por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas en la Unión Europea, indica que “la gestión de los estiércoles de las explotaciones porcinas podrá realizarse mediante la utilización del tratamiento de estiércoles mediante compostaje, secado artificial y otros”.¹³ De igual forma el Real Decreto 1547/2004, por el que se establecen las normas de ordenación de las explotaciones cunícolas en la Unión Europea, tiene como objetivo básico promover su evolución equilibrada a través de la racionalización de los factores zootécnicos, sanitarios y medioambientales relacionados con la producción cunícola, lo que incluye un manejo integral de residuos.

En lo que respecta a lodos, la legislación de la Unión Europea sobre contaminación del suelo posee la Directiva 86/278 CEE del Consejo de la Comunidad Europea, del año 2009. Relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura. Considera que “los lodos pueden tener propiedades agronómicas útiles, lo que conlleva su valorización en agricultura, utilizados correctamente, sin perjudicar la calidad de los suelos, como la producción agrícola”¹⁴ para ello deben caracterizarse y verificarse que no posean concentraciones de metales pesados por encima de los límites permisibles nacionales, principalmente en arsénico, bario, cadmio, cromo, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio y zinc.

Esta implementación de procesos conducirá a optimizar el manejo, tratamiento y aprovechamiento para valorización de un residuo de alto impacto para el ambiente y para la salud, como lo son las excretas animales.

¹³ Unión Europea. *RealDecreto 324/2000: Normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas*. p.5.

¹⁴ Consejo de la Comunidad Europea. *Directiva 86/278: Relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura*. p. 17.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Residuos sólidos orgánicos

Se refieren a todos aquellos residuos sólidos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente, “como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos”.¹⁵

2.1.1 Actividad agropecuaria como fuente de residuos sólidos orgánicos

En esta actividad, se genera una gran variedad de residuos de origen vegetal y animal. Los residuos vegetales están integrados por restos de cosechas y cultivos, y entre los residuos animales, se incluyen excrementos sólidos y semisólidos (estiércoles). Desechos de faena y cadáveres.

Los estiércoles son los residuos que presentan mayor interés por la concentración espacial que alcanzan y por el impacto ambiental negativo que producen, por ejemplo el sector pecuario por el estiércol producido en operaciones intensivas puede empeorar la calidad del agua mediante la liberación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, patógenos y otras sustancias en los cauces fluviales y en las aguas subterráneas.

¹⁵ SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8
<<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

El manejo deficiente del estiércol a menudo contribuye a la contaminación y la eutroficación de las aguas de superficie y subterráneas y de los ecosistemas marinos litorales, así como a la acumulación de metales pesados en el suelo. Esto podría perjudicar la salud humana, causar la pérdida de diversidad y contribuir al cambio climático, a la acidificación del suelo y del agua y a la degradación de los ecosistemas.

Existen diversas opciones para reducir los efectos del sector pecuario en los recursos hídricos. Entre ellas está la mejora de las prácticas de manejo de residuos. En este caso existe una amplia gama de opciones disponibles, como las “tecnologías de separación, el compostaje y la digestión anaeróbica”.¹⁶

2.1.1.1 Granja porcícola

En los últimos años la porcicultura colombiana ha venido tecnificándose y hoy en día representa algo más del 50% de la producción concentrándose en “aproximadamente 1300 granjas en Colombia”¹⁷. La granja de cerdos a cargo de la universidad UDCA, según la guía ambiental del sector porcícola se clasifica como una granja de cría, cuya finalidad es producir lechones para la venta, desde su nacimiento hasta lograr un peso de 22 – 25 kilos. Debido a que la producción de estiércol de los cerdos varía dependiendo de la etapa de crecimiento, por las diferencias en las porciones de concentrado y de asimilación es importante identificar los tipos de cerdos que se manejan en la granja.

¹⁶ FAO. *El estado mundial de la agricultura y la alimentación*. Año 2009 p.63
<<http://www.fao.org/docrep/012/i0680s/i0680s04.pdf>>

¹⁷ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. Año 2009. p. 20.

2.1.1.1.1 Tipos de cerdos en una granja de cría

En una granja de cría cuya finalidad es la producción de lechones para venderlos, excluyendo así los cerdos en engorde para sacrificio, se cuenta con los siguientes tipos:

- **Reproductores:** son cerdos seleccionados especialmente o comprados en una granja genética especializada con base en su comportamiento y propiedades genéticas. El peso y edad al primer servicio es alrededor de los 130 – 140 kg y 7 ½ - 8 meses, respectivamente.
- **Hembras en gestación:** una vez las hembras entran en la etapa reproductiva comienza la gestación la cual dura 114 – 115 días (tres meses, tres semanas, tres días).
- **Hembras en lactancia:** en el momento del parto, la hembra entra en otra etapa fisiológica denominada lactancia. En esta etapa la hembra permanece todo el tiempo con la camada hasta su destete. La duración de la lactancia varía de acuerdo al nivel tecnológico de la granja siendo en promedio de 21 días (rangos entre 18 y 28 días aproximadamente). Los lechones nacen con 1.4 kg de peso aproximadamente y se destetan con un peso de 6.5 – 7.0 kg a los 21 días de edad.
- **Hembras vacías:** es cuando la hembra finalizó su lactancia y se prepara para una nueva gestación. A este periodo se le denomina días no productivos puesto que la hembra ni está gestando ni lactando. Este periodo puede tener un rango de duración de 7 a 15 días.

- Lechones lactantes: cuando nace el lechón este permanece durante un tiempo con la madre, periodo en el cual se alimenta prácticamente de la leche materna. Los lechones lactando duran aproximadamente 21 días (rangos entre 18 y 28 días aproximadamente).
- Lechones en precebo o preinicio: son lechones que han sido retirados de su madre y que permanecen en una nave de cría hasta alcanzar un peso de 22 – 25 kg. Su duración es de aproximadamente 42 días (seis semanas).
- Cerdos en levante: son animales de aproximadamente dos meses de edad (63 días: 21 días en lactancia y 42 días en precebo) que pesan alrededor de 22 – 25 kg. Se les alimenta con formulaciones especiales. En esta etapa duran entre 6 a 8 semanas, lapso en el que alcanzan un peso cerca de 55 kg.

2.1.1.1.2 Residuos sólidos orgánicos generados en las granjas porcícola

En las granjas porcícolas de cría se producen residuos orgánicos como el “estiércol de los cerdos, heno utilizado en las camas de los lechones lactantes y los lechones en preinicio y además se producen residuos sólidos orgánicos producto de la mortalidad de los animales, fetos y placentas”.¹⁸

¹⁸ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. p. 20.

En la unidad el remanso, los animales muertos, los fetos y placentas se tratan como residuos bioinfecciosos y por tal razón son retirados de la universidad por medio del plan de manejo de residuos peligrosos.

El estiércol recibe un tratamiento con cal y el heno es retirado por el tren de aseo. Para el tratamiento de estos residuos sin embargo, existen dos opciones, lombricultivo y compostaje, esta investigación se centra en el aprovechamiento de estos residuos para su utilización en el proceso de compostaje.

La producción de estiércol en la granja varía dependiendo de la cantidad de cerdos, y de la etapa de crecimiento del animal. En la siguiente tabla se muestra la producción típica de estiércol según la etapa de crecimiento, según lo que establece la guía técnica del sector porcícola.

Tabla I. Producción típica de estiércol por animal en una granja porcícola

Etapa	Porcentaje del peso del animal que excreta	Rango	Peso promedio del animal (Kg)	Kg de estiércol/animal/día
Hembra vacía	4,61	3,3-6,4	160	7,38
Hembra gestante	3,00	2,7-3,2	180	5,4
Hembra lactante	7,72	6,0-8,9	190	14,67
Macho reproductor	2,81	2,0-3,3	200	5,62
Lechón lactante	8,02	6,8-10,9	3,5	0,28
Precebos	7,64	6,6-10,6	16	1,22
Levante	6,26	5,9-6,6	35	2,19

Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Guía ambiental del sector porcícola*. Actualización año 2009.

2.1.1.2 Granja cunícola

La cría de conejos tiene asociadas ventajas que están estrechamente vinculadas al comportamiento alimentario y productivo del conejo, así como a “su fácil integración social y a su rentabilidad económica, entre estas ventajas reconocidas por la FAO”¹⁹ se pueden mencionar: su adaptación, en cuanto pequeño herbívoro monogástrico, a un gama bastante amplia de alimentos fibrosos; su elevada productividad; los reducidos gastos de mantenimiento de los animales una vez superada la edad óptima de comercialización; entre otras.

Estas ventajas en su aplicación han incentivado para que aumente la explotación en las granjas cunícolas. Pero debido a que también tiene asociada la generación de residuos sólidos orgánicos es necesario brindar soluciones para evitar impactos ambientales negativos.

En el caso de la granja cunícola del remanso, cuya finalidad es la producción de carne de conejo, se tiene “una producción semi-intensiva”²⁰ con un rango de 20 a 100 hembras en producción.

2.1.1.2.1 Residuos sólidos orgánicos generados en las granjas cunícolas

Cualquiera que sea el tipo de cría de los conejos, existen residuos sólidos orgánicos asociados principalmente estiércol y además se producen residuos sólidos orgánicos producto de la mortalidad de los animales, fetos y placentas.

¹⁹ Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. *El conejo, cría y patología*. p. 6. <<http://www.fao.org/docrep/014/t1690s/t1690s.pdf>>

²⁰ CORTÁZAR, Gabriel. Acovez. Potencial de las especies menores en Colombia. *Situación de la cunicultura en Colombia*. Volumen 37 No. 1. p. 24

En la unidad el remanso, el tratamiento del estiércol de conejo anteriormente se realizaba por medio del lombricompostaje, sin embargo actualmente solo se realiza un secado del material. Además, los animales muertos, los fetos y placentas se tratan como residuos bioinfecciosos de igual forma que en la granja de cerdos.

La producción de estiércol en cantidad y composición varía en función de las instalaciones y la alimentación. En el momento de su secreción, las deyecciones tienen una composición variable en función del tipo de animal que las produce, en la siguiente tabla se puede observar las cantidades medias de excretas para las diferentes categorías de conejos.

Tabla II. Cantidades medias de excretas para las diferentes categorías de conejos

Animal	Tipo	Cantidad (g/día)
Gazapo cebo	Heces	40-50
	Orina	80-110
Coneja lactante	Heces	150-200
	Orina	250-300
Resto adultos	Heces	70-80
	Orina	100

Fuente: Blumetto, O; Torres, A. *Instalación para la gestión del estiércol en granjas cunícolas industriales*. Universidad politécnica de Valencia. Año 2005. p. 31.
 <www.dialnet.unirioja.es/servlet/fichero_articulo?codigo=2869741>

2.2 Lodos de aguas residuales

Los lodos de aguas residuales suelen ser malolientes y tienden a experimentar descomposiciones biológicas, dejando en libertad gases que pueden ser nocivos, explosivos, o inflamables, como hidrógeno, metano, sulfuro de hidrógeno u otros como nitrógeno y dióxido de carbono. Además complican su manejo por el contenido de agua que poseen que muchas veces está unido biológicamente, y por lo tanto la deshidratación es más difícil. “La densidad de casi todos los lodos formados durante el tratamiento de depuración de aguas negras fluctúa entre 1,03 y 1,06”.²¹

2.2.1 Origen de los lodos

Todos los procesos biológicos generan lodo como consecuencia de la oxidación, de la muerte y regeneración cíclicas de la biomasa que efectúa el tratamiento de aguas residuales. La sedimentación que sigue al tratamiento biológico es fundamental para eliminar los sólidos, a fin de mantener el proceso biológico. “Es importante tomar en cuenta el volumen de lodo que pueden producir algunos de estos sistemas.”²²

²¹ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151, 183-186.

²² *ibid.*

Entre los principales tratamientos de las aguas de desecho que constituyen el origen de la producción de los lodos se pueden mencionar el tratamiento primario del agua que incluye cribado, separación de aceite y desarenado y los tratamientos mecánicos como la decantación y filtración; como tratamiento secundario están los tratamientos biológicos que incluyen lodos activados, lechos bacterianos, lagunas de lodos, tratamiento anaeróbico del agua y fosas sépticas; y los tratamientos fisicoquímicos, estos últimos como tratamiento terciario.

2.2.1.1 Fosas sépticas

Las fosas sépticas permiten la disgregación de todas las materias sólidas biodegradables y la fermentación anaeróbica de las aguas de desecho; un filtro percolador permite evacuar la parte líquida al medio natural. Los lodos quedan retenidos en el tanque y experimentan una descomposición lenta, pero generalmente se requiere dragar el exceso una vez al año y pedir la intervención de cisternas.

2.2.2 Propiedades de los lodos

Los lodos provenientes de aguas residuales poseen propiedades físicas, químicas y biológicas. Para poder ser utilizados en aplicación al suelo deben ser previamente estabilizados y además es necesario que tengan un bajo contenido de metales pesados y de contaminantes orgánicos así como ausencia de microorganismos patógenos.

2.2.2.1 Propiedades físicas

Los lodos de origen primario o secundario (según el tipo de tratamiento del cual procedan) se presentan en la forma de un líquido que contiene partículas no homogéneas en suspensión. “Su volumen representa del 0,05% al 0,5% del volumen de agua tratada para los lodos frescos”²³, mientras que es ligeramente inferior para los lodos activados y otros procedimientos biológicos.

El color de los lodos varía entre el pardo y el gris, y su olor es a menudo desagradable puesto que se trata de productos fácilmente fermentables y existe un inicio de descomposición. Es necesario conocer, para su tratamiento ulterior, varios parámetros que definirán su capacidad de deshidratación y filtración, como lo son la materia seca en la que se trata de medir el peso del residuos seco después de su calentamiento a 105°C hasta peso constante, se le expresa generalmente como un porcentaje, que varía de 3 a 8% de materia seca.

Tabla III. **Lodos comunes del agua y de las aguas de desecho**

Lodo	% de concentración de sólidos	Características
Primario crudo	4-8	Mal olor, pardo grisáceo; no drena bien en los lechos de secado, pero se puede deshidratar mecánicamente.
Primario digerido anaeróbico	6-10	Se deshidrata bien en los lechos de secado, negro, olor a moho, produce gas.

²³ GAMRASNI, M.A. *Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas*. Asociación francesa para el estudio de las aguas. Editorial Limusa. México. Año 1985. p. 11-29, 35-65.

Continuación de la tabla III.

Lodo	% de concentración de sólidos	Características
Humus del filtro	3-4	Esponjoso, café.
Activado excedente	0,5-1,5	Poco olor, café amarillento, esponjoso, difícil de deshidratar, biológicamente muy activo.
Digerido mixto (primario + activado excedente)	2-4	Café negruzco, produce gas, olor a moho, no tan fácil de drenar como el primario digerido.
Aeróbico digerido	1-3	Café amarillento; a veces difícil de deshidratar, biológicamente activo.
Excedente de tratamiento con alumbre	0,5-1,5	Amarillo grisáceo, sin olor, muy difícil de deshidratar.

Fuente: GAMRASNI, M.A. *Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas*. Asociación francesa para el estudio de las aguas. Editorial Limusa. México. Año 1985. p. 11-29, 35-65.

2.2.2.2 Propiedades químicas

En los lodos de aguas residuales es importante conocer para su manejo el contenido de materia orgánica, el contenido de nutrientes, pues son sustancias que favorecen el crecimiento de las plantas y que tiene por consiguiente mucha importancia para la utilización agrícola de los lodos.

Además, existen microcontaminantes orgánicos y minerales que pueden tener una acción negativa sobre el tratamiento de los lodos, por lo que es indispensable conocer el contenido antes de la utilización agrícola de los lodos.

2.2.2.3 Propiedades biológicas

Las aguas de desecho contienen una flora y una fauna variadas que se encuentran en parte en los lodos.

- Bacterias: Se cuentan numerosos tipos de bacterias en los lodos; una parte de ellas es de origen fecal y algunas provienen de portadores de gérmenes; por consiguiente, pueden ser patógenas.

Las bacterias se pueden dividir en cuatro clases:

- Aerobias estrictas, que sólo se desarrollan en presencia de aire, son numerosas en los lodos activados.
- Aerobias facultativas, que pueden desarrollarse en anaerobiosis por el consumo del oxígeno contenido en la materia orgánica
- Anaerobias facultativas, que puede soportar la presencia del aire, pero no se desarrollan más que por procesos anaeróbicos
- Anaerobias estrictas, cuyo desarrollo no se efectúa sino en anaerobiosis

El tratamiento biológico de los lodos favorece el desarrollo de ciertas bacterias en detrimento de las otras, y su almacenamiento permite a los organismos anaerobios desarrollarse. Es frecuente encontrar microorganismos patógenos en los lodos y en los efluentes; por lo tanto, es preciso tener cuidado de eliminarlos de ambos elementos.

- Virus: se encuentran enterovirus, adenovirus y reovirus absorbidos sobre la materia sólida de los lodos, en una proporción no despreciable (alrededor del 30% de las muestras de lodos). No es fácil tener éxito en su eliminación; sin embargo, según la utilización ulterior de los lodos deber ser motivo de preocupación.
- Parásitos: se encuentran numerosos parásitos en los lodos, de origen fecal o telúrico; se trata de huevos de áscaris, tricocéfalos, helmintos, tenias o duelas hepáticas, o de formas enquistadas de Giardia o tricomonas. Su eliminación es mucho más difícil puesto que estos parásitos toman una forma vegetativa cuando las condiciones les son hostiles, mientras que se desarrollan cuando se encuentran en los animales de sangre caliente o en el hombre.
- Hongos: Se trata esencialmente de las levaduras y los saprófitos que están normalmente presentes en el aire; por lo general, no son patógenos para los animales y el hombre, con excepción de algunos que pueden llegar a serlo cuando las condiciones son desfavorables, especialmente los hongos oportunistas; por el contrario, ciertos mohos son fitopatógenos y deben ser eliminados antes de la utilización de los lodos en la agricultura como por ejemplo los del género fusarium o las dematiáceas.
- Algas: no se encuentran en gran cantidad en los lodos primarios y secundarios; por el contrario, en las lagunas naturales, gran parte de los lodos están constituidos por detritus de algas.

- La macrofauna: algunos parásitos son en realidad huevos de organismos nocivos para los animales y al hombre, pero también “se encuentran en los lodos activados o en los lechos bacterianos, gusanos, larvas de insectos, crustáceos y arañas pequeñas”.²⁴

2.2.3 Tratamiento de los lodos

A los lodos procedentes de los diversos tratamientos del agua de desecho generalmente se les aplica un tratamiento previo a su utilización o a su devolución al medio natural, a fin de disminuir su contenido de agua y estabilizarlos biológicamente.

Existen procedimientos de deshidratación, estabilización biológica y estabilización no biológica como el tratamiento de los lodos con cal. La cal es un hidróxido de un metal bivalente; posee propiedades coagulantes para los lodos, pero además permite una desinfección de los mismos a un pH de aproximadamente 11. La importancia de la estabilización con cal reside en el hecho de que en el momento de la aplicación suministra una cantidad de calcio que puede ser benéfica para el cultivo. El mayor inconveniente de este tratamiento es su costo, en efecto, se necesitan alrededor de “100g de CaO por kg de materia seca”.²⁵ Otro de los tratamientos es el compostaje.

²⁴ GAMRASNI, M.A. *Aprovechamiento agrícola de aguas negras urbanas*. Asociación francesa para el estudio de las aguas. Editorial Limusa. México. Año 1985. p. 11-29, 35-65.

²⁵ Ibid.

2.3 Elaboración de compost

En la naturaleza se produce de forma lenta pero continua el recambio cíclico de la materia y en términos generales a esta serie de procesos se le denomina mineralización. La técnica de compostaje, no es más que tratar de reproducir en forma parcial y a escala los procesos de la mineralización de la naturaleza.

A lo largo de la historia, se han empleado distintos procedimientos en la producción de compost que han generado numerosas publicaciones de divulgación con diferentes enfoques, posiblemente debido al desconocimiento de los mecanismos íntimos del proceso. Actualmente, se conoce la base científica de este proceso, y se lleva a cabo de una forma controlada.

2.3.1 Definición de compost

El compostaje, se puede definir como un “proceso dirigido y controlado de mineralización y pre-humificación de la materia orgánica, a través de un conjunto de técnicas que permiten el manejo de las variables del proceso; y que tienen como objetivo la obtención de un biofertilizante de características fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas predeterminadas”.²⁶

²⁶ SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8 <<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

2.3.2 Sistemas de compostaje

Los sistemas de compostaje básicamente son tres dependiendo de la acomodación del material, y la circulación del aire.

2.3.2.1 Compostaje en hileras

En este tipo de compostaje el material a compostar se coloca sobre unas plataformas en grandes hileras. Su tamaño influye en el rendimiento de una pila de compost por lo que para mantener altas temperaturas en la hilera, la pila de compost debe ser lo suficientemente grande para permitir que el calor generado por los procesos metabólicos exceda a las pérdidas de calor de las superficies expuestas.

En la hilera se retendrá mucho calor debido a su gran área transversal y a la pequeña relación superficie – volumen. La temperatura de la hilera puede controlarse volteando la pila, lo que también proporciona aireación. “El ancho de la pila se sitúa normalmente entre 3 y 4 m mientras que la altura puede llegar a 1.2 y 1.5 m” ²⁷.

2.3.2.2 Pilas estáticas

En esta configuración el material a compostar se coloca sobre un sistema de tubos perforados conectados a un soplador o a una bomba de vacío.

²⁷ SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

Generalmente se prefiere la aireación inducida por vacío debido a la minimización de las emisiones de compuestos volátiles y gases generadores de olor, aunque en climas fríos no es lo más aconsejable principalmente porque el aire frío succionado puede hacer descender la temperatura de las pilas, especialmente en capas exteriores.

El modo de aireación es lo que diferencia las hileras de las pilas estáticas. En la explotación de una hilera se airea la pila volteando la mezcla de compost, manual o mecánicamente. En las pilas estáticas se utiliza la aireación forzada, colocando un sistema de tubos perforados en la base de la pila a través de los cuales circula el aire.

2.3.2.3 Reactores cerrados

El compostaje en reactores cerrados aunque precisa de costos elevados de inversión proporciona el mayor control de proceso y tiene varias ventajas sobre los sistemas abiertos. Los reactores cerrados se equipan, generalmente, con mecanismos combinados, diseñados para permitir frecuentes sino continuas mezclas de residuos (tambores rotatorios, tanques o cámaras de mezcla). La mezcla genera la distribución del sustrato en la masa sometida a compostaje, lo que conlleva a un mejor contacto con los microorganismos, incrementándose el potencial de biodegradación.

“El entorno cerrado permite mantener el contenido óptimo de humedad, así como la eliminación de los lixiviados previniendo la contaminación del suelo y las aguas subterráneas en el área de tratamiento”.²⁸

²⁸ SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle-Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

2.3.3 Materias primas para el compostaje

Para el buen desarrollo de la producción de composta la proporción carbono/nitrógeno debe mantenerse en el entorno de 25/1 ó 30/1 y el contenido de agua debe estar entre el 50% y 60%. Estos parámetros pueden controlarse con una correcta proporción en la selección de las materias primas.

Las virutas de madera, con una proporción C/N alrededor de 150/1, se transforman en composta demasiado lentamente. Los barros procedentes de explotaciones agrícolas y ganaderas, y el lodo de aguas negras del mismo origen, por el contrario, tienen el cociente en 10/1, y son propensas al desprendimiento de nitrógeno en forma de amoníaco.

“Se necesita adicionar un agente de relleno que aumente el volumen, y para ello se han venido utilizando aserrín, paja, papel desmenuzado y la fracción biodegradable de los desechos domésticos”.²⁹

En general las materias primas son todos los residuos orgánicos y la mezcla se prepara conociendo el porcentaje de N, C y agua en cada material para obtener las condiciones óptimas que garanticen el correcto desarrollo del proceso de compostaje.

²⁹ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151,183-186.

2.3.4 Técnica para la formulación de la mezcla para el compostaje

Como el objetivo es tener una proporción de C/N de 25/1 ó 30/1 y que el contenido de agua esté entre el 50% y 60%, la técnica para formular la mezcla es conociendo el valor real de los contenidos de C, N y H₂O en cada materia prima. Existen valores típicos reportados para los diferentes materiales; sin embargo, no son exactos.

En la siguiente tabla pueden observarse los datos teóricos para diferentes materiales posibles de ser compostados, la técnica consiste en multiplicar el peso de la materia prima por la composición para conocer el contenido de cada sustancia, y al hacer la suma total de todas las materias primas se puede obtener la relación C/N dividiendo la suma total de carbono entre la suma total de nitrógeno. Y el porcentaje de agua al dividir la suma total del contenido de agua en cada material dentro del peso total de los sustratos a compostar.

Si la relación C/N o la de la humedad no se encuentran dentro de los intervalos recomendados, para cada uno de ellos, se deberá añadir o reducir alguno de los componentes y proceder a realizar nuevamente el cálculo hasta que los valores ajusten en los intervalos recomendados.

Tabla IV. **Metodología de formulación de la mezcla a compostar**

Material	Composición aproximada			Peso (Kg)	Cantidad de N (Kg)	Cantidad de C (Kg)	Cantidad de H2O (Kg)
	% de N	%C	%H2O				
Lodos	0,47	7,38	82,72				
Estiércol cerdos	0,30	6,00	77,97				
Estiércol conejos	1,30	14,00	75,00				
Heno	0,21	26,88	34,42				
Aserrín	0,08	28,00	20,00				
Total de sustrato							
Relación C/N							
%Humedad							

Fuente: RODRÍGUEZ, Marcos Arturo; Córdova, Ana. *Manual de compostaje municipal*. p. 86-88. <<http://www.resol.com.br/cartilha5/Manual%20de%20Compostaje-SERMANAT-Mexico.pdf>>

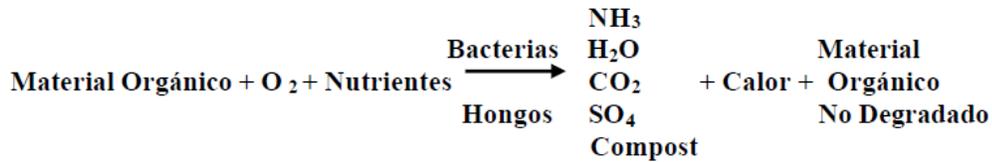
2.3.5 Descripción del proceso de compostaje

El compostaje es un proceso aerobio de degradación biológica en donde los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante “reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y se oxidan las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua”³⁰. Nunca se produce una oxidación completa debido a que una parte del material orgánico se transforma y otra no es biodegradable.

³⁰ SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

El proceso de biodegradación aeróbica se puede describir mediante la siguiente ecuación.

Figura 1. **Proceso de biodegradación aeróbica**



Fuente: SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

El proceso de compostaje se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. La principal característica es la generación de calor por la actividad biológica desarrollada durante la descomposición del material; calor que, al no dejarlo escapar, no solamente acelera mucho la degradación, sino también reduce los niveles patógenos.

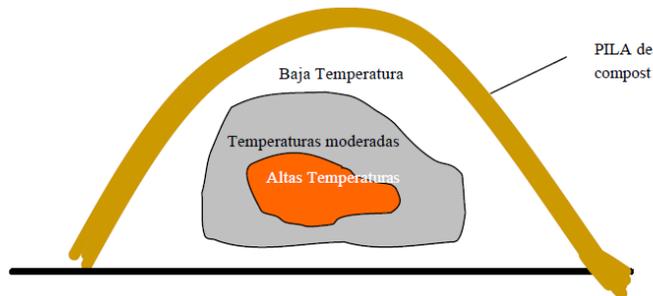
Para que tenga verdadero éxito el proceso debe mantenerse la composta a 40°C al menos por cinco días, alcanzando 55°C en la pila principal durante ocho días como mínimo para efectuar rompimiento adecuado de la materia orgánica. Se recomienda que el tiempo de maduración sea de dos meses. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso.

2.3.5.1 Etapas del proceso

Se deben distinguir en una pila o camellón dos regiones o zonas:

- Zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes.
- Corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

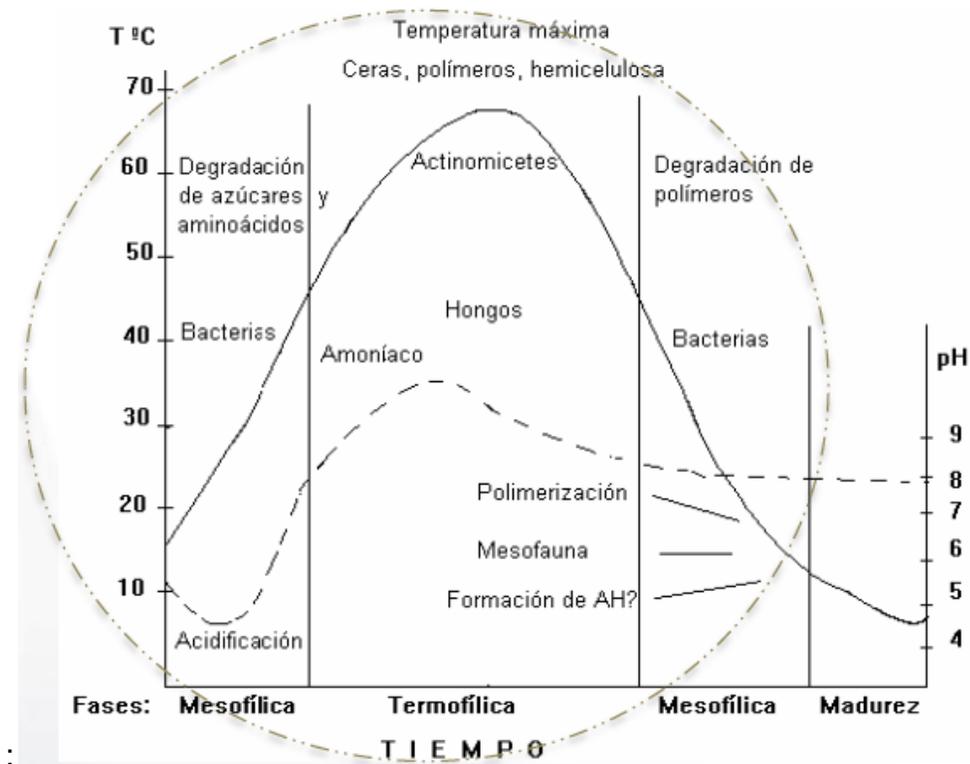
Figura 2. Zonas en la pila de compostaje



Fuente: SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

El núcleo actúa como zona inductora sobre la corteza. No obstante, todos los procesos que se dan en el núcleo, no alcanzan la totalidad del volumen de la corteza. En la siguiente figura se muestran las etapas del proceso de compostaje atendiendo a las temperaturas alcanzadas en el núcleo y los diferentes microorganismos que intervienen en cada etapa.

Figura 3. **Etapas del proceso de compostaje atendiendo a la evolución de la temperatura**



Fuente: ROMÁN, Pilar. FAO. *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 11.

<http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf>

- **Etapa de latencia:** es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida.

Si son correctos el balance C/N, el pH y la concentración parcial de Oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa. Con temperatura ambiente entre los 10 y 12 °C, en pilas adecuadamente conformadas, “esta etapa puede durar de 24 a 72 horas”.³¹

- Mesófila: la masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente. Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura se eleva y “se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH”³². La temperatura en esta etapa varía de 10-40°C. Se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas.

La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los camellones de compostaje. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación. La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura.

La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y “favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos”.³³

³¹ SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8

<<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

³² ROMÁN, Pilar. FAO *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 11.

<http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf>

³³ Ibid.

- Termófila. Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos. Estos microorganismos son los encargados de “descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas”.³⁴

La temperatura en esta etapa varía desde los 40-75°C; la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo sintróficas.

Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO₂ se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos.

Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, “es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes”.³⁵

³⁴ ROMÁN, Pilar. FAO. *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 11.

<http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf>

³⁵ SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8 <<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

- Etapa mesotérmica 2: con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante.

La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que “el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso”³⁶. Al bajar de 40 °C los mesófilos también “reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente”.³⁷

- De maduración: es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales “se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus”.³⁸

2.3.6 Parámetros para el control en el proceso de compostaje

Para realizar un proceso de compostaje exitoso, es necesario controlar los parámetros que afectan en la degradación de la materia orgánica y mantener las condiciones aerobias, a continuación se detallan estos parámetros de interés.

³⁶ SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8 <<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

³⁷ ROMÁN, Pilar. FAO. *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 11. <http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf> p. 11

³⁸ Ibid.

2.3.6.1 Relación carbono/nitrógeno

La tasa bajo la cual la materia orgánica se descompone está determinada principalmente por las cantidades relativas de carbono y nitrógeno presentes. Se cree que la relación óptima C/N debe ser alrededor de 30, habiéndose encontrado rangos entre 21 y 78.

Cuando la relación C/N es muy alta (mayor de 20) y el material compostado es aplicado al suelo, la continuación de la actividad microbológica robará nitrógeno al suelo. Sin embargo, se pueden admitir relaciones más altas de C/N si el carbono no está inmediatamente disponible para su consumo, por ejemplo en la forma de papel.

2.3.6.2 Humedad

Para garantizar un buen proceso de compostación, el contenido de agua del compostado debe ser mantenido entre el 40 y 60% en peso. Si el agua aumenta, el compostado se vuelve más compacto y se reduce la cantidad de aire presente, tornándose la descomposición en anaeróbica con los problemas conocidos de olores desagradables. Además, un exceso de humedad dificulta el manejo y su secado para el acabado final. De otro lado, si la humedad es menor de 40% la tasa de descomposición disminuye.

2.3.6.3 Temperatura

La temperatura es un parámetro para el control del proceso de compostación. Una disminución en la temperatura es indicativa de que el proceso necesita más aireación o que la descomposición están en su etapa final. Finalmente, la temperatura es muy importante para eliminar los organismos patógenos.

Es necesario dar por lo menos una vuelta al material para impedir que la temperatura suba hasta el “intervalo de 70°C a 80°C, letal para la mayor parte de los microorganismos, entre ellos las bacterias termofílicas y hongos que son la base de este proceso”.³⁹

2.3.6.4 pH

En la pila de composta, “el valor inicial del pH, en unos 6,5 , baja por la producción de ácidos, y eventualmente sube a 8.5”⁴⁰. Si el compostado se torna anaeróbico, el pH desciende hasta 4.5. Aunque el pH no es un parámetro usual para el control del proceso, un operador puede llegar a conocer la tendencia que este sigue y estar alerta para cualquier cambio extraño.

³⁹ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151,183-186.

⁴⁰ Ibid.

2.3.6.5 Granulometría

La granulometría permite clasificar las partículas de una muestra por sus respectivos tamaños. Ésta es una característica muy importante a ser considerada porque afecta el proceso de compostaje. La descomposición de una materia orgánica es un fenómeno microbiológico cuya intensidad está ligada al área de exposición de la superficie específica del material de forma que, cuanto menor la granulometría de las partículas, mayor superficie de exposición y más rápida su descomposición.

“De este modo, el tamaño ideal de las partículas a ser compostadas es de 20 a 80 milímetros, siendo esta característica muy importante en el proceso de compostaje”⁴¹. En este sentido, dimensiones de las partículas fuera de lo recomendado pueden crear caminos preferenciados para el paso del aire, permitiendo el compactado del material y favoreciendo la anaerobiosis, que perjudica el desarrollo del proceso.

2.3.6.6 Homogenización

Es un proceso que procura tornar el material que está siendo compostado semejante en toda su extensión. De este modo, la homogenización posibilita que los residuos queden bien mezclados como sustrato, para aumentar el área de exposición para el ataque microbiano, mezclando horizontal y verticalmente la cama de material a compostar para una mejor descomposición. Además este proceso facilita la aireación, que es fundamental para la descomposición de residuos.

⁴¹ DAI PRÁ, Marcos Antonio; Corrêa, Érico. *Compostagem como alternativa para gestão ambiental na produção de suínos. Sindicato das indústrias de carnes e derivados no Estado de Santa Catarina*. Editorial Evangraf. Porto Alegre, 2009. p. 50,

2.3.6.7 Aspectos microbiológicos

La compostación es un proceso microbiológico en el que la materia orgánica biodegradable se convierte en materia estable (humus) por medio de una flora que incluye bacterias, hongos y actinomicetos que están ampliamente distribuidos en la naturaleza. Sin embargo, factores como la humedad, pH, temperatura, oxígeno, determinan el desarrollo de estas poblaciones microbianas.

Durante el proceso de compostación ocurren cambios cualitativos y cuantitativos en la microflora, “algunas especies se multiplican rápidamente al comienzo, cambian el ambiente y luego desaparecen para permitir el trabajo de otras especies”⁴².

Todas las sustancias orgánicas naturales, son descompuestas por algún microorganismo, lo que explica la ausencia de materia orgánica inalterada en la biosfera, cuando se mantiene el equilibrio entre la velocidad de emisión de esta y la capacidad de transformación de los descomponedores. Cuando un compuesto orgánico deja de formar parte de un organismo vivo, rápidamente es mineralizado por los microorganismos.

“Cualquier especie bacteriana en sí misma, es un agente limitado de mineralización, la gran versatilidad metabólica es consecuencia de la acción conjunta de una gran diversidad de grupos fisiológicos”.⁴³

⁴² GUTIÉRREZ, Mario Opazo. Fondo Rotatorio Editorial. *Tecnología Apropiaada y Participación comunitaria*. Bogotá, Colombia. 1990. p. 11, 26-30.

⁴³ *Ibíd.*

Es común encontrar agentes patógenos en las pilas de compost especialmente cuando se utilizan materiales orgánicos como lodos de aguas residuales domésticas o algunos tipos de residuos agroindustriales. Sin embargo en el proceso de compostación casi todos los organismos patógenos se eliminan. En la siguiente tabla se observa el punto crítico de muerte de algunos patógenos.

Tabla V. Punto crítico de la muerte de algunos patógenos y parásitos comunes en el proceso de compostaje

Organismo	Temperatura de muerte	Tiempo de exposición
Salmonella typhosa	55° a 60°C	30 minutos
Salmonella spp	56 °C	1 hora
	60 °C	15 a 20 min
Shigella spp	55	1 hora
Escherichia coli	55	1 hora
	60	15 a 20 min
Endamoeba histolytica	68	5 min
Taenia saginata	55	5 min
Trichinella spiralis (larvas)	50	1 hora
Necator americanus	45	50 minn
Brucella abortus o suis	60	3 min
Micrococcus pyogenes var aureus	54	10 min
Streptococcus pyogenes	54	10 min
Mycobacterium tuberculosis var hominis	66	15 a 20 min
Micobacterium diptheriae	55	45 min
Huevos de áscaris lumbricoides	55	1 hora

ROMÁN, Pilar. FAO. *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 15

<http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf>

2.3.6.8 Tamaño de la pila

El tamaño de la pila afecta el contenido de O₂ y la temperatura. Pilas pequeñas mantienen mayor concentración de O₂ que pilas grandes, pilas grandes mantienen mayor temperatura que pilas chicas. La altura ideal de la pila: 1,60-2,40 m.

Tabla VI. **Etapas del proceso de compostaje y parámetros que lo afectan**

Efecto observado	Causas posibles	Soluciones
Baja temperatura del material	Hay poco material	Incrementar el volumen de material y/o cubrir
	Poca humedad	Añadir agua mientras volteas
	Poca aireación	Voltear
	Déficit de nitrógeno	Mezclar componentes nitrogenados (estiércol, césped)
	Bajas temperaturas ambientales	Incrementar el volumen de material y/o cubrir
	Exceso de lluvias	Voltear y añadir material absorbente y drenante (poda o aserrín)
Olor a podrido	Exceso de humedad (falta oxígeno)	Voltear, mezclar material estructurante (aserrín, poda)
	Compactación	Voltear, mezclar material estructurante (aserrín, poda)
Olor a amoníaco	Exceso de nitrógeno, asociado posiblemente con humedad elevada y condiciones anaeróbicas	Mezclar componentes más secos y con mayor contenido en carbono (aserrín, poda)
Altas temperaturas	Insuficiente ventilación	Voltear

Continuación de la tabla VI.

Efecto observado	Causas posibles	Soluciones
Capa blanca sobre el material	Hongos	No representa ningún problema, son consecuencia de actividad microbiana
Presencia de pequeñas setas u hongos	--	No representan ningún problema
Moscas	Exceso de humedad	Mezclar bien con material estructurante
Gusanos blancos y gordos	Normalmente son larvas de mosca que proliferan cuando hay mucha humedad	Mezclar con material estructurante
Roedores	Atracción por algún material	Mezclar bien materiales y cubrir
Otros insectos	Condiciones ambientales favorecen la proliferación	No representa ningún problema, también son descomponedores.

Fuente: ROMÁN, Pilar. FAO *Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 18.

<http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf>

2.3.7 Parámetros de calidad del compost

La norma técnica colombiana 57 establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales debe ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.

El compost obtenido se clasifica dentro de esta norma como un abono orgánico por ser un producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican. En consecuencia los parámetros que se deben caracterizar son los siguientes:

- Pérdidas por volatilización %
- Contenido de cenizas máximo 60%
- Contenido de humedad
- Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15%.
- Relación C/N
- Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)
- Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso
- pH mayor de 4 y menor de 9
- Densidad máximo 0,6 g/cm³

2.3.8 Aplicación del compost

El compost no es un fertilizante propiamente dicho pero es un material comparable a un suelo de alta calidad debido a su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio. La principal aplicación del compost se da como enmienda del suelo en la mejora de tierras pobres ya que aporta materia orgánica, retiene agua y libera gradualmente nutrientes, mejorando los cultivos.

Aunque son muy diversos los posibles usos del compost en la agricultura, su valor se resume en cuatro variantes: “abono o fertilizante si el compost aporta nutrientes al suelo, enmienda húmica de mantenimiento cuando evita la pérdida de materia orgánica del suelo, enmienda húmica de corrección cuando aporta materia orgánica al suelo y sustrato de cultivo cuando se utiliza como soporte total o parcial de los cultivos”.⁴⁴

2.3.9 Microorganismos eficientes

Los microorganismos eficientes son una combinación de varios microorganismos benéficos. Inicialmente los microorganismos eficientes fueron utilizados únicamente como un acondicionador de suelos. “Hoy en día son usados no solo para producir alimentos de altísima calidad, libres de agroquímicos, sino también para el manejo de desechos sólidos y líquidos generados por la producción agropecuaria.”⁴⁵

2.3.9.1 Uso de los microorganismos eficientes en la elaboración de compost

El producto OIKO BAC-174 es un complejo de microorganismos propios del suelo, que a través de un riguroso proceso de selección han logrado aislar cepas exclusivas y muy activas de bacterias tales como Bacillus y Pseudomonas, Actinomicetos (nocardia) y Hongos como Saccharomyces y Trichoderma, que interactuando entre sí.

⁴⁴ SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

⁴⁵ Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú – APROLAB-. *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces*. p. 35.

La interacción de estos microorganismos permite conseguir diversos efectos a nivel del suelo, como recuperación todo tipo de residuos orgánicos, de la actividad biológica (revitalización) y descomposición de materia orgánica (compostaje) de incluso los muy altos en celulosas y lignina (aserrín).

Los microorganismos del suelo son el aparato digestivo de las plantas, mejorando la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, además de proteger las raíces de los microorganismos patógenos.

El proceso de degradación se realiza en un período de 8 semanas promedio, dependiendo del origen de los residuos a descomponer y el manejo de la temperatura y la humedad.

Tabla VII. Composición de OIKO BAC-174

Microorganismo	Concentración (microorganismos/g)
Bacillus subtilis	350.000.000/g
Bacillus megaterium	350.000.000/g
Bacillus macerans	350.000.000/g
Pseudomonas putida	375.000.000/g
Saccharomyces cerevisiae	500.000.000/g
Bacillus licheniformis	50.000.000/g
Bacillus plolumyxa	350.000.000/g
Pseudomonas fluorescens	375.000.000/g
Nocardia corallina	500.000.000/g
Trichoderma viride	200.000/g

Fuente: ficha técnica producto.

Principales diferencias entre la producción de compost con microorganismos eficientes y el compost tradicional sin microorganismos eficientes.

Tabla VIII. **Ventajas del compostaje con microorganismos eficientes**

Compost con microorganismos	Compost sin microorganismos
Menor tiempo de descomposición. Entre 1 a 2 meses.	Mayor tiempo de descomposición. Normalmente entre 3 a 6 meses.
No hay presencia de malos olores ni moscas.	Puede haber presencia de malos olores.
Producto final con mayor contenido de nutrientes.	Menor contenido nutricional en comparación al compost con microorganismos eficientes.
Mayor contenido de microorganismos benéficos.	Menor contenido de microorganismos benéficos.

Fuente: Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú – APROLAB-. *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces*. p. 35.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Variables

Constituyen las variables dependientes e independientes objeto de medición y/o control en el desarrollo de la investigación.

3.1.1 Variables independientes

Composición de la formulación de la mezcla compostada, utilizando las materias primas siguientes: lodos de fosa séptica, estiércol de cerdos, estiércol de conejos, heno y aserrín para establecer la relación teórica de carbono y nitrógeno.

- Contenido de Carbono orgánico Se midió el contenido de carbono orgánico inicial en cada materia prima a partir del cual se realizó la formulación de la mezcla para obtener una relación C/N de 25.
- Contenido de Nitrógeno total Se midió el contenido de nitrógeno total inicial en cada materia prima a partir del cual se realizó la formulación de la mezcla para obtener una relación C/N de 25.

3.1.2 Variables dependientes

○ Variables monitoreadas durante el proceso

- pH Se medirá el pH de la mezcla a compostar durante el proceso, después de realizar los volteos semanales y al final del proceso al compost obtenido como producto final.
- Temperatura Se medirá la temperatura diariamente para obtener las curvas del comportamiento, parámetro de verificación del correcto desarrollo del proceso de compostaje.
- Humedad Se medirá el % de humedad de la mezcla con la prueba in situ durante el desarrollo del proceso y en el laboratorio a las materias primas y al producto obtenido como compost al finalizar el proceso.

○ Variables monitoreadas al final del proceso

- Pérdida por volatilización Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Contenido de cenizas Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.

- Contenido de Carbono orgánico Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Capacidad de intercambio catiónico Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Capacidad de retención de humedad Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Densidad Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Contenido de Nitrógeno total Se medirá al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Salmonella sp Se medirá como parámetro microbiológico al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.
- Enterobacterias totales Se medirá como parámetro microbiológico al producto final para verificar la calidad del compost obtenido comparando con la normativa nacional e internacional.

Tabla IX. **Variables dependientes, independientes, monitoreables y no monitoreables a tomar en cuenta**

Variable	Independiente	Dependiente	Monitoreable	No Monitoreable
Pérdidas por volatilización		X	X	
Contenido de cenizas		X	X	
Contenido de humedad		X	X	
Contenido de carbono orgánico oxidable total (o materia orgánica)	X		X	
Relación C/N	X		X	
Capacidad de intercambio catiónico		X	X	
Capacidad de retención de humedad		X	X	
pH		X	X	
Densidad		X	X	
Contenido de nitrógeno total	X		X	
Salmonella sp		X	X	
Enterobacterias totales		X	X	
Temperatura		X	X	
Conductividad eléctrica		X	X	

Fuente: elaboración propia.

3.2 Delimitación del campo de estudio

- **INDUSTRIA:** Fertilizantes o abonos orgánicos.
- **PROCESO:** Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos provenientes de la granja de cerdos y granja de conejos de la unidad docente productiva el remanso de la U.D.C.A. evaluando el uso del producto OIKO BAC-174 de microorganismos eficientes aerobios de la casa comercial ECOLOGICAL RESOURCES INC-Soluciones Integrales Sostenibles Global Ltda.
- **ETAPA DEL PROCESO:** Caracterización fisicoquímica y microbiológica del compost obtenido aplicando microorganismos eficientes y sin aplicar microorganismos eficientes y su comparación con el material obtenido actualmente en el remanso por el método convencional
- **UBICACIÓN:** El estudio se realizó en la granja de cerdos y granja de conejos a cargo de la facultad de ciencias pecuarias de la U.D.C.A., ubicadas en la unidad docente productiva denominada “El Remanso” perteneciente a la Universidad, específicamente para las carreras de ingeniería agronómica y zootecnia.

El montaje de las pruebas se realizó en el área de compostación de la unidad docente productiva el remanso, y el tiempo del proceso de compostaje fue de 9 semanas, hasta que se obtuvo un producto estabilizado completamente.

Se realizaron análisis fisicoquímicos a las materias primas y al compost obtenido como producto final por los métodos propuestos y al material obtenido actualmente en el remanso por el método convencional. Estos análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la facultad de ciencias ambientales y en el laboratorio de nutrición animal de la facultad de ciencias pecuarias de la U.D.C.A.

Además se realizaron análisis microbiológicos determinando presencia o ausencia únicamente, para el producto final de los métodos propuestos y del método convencional, en el laboratorio de microbiología de la U.D.C.A.

- CLIMA: Frío de alta montaña con una temperatura promedio de 14°C, en la ciudad de Bogotá, Colombia.

3.3 Recursos humanos disponibles

- Persona que realiza el estudio: Beatriz Adriana Valle Oliva.
- Asesores: Zootecnista Marco Tulio Espinosa, facultad de ciencias ambientales U.D.C.A., Bogotá Colombia; e Ingeniero Víctor Monzón, facultad de ingeniería USAC, Guatemala, Guatemala.
- Personal del laboratorio de suelos de la facultad de ciencias ambientales de la U.D.C.A.
- Personal del laboratorio de microbiología de la facultad de medicina de la U.D.C.A.

- Personal del laboratorio de nutrición animal de la facultad de ciencias pecuarias de la U.D.C.A.

3.4 Recursos materiales disponibles

Se refiere a los recursos materiales que fueron utilizados en las diferentes etapas de la investigación.

✓ **Materia Prima**

Las materias primas empleadas están integradas por los desechos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y de la granja de conejos.

- Lodos de fosa séptica de las granjas de cerdos y conejos del remanso.
- Estiércol de conejo
- Estiércol de cerdo
- Heno
- Aserrín
- Agua
- OIKO BAC-174
- OIKO GREEN

✓ **Reactivos**

- Agua destilada
- Hidróxido de sodio
- Ácido sulfúrico
- Ácido fosfórico

- Ácido clorhídrico
- Sulfato ferroso
- Indicador difenilamina
- Indicador fenolftaleína
- Alcohol etílico
- Dicromato de potasio
- Formaldehído
- Acetato de amonio
- Ácido acético
- Hidróxido de amonio
- Cloruro de sodio
- Selenio
- Sulfato de cobre
- Sulfato de sodio
- Ácido salicílico
- Ácido bórico
- Indicador verde bromocresol
- Indicador rojo de metilo
- Yodo
- Yoduro de potasio
- Caldo lactosado
- Caldo tetrionato
- Calcio tetrionato
- Agar bismuto sulfito
- Agar Salmonella-Shigella
- Agar –cristalvioleta-rojo--neutro-bilis-glucosa
- Bactident- oxidasa

✓ **Cristalería**

- Probetas de 50 mL y 100 mL.
- Erlenmeyers de 250 mL y 500 mL
- Bureta de 25 mL
- Pipetas volumétricas
- Beakers plásticos de 50 mL
- Beakers de vidrio de 100 mL
- Varillas de agitación
- Espátulas
- Pizeta
- Pinzas
- Desecador
- Crisoles
- Bandejas de aluminio
- Tubos de ensayo
- Termómetro de 360 °C
- Balón aforado de 1 L
- Frasco gotero
- Embudo büchner
- Papel filtro
- Embudo de vidrio
- Kitasato
- Perilla de succión
- Soporte universal
- Cajas de petri
- Asa
- Sacos vacíos de concentrado para guardar materia prima fresca

- Palas
- Cubetas de 5 galones

✓ **Equipos**

- Balanza Analítica
 - Marca: Mettler
 - Modelo: AE 200
 - Precisión 0,0001 g
- Equipo de Digestión automático
 - Marca: Velp Scientifica
 - Modelo: DK 20
- Unidad semiautomática de Destilación
 - Marca: Velp Scientifica
 - Modelo: UDK 139
- Titulador automático
 - Marca: Velp Scientifica
 - Modelo: TZ 3230
- Molino de laboratorio
 - Marca: Thomas-Wiley Scientific
 - Modelo: 4
 - Hecho en USA

- Licuadora de laboratorio
 - Marca: Hamilton Beach Proctor Silex Inc.
 - Modelo: 908 Clamshell
 - Serie # 4840H01471

- Horno de aire circulante
 - Marca: Phaber AP
 - Modelo: PHEZ 240L-P
 - Serie 27512
 - Precisión 0,1°C
 - Temperatura mínima 0,1 °C
 - Temperatura máxima 200°C
 - Hecho en Bogotá

- Horno de aire circulante
 - Marca: Memmert
 - Modelo: 854 Schwabach
 - Precisión: 10 °C
 - Temperatura mínima: 30 °C
 - Temperatura máxima: 220 °C
 - Hecho en Alemania

- **Mufla**
 - Marca: Industrias Terrigeno
 - Modelo: D8
 - Serie 665
 - Voltios 220
 - Tipo: ST-100
 - Clase: 2.5
 - Temperatura máxima: 1200 °C
 - Temperatura mínima: 20 °C
 - Precisión: 20 °C
 - Hecho en Medellín, Colombia

- **Balanza**
 - Marca: Detecto
 - Capacidad máxima: 200 Kg
 - Precisión: 500 g

- **Potenciómetro**
 - Marca: Martini Instrument
 - Modelo: Mi150
 - Electrodo MA911

- **Conductímetro**
 - Marca: Schott Gerate GmbH
 - Modelo: CG 858
 - Serie: D 65719 Hofheim ats
 - Hecho en Alemania

- Bomba de vacío
 - Marca: Thomas
 - Modelo: No. 900-58^a
 - Voltios 115
 - Clase de aislamiento B
 - Motor No. 600107B
 - Hecho en USA

- Extractor de gases y humos
 - Marca: Analytica Ltda.
 - Modelo: Standard
 - Hecho en Medellín, Colombia

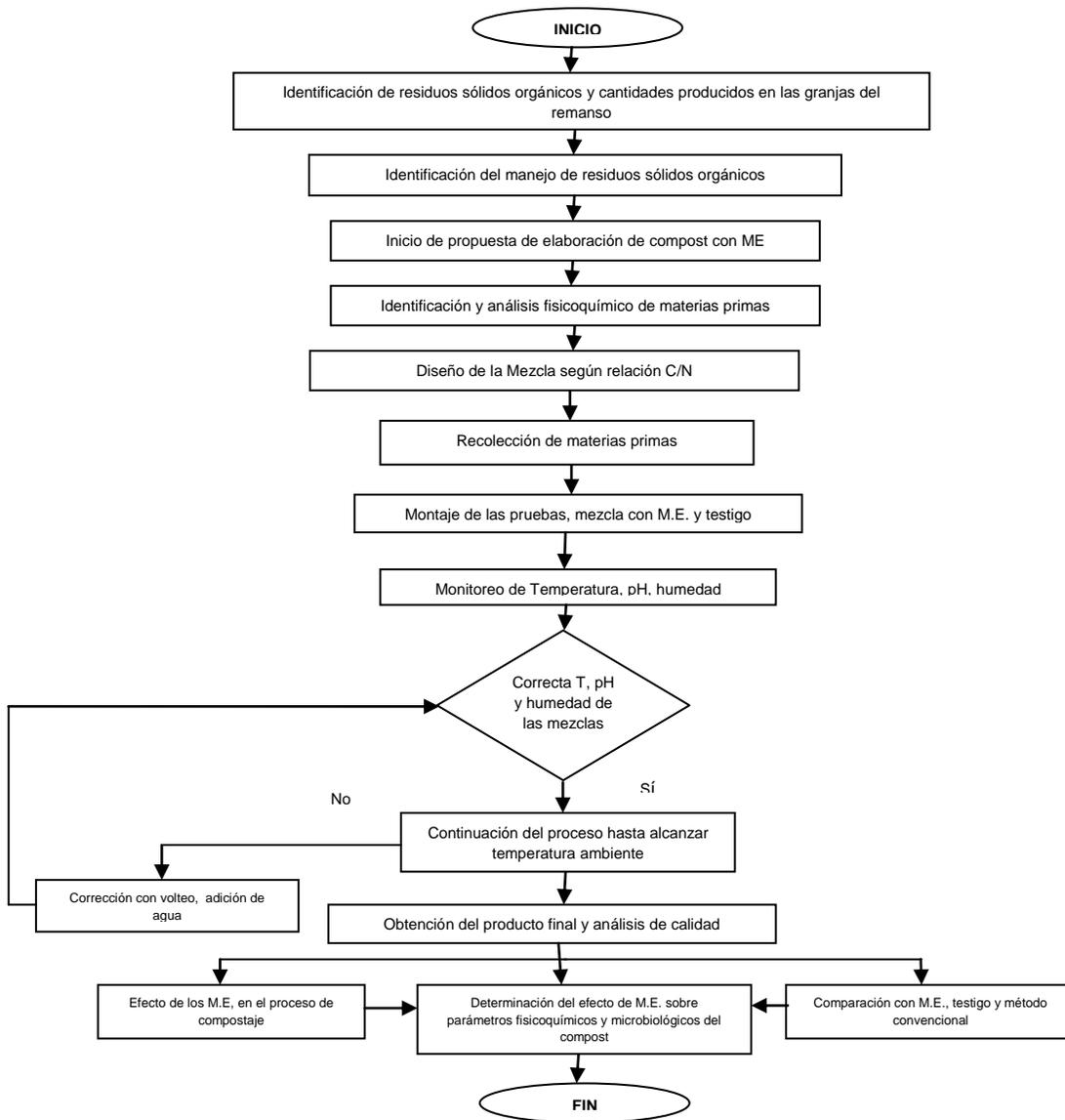
- Balanza analítica
 - Marca: Ohaus
 - Modelo: Pioneer
 - Precisión: 0,01 g
 - Capacidad máxima: 3100 g

- Estufa de incubación

3.5 Técnica cualitativa

La técnica cualitativa es una explicación secuencial y ordenada de las etapas de la investigación para la obtención de los resultados.

Figura 4. Diagrama de técnica cualitativa



Fuente: elaboración propia.

3.6 Recolección y ordenamiento de la información

Las materias primas empleadas están integradas por los desechos sólidos orgánicos de la granja de cerdos y de la granja de conejos conformados por: estiércol de cerdo, estiércol de conejo, lodos del pozo séptico de las granjas y heno; dichos lodos están constituidos por los sedimentos de las aguas residuales de ambas granjas que contienen estiércol, pelos y restos de concentrado.

Se utilizó heno y aserrín como materiales de mezcla para mejorar la relación carbono nitrógeno. El aserrín fue proporcionado por la clínica veterinaria de la U.D.C.A.

Se realizaron análisis fisicoquímicos para materias primas, así como monitoreos de variables fisicoquímicas durante el proceso de compostaje y para el compost obtenido como producto por los métodos propuestos y por el método convencional, en el laboratorio de suelos de la facultad de ciencias ambientales y en el laboratorio de nutrición animal de la facultad de ciencias pecuarias de la U.D.C.A. Además se realizaron análisis microbiológicos determinando presencia o ausencia únicamente, para el producto final de los métodos propuestos y del método convencional, en el laboratorio de microbiología de la U.D.C.A.

Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se realizaron para verificar el cumplimiento con la norma técnica colombiana NTC 5167, que regula los productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo; además de la verificación de cumplimiento con legislaciones de otros países.

La metodología de análisis se realizó en base al manual de prácticas de laboratorio de suelos de Rodrigo Lora Silva y a la NTC 5167.

Se trabajaron tres tratamientos, sin embargo no se realizaron repeticiones de los mismos por falta de materias primas disponibles, principalmente lodos de fosa séptica y falta de instalaciones adecuadas para el montaje de otras pruebas. Los tratamientos fueron de la siguiente manera:

- Tratamiento 1: 483 Kg de la formulación correspondiente a la mezcla de estiércol de cerdo, estiércol de conejo, lodos de fosa séptica, heno y aserrín. Adicionando microorganismos eficientes aerobios a una concentración determinada por la casa productora ECOLOGICAL RESOURCES INC-Soluciones Integrales Sostenibles Global Ltda. con su producto OIKOBAC-174. (Anexo 1 ficha técnica producto).
- Tratamiento 2: 100 Kg de la formulación correspondiente a la mezcla de estiércol de cerdo, estiércol de conejo, lodos de fosa séptica, heno y aserrín. Sin adicionar microorganismos, el cual sirvió de testigo.
- Tratamiento 3: Método convencional consistente en adición de estiércol y lodos y estabilizando con cal. Este proceso realizado actualmente no tiene un control de parámetros por el personal del remanso.

En la siguiente tabla se resume el diseño experimental para la composición de la mezcla que se compostó.

Tabla X. **Diseño experimental de la formulación de la mezcla compostada**

Materia prima	% N	%C	Peso (Kg)	Cantidad de N (Kg)	Cantidad de C (Kg)	Relación C/N mezcla
Lodos de fosa séptica	0,47	7,38	264	1,24	19,48	25,50
Estiércol cerdos	0,30	6,00	171	0,51	10,26	
Estiércol conejos	1,30	14,00	50	0,65	7,00	
Heno	0,21	26,88	20	0,04	5,37	
Aserrín	0,08	28,00	78	0,06	21,84	
Total de sustrato			583	2,51	63,96	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Laboratorio de Nutrición animal, U.D.C.A.

✓ **Procedimiento para la formulación de la mezcla compostada**

Consiste en la formulación del material compostado a partir de la mezcla de las materias primas preparando 583 Kg de la mezcla total y separando 483 Kg para agregar la mezcla de microorganismos eficientes y 100 Kg que sirven de testigo sin adición de microorganismos.

Procedimiento

1. Se pesaron 264 Kg de lodos de fosa séptica de las granjas de cerdos y conejos del remanso.
2. De estiércol de cerdo se recolectaron y pesaron 171 Kg.
3. De estiércol de conejo se pesaron 50 Kg.
4. Como materiales de mezcla se pesaron 20 Kg de heno y 78 Kg de aserrín.

5. Se inició la formación de la pila de compostaje en el lugar destinado agregando el material por capas iniciando con aserrín y alternando con capas de estiércol, heno y lodos y nuevamente aserrín.
6. Construyendo capas en el mismo orden hasta utilizar todo el material.
7. A continuación se procedió a realizar una mezcla de todo el material procurando homogenizar la mezcla.
8. La prueba de humedad in situ fue necesaria, para ello se toma con la mano una porción de la mezcla a compostar, la cual se aprieta y se verifica que escurra un hilo de agua lo cual indica que la humedad está alrededor del 50%, si no escurre se adiciona agua hasta comprobar la humedad correcta.
9. Al tener el material homogéneo se separaron 100 Kg de la mezcla y se colocaron en un compartimento diferente. Este material sirvió como testigo.
10. A los 483 Kg restantes de la mezcla se adicionó el inóculo de los microorganismos eficientes.

✓ **Procedimiento para preparación de inóculo OIKO BAC-174 y OIKO GREEN**

El inóculo OIKO BAC-174 es la mezcla de microorganismos eficientes objeto de estudio en la presente investigación y el OIKO GREEN es un probiótico activador de los microorganismos eficientes.

Procedimiento

1. Se pesaron 25 g de los microorganismos eficientes OIKO BAC-174.
2. En la bomba de mochila se mezcló el OIKO BAC-174 con los 100 mL de OIKO GREEN.

3. Se adicionaron 10 L de agua previamente reposada.
 4. Para homogenizar, se agitó la mezcla hasta.
 5. Sobre la pila de 483 Kg de la mezcla a compostar se roció el inóculo.
- ✓ **Preparación de la muestra de suelo para el análisis de secado, molienda y tamizado**

Antes de ser analizadas en el laboratorio, las muestras tienen el siguiente proceso de preparación:

- **Secado del material**

1. Se coloca el material en una bandeja formando una capa no mayor a un centímetro de espesor.
2. La bandeja se introduce en un horno de aire circulante a una temperatura de 50°C por 48 a 72 horas.

- **Molienda y tamizado**

1. Los terrones grandes deben reducirse de tamaño, para ello se utilizó el molino de acero inoxidable para obtener partículas de 2 mm de tamaño.
2. Una vez molido se descartó el material de tamaño superior a 2 mm, para lo que se hizo pasar el material por malla o tamiz número 10.

✓ **Determinación del contenido de humedad**

La determinación del contenido de humedad es necesaria en casi todos los estudios de laboratorio para reportar varias propiedades físicas y químicas del suelo, así como para verificar el porcentaje de humedad del compost obtenido como producto final.

Procedimiento

1. En crisoles de porcelana, previamente pesadas, por duplicado se pesaron 10 gramos de suelo seco.
2. Los crisoles se colocaron en un horno de aire circulante a 105°C por 24 horas.
3. Se enfriaron en un desecador y se pesaron.

$$\% \text{Agua} = \frac{\text{Peso de muestra húmeda} - \text{Peso de muestra seca}}{\text{Peso de muestra húmeda}} \times 100$$

✓ **Procedimiento para la Determinación de pH**

El pH del suelo es una propiedad química importante que está ligada a la disponibilidad de nutrimentos y a la actividad microbológica, en el presente caso la importancia radica en que el compost es un abono orgánico que se aplicará al suelo para aprovechar los nutrientes.

Procedimiento:

1. Utilizando beacker de 50 mL se pesaron por duplicado 10g de suelo molido y seco.

2. Se añadió 20 mL de agua destilada.
3. Con una varilla de agitación, se agitó la suspensión aproximadamente cinco minutos y se dejó en reposo por 30 minutos.
4. Una vez calibrado el instrumento con las soluciones amortiguadoras se procedió a determinar el pH de la muestra.
5. Inmediatamente antes de introducir el electrodo se agitó la muestra y se leyó rápidamente para evitar efectos de sedimentación.
6. El electrodo se sumergió hasta la mitad de la suspensión.

✓ **Determinación de carbono orgánico**

Entre los elementos principales que constituyen la materia orgánica del suelo, el carbono es el que mejor se puede cuantificar en forma rápida. Por tanto la estimación de la cantidad de materia orgánica se ha basado en la determinación del carbono orgánico. Método por titulación de Walkley-Black.

Reactivos:

1. Solución de dicromato de potasio 1N. Se disuelve en agua 49.04g de $K_2Cr_2O_7$ pulverizado y seco a $100^\circ C$. Se completa el volumen a 1L.
2. Ácido sulfúrico concentrado (grado reactivo).
3. Solución de sulfato ferroso 1N. Se disuelven 278g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en aproximadamente 800 mL de agua destilada, se agregan 15 mL de H_2SO_4 concentrado y se completa a volumen de un litro con agua en un balón aforado de 1L.
4. Indicador de difenilamina. Se disuelven 0.16g de difenilamina sulfato de bario en 100mL de agua.
5. Ácido fosfórico concentrado.

Procedimiento:

1. En un erlenmeyer de 500 mL, se colocaron 0,25 g de suelo seco y tamizado.
2. Se agregaron 20 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1N y 10 mL de H_2SO_4 concentrado.
3. Vigorosamente se agitó durante un minuto y se dejó reposar por 30 minutos.
4. Se agregaron 200 mL de agua destilada, 5 mL de H_3PO_4 y 3 gotas de indicador difenilamina.
5. Con solución de sulfato ferroso se titula para que cambie de color azul pardusco a verde brillante.
6. Se hizo necesario titular un blanco en la misma forma para estandarizar el sulfato ferroso.

$$C_{orgánico} = \frac{(B - M) \times N \times 0,003 \times 100 \times 1,3}{pm}$$

Donde:

B= volumen de solución ferrosa gastado en el blanco

M= volumen de solución ferrosa gastado en la muestra

N= normalidad de la solución ferrosa

0,003= peso en gramos de un miliequivalente de Carbono

M.O.= $C_{orgánico} (\%) \times 1,724$

pm= peso de la muestra en gramos

1,3= $100/77$ = factor de eficiencia de oxidación del C orgánico.

- ✓ **Determinación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC).
Método del acetato de amonio.**

Reactivos:

1. Solución saturadora: acetato de amonio 1M pH 7.0: Se pesa 77,08 g de acetato de amonio y se afora a un litro con agua destilada. Se ajusta el pH a 7,0 con ácido acético y/o hidróxido de amonio diluidos.
2. Alcohol etílico neutralizado: A un litro de alcohol se ajusta el pH a 7,0 con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico.
3. Solución extractora: Cloruro de sodio 10%. Se pesa 100 g de cloruro de sodio y se lleva a volumen de un litro con agua destilada.
4. Formaldehído 40% neutralizado: Un litro de formaldehído se neutraliza con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico.
5. Indicador: fenolftaleína 1%: se pesa 1 g de fenolftaleína y se lleva a un volumen de un litro con agua destilada.

Procedimiento:

1. Se pesó 5 g del material en un frasco tetero, se adicionan 25 mL de solución saturadora y se agita por 30 minutos.
2. El material se filtró y el exceso de acetato de amonio se lavó con cinco porciones de 20 mL de etanol neutralizado (este extracto se eliminó).
3. Se lavó el material con cinco porciones de 20 mL de solución extractora (cloruro de sodio) y se guardó el filtrado.
4. Una vez finalizada la extracción, se adicionaron 10 mL de formaldehído, tres gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0,1N hasta que la solución viró a rosado pálido permanente.

$$CIC(meq/100 g) = \frac{VxNx100}{pm}$$

Donde:

V= ml de NaOH gastado

N= normalidad de NaOH

pm= peso de la muestra

✓ **Determinación del Nitrógeno total**

Reactivos:

1. Hidróxido de sodio 10 N. Se disuelve 400 g de NaOH en agua y se completa el volumen de un litro.
2. Catalizador: Utilizando un mortero se mezcla 1,55 g de Se, 155 g de $CuSO_4$ y 96,6 de Na_2SO_4 .
3. Mezcla de ácido sulfúrico y ácido salicílico: Se disuelven 25 g de ácido salicílico en 500 mL de H_2SO_4 concentrado.
4. Ácido clorhídrico 0,01N: Se diluyen 10 mL de ácido clorhídrico concentrado (d:1,19) en un litro de agua; de esta solución se toman 100 mL y se completa a volumen de un litro. Se valora el ácido con solución estándar de NaOH.
5. Solución de ácido bórico con indicador (para 10 L): Se disuelven 200 g de ácido bórico en 5L de agua. Se preparan 250 mL de indicador para lo que se disuelven 0,15 g de verde bromocresol en 150 mL de alcohol etílico y 0,1 g de rojo de metido en 100 mL de alcohol etílico; se mezclan las dos soluciones y se agrega esta mezcla a la solución de ácido bórico. Se agita y se agrega a toda la mezcla 5 L de agua destilada. El pH del agua utilizada no debe ser superior a 6.

Procedimiento:

1. Se pesaron 5 g del material seco y tamizado por malla de un mm en un tubo de ensayo de 100 mL.
2. De mezcla catalizadora se agregaron 2 g, 10 mL de mezcla ácida y se conectaron los tubos a la unidad de digestión y se calentó a temperatura alta (posición H1 del control de temperatura) hasta que la mezcla fue clara y se completó la ebullición. En esta etapa se realizó la reacción de nitración. Por lo general la digestión es completa cuando el volumen del ácido agregado se reduce a la tercera parte.
3. Se dejó enfriar y se agregó lentamente por las paredes del tubo 25 mL de agua destilada. Se agitó luego manualmente en forma rotatoria y se conectó el tubo a la unidad de destilación. A través del embudo que penetra en el tubo se adicionaron 20 mL de NaOH 10 N y se destiló sobre 10 mL de ácido bórico-indicador agregado. Cuando se llegó a este volumen la destilación se suspendió y se tituló el destilado con HCl 0,01N (1 mL de HCl 0,01 N= 0,14 mg de N-NH₄). El color cambió en el punto final de titulación de verde o azul a rosado.

✓ **Determinación del contenido de cenizas**

Esta determinación es una aproximación del contenido de materia orgánica presente en el producto, considerando que el 100 % del producto menos la suma del porcentaje de cenizas, carbonatos y humedad refleja el contenido de materia orgánica. No obstante es importante verificar la presencia de otros componentes volátiles provenientes principalmente de fuentes nitrogenadas.

Procedimiento:

1. Se pesan aproximadamente 5 g del material.
2. Se coloca el crisol en la mufla y se deja a 650 °C durante 4 h.
3. Al cabo de este tiempo, se deja enfriar y se pasa el crisol a un desecador.
4. Se registra el peso final.

$$\%ceniza = \left[\frac{\text{peso final} \times 100}{\text{peso inicial}} \right] \left[\frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

Donde:

% humedad = contenido de humedad del producto

✓ **Determinación de las pérdidas por volatilización**

Son todos los componentes que se pierden por su volatilidad en el método de determinación del contenido de cenizas.

$$\%pérdidas \text{ por volatilización} = 100 - \%cenizas$$

✓ **Determinación de la capacidad de retención de humedad**

El método se aplica sobre una pasta de saturación, la cual consiste en agregar una cantidad determinada de agua al material seco. Este método permite tener resultados cercanos a la realidad, puesto que sólo tiene la influencia del medio acuoso, situación semejante al comportamiento del material al entrar en contacto con el suelo.

Procedimiento:

1. Aproximadamente se pesaron 100 g de material y se colocaron en un recipiente plástico. Utilizando una probeta se añadió pequeños volúmenes de agua destilada.
2. Continuamente se agitó con la espátula de madera, esto con el fin de eliminar aire y formar poco a poco una masa. De vez en cuando se consolidó la muestra golpeando el recipiente suavemente sobre la superficie de trabajo.
3. Se adicionó agua hasta llegar al punto de equilibrio (punto de saturación) cuya evidencia estuvo dada por un contenido de agua suficiente que reflejó un brillo metálico sobre la superficie, estado en el cual no absorbe más agua ni la escurre, aunque hay un poco de agua libre que asciende a la superficie cuando se deja en reposo.
4. El volumen de agua utilizado fue registrado. También fue posible pesar la totalidad del producto sólido con el agua a punto de saturación.
5. Se dejó en reposo durante 2 h.
6. La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si la pasta es demasiado húmeda se debe de agregar más material, registrando el peso adicional, o si es demasiado dura o se ha perdido el brillo se agrega más agua mezclando nuevamente, registrando el volumen de agua añadido.
7. La capacidad de retención de humedad se expresa como % de saturación.

$$\%Saturación: \left[\frac{Ax100}{Wm} \right] \left[\frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

Donde:

A = Volumen en ml de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación.

Wm = peso en g de la muestra seca

% humedad = contenido de humedad del producto

✓ **Determinación de la densidad**

El método se basa en la cuantificación de la masa de producto que se deposita libremente por unidad de volumen, en un recipiente de volumen conocido.

Procedimiento:

1. La probeta vacía se pesó, limpia y seca y se taró.
2. Una cantidad de material se dejó caer libremente dentro de la probeta, una cantidad suficiente para obtener una lectura cercana a 30 cm³.
3. Se determinó el peso de la probeta con el material.
4. Tres determinaciones sobre muestras diferentes fueron realizadas.

$$Densidad\ real = \frac{W2 - W1}{V}$$

Donde:

W1= peso en g de la probeta vacía

W2= peso en g de la probeta con el material

V= volumen ocupado por el material en la probeta, expresado en cm³

D= densidad real expresada en g/cm³

✓ **Determinación de salmonella sp**

Procedimiento:

1. Enriquecimiento previo no selectivo (regeneración): Se pesaron 25g de muestra y se colocaron en un erlenmeyer con 225ml de caldo lactosado haciendo una suspensión. Se incubó a 35°C durante 24 h – 48 h.
2. Enriquecimiento selectivo: En un erlenmeyer se disolvió 1.38g de caldo tetrionato en 30ml de agua destilada, se mezcló y calienta hasta ebullición (sin utilizar autoclave), se enfría y cuando alcance los 45°C se agrega la solución de yodo. Se mezcla todo y se adicionan 10ml en dos o tres tubos previamente esterilizados.
3. Preparación de solución de yodo: se pesa 0.18g de yodo y 0.15g de yoduro de potasio, todo esto se adiciona a los 30ml de calcio tetrionato. (Si se tiene la solución de yodo preparada, se adicionan 0.6ml de esta solución a los 30ml de calcio tetrionato).
4. Después de la incubación del caldo lactosado más los 25g de muestra por 24 h a 48 h, se toma 1ml de esta solución y se lleva a los tubos con caldo tetrionato (1 ml por cada tubo). Se trata de adicionar el mililitro cuando el medio esté más o menos a 30°C – 35°C. Se incuba de 24 h a 48 h a 37°C.
5. Aislamiento: se toma una asada llena de inóculo de cada uno los tubos con el caldo y se extiende sobre medios de cultivo sólidos (agar Bismuto Sulfito o agar Salmonella – Shigella), hasta agotar la muestra, de tal forma que se puedan obtener colonias aisladas. Se incuba a 37°C durante 24 h a 48 h.
6. Lectura: En agar bismuto sulfito: colonias pardas con el centro negro, borde claro, precipitado negro con brillo metálico alrededor de las colonias: Salmonella, excepto Salmonella paratyphi A y Salmonella pollorum.

7. En agar Salmonella Shigella: colonias incoloras: Sisellas y la mayoría de Salmonellas.
8. Transparentes con el centro negro: Proteus y algunas Salmonellas.
9. Reportar los resultados como presencia ausencia de Salmonella en 25g de muestra.

✓ **Determinación de enterobacterias totales**

Procedimiento:

1. Se disuelven 10g de la muestra en 90ml del diluyente (agua peptonada) se deja en agitación durante 5 min (esta es la dilución 10:1). Con pipeta de 1ml se mezcla con cuidado aspirando varias veces.
2. Se transfiere 1ml de la dilución 10:1 en un tubo con 9ml de diluyente, se descarta la pipeta, esta es la dilución 10:2.
3. Se repiten los dos últimos pasos hasta realizar el número de diluciones necesarias.
4. Se toma con la pipeta y por duplicado en placas de petri, alícuotas de 1ml de la serie de diluciones.
5. A continuación se agrega aproximadamente 10ml del medio cristal violeta rojo neutro – bilis – glucosa, fundido enfriado a 46°C – 48°C, a cada una de las placas.
6. Se mezclan las diluciones con el medio, inclinando y girando las placas varias direcciones.
7. Como prueba de esterilidad, se vierte una cantidad de medio de cultivo sobre una placa de petri sin muestra (control).
8. Se dejan las placas sobre la mesa hasta que el medio se solidifique.
9. Una vez solidificado el medio de las placas se agrega otra vez, aproximadamente 8ml del medio fundido y enfriado a 46°C – 48°C.

10. Después de solidificada esta nueva etapa, se invierten las placas y se incuban a 35°C – 37°C durante 21h 3h.
11. Lectura: Se seleccionan las placas que contengan entre 30 y 300 colonias violetas, rodeadas por precipitado rojo violeta.
12. Se toman mínimo tres colonias y se realiza a cada una de ellas la prueba de oxidasa.
13. Se calcula de acuerdo a las diluciones, el número de enterobacterias viables por gramo de muestra.

3.7 Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La información recopilada tanto para el diagnóstico del manejo actual de los residuos sólidos orgánicos de las granjas de cerdos y conejos de la unidad el remanso, como los resultados de monitoreos y análisis de calidad del compost obtenido en los dos tratamientos y por el método convencional, se tabulará y ordenará para la determinación de los resultados.

✓ Tabla de tabulación de datos

Se tabulará la información obtenida durante las diferentes etapas de la investigación de la siguiente manera:

Tabla XI. **Producción de estiércol en granja de cerdos del remanso**

Cerdos	Cantidad de cerdos	Concentrado (Kg/día)	Estiércol (Kg/día)
Levante	41	102	83,5
Preinicio	9		
Hembras Vacías	8	24	18,5
Macho	1	3	
Lactante	1	6	3,5
TOTAL	60	135	105,5

Fuente: Unidad docente productiva el remanso, U.D.C.A.

Tabla XII. **Producción de estiércol en granja de conejos del remanso**

Conejos	Cantidad de conejos	Concentrado (Kg/día)	Estiércol (Kg/ 2día)	Estiércol (Kg/ día)
Levante	120	21	62	31
Hembras	49	10	29	14,5
Macho	7	1	3,5	1,75
TOTAL	176	32	94,5	47,25

Fuente: Unidad docente productiva el remanso, U.D.C.A.

Tabla XIII. **Análisis de humedad y materia seca de materias primas**

Material	Peso bandeja PB (g)	PB + MH (g)	PB + MS (g)	%Materia Seca	% humedad
Lodos	31,2	361	88,2	17,28	82,72
Estiércol cerdos	26	397,3	107,8	22,03	77,97
Estiércol conejos	25,8	489	152	27,25	72,75
Heno	26	53,6	44,1	65,58	34,42
Aserrín	25,9	92	81,3	83,81	16,19
Testigo a compostar	25,8	147,1	69,1	35,70	64,30
Mezcla a compostar	25,9	154,3	68,4	33,10	66,90

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XIV. **Análisis fisicoquímicos de materias primas**

Material	pH	% humedad	% materia seca	% ceniza	% ceniza corregido	% Materia orgánica	% Materia orgánica corregida	% Ntotal sin corregir	%N total corregido
Lodos	6,50	2,80	97,20	3,94	4,05	13,34	13,72	0,50	0,51
Estiércol cerdos	6,34	3,19	96,81	5,35	5,53	16,68	17,23	0,33	0,34
Estiércol conejos	6,98	8,43	91,57	11,32	12,36	80,25	87,64	2,43	2,65
Heno	6,52	4,07	95,93	6,80	7,09	58,78	61,27	0,77	0,80
Aserrín	6,54	3,69	96,31	1,26	1,31	95,05	98,69	0,29	0,30
Testigo a compostar	7,62	5,37	94,63	11,86	12,53	82,77	87,47	2,20	2,33
Mezcla a compostar	7,39	4,97	95,03	11,90	12,52	83,13	87,48	2,08	2,19

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XV. **Determinación de carbono total**

Material	Walkley-Black			Tilsley	
	M (mL gastados de FeSO ₄)	%C orgánico Bseca	%C orgánico Bhúmeda	%Materio orgánica corregida	% de carbono por constante de Tilsley
Lodos	25	7,80	1,35	13,72	7,96
Estiércol cerdos	24	9,36	2,06	17,23	9,99
Estiércol conejos	4	40,56	11,05	87,64	50,83
Heno	1	45,24	29,67	61,27	35,54
Aserrín	4,1	40,40	33,86	98,69	57,25
Testigo a compostar	0,2	46,49	16,59	87,47	50,73
Mezcla a compostar	0	46,80	15,49	87,48	50,74

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XVI. **Relación carbono/nitrógeno de materias primas**

Material	Relación C/N real por el método de Walkley-Black	Relación C/N por el método de Tilsey
Lodos	15,16	15,47
Estiércol cerdos	27,46	29,32
Estiércol conejos	15,28	19,16
Heno	56,55	44,43
Aserrín	134,68	190,82
Testigo a compostar	19,95	21,77
Mezcla a compostar	21,37	23,17

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XVII. **Análisis fisicoquímicos de materias primas datos experimentales determinando carbono por el método de Walkley-Black**

Material	% de N	%C	%H2O	Peso (Kg)	Canti- dad de N (Kg)	Canti- dad de C (Kg)	Canti- dad de H2O (Kg)	Rela- ción C/N
Lodos	0,51	7,80	82,72	264,00	1,36	20,59	218,37	26,61
Estiércol cerdos	0,34	9,36	77,97	171,00	0,58	16,01	133,33	
Estiércol conejos	2,65	40,56	72,75	50,00	1,33	20,28	36,38	
Heno	0,80	45,24	34,42	20,00	0,16	9,05	6,88	
Aserrín	0,30	40,40	16,19	78,00	0,23	31,52	12,63	
Total de sustrato				583,00	3,66	97,44	407,59	

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XVIII. **Análisis fisicoquímicos de materias primas datos experimentales determinando carbono por Tilsley**

Material	% de N	%C	%H2O	Peso (Kg)	Canti- dad de N (Kg)	Canti- dad de C (Kg)	Canti- dad de H2O (Kg)	Rela- ción C/N
Lodos	0,51	7,96	82,72	264	1,36	21,02	218,37	31,48
Estiércol cerdos	0,34	9,99	77,97	171	0,58	17,09	133,33	
Estiércol conejos	2,65	50,83	72,75	50	1,33	25,42	36,38	
Heno	0,80	35,54	34,42	20	0,16	7,11	6,88	
Aserrín	0,30	57,25	16,19	78	0,23	44,65	12,63	
Total de sustrato	--	--	--	583	3,66	115,28	407,59	

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XIX. **Composición teórica de los materiales compostados**

Material	% de N	%C	%H2O	Peso (Kg)	Cantidad de N (Kg)	Cantidad de C (Kg)	Cantidad de H2O (Kg)	Relación C/N teórica de la mezcla
Lodos	0,47	7,38	82,72	264,00	1,24	19,48	218,38	25,50
Estiércol cerdos	0,30	6,00	77,97	171,00	0,51	10,26	133,33	
Estiércol conejos	1,30	14,00	75,00	50,00	0,65	7,00	37,50	
Heno	0,21	26,88	34,42	20,00	0,04	5,38	6,88	
Aserrín	0,08	28,00	20,00	78,00	0,06	21,84	15,60	
Total de sustrato				583,00	2,51	63,96	411,69	

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XX. **Comparación de porcentaje de carbono y nitrógeno teórico versus real en materias primas y mezcla a compostar**

Material	% de N		%C			Relación C/N teórica	Relación C/N real por cálculos	Relación C/N por Tilsley
	Teórico	Real	Teórico	Real por Walkley-Black	Real por constante de tilsley			
Lodos	0,47	0,51	7,38	7,80	7,96	15,70	15,16	15,48
Estiércol cerdos	0,30	0,34	6,00	9,36	9,99	20,00	27,46	29,32
Estiércol conejos	1,30	2,65	14,00	40,56	50,83	10,77	15,28	19,16
Heno	0,21	0,80	26,88	45,24	35,54	128,00	56,55	44,43
Aserrín	0,08	0,30	28,00	40,40	57,25	350,00	134,68	190,82

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XXI. Comparación de relación C/N teórica versus real utilizando los datos de carbono determinados por Walkley-Black

Mezcla a compostar con microorganismos			Mezcla a compostar sin microorganismos (testigo)		
Teórico	Real por cálculos	Comprobada en análisis de la mezcla	Teórico	Real por cálculos	Comprobada en análisis de la mezcla
25,50	26,61	21,37	25,50	26,61	19,95

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XXII. Comparación de relación C/N teórica versus real utilizando los datos de carbono determinados por Tilsley

Mezcla a compostar con microorganismos			Mezcla a compostar sin microorganismos (testigo)		
Teórico	Real por cálculos	Comprobada en análisis de la mezcla	Teórico	Real por cálculos	Comprobada en análisis de la mezcla
25,50	31,48	23,17	25,50	31,48	21,77

Fuente: Laboratorio de suelos y laboratorio de nutrición animal U.D.C.A.

Tabla XXIII. **Monitoreos durante el proceso de compostaje**

Sema- na	Fecha	Día	Mezcla compostada con microorganismos			Mezcla compostada sin microorganismos (testigo)		
			T (°C)	pH	Volteo	T (°C)	pH	Volteo
1	11/07/2012	1	28	7,39		28	7,62	
	12/07/2012	2	30			30		
	13/07/2012	3	33	8,42		30	8,66	
	14/07/2012	4	42		x	38		x
	15/07/2012	5						
	16/07/2012	6	48			40		
	17/07/2012	7	49			40		
2	18/07/2012	8	50			42		
	19/07/2012	9	52			42		
	20/07/2012	10						
	21/07/2012	11	52			35		
	22/07/2012	12						
	23/07/2012	13	54			30		
	24/07/2012	14	54		x	30		x
3	25/07/2012	15	55			30		
	26/07/2012	16	57	7,57		30	7,42	
	27/07/2012	17	59			28		
	28/07/2012	18	60			30		
	29/07/2012	19						
	30/07/2012	20	54			33		
	31/07/2012	21	52			33		

Continuación de la tabla XXIII.

Sema- na	Fecha	Día	Mezcla compostada con microorganismos			Mezcla compostada sin microorganismos (testigo)		
			T (°C)	pH	Volteo	T (°C)	pH	Volteo
4	01/08/2012	22	52			32		
	02/08/2012	23	50	7,33	x	30	6,8	x
	03/08/2012	24	53			30		
	04/08/2012	25						
	05/08/2012	26						
	06/08/2012	27	54			34		
	07/08/2012	28						
5	08/08/2012	29	54			34		
	09/08/2012	30	52	7,46	X	38	7,65	X
	10/08/2012	31	45			34		
	11/08/2012	32						
	12/08/2012	33						
	13/08/2012	34	52			38		
	14/08/2012	35	50			35		
6	15/08/2012	36	50			33		
	16/08/2012	37	50		x	30		x
	17/08/2012	38	45	7,16		30	7,23	
	18/08/2012	39	54			30		
	19/08/2012	40						
	20/08/2012	41	52			29		
	21/08/2012	42	50			28		

Continuación de la tabla XXIII.

Sema- na	Fecha	Día	Mezcla compostada con microorganismos			Mezcla compostada sin microorganismos (testigo)		
			T (°C)	pH	Volteo	T (°C)	pH	Volteo
7	22/08/2012	43	50			28		
	23/08/2012	44	50			28		
	24/08/2012	45	49		x	26		x
	25/08/2012	46						
	26/08/2012	47						
	27/08/2012	48	49			26		
	28/08/2012	49	48	7,19		24	7,06	
8	29/08/2012	50	46			24		
	30/08/2012	51	43			24		
	31/08/2012	52	43		x	22		x
	01/09/2012	53	41			22		
	02/09/2012	54						
	03/09/2012	55	40		x	22		x
	04/09/2012	56	38	7,06		22	7,43	
9	05/09/2012	57	35			21		
	06/09/2012	58	33			20		
	07/09/2012	59	30		x	20		x
	08/09/2012	60	25			20		
	09/09/2012	61						
	10/09/2012	62	22		x	20		x
	11/09/2012	63	22	7,03		19	7,15	

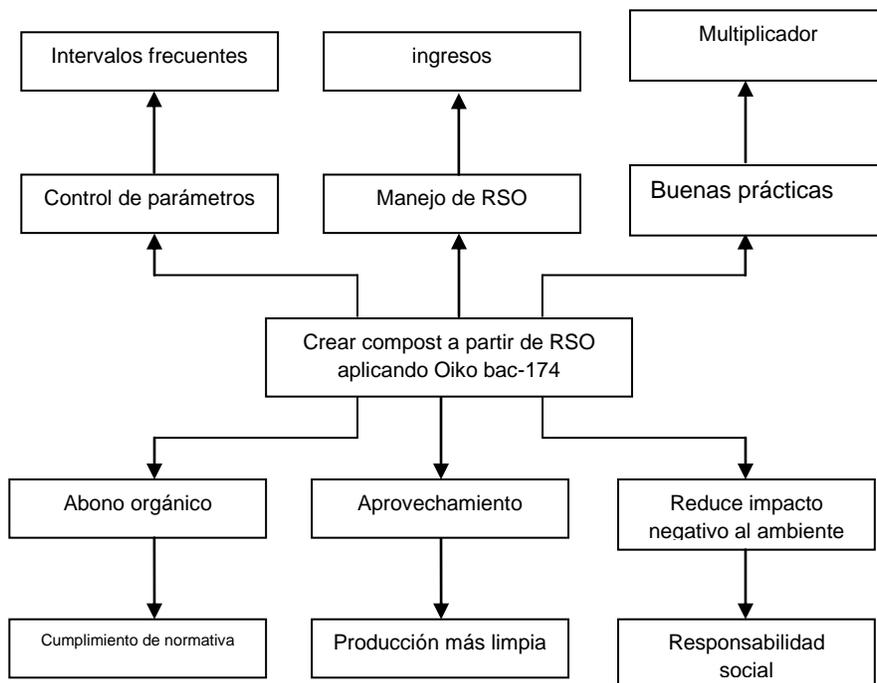
Fuente: Unidad docente productiva el remanso, U.D.C.A.

Tabla XXIV. **Producción de estiércol en granja de cerdos y granja de conejos del remanso**

Granja	Cantidad de animales	Estiércol (Kg/ día)	Estiércol promedio (Kg/animal/día)	Proporción de estiércol (cerdo:conejo)
Cerdos	60	105	1,75	6,5:1
Conejos	176	47,25	0,27	

Fuente: Unidad docente productiva el remanso, UDCA.

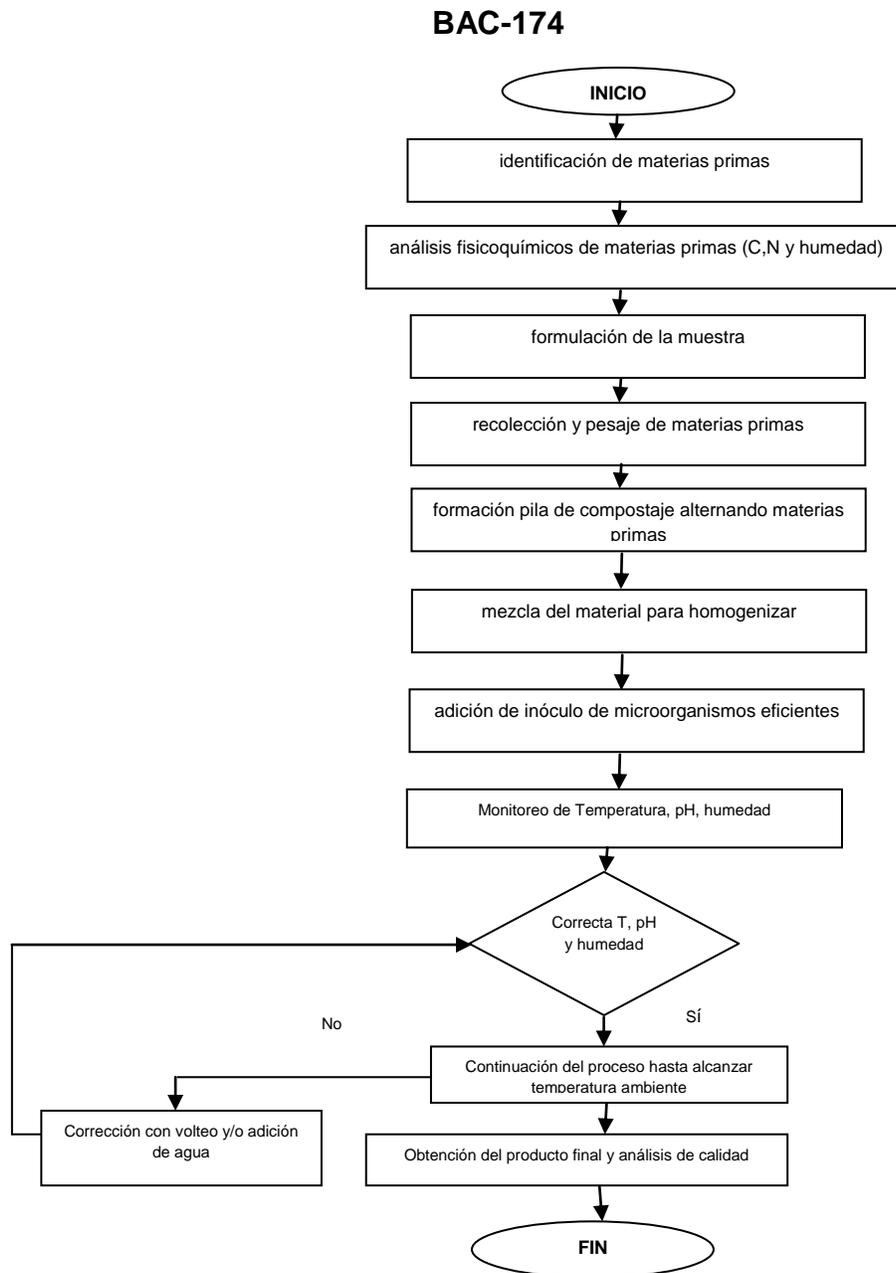
Figura 6. **Diagrama de diagnóstico de manejo de residuos sólidos orgánicos**



Fuente: elaboración propia.

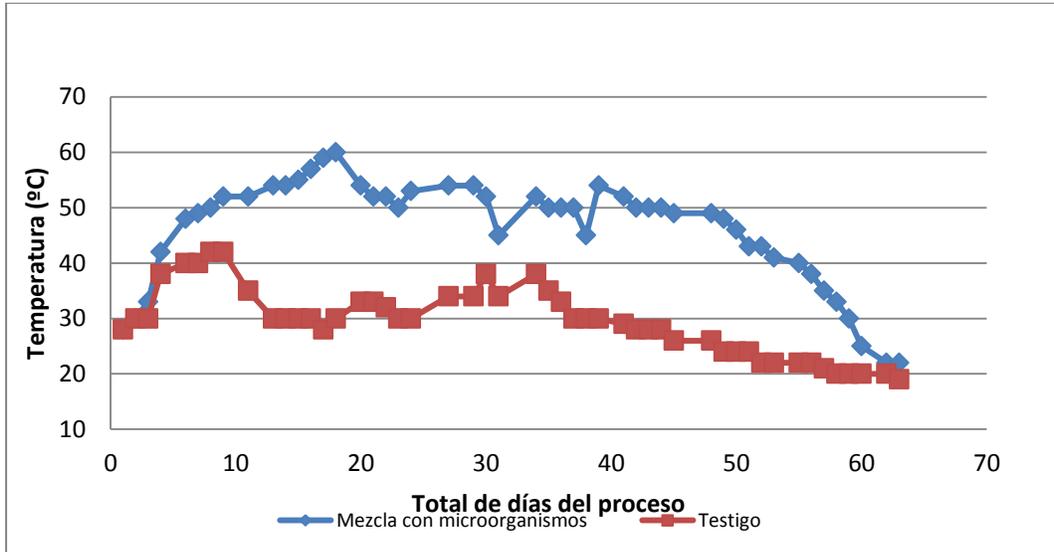
4.2 Proceso de producción de compost con microorganismos eficientes aerobios

Figura 7. Diagrama de proceso de producción de compost con OIKO



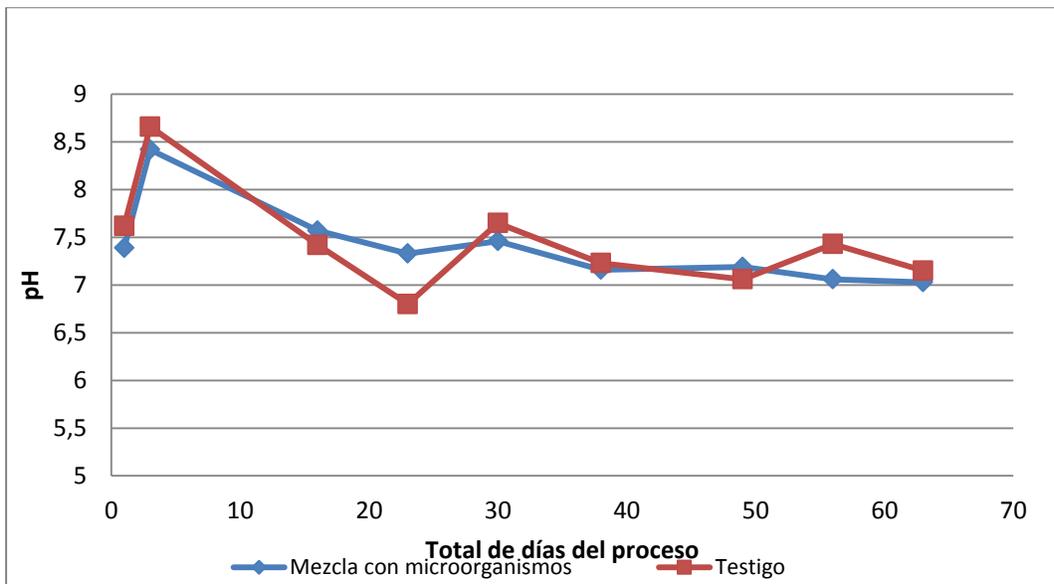
Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Comportamiento de temperatura de la mezcla compostada



.Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Comportamiento de pH de la mezcla compostada



Fuente: elaboración propia.

4.3 Efecto de los microorganismos eficientes sobre la composición física, química y microbiológica del compost

Tabla XXV. **Parámetros de calidad del compost obtenido por los dos tratamientos y por el método convencional**

Parámetros de calidad del compost	Unidades	Mezcla compostada con microorganismos	Mezcla compostada sin microorganismos (testigo)	Método convencional	NTC 5167
Pérdidas por volatilización	%	73,10	76,53	41,85	% reportar
Contenido de cenizas	%	26,90	23,47	58,15	máx. 60%
Contenido de humedad	%	60,04	64,41	40,84	máx. 20%
Contenido de carbono orgánico oxidable total (o materia orgánica)	%	16,71	14,77	18,92	mín. 15%
Relación C/N	--	10,92	11,30	20,04	reportar
Capacidad de intercambio catiónico	(meq/100g)	32	29	26	mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)
Capacidad de retención de humedad	g	130,46	123,51	103,49	mínimo su propio peso.
pH	--	7,25	7,71	8,13	mayor de 4 y menor de 9
Densidad	g/cm ³	0,22	0,21	0,45	máximo 0,6 g/cm ³
Contenido de nitrógeno total	%	3,83	3,67	1,60	% reportar
Salmonella sp	Presencia/ausencia	Ausencia	Presencia	Presencia	Ausente en 25 g de producto final
Enterobacterias totales	Presencia/ausencia	Presencia	Presencia	Presencia	menos de 1000 UFC/g de producto final

Fuente: elaboración propia.

4.4 Efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje versus el método convencional

Tabla XXVI. Rendimiento de los procesos de compostaje y estabilización con cal

Material	Peso inicial (Kg)	Peso final (Kg)	% rendimiento
Compost con microorganismos	483,00	139,00	28,78
Testigo compost sin microorganismos	100,00	33,00	33,00
Estiércol estabilizado con cal*	9236,00	1033	11,18

Fuente: elaboración propia.

*Corresponde al estiércol estabilizado con cal recolectado durante 3 meses.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1 Diagnóstico de manejo de residuos sólidos orgánicos granjas de cerdos y conejos

Las granjas de cerdos y conejos tienen implícita la generación de residuos sólidos orgánicos, entre los que se identificó la generación de heno proveniente de las camas utilizadas para los lechones lactantes y lechones en preinicio; además de estiércol y lodos de fosa séptica generados por el tratamiento de las aguas residuales en ambas granjas. Esto puede observarse en la figura 5, en la cual se muestra la generación de residuos sólidos orgánicos de las dos granjas, además del tratamiento o destino actual de los mismos.

El estiércol es el residuo que presenta mayor interés por la concentración espacial que alcanza y por el impacto ambiental negativo que produce, en el caso del sector pecuario, el estiércol producido en operaciones intensivas y que no es manejado adecuadamente puede afectar de forma negativa la calidad del agua en los cauces fluviales y en las aguas subterráneas mediante la liberación de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, además de patógenos. Según lo observado en la figura 5, en ambas granjas el estiércol recibe un tratamiento independiente, por lo que se realiza una propuesta de mejora para el manejo integral de todos los residuos sólidos orgánicos generados.

En lo que respecta a la generación de estiércol, se identificó que se genera en una mayor cantidad en la granja de cerdos que en la de conejos, en una proporción de 6,5:1 respectivamente, como se indica en la tabla XXIV. Esto es debido al mayor tamaño de los cerdos en comparación de los conejos, además de generar grandes volúmenes por tratarse de animales en etapa de crecimiento. El tratamiento actual que se realiza al estiércol de cerdo en la unidad el remanso es una estabilización con cal, sin embargo no se tiene un control del proceso debido a que el estiércol recogido diariamente se deposita en las áreas de estabilización y se adiciona cal, y no se realizan mezclas ni volteos periódicos.

Al tener grandes volúmenes de residuos sólidos generados en la granja de cerdos se sobrepasa la capacidad instalada en la unidad el remanso para su disposición en las áreas de volteo para estabilización, por lo que el proceso no ha dado los resultados esperados y aparentemente el material es en realidad pseudo-estabilizado, por lo que deben mejorarse las condiciones del tratamiento de residuo para potencializar los aspectos positivos de obtener un compost maduro, para ser utilizado en agricultura.

A los lodos procedentes de los diversos tratamientos de las aguas residuales generalmente se les aplica un tratamiento previo a su utilización, con el fin de disminuir su contenido de agua y estabilizarlos biológicamente. Estos tratamientos pueden ser procedimientos de deshidratación, estabilización biológica y estabilización no biológica como el tratamiento de los lodos con cal. En lo que se refiere al tratamiento realizado en la unidad el remanso para los lodos generados en la fosa séptica, anteriormente era realizado por una empresa externa, que los extraía para su tratamiento y disposición final; sin embargo por el elevado costo de este servicio se optó por manejarlos de la misma forma que el estiércol por el método actual de adición de cal.

La cal es un hidróxido de un metal bivalente; posee propiedades coagulantes para los lodos, y permite una desinfección de los mismos a un pH de aproximadamente 11. La importancia de la estabilización con cal reside en el hecho de que en el momento de la aplicación suministra una cantidad de calcio que puede ser benéfica para el cultivo.

El mayor inconveniente del tratamiento con cal es su elevado costo, en efecto, “se necesitan alrededor de 100g de CaO por kg de materia seca”.⁴⁶ Esta es una de las razones por las que es viable evaluar la opción de realizar el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos por medio del compostaje.

Como parte del diagnóstico del manejo de residuos sólidos orgánicos generados en las granjas de cerdos y conejos del remanso, en la figura 6 se indica la propuesta de mejoras en el manejo de dichos residuos como es su aprovechamiento para la producción de compost, debido a que puede realizarse en un proceso controlado, el cual cumpla con la normativa vigente.

La producción de compost en el marco de producción más limpia, permite optimizar el manejo de los recursos de las granjas que incluso podrían utilizarse para obtener un beneficio económico por su comercialización, además de reducir el impacto negativo del mal manejo de estos residuos y contribuir con la responsabilidad social con unas buenas prácticas, capacitación del personal de las granjas y sirviendo de modelo para otros.

⁴⁶ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151,183-186.

5.2 Proceso de producción de compost con microorganismos eficientes aerobios

Los residuos sólidos orgánicos generados en las granjas de cerdos y conejos del remanso, son considerados como materias primas para la producción de compost. Sin embargo “se necesita adicionar un agente de relleno que aumente el volumen y mejore la relación C/N”⁴⁷ por lo que se utilizó aserrín. Para el correcto desarrollo del proceso de compostaje se controlaron parámetros como la homogenización de la muestra que posibilita que los residuos queden bien mezclados como sustrato, para aumentar el área de exposición para el ataque microbiano. También se controló el pH y la temperatura como está indicado en las figuras 8 y 9.

Las figuras 8 y 9 muestran el comportamiento de la temperatura y pH de la pila de compost a lo largo del proceso. En los tratamientos 1 y 2 el monitoreo diario de la temperatura permitió observar los cambios de ésta y la disminución de la temperatura, debido a falta de aire en el centro de la pila, se realizaban volteos del material y se corregía la humedad procurando mantenerla en 50%. Se puede observar que para la mezcla con OIKO BAC-174, las temperaturas alcanzadas son mayores que sin microorganismos y se mantienen durante un período mayor las etapas mesófilas y termófilas.

⁴⁷ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151,183-186.

La producción de compost es beneficiada con la adición de microorganismos eficientes aerobios, en general “cualquier especie bacteriana en sí misma, es un agente limitado de mineralización, la gran versatilidad metabólica es consecuencia de la acción conjunta de una gran diversidad de grupos fisiológicos”⁴⁸ por esta razón el producto comercial OIKO BAC-174 que está compuesto por bacterias y hongos en una elevada concentración, acelera el proceso de degradación de la materia orgánica, se obtienen elevadas temperaturas que garantizan la destrucción de microorganismos patógenos y una mayor concentración de microorganismos benéficos presentes en el producto final.

En el apéndice 11 se muestra las diferentes etapas de proceso y la evolución del material hasta obtener el producto final. El proceso propuesto de elaboración de compost inicia con la identificación de las materias primas, la realización de los análisis fisicoquímicos necesarios para la formulación de la mezcla teniendo como base la relación C/N en el rango de 20:1 a 30:1. La recolección del material y el montaje de la pila de compostaje controlando la granulometría inicial, humedad, pH, homogenización y temperatura que garantizan el correcto desarrollo del proceso de producción del compost.

En el compostaje realizado, el material a compostar se colocó en una pila. El tamaño de la pila influye en el rendimiento del compost por lo que para mantener altas temperaturas, la pila debe ser lo suficientemente grande para permitir que el calor generado por los procesos metabólicos exceda a las pérdidas de calor de las superficies expuestas, esto también puede conocerse como una masa crítica que es la cantidad mínima de material que permite la acción de los microorganismos para mantener altas temperaturas.

⁴⁸ ARUNDEL, Jonh. *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. Año 2002. p. 133-138, 149-151,183-186.

La masa crítica es importante debido a que “con una pila de un tamaño adecuado se retiene mucho calor por su gran área transversal y la pequeña relación superficie/volumen”⁴⁹.

En la figura 8 puede observarse que en la primera etapa mesofílica del proceso las temperaturas ascendieron desde la temperatura ambiente hasta 40 °C presentando una degradación de azúcares y aminoácidos por efecto de las bacterias, en esta primera etapa se muestra un aumento en el pH por el rompimiento de moléculas en la figura 9.

La segunda etapa que constituye la etapa termofílica. Cuando se alcanza una temperatura de 40 °C, los microorganismos termófilos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se hace alcalino. “A los 60 °C estos hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos, microorganismos encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosa”⁵⁰.

Se observó que en esta etapa se alcanza la máxima temperatura que en el caso del compost con OIKO BAC-174 garantiza la destrucción de microorganismos patógenos como *salmonella sp* por llegar hasta 60°C, y en el caso del proceso de compostaje sin microorganismos eficientes puede observarse que la máxima temperatura obtenida fue de 45°C, temperatura muy baja para la muerte de ciertos microorganismos como la “*salmonella sp* muere al ser sometida a una temperatura de 56°C por una hora ó 60°C por 15 a 20 minutos”⁵¹.

⁴⁹ SILVA, Juan Pablo; López, Piedad. *Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje*. Escuela de Ingeniería de los Recursos naturales y del Ambiente (EIDENAR), Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia. p. 3.

⁵⁰ ROMÁN, Pilar. *FAO Taller técnicas de compostaje. Cambio Climático y Sostenibilidad ambiental*. Paraguay. Junio de 2012. p. 18.

⁵¹ Ibid.

En la etapa termofílica se observó el trabajo de los hongos que efectivamente fue notorio por el crecimiento de pequeñas setas durante el proceso de compostaje en los tratamientos 1 y 2, estabilizándose el pH entre 7 y 8. “La etapa termofílica es de gran interés para la higienización del material, por lo que es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes”⁵². Esta característica permitió mejores resultados en el tratamiento 1 debido a que se prolongó por 6 semanas.

Por último, la segunda etapa mesofílica inició al descender la temperatura a 40°C y hasta llegar a la temperatura ambiente, en esta última etapa hay degradación de polímeros por acción de las bacterias y un pH estable en 7 y 8. “Al finalizar esta etapa el material es estable biológicamente y termina el proceso”⁵³.

La etapa de maduración es necesaria para mejorar las condiciones de la enmienda o abono orgánico. Es un periodo que requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus. La etapa de maduración consistió en dos semanas, sin embargo hasta su utilización el compost continúa con el proceso.

⁵² SZTERN, Daniel; Pravia, Miguel. Organización panamericana de la salud. *Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos*. Uruguay 1999. p. 8 <<http://www.bvsops.org.uy/pdf/compost.pdf>>

⁵³ Ibid.

En la figura 8 se observa que la máxima temperatura alcanzada para la pila de compost con microorganismos fue de 60°C, y no 70°C como indican las especificaciones del producto, sin embargo por la falta de disposición de materia prima para realizar la prueba, principalmente lodo de fosa séptica, se trabajó con media tonelada de mezcla cuando la casa comercial recomienda una masa crítica de 1 tonelada, sin embargo los resultados obtenidos son favorables para la utilización de este producto.

En la figura 9 se puede observar cambios notorios de pH al inicio del proceso, pero una estabilización posterior en el rango de pH entre 7 y 8.

5.3 Efecto de los microorganismos eficientes sobre la composición física, química y microbiológica del compost

La adición de microorganismos eficientes promete obtener mejores características sobre la composición fisicoquímica y microbiológica del compost final, comparando con un proceso sin adición de microorganismos eficientes o en el caso de una estabilización con cal.

Según los resultados obtenidos en la tabla XXV, al caracterizar los parámetros de control de calidad exigidos por la NTC5167 para abonos orgánicos, se observó que las características fisicoquímicas y microbiológicas son mejores en la mayoría de los casos para el producto obtenido de compost con microorganismos eficientes aerobios. Esto se debe a que la materia orgánica utilizada como materia prima posee de manera natural los microorganismos, sin embargo con la adición del producto OIKO BAC-174 se aumentan las poblaciones de los mismos acelerando el proceso de degradación de la materia orgánica y alcanzando mayores temperaturas que garantizan la destrucción de los microorganismos patógenos.

En general, la fertilidad global de un suelo agrícola ha estado relacionada tradicionalmente con su contenido en materia orgánica, es por eso que la utilización de abonos orgánicos en agricultura es de gran importancia.

Al caracterizar el material obtenido en los tres tratamientos según la norma técnica colombiana NTC 5167, los análisis de pérdidas por volatilización y contenido de cenizas son una medida indirecta del contenido de materia orgánica en el compost obtenido de los tratamientos 1 y 2 y en el estiércol estabilizado con cal. Según los resultados de la tabla XXV el compost de ambos tratamientos tiene una mayor cantidad de materia orgánica que el estiércol debido a la presencia de la cal utilizada para su estabilización.

Debido a que la capacidad de retención de agua está estrechamente ligada a la cantidad de materia orgánica, los resultados obtenidos para este parámetro son concordantes, pues el compost con OIKO BAC-174 posee una mayor capacidad de retención de agua en comparación con los otros tratamientos. La materia orgánica hace aumentar la capacidad del suelo para retener agua. Esta propiedad tiene un doble efecto práctico, pues permite almacenar más agua durante las estaciones húmedas, y reducir en períodos cálidos las pérdidas por evaporación, con el consiguiente interés para el balance hídrico del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico depende directamente de la naturaleza de su complejo absorbente, sustancias húmicas y arcillas preferentemente.

Las sustancias húmicas, gracias a sus numerosos grupos funcionales – COOH, OH, etc.- tienen una alta capacidad de cambio; esto aumenta la potencialidad para la absorción e intercambio iónico del suelo. Como consecuencia, el poder de retención de macronutrientes como Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , etc. aumenta. Con el considerable efecto beneficioso que esto supone para la fertilidad global de los suelos agrícolas. De igual forma el compost obtenido aplicando OIKO BAC-174 presentó una mayor capacidad de intercambio catiónico.

En la composición de la fracción orgánica del suelo están acumuladas grandes reservas de nutrientes, como el nitrógeno. En la mayoría de los suelos el nitrógeno orgánico representa el 95% del nitrógeno total. Estos datos concuerdan con el mayor contenido de materia orgánica y de nitrógeno total en el compost obtenido del tratamiento 1.

Con la utilización de compost se contribuye al mantenimiento de la materia orgánica del suelo, mediante aportes orgánicos. Enfocado a mantener o aumentar la fertilidad del suelo agrícola, englobando este concepto, no sólo la capacidad del suelo para aportar nutrientes minerales esenciales a la planta sino, también la capacidad del mismo para mantener un nivel de producción alto, pero sustentable en el tiempo, sin perder por ello su diversidad biótica ni su complejidad estructural y todo ello dentro de un equilibrio dinámico.

Se considera un compost maduro cuando la relación C/N está lo más cercana a 15. Esto indica que el compost obtenido en los tratamientos 1 y 2 aún no está maduro, lo cual concuerda con lo esperado debido a que el tiempo de maduración consistió en dos semanas únicamente, por lo que al darle un mayor tiempo de maduración mejorará las características.

5.4 Efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje versus el método convencional

Según los resultados obtenidos en la tabla XXV existen diferentes ventajas en la utilización de OIKO BAC-174 comparando con el proceso sin adicionar microorganismos eficientes o con el proceso convencional de estabilización con cal. Entre estos puede mencionarse lo descrito en la tabla XXVI con un mayor porcentaje de rendimiento para el compostaje que para la estabilización con cal.

Las ventajas obtenidas durante el proceso que pudieron comprobarse en los tres tratamientos. La presencia de mal olor es menor con la utilización de OIKO BAC-174. Sin embargo la presencia de moscas fue mayor después de cada volteo, aunque esto no afecta en el desarrollo del proceso, si puede ser molesto para el personal.

Un aspecto considerable que efectivamente fue comprobado es un menor tiempo en la obtención del producto final al usar OIKO BAC-174 y una mayor temperatura alcanzada en el centro de la pila de compostaje que se ve evidenciada al demostrar con los análisis microbiológicos la sanitización del producto final con OIKO BAC-174. No así para el compost producido sin adicionar microorganismos eficientes, ni para el convencional de estabilización con cal, debido a que en ambos casos se comprobó la presencia de microorganismos patógenos como *salmonella sp* y *enterobacterias totales*.

CONCLUSIONES

1. El estiércol es el residuo que presenta mayor interés en el sector pecuario por los volúmenes generados y el impacto negativo al ambiente.
2. El volumen de estiércol y lodos generados en el remanso sobrepasa la capacidad instalada para el proceso de estabilización con cal.
3. Los residuos sólidos orgánicos generados en las granjas de cerdos y conejos del remanso, según los resultados de este estudio, son considerados como materias primas para la producción de compost.
4. La aplicación de microorganismos eficientes aerobios permite alcanzar mayores temperaturas en el proceso de compostaje, lo que garantizan la destrucción de microorganismos patógenos como la salmonella y la E. Coli.
5. El material compostado con OIKO BAC-174 alcanzó mayores temperaturas que el tratamiento sin microorganismos eficientes.
6. El actual manejo del estiércol en las granjas de cerdos y conejos del Remanso no permite la eliminación de microorganismos patógenos, es decir, la sanitización del material.

7. El compost con microorganismos eficientes presenta mejores características fisicoquímicas y microbiológicas que el compost sin microorganismos eficientes y la estabilización con cal, según parámetros de la NTC 5167.

8. El compostaje proporciona un mayor porcentaje de rendimientos versus la estabilización con cal.

RECOMENDACIONES

1. Deben mejorarse las condiciones de tratamiento de residuos en las granjas de cerdos y conejos para reducir impactos ambientales negativos y potencializar los aspectos positivos de obtener un compost con valor económico y de utilidad en agricultura.
2. Para obtener un correcto desarrollo del proceso de compostaje deben considerarse la homogenización del material, contenido de humedad y relación carbono y nitrógeno.
3. La presencia de oxígeno se debe controlar durante el proceso de compostaje para el correcto desarrollo del proceso y que se garanticen las condiciones aerobias.
4. Se debe considerar la adición de microorganismos eficientes aerobios como una opción viable para el proceso de compostaje por los mejores resultados que proporciona.
5. Para alcanzar mayores temperaturas en el proceso de compostaje se debe trabajar con una masa crítica que permita que el calor generado por los procesos metabólicos exceda a las pérdidas de calor de las superficies expuestas.

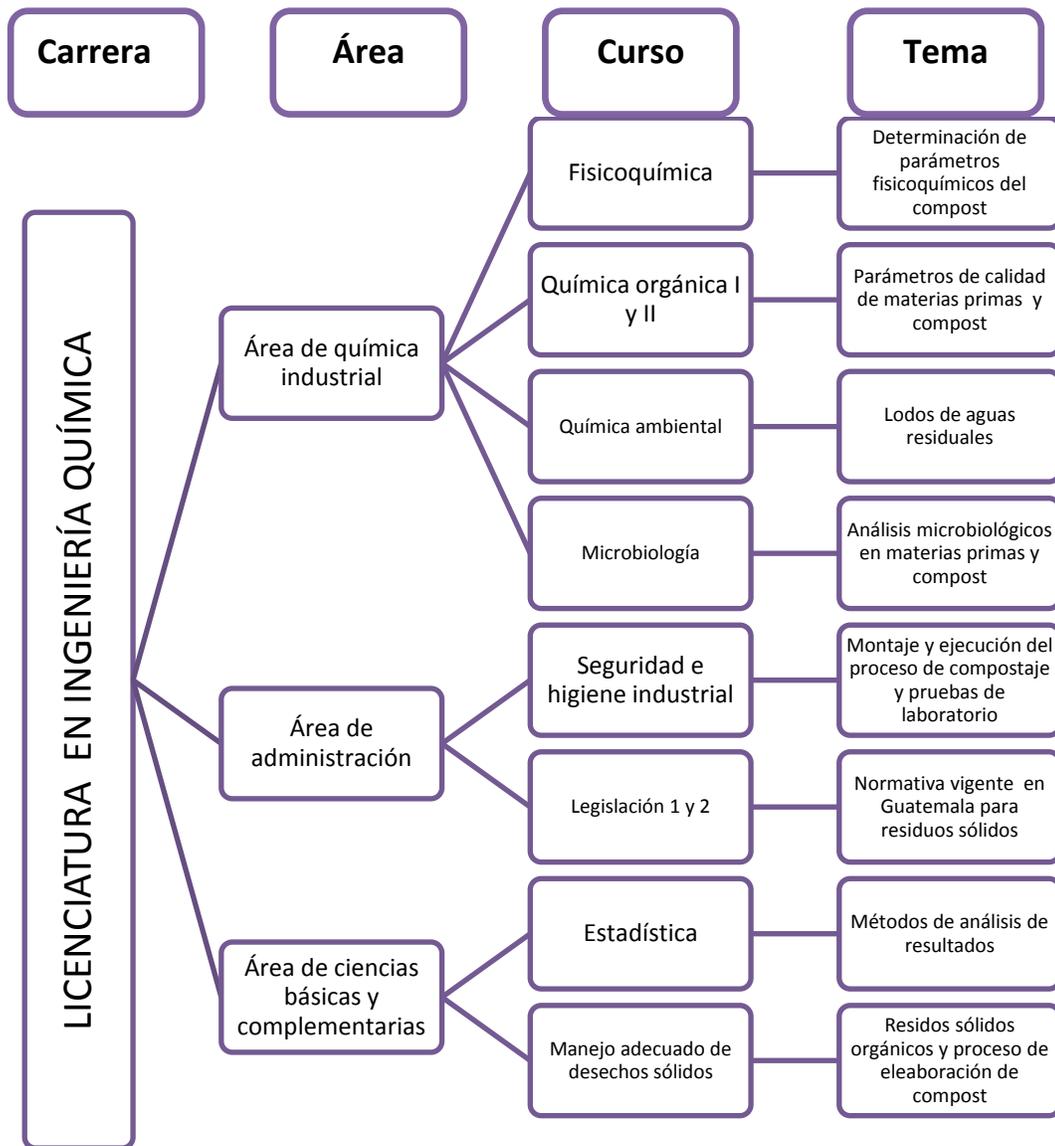
BIBLIOGRAFÍA

1. Consejo de la Comunidad Europea. *Directiva 86/278: Relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura*. Modificación año 2009. p. 17.
2. CORTÁZAR, Gabriel. Revista *Acovez*. *Potencial de las especies menores en Colombia. Situación de la cunicultura en Colombia*. Volumen 37 No. 1. Edición 104. Año 2007. p. 24
3. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. *Decreto 1505 de 2003: Planes de gestión integral de residuos sólidos*. Año 2003. p. 13.
4. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Dirección General Ambiental Sectorial. *Guía ambiental para el subsector porcícola*. Año 2009. p. 20.
5. Norma Técnica Colombiana NTC 1927. *Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas*. Año 2001. p. 12.
6. Norma Técnica Colombiana NTC 5167. *Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo*. Año 2004. p.11.

7. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO. *El conejo, cría y patología*. Roma. Año 1996. p. 5.
8. Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú –APROLAB-. *Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces*. Año 2007. p. 35.
9. Unión Europea. *RealDecreto 324/2000: Normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas*. Año 2000. p.5.
10. Unión Europea. *Real Decreto 1547/2004: Normas de ordenación de las explotaciones cunícolas*. Año 2004. p. 12.

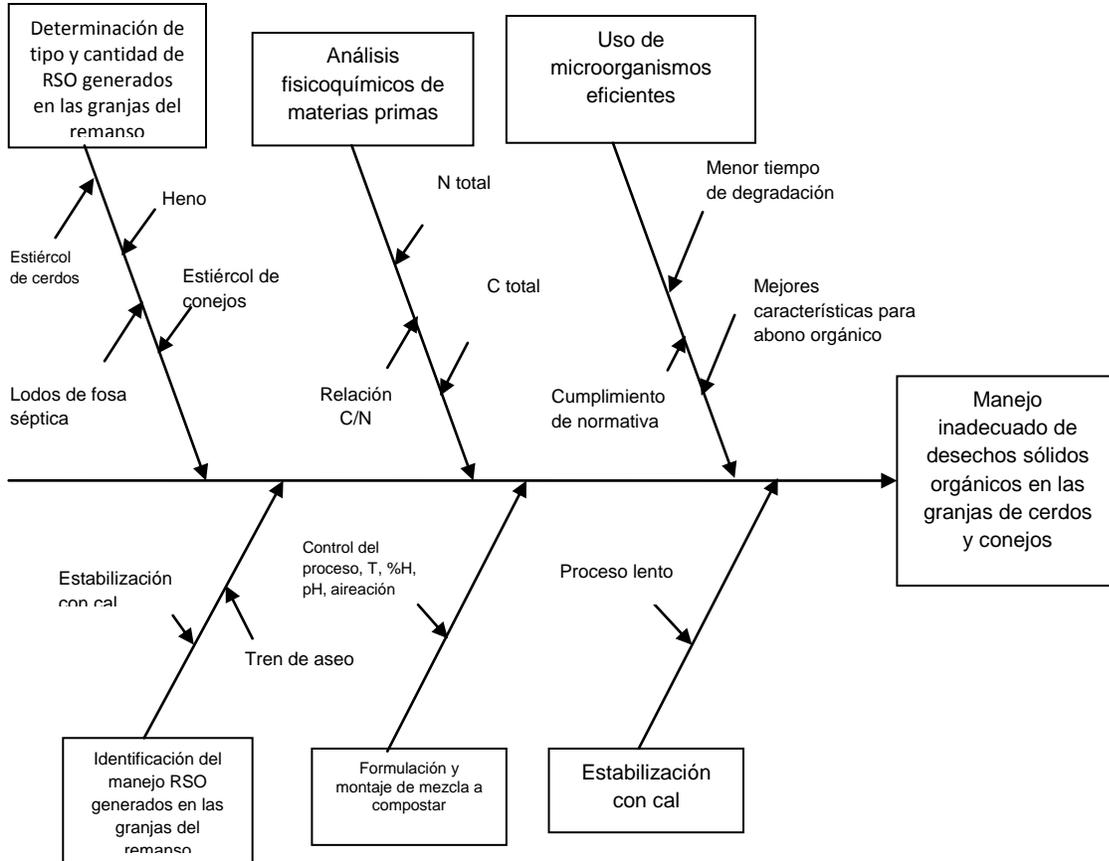
APÉNDICE

Apéndice 1. **Requisitos académicos**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Diagrama de ishikawa



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Cronograma

ACTIVIDAD	Junio				Julio				Agosto				Septiembre				Octubre			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identificación del tema a estudiar		■																		
Identificación de materiales disponibles para materias primas			■	■																
Selección de materias primas			■	■																
Análisis de materias primas			■	■	■															
Montaje de la prueba					■															
Monitoreo del proceso de compostaje					■	■	■	■	■	■	■	■	■							
Etapa de maduración del compost													■	■						
Análisis de calidad del compost																	■	■		
Obtención de resultados y elaboración de informe																	■	■		
Aprobación de informe final																			■	
Entrega de propuesta a unidad el remanso																			■	

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Costos para materia prima y mano de obra**

Cantidad	Reactivo	Descripción	Costo (COP)	Costo (Q.)
1	OIKO BAC-174	10 g/ 1 ton de material	10,000	45
1	Horas hombre	Mano de obra	540,000	2,400
Subtotal			550,000	2,445

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Costos por análisis para caracterización de materias primas y producto final (Laboratorio de Nutrición Animal, UDCA)**

Cantidad	Descripción del análisis	Costo unitario (COP)	Costo (COP)	Costo unitario (Q)	Costo (Q)
16	Materia seca	4500	72000	20	320
16	Humedad	4500	72000	20	320
16	Ceniza	4500	72000	20	320
16	Nitrógeno total	14700	235200	65	1040
Subtotal		28,200	451,200	125	2,005

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Proceso convencional de estabilización con cal**



a) aguas residuales de la granja de cerdos. b) lodos provenientes de fosa séptica. c) recolección de estiércol y lodos. d) adición de cal. e) producto final de estabilización con cal.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

Apéndice 7. **Recolección y pesaje de materias primas para compost**



a) estiércol de cerdo. b) lodos provenientes de fosa séptica. c) aserrín. d) heno. e) pesaje de materias primas

b)

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

Apéndice 8. **Montaje del experimento**



a) primera capa de materiales. b) mezcla de primera capa. c) adición de capas de materiales. d) capas completas de material a compostar.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

Apéndice 9. Mezcla para homogenización del material a compostar



a) Homogenización de material. b) Mezcla con microorganismos eficientes. c) Mezcla testigo sin microorganismos eficientes.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

Apéndice 10. Adición de microorganismos eficientes



a) Producto OIKO-BAC 174. b) Inóculo de microorganismos eficientes. c) Dilución de microorganismos eficientes. e) Adición de microorganismos eficientes a pila de compostaje.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

Apéndice 11. Proceso de producción de compost



a) montaje de la pila de compost. b) colocación de materias primas por capas. c) semana 2 del proceso. d) semana 7 del proceso. e) tamizaje del compost. f) semana 9 producto terminado.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en la unidad el remanso de la U.D.C.A.

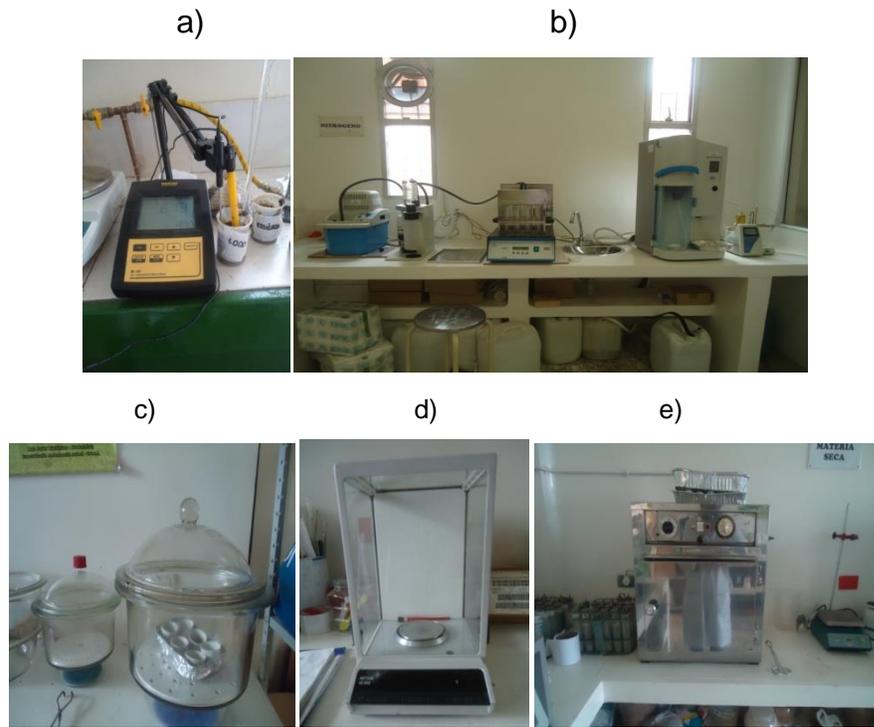
Apéndice 12. Análisis de humedad y materia seca en laboratorio



a) Secado de muestras. b) Pesaje de muestras. c) Molino d) Muestras secas y molidas para analizar.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en laboratorio de nutrición animal de la facultad de zootecnia y medicina veterinaria de la U.D.C.A.

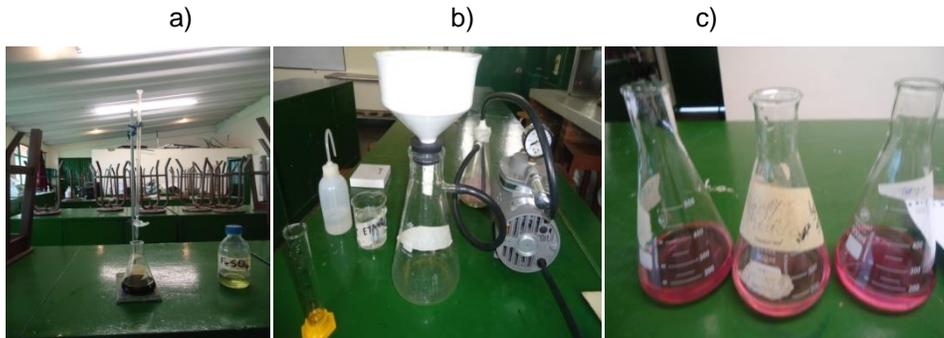
Apéndice 13. **Análisis de pH, N total, ceniza en el laboratorio**



a) Análisis de pH. b) Equipo de análisis de nitrógeno total. c) Desecador. d) Balanza analítica.
e) Mufla.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en laboratorio de nutrición animal de la facultad de zootecnia y medicina veterinaria de la U.D.C.A.

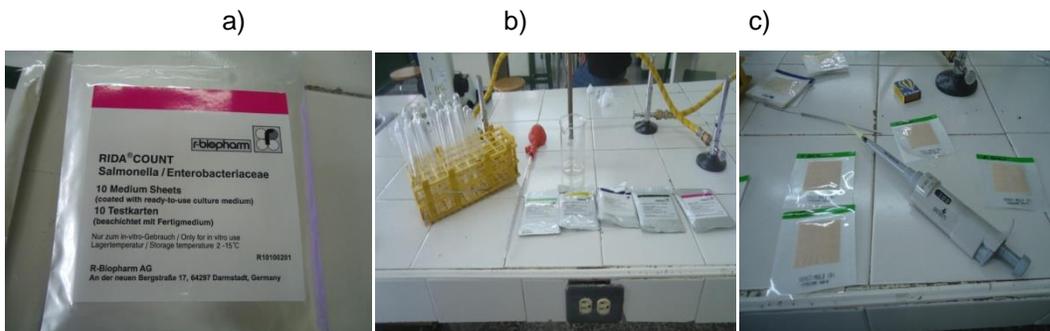
Apéndice 14. Análisis de carbono total y CIC en el laboratorio



a) Análisis de carbono total. b) Preparación de muestra para capacidad de intercambio catiónico. c) Análisis de capacidad de intercambio catiónico.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el laboratorio de suelos de la facultad de agronomía de la U.D.C.A.

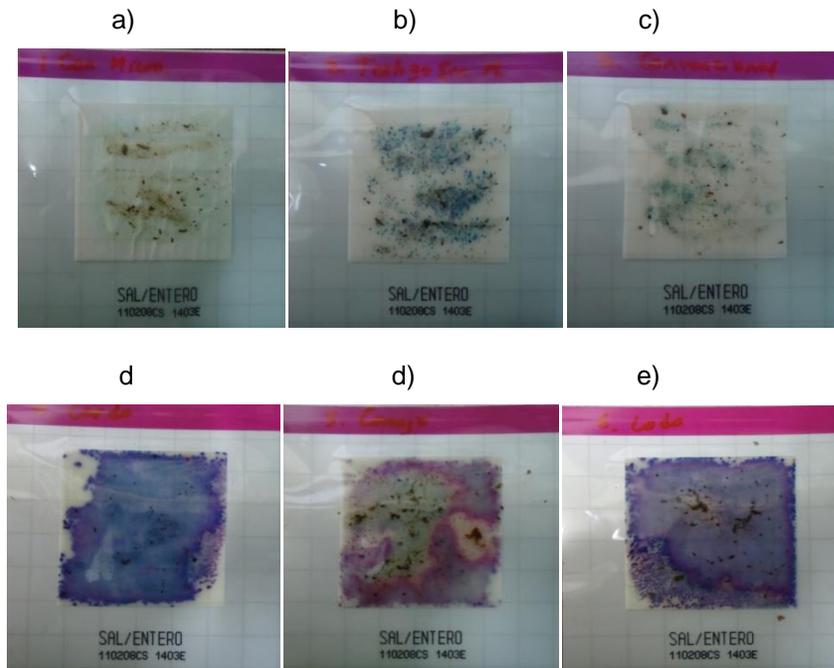
Apéndice 15. Análisis microbiológico del producto terminado y materias primas



a) Kit de análisis microbiológico con biofilm. b) Preparación de muestras. c) siembra de muestras.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el laboratorio de microbiología de la facultad de medicina de la U.D.C.A.

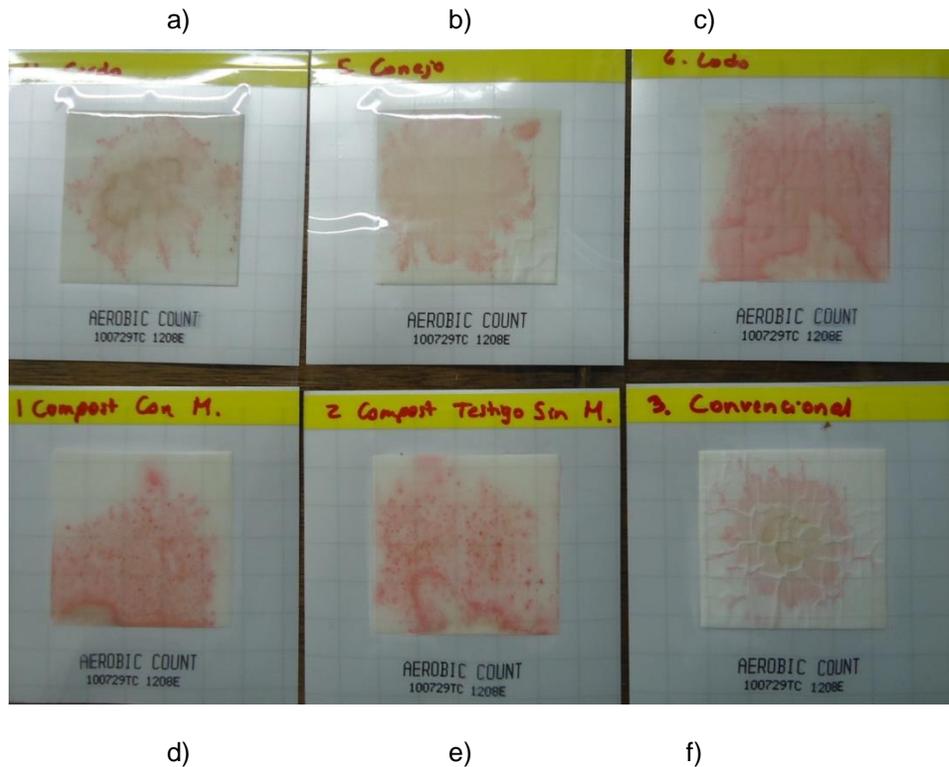
Apéndice 16. **Análisis microbiológico de salmonella y enterobacterias**



a) compost con OIKO BAC-174. b) testigo compost sin microorganismo. c) estiércol estabilizado con cal. d) estiércol de cerdo. e) estiércol de conejo. f) lodo de fosa séptica.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el laboratorio de microbiología de la facultad de medicina de la U.D.C.A.

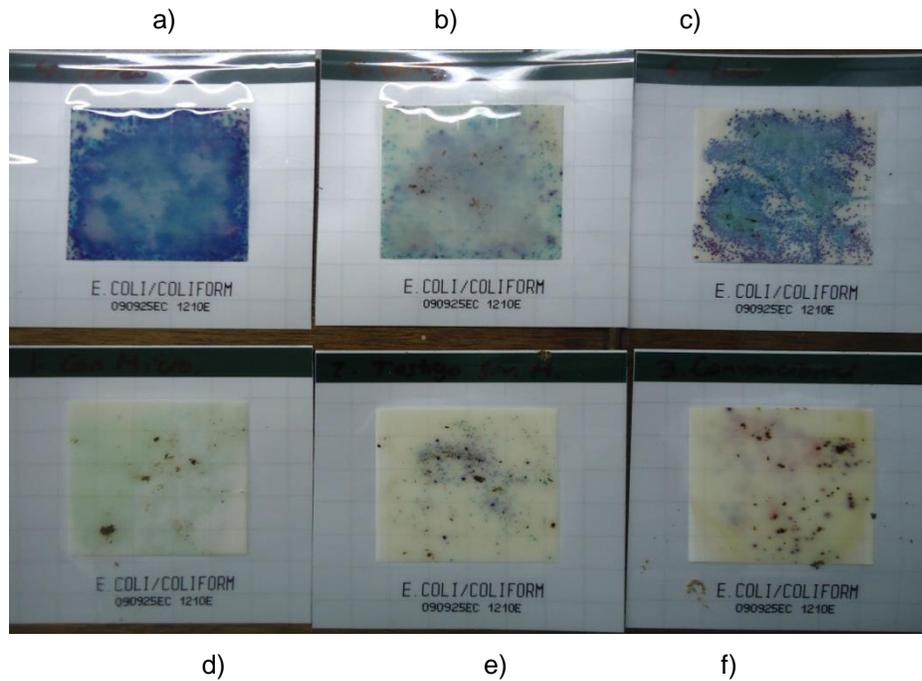
Apéndice 17. Análisis de recuento aeróbico total



a) estiércol de cerdo. b) estiércol de conejo. c) lodo de fosa séptica. d) compost con OIKO BAC-174. e) testigo compost sin microorganismo. f) estiércol estabilizado con cal.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el laboratorio de microbiología de la facultad de medicina de la U.D.C.A.

Apéndice 18. Análisis de E. Coli y Coliformes



a) estiércol de cerdo. b) estiércol de conejo. c) lodo de fosa séptica. d) compost con OIKO BAC-174. e) testigo compost sin microorganismo. f) estiércol estabilizado con cal.

Fuente: elaboración propia. Fotografía tomada en el laboratorio de microbiología de la facultad de medicina de la U.D.C.A.

ANEXOS

Anexo 1. Hoja de seguridad OIKO BAC-174



OIKO-BAC 174

OIKO-BAC 174 es un complejo de microorganismos propios del suelo, que a través de un riguroso proceso de selección han logrado ablar cepas exclusivas y muy activas de bacterias tales como *Bacillus* y *Pseudomonas*, Actinomicetos (*nocardias*) y Hongos como *Saccharomyces* y *Trichoderma*, que interactuando entre sí, permitiendo conseguir diversos efectos a nivel del suelo, como recuperación todo tipo de residuos orgánicos, de la actividad biológica (revitalización) y descomposición de materia orgánica (compostaje) de incluso los muy altos en celulosas y lignina (aserrín).

Los microorganismos del suelo son el aparato digestivo de las plantas, mejorando la disponibilidad de los nutrientes en el suelo, además de proteger las raíces de los microorganismos patógenos.

BENEFICIOS DE OIKO-BAC 174

- 1) Estimula y aumenta la actividad microbiana en el suelo.
Genera una degradación profunda y total del material sometido al compostaje, terminando en un abono orgánico activo y vivo, rico en nutrientes y microorganismos benéficos.
- 2) Acelera el proceso de compostaje.
El proceso de degradación se realiza en un periodo de 8 semanas promedio, dependiendo del origen de los residuos a descomponer y el manejo de la temperatura y la humedad.
- 3) Elimina todos los microorganismos patógenos en el proceso de compostaje.
- 4) Ofrece una solución para el aprovechamiento de la basura doméstica.

COMPOSICION

<i>Bacillus subtilis</i>	350.000.000/g	<i>Bacillus licheniformis</i>	50.000.000/g
<i>Bacillus megaterium</i>	350.000.000/g	<i>Bacillus polymyxa</i>	350.000.000/g
<i>Bacillus macerans</i>	350.000.000/g	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	375.000.000/g
<i>Pseudomonas putida</i>	375.000.000/g	<i>Nocardia coralina</i>	500.000.000/g
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	500.000.000/g	<i>Trichoderma viride</i>	200.000/g



USO Y DOSIS

	Dosis kg/ha	Epocas de aplicación
Revitalización de suelos	1	Agregar a inicio de primavera y en post cosecha
Compostaje	1	Agregar 1 kilo de OIKO-BAC 174 por cada 20 toneladas de compost.

APLICACIÓN

1) Revitalización de Suelos:

Disolver 1 kilo de OIKO-BAC 174 en 100 litros de agua tibia (20 a 25°C), agregar una fuente de Hidrato de Carbono (4 kilos azúcar o melaza), 2 kilos de Nitrógeno y 6 litros de BIO-MAR-15 para el tratamiento de una hectárea de suelo a revitalizar. La mezcla debe agitarse durante media hora, para luego agregar 100 litros de agua adicionales completando así el volumen de aplicación. Inyectar la mezcla final a través del sistema de riego durante el tercio medio del tiempo de riego, es decir, aplicar primero agua, luego la solución y otra vez agua para terminar de incorporar la solución a las raíces.

Disolver y filtrar bien antes de aplicar la mezcla por el sistema de riego. Para suelos orgánicos la solución debe contener 1 kilo de OIKO-BAC 174, 4 kilos de azúcar o melaza, 6 litros de BIO-MAR-15 por hectárea a tratar, eliminando la urea.

La aplicación debe hacerse temprano en la mañana o por la tarde ya que la luz ultravioleta es dañina para los microorganismos.

2) Compostaje:

Disolver 1 kilo de OIKO-BAC 174 en 100 litros de agua tibia (20 a 25°C), agregar una fuente de Hidrato de Carbono (4 kilos azúcar o melaza), 2 kilos de Nitrógeno y 6 litros de BIO-MAR-15 para el tratamiento de 20 toneladas de material orgánico a descomponer. La mezcla debe agitarse durante media hora, para luego agregar 100 litros de agua adicionales completando así el volumen de aplicación. Asperjar la pila de material chiptado para compostar por capas para que quede bien distribuida la mezcla. La aplicación debe realizarse temprano en la mañana o por la tarde ya que la luz ultravioleta es dañina para los microorganismos.

Para llevar a cabo un proceso de compostaje exitoso, es preciso observar las siguientes reglas:

- Relación Carbono Nitrógeno del material orgánico a compostar, debe ser de 25 – 30 : 1, es decir 25 - 30 partes de carbono para cada parte de nitrógeno.



- Humedad de la pila de compostaje debe ser mantenida en un 50% de su capacidad de retención de agua.
- Dimensiones de la pila de compostaje debe tener un cierto volumen mínimo para que se pueda desarrollar el proceso de fermentación a la temperatura adecuada. Se recomienda una base de por lo menos 2,5 metros y una altura mínima de 1 metro.
- Oxígeno, los microorganismos de OIKO-BAC 174 son aeróbicos y requieren un suministro constante de oxígeno, para lo cual es preciso voltear la pila de compostaje, de manera de oxigenarla con cierta frecuencia, inicialmente cada dos días.
- Temperatura, la pila empezará a calentarse muy rápidamente, alcanzando temperaturas e 68 - 70°C al cabo de 24 a 36 horas. Si esto no ocurre el proceso no se estará desarrollando adecuadamente. De la misma manera, debe evitarse temperaturas superiores a 72°C. Al voltear la pila y añadir agua al mismo tiempo se reduce la temperatura automáticamente.

PRESENTACION

Formulación Polvo: envase de 1 kilo.

Anexo 2. Aspectos observados sobre el efecto de los microorganismos eficientes en el proceso de compostaje versus el método convencional

Característica	Compost con microorganismos	Testigo compost sin microorganismos	Estiércol estabilizado con cal
Mal olor	Al inicio y desaparición a la semana 3	Al inicio y desaparición a la semana 4	Constante mal olor hasta final del proceso
Presencia de vectores	Durante cada volteo se observaron moscas e insectos en las primeras 4 semanas	Presencia de moscas	Presencia de moscas
Tiempo de finalización del proceso	9 semanas	9 semanas	15 semanas
Máxima temperatura alcanzada	60 °C	40°C	No se registró
Sanitización del producto final	Análisis microbiológicos muestran ausencia de microorganismos patógenos	Análisis microbiológicos muestran presencia de ciertos microorganismos patógenos	Análisis microbiológicos muestran presencia de ciertos microorganismos patógenos
Presencia de pequeñas setas	Durante la semanas 4 y 5	No se observó	No se observó
Presencia de roedores	No se observó	No se observó	Se observó en conejos
Contenido de organismos benéficos	Análisis microbiológicos muestran mayor presencia organismos benéficos	Análisis microbiológicos muestran menor presencia organismos benéficos	Análisis microbiológicos muestran menor presencia organismos benéficos
Contenido de nutrientes en el producto final	Análisis fisicoquímicos indican mejores características como abono orgánico	Análisis fisicoquímicos indican características aceptables como abono orgánico	Análisis fisicoquímicos indican mejores características aceptables abono orgánico

Fuente: elaboración propia.

Anexo 3. Parámetros de calidad a caracterizar del compost como producto final

Parámetros de calidad del compost	Colombia	Chile	México	Ecuador
	NTC 5167	NCh2880	NTEA-006-SMA – 2006	
Pérdidas por volatilización	% reportar	--	--	--
Contenido de cenizas	máx. 60%	--	--	--
Contenido de humedad	máx. 20%	30%-45% en base húmeda	--	35%-50%
Contenido de carbono orgánico oxidable total (o materia orgánica)	mín. 15%	≥ 20%	>15%	--
Relación C/N	reportar	≤30	< 12	--
Capacidad de intercambio catiónico	mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)	--	--	--
Capacidad de retención de humedad	mínimo su propio peso.	--	--	--
pH	mayor de 4 y menor de 9	5-8.5	6.5-8.0	7-8.3
Densidad	máximo 0,6 g/cm ³	700Kg/m ³	--	550-885 Kg/m ³
Contenido de nitrógeno total	% reportar	>0.5%	--	0.8-1.5%
Salmonella sp	Ausente en 25 g de producto final	3 NMP en 4 g de compost	< 3	--
Enterobacterias totales	menos de 1000 UFC/g de producto final	--	--	--

Fuente: elaboración propia.

