



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

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**INFORME DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL**

MECANISMO: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

TEMA:

**MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS PARA LA
DESCOMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DEL COCO EN EL SITIO
“SOSOTE”, CANTÓN ROCAFUERTE**

AUTORES:

**MACÍAS ALCÍVAR JORGE OMAR
ZAMBRANO GARCÍA ERICK ERNESTO**

TUTOR:

ING. JOSÉ MANUEL CALDERÓN PINCAY, MG.

CALCETA, OCTUBRE 2023


DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Jorge Omar Macías Alcívar con cédula de ciudadanía 1351376957 y **Erick Ernesto Zambrano García** con cédula de ciudadanía 1310705213, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Integración Curricular titulado: **MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DEL COCO EN EL SITIO “SOSOTE”, CANTÓN ROCAFUERTE** es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autores sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



**JORGE OMAR MACÍAS
ALCÍVAR
CC: 1351376957**



**ERICK ERNESTO ZAMBRANO
GARCÍA
CC: 1310705213**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Jorge Omar Macías Alcívar con cédula de ciudadanía 1351376957 y **Erick Ernesto Zambrano García** con cédula de ciudadanía 1310705213, autorizamos a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular titulado: **MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DEL COCO EN EL SITIO “SOSOTE”, CANTÓN ROCAFUERTE**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.



**JORGE OMAR MACÍAS
ALCÍVAR
CC: 1351376957**



**ERICK ERNESTO ZAMBRANO
GARCÍA
CC: 1310705213**

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ing. José Manuel Calderón Pincay, M. Sc., certifica haber tutelado el Trabajo de Integración Curricular titulado: **MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DEL COCO EN EL SITIO “SOSOTE”, CANTÓN ROCAFUERTE**, que ha sido desarrollado por Jorge Omar Macías Alcívar y Erick Ernesto Zambrano García, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. JOSÉ M. CALDERÓN PINCAY, M. Sc
CC: 2300121833
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el Trabajo de Integración Curricular titulado: **MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS PARA LA DESCOMPOSICIÓN DE LA CÁSCARA DEL COCO EN EL SITIO “SOSOTE”, CANTÓN ROCAFUERTE**, que ha sido propuesto y desarrollado por Jorge Omar Macías Alcívar y Erick Ernesto Zambrano García, previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental, de acuerdo al **REGLAMENTO DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE CARRERAS DE GRADO** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. FABRICIO ENRIQUE ALCÍVAR INTRIAGO
MG.
CC: 1308632262
PRESIDENTE DE TRIBUNAL

PHD. EVER DARIO MORALES
AVENDAÑO
CC: 0959966342
MIEMBRO DE TRIBUNAL

ING. MARCOS JAVIER VERA
VERA, MG.
CC: 1313674481
MIEMBRO DE TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Nuestro profundo agradecimiento a Dios, quien nos ha guiado en todo momento y nos ha dado aliento para no desfallecer en las situaciones difíciles que se nos presentaron durante el proceso.

A todas las autoridades y personal que forman parte de la Escuela Superior Politécnica de Manabí Manuel Félix López – ESPAM MFL, a toda la Carrera de Ingeniería Ambiental, a nuestros docentes quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pudiéramos crecer día a día como profesionales

También queremos expresar nuestro más grande y sincero agradecimiento al Mg. José Manuel Calderón Pincay, principal colaborador durante todo este proceso, quien, con su dirección, conocimiento, esfuerzo, persistencia, paciencia, dedicación y enseñanza ha sido fundamental para nuestra formación como investigadores.

Por último, pero no menos importante, agradecemos al Mg. Diego Zambrano, responsable del Laboratorio de Microbiología del Área Agropecuaria, quien creó un ambiente de trabajo agradable, ya que, con su visión, paciencia y optimismo se culminó el trabajo de tesis.

Los autores

DEDICATORIA

El esfuerzo y la dedicación en una carrera profesional es un ejemplo y consecuencia de las personas que están detrás, por ello; el esfuerzo realizado durante este trabajo de tesis va principalmente dedicado a Dios, mi vital fuente espiritual. Seguidamente a mis padres, quienes desde niño han fomentado en mí grandes valores y me han brindado la oportunidad de recibir los mejores estudios, tanto en la primaria como en esta etapa universitaria; su apoyo moral y económico fue vital para culminar con éxito mi carrera profesional. A mi esposa Melanie Mero por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso. A mi pequeña hija Scarlett, a mis hermanas, y demás familiares que con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis proyectos y metas.

Jorge Omar Macías Alcívar

La culminación de esta maravillosa etapa se la dedico a dos personas de vital importancia para mí: Grisa y Jennifer, que con su permanencia incondicional hicieron mis días más llevaderos y me incentivan cada día a trascender como persona y profesional.

Erick Ernesto Zambrano García

CONTENIDO GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN	iii
CERTIFICACIÓN DE TUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
CONTENIDO GENERAL.....	viii
CONTENIDO DE TABLAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
1. CAPÍTULO I. ANTECEDENTES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2. JUSTIFICACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	5
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.4. HIPÓTESIS	5
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. RESIDUOS SÓLIDOS.....	6
2.1. TIPOS DE RESIDUOS.....	6
2.2.1. RESIDUOS AGRARIOS	7
2.2. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS.....	8
2.3. PROBLEMA DE LOS RESIDUOS AGRARIOS	9
2.4. COCO	9
2.5.1. Cocos nucifera.....	10
2.5.2. PRODUCCIÓN DEL COCO.....	10
2.5.3. RESIDUOS DE LA COSECHA	11
2.5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁSCARA DEL COCO	11
2.5. BIOMASA CELULOLÍTICA	12
2.6. ACTIVIDAD CELULOLÍTICA DE MICROORGANISMOS.....	13
2.7.1. HONGOS CON CAPACIDAD CELULOLITICA	13
2.7.2. BACTERIAS CELULOLÍTICAS.....	14

2.7.	APLICACIÓN DE SISTEMAS CELULOLÍTICOS.....	15
3.	CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	17
3.1.	UBICACIÓN.....	17
3.2.	DURACIÓN.....	17
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	18
3.4.	MÉTODOS.....	18
3.5.	TÉCNICAS.....	18
3.6.	UNIDAD EXPERIMENTAL.....	19
3.7.	VARIABLES A MEDIR	19
3.7.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	19
3.7.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	19
3.8.	FACTORES EN ESTUDIO.....	19
3.9.	MANEJO DEL EXPERIMENTO	21
	FASE 1. DIAGNOSTICAR SOCIO-AMBIENTALMENTE EL SECTOR PRODUCTIVO DE COCO EN EL SITIO SOSOTE.....	21
	FASE 2. PLANTEAMIENTO DE LOS EXPERIMENTOS CON LOS MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS SELECCIONADOS	23
	FASE 3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD DE LOS COMPONENTES CELULOLÍTICOS DE LA FIBRA DE COCO.....	25
3.10.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	27
4.	CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1.	DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL SECTOR PRODUCTIVO DE COCO EN EL SITIO SOSOTE.....	28
4.2.	PLANTEAMIENTO DE LOS EXPERIMENTOS CON LOS MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS SELECCIONADOS	32
4.3.	DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD DE LOS COMPONENTES CELULOLÍTICOS DE LA FIBRA DE COCO.....	48
5.	CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA	55

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 3.3. Preguntas a realizar en la entrevista a productores de coco	21
Tabla 3.4. Peso promedio de la cáscara de coco por unidades	22
Tabla 3.5. Control de variables en pilas de compostaje	25
Tabla 4.1. Resultados de la determinación de la línea productiva de coco	29
Tabla 4.2. Peso promedio de la cáscara de coco por unidades	31
Tabla 4.3. Resultados del análisis bromatológico de la fibra de coco	31
Tabla 4.4. Cepas de bacterias sembradas en laboratorio	32
Tabla 4.5. Cepas de hongos sembradas en laboratorio	33
Tabla 4.6. Proceso de acondicionamiento de la materia prima	34
Tabla 4.7. Proceso de preparación de pilas de compostaje	36
Tabla 4.8. Control del pH de las pilas	38
Tabla 4.9. Control de temperatura de las pilas.....	39
Tabla 4.10. Control de la conductividad eléctrica de las pilas	40
Tabla 4.11. Control de humedad de las pilas	41
Tabla 4.12. Valores de la relación C/N de las pilas de compostaje	42
Tabla 4.13. Cuadro de Análisis de la Varianza del pH de las pilas antes de la adición de microorganismos.....	43
Tabla 4.14. Prueba de Tukey para el parámetro pH antes de la adición de microorganismos.....	43
Tabla 4.15. Cuadro de Análisis de la Varianza del pH de las pilas después de la adición de microorganismos.....	43
Tabla 4.16. Prueba de Tukey para el parámetro pH después de la adición de microorganismos.....	43
Tabla 4.17. Cuadro de Análisis de la Varianza de temperatura de las pilas antes de la adición de microorganismos	44
Tabla 4.18. Prueba de Tukey para el parámetro temperatura antes de la adición de microorganismos.....	44
Tabla 4.19. Cuadro de Análisis de la Varianza de temperatura de las pilas después de la adición de microorganismos.....	45
Tabla 4.20. Prueba de Tukey para el parámetro temperatura después de la adición de microorganismos.....	45
Tabla 4.21. Cuadro de Análisis de la Varianza de conductividad eléctrica de las pilas antes de la adición de microorganismos	45
Tabla 4.22. Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica antes de la adición de microorganismos	46
Tabla 4.23. Cuadro de Análisis de la Varianza de conductividad eléctrica de las pilas después de la adición de microorganismos	46
Tabla 4.24. Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica después de la adición de microorganismos.....	46
Tabla 4.25. Cuadro de Análisis de la Varianza de humedad de las pilas antes de la adición de microorganismos	47
Tabla 4.26. Prueba de Tukey para el parámetro humedad antes de la adición de microorganismos.....	47

Tabla 4.27. Cuadro de Análisis de la Varianza de humedad de las pilas después de la adición de microorganismos.....	47
Tabla 4.28. Prueba de Tukey para el parámetro humedad después de la adición de microorganismos.....	47
Tabla 4.29. Evaluación del crecimiento de microorganismos inoculados	48
Tabla 4.30. Longitudes de raíces de rábano medidas por pilas	50
Tabla 4.31. Medición de raíces en semillas de rábano germinadas	51
Tabla 4.32. Datos para el cálculo del índice de germinación	51
Tabla 4.33. Valores del índice de germinación obtenido por pilas.....	52

CONTENIDO DE FIGURAS Y GRÁFICOS

Figura 3.1. Ubicación del sitio Sosote	17
Figura 4.1. Ubicación de las 5 fincas cocoteras consideradas en el estudio...	28
Gráfico 4.1. pH de las pilas de compostaje	39
Gráfico 4.2. Temperatura de las pilas de compostaje.....	40
Gráfico 4.3. Conductividad eléctrica de las pilas de compostaje	41
Gráfico 4.4. Humedad de las pilas de compostaje	42
Gráfico 4.5. Longitud promedio de raíces de rábano empleadas en prueba de fitotoxicidad.....	50
Gráfico 4.6. Porcentaje del índice de germinación por pila de compostaje.....	52

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación 3.1. Peso de residuos de coco	22
Ecuación 3.2. Índice de germinación expresado en porcentaje.....	26
Ecuación 3.3. Porcentaje de germinación relativo.....	26
Ecuación 3.4. Crecimiento de radícula relativo	27

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue la de establecer un sistema de degradación con microorganismos celulolíticos para el aprovechamiento de los residuos del coco del sitio “Sosote”, cantón Rocafuerte para lo cual se efectuó un diagnóstico socioambiental del sector productivo de coco, se plantearon experimentos con microorganismos celulolíticos y se determinó el porcentaje de degradabilidad. La investigación fue experimental desarrollada en dos fases una de laboratorio y una de campo. Como resultados se tiene que la determinación de la línea productiva de coco en Sosote evidencia que el 100% de los productores son hombres con un rango de edad de entre 30 a 50 años, dedicándose desde hace 10 años a la producción de coco; un 80% produce mensualmente entre 5000 a 10000 cocos, con áreas de producción que va entre 2 a 6 hectáreas, con aproximadamente 2000 plantas/Ha. El crecimiento de los microorganismos *Bacillus* y *Trichoderma* fue positivo en los medios de cultivo preparados, por tal razón se emplearon para adicionar en las pilas de compostaje a las cuales se monitorearon pH (7,35 a 7,62), temperatura (30-32°C), conductividad eléctrica (131,37-148,23 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y humedad (35 al 39%); la mejor relación C/N fue para los T1 (29,17%) y T2 (26,92%), la Pila 1 (cáscara de coco molido/recortado + gallinaza + 400 mL de microorganismos diluidos) presentó el mejor promedio en el crecimiento de raíz con un valor de 8,39 cm y también fue el mejor tratamiento empleado con 91,77% en el índice de germinación.

PALABRAS CLAVE

Material celulítico, *Bacillus*, *Trichoderma*, Sosote, coco

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to establish a degradation system with cellulolytic microorganisms for the use of coconut residues from the "Sosote" site, Rocafuerte canton, for which a socio-environmental diagnosis of the coconut production sector was carried out, experiments were proposed. with cellulolytic microorganisms and the percentage of degradability was determined. The research was experimental developed in two phases, one in the laboratory and one in the field. As results, the determination of the coconut production line in Sosote shows that 100% of the producers are men with an age range of between 30 and 50 years, dedicating themselves to coconut production for 10 years; 80% produce between 5,000 and 10,000 coconuts per month, with production areas ranging from 2 to 6 hectares, with approximately 2,000 plants/Ha. The growth of *Bacillus* and *Trichoderma* microorganisms was positive in the prepared culture media, for this reason they were used to add to the composting piles to which pH (7.35 to 7.62), temperature (30-32°C) were monitored.), electrical conductivity (131.37-148.23 $\mu\text{S/cm}$) and humidity (35 to 39%); the best C/N ratio was for T1 (29.17%) and T2 (26.92%), Stack 1 (ground/trimmed coconut shell + chicken manure + 400 mL of diluted microorganisms) presented the best average in the root growth with a value of 8.39 cm and it was also the best treatment used with 91.77% in the germination index.

KEY WORDS

Cellulite material, *Bacillus*, *Trichoderma*, Sosote, coconut

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

A nivel mundial, cerca del 46% del total de residuos sólidos están conformados por una fracción orgánica (Porras y González, 2016). En algunos países de Latinoamérica tales como Colombia, Venezuela, México, Ecuador, Cuba, Chile y Brasil no se gestionan adecuadamente los residuos agrícolas (Salgado, 2020), lo que provoca efectos nocivos al medio ambiente debido a la quema de biomasa. Asimismo, los humos de la combustión de la biomasa contienen dióxido de nitrógeno, partículas en suspensión, dióxido de azufre e hidrocarburos, todo el cóctel de agentes contaminantes afecta la salud de las personas generando enfermedades pulmonares (Pérez *et al.*, 2018).

La celulosa es el principal componente de la biomasa y es uno de los polímeros más importantes de la Tierra en términos de producción anual (Galván, 2018). Sin embargo, debido a la propia estructura de la celulosa y su unión a otros polímeros como la lignina y la hemicelulosa, su degradación es difícil (Moya, 2013), lo cual lo convierte en un problema de alto impacto ambiental debido a su lenta degradación que se traduce a pérdida de espacio físico, impacto paisajístico, generación de plagas (Gaitán y Pérez, 2016). Por tal razón se utilizan microorganismos celulolíticos como las bacterias, hongos y actinomicetes que poseen la maquinaria enzimática necesaria para dicho propósito (Nacimba *et al.*, 2018).

En el Ecuador existe una gran producción de coco, cuya problemática luego de la cosecha es la excesiva acumulación de cáscaras (Burgos y Jaramillo, 2015). Esta producción se centra en la región Costa con aproximadamente un 85%, tanto en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro (Delgado *et al.*, 2020). El país cuenta con zonas potenciales para un cultivo eficiente de coco, sin embargo, no aprovecha todos los elementos constituyentes del mismo y carece de una agroindustria que utilice los desechos que se generan, para transformarla en un producto sustentable de un material con mayor valor agregado.

El sector cocotero representa uno de los sectores agrícolas que ayuda a sostener la economía de la provincia de Manabí, sin embargo, presenta debilidades en su gestión productiva y de comercialización, además de la nula gestión de los residuos de la producción del coco la cual se visualiza de forma general en la provincia (Delgado *et al.*, 2020). La utilización de microorganismos con actividad celulolítica representa una de las opciones con mayor viabilidad en la solución de esta problemática ya que el costo de inversión es bajo y se puede aprovechar para los cultivos por su alto contenido nutricional (Gaitán y Pérez, 2016).

En el sitio “Sosote” cantón Rocafuerte es frecuente observar una gran acumulación de cáscaras de coco como desechos, los cuales generan numerosos problemas, destacando la proliferación de insectos y roedores convirtiéndose en vectores de enfermedades, la contaminación del aire por emisión de gases producto de la descomposición de la materia orgánica (metano, dióxido de carbono, otros), deterioro de la salud de la población localizada en los alrededores de los botaderos o sitios de acumulación y la afectación al paisaje (Cabrera y Espinoza, 2021). Por esta razón, se ha visto la necesidad de establecer una alternativa para aprovechar los residuos del coco a través de un sistema biológico que degrade la fibra del mismo.

Con estos antecedentes se plantea la siguiente interrogante ¿Los microorganismos celulolíticos *Bacillus* y *Trichoderma* degradarán los componentes celulolíticos de las cáscaras de coco en el sitio Sosote, cantón Rocafuerte?

1.2. JUSTIFICACIÓN

En los países subdesarrollados y en vías de desarrollo los residuos del coco son comúnmente abandonados en vertederos o reducidos a cenizas, provocando la contaminación del entorno (Trujillo, 2021). Por eso puede afirmarse que son muy poco explotadas las amplias posibilidades de aprovechamiento de estos materiales y es insuficiente su revalorización (Cabrera, 2016). Aguilar (2022) señala que la fibra de la cáscara del coco puede ser utilizada como sustrato para plántulas y de esta manera aprovechar los nutrientes y la energía contenida en ellos.

Desde la teoría, se conoce que el crecimiento del sector agrícola en los últimos años tiene consecuencias notables, la generación elevada de residuos constituye un desafío ambiental ya que la mayoría de los residuos no son tratados, llevando al crecimiento de microorganismos patogénicos y la generación de gases efecto invernadero (Gutiérrez *et al.*, 2019). Por esta razón crece la necesidad de evaluar la capacidad celulolítica de algunos géneros de hongos filamentosos como *Rhizopus* para producir celulasas en residuos agrícolas y de esta manera optimizar el tiempo de degradación (Rodríguez, 2020).

Desde el punto de vista legal, la investigación se ampara en la Constitución de la República del Ecuador (2008) en el artículo 14, en el que el *sumak kawsay*, también conocido como buen vivir, implica el derecho de la población a vivir en un ambiente equilibrado ecológicamente y saludable que asegure la sostenibilidad y una vida digna. Además, declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados, de igual forma, se fundamenta en el artículo 410, en el que se declara que el Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que protejan y promuevan la soberanía alimentaria.

Según el Código Orgánico del Ambiente en el art. 573.- hace mención a la gestión integral de residuos y desechos se indica en el apartado, también promueve la investigación científica en los centros especializados, institutos e instituciones de educación superior del país sobre el manejo de residuos y desechos”.

Por lo antes expuesto en el ámbito ambiental, se presenta la necesidad de establecer un sistema biológico con microorganismos productores de la enzima celulasa para degradar con mayor eficiencia y en menor tiempo la estructura de la cáscara del coco con fines de aprovechamiento y reincorporación al círculo productivo agrícola, con lo cual se busca mejorar los procesos de gestión de residuos orgánicos y apoyar en la reducción del impacto ambiental, económico y social que provoca el carente conocimiento de las alternativas de aprovechamiento a estos residuos presentes en el sitio “Sosote”.

La importancia del tema de investigación radica en degradar la cáscara y desperdicios del coco como alternativa de valorización de residuos, por lo que se considera su realización provechosa en el aspecto social y económico, ya que se acrecentaría la oferta de trabajo rural y se lograría disponer de materia prima de un desecho no utilizado.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer un sistema de degradación con microorganismos celulolíticos para el aprovechamiento de los residuos del coco del sitio “Sosote”, cantón Rocafuerte.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar socio-ambientalmente el sector productivo de coco en el sitio Sosote.
- Plantear los experimentos con los microorganismos celulolíticos *Bacillus* y *Trichoderma* seleccionados.
- Determinar el porcentaje de degradabilidad de los componentes celulolíticos de la fibra de coco.

1.4. HIPÓTESIS

Los microorganismos celulolíticos *Bacillus* y *Trichoderma* empleados en sistemas biológicos degradan los componentes celulolíticos de la cáscara de coco en un 45%.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. RESIDUOS SÓLIDOS

Al comentar sobre residuos García *et al.* (2019), refieren a todo producto residual generado por determinada actividad, por la intervención directa del hombre o por las actividades desarrolladas por otros organismos vivos, los residuos se acumulan en el medio ambiente ya sea por la velocidad con la que se generan, como por la naturaleza química de estos, hace que se dificulte su descomposición e incorporación a los ciclos naturales, encabezando a ser un problema ambiental, sin embargo, con conciencia y ética humanista, se puede minimizar la generación de los residuos (Cieza, 2017).

2.1. TIPOS DE RESIDUOS

Los tipos de residuos son las distintas modalidades de residuos que se originan en hogares, comercios e industrias y que tienen efecto en el medioambiente, según su procedencia e impacto pueden ser clasificados, los tipos de residuos atendiendo a distintas clasificaciones hace que podamos establecer tres grupos principales en los que englobarlos: en peligrosos, urbanos y otros residuos de manejo especial (López, 2018).

Seguí *et al.* (2018) mencionan que, en el año 2015, el sector de servicios produjo una cantidad total de 5,7 millones de toneladas de desechos, que se dividen en 5,4 millones de toneladas de desechos no peligrosos y 0,3 millones de toneladas de desechos peligrosos. Los tipos más importantes de desechos generados por este sector son “Papel y cartón” (1249.500 t), “Animales y vegetales” (1170000 t) y “Residuos mixtos” (1020100 t), que representan el 60% del total.

Triviño *et al.* (2021) consideran que los residuos mal gestionados tienen un impacto negativo en el medio ambiente; dado que son globalmente responsables de más del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero del planeta, principalmente en forma de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), siendo necesario buscar usos alternativos que permitan un manejo y eliminación

eficiente de productos químicos, nutrientes y combustibles esenciales para la humanidad, además de crear una economía sostenible y circular basada en la biología y contribución a la conservación de la naturaleza.

2.2.1. RESIDUOS AGRARIOS

La cantidad de residuos y subproductos que se generan en los procesos de transformación de la industria alimentaria o de la actividad agrícola es enorme (Cartay et al., 2023). Por un lado, están los residuos agrícolas como paja, cebada, trigo, avena, rastrojos de maíz, cascarilla de arroz, restos de poda y material compostable verde generado en viveros, cuyos desechos o subproductos tienen poco o ningún valor económico, en el mejor de los casos se utilizan como alimento para animales y en el peor de los casos se queman de forma incontrolada, provocando una contaminación nociva al ambiente (Contreras, 2017).

Es una de las principales preocupaciones actuales la explotación integral de los recursos agrícolas y su manejo sostenible, entre estos residuos destacan los procedentes de plantas y, más concretamente, de sus frutos, que, atribuido a su composición, poseen una elevada capacidad antioxidante (Peñalver, 2019). También la biomasa tiende a ser un gran depósito de energía (Lucas *et al.*, 2012; Fundación ENDESA, 2022).

Frente a otras actividades económicas, una de las características del sector agrario radica en la gran diversidad de materiales y sustancias que se transforman, en restos y residuos, como los envases de productos fitosanitarios siendo considerados peligrosos; los materiales plásticos empleados en actividades de invernadero o los orgánicos tales como estiércol y orines del sector ganadero (Gobierno de España, 2012).

Por otro lado, los cocos son recursos que se producen principalmente en sectores costeros, pero la cáscara del fruto no es aprovechada debido al desconocimiento de su utilidad, puesto que los productores desconocen su utilidad para la fabricación de algunas partes de automóviles y otros insumos (Quito, 2016)

2.2. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS AGRÍCOLAS

De acuerdo a Pérez *et al.* (2020) la biomasa generalmente necesita de procesos de transformación para su uso final como energía útil (calor, electricidad, o combustibles). Dependiendo del tipo de biomasa (composición química, contenido en humedad, etc.) y los objetivos del aprovechamiento energético, las transformaciones pueden ser de muy diversa índole (Soria, 2020), estas transformaciones pueden dividirse en cuatro grandes grupos:

- **Procesos físicos/mecánicos:** Operaciones básicas destinadas a modificar las propiedades físicas del material aplicando energía mecánica. Se incluyen procesos de limpieza y separación, procesos de desinfección, procesos de molienda, y procesos de extracción directa.
- **Procesos termoquímicos:** Operaciones de transformación mediante la acción de altas temperaturas con transferencia de energía calorífica. Se producen transformaciones químicas del sustrato biomásico por efecto de la temperatura.
- **Procesos químicos:** En los cuales se produce la transformación del material biomásico mediante operaciones con agentes químicos. Suele implicar modificaciones de la composición química de los sustratos, generalmente mediante reacciones químicas, con o sin catalizador.
- **Procesos biotecnológicos:** En los cuales se produce la transformación del material biomásico mediante operaciones con agentes biológicos. Procesos de fermentación y degradación (digestión), gobernados por enzimas y/o microorganismos, donde las moléculas complejas que constituyen la biomasa se convierten en otras más simples, con mayor densidad energética.

2.3. PROBLEMA DE LOS RESIDUOS AGRARIOS

Según el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Ecuador (2012) menciona que la mala gestión de los residuos agrarios genera un impacto ambiental negativo en el ecosistema, deteriorándolo progresivamente, debido a acciones como las siguientes:

- Los residuos sólidos agrícolas son quemados a cielo abierto, lo que genera emisiones de gases efecto invernadero.
- Los restos de podas y limpieza de cultivos son abandonados en el suelo, convirtiéndose en un foco de propagación de plagas, enfermedades y vectores como roedores e insectos.
- La emisión de efluentes sólidos y líquidos tiene un efecto negativo en el agua y suelo puesto que terminan contaminando estos recursos.
- La disposición inadecuada de residuos especiales como los metálicos que, contienen metales pesados como el mercurio, plomo o cromo, contaminan todo a su paso por las cadenas tróficas.

2.4. COCO

Según Estupiñan y Sánchez (2019) consideran el coco (*Cocos nucifera*) es una fruta comestible obtenida del cocotero, la palma de coco es una de las plantas más cultivadas en la costa pacífica, su fruto está cubierto de fibras de 20 a 30 cm de longitud, el cocotero tiene muchos usos potenciales a nivel industrial muy diversos, de hecho, los beneficios se pueden obtener desde la raíz hasta las hojas, sin embargo, el uso principal es en el fruto: jugo, carne, corteza y cáscara.

Su forma es ligeramente redondeada, presenta una cáscara externa, correosa o fibrosa, de 4 o 5 cm de espesor, algunos con pelos o fibras fuertemente adheridas a la nuez (Flores y Simaluisa, 2022). A continuación, viene una capa fina en el medio y otra capa más dura, con tres agujeros muy juntos, dispuestos en forma de triángulo y situados en la parte superior. Uno de estos agujeros es susceptible a la presión, por donde puede salir el jugo del coco antes de romper

la cáscara, y donde se almacenan las semillas, aunque en realidad las semillas están enteras. (Baque, 2015). A continuación, se presentan las características del coco, cuyos datos corresponden a estudios de InfoAgro (2023):

- **Tamaño y peso:** Es una nuez cubierta de fibra, que mide de 20 a 30 cm y pesa hasta 2,5 kg.
- **Color:** La parte exterior es de color amarillo, naranja o gris, la pulpa es la parte comestible que es blanca.
- **Sabor:** intenso y muy placentero; dependiendo de la especie de cocotero.

2.5.1. Cocos nucifera

El cocotero (*Cocos nucifera*) es una especie de palmera de la familia *Arecaceae*. Es monotípica, siendo su única especie *Cocos nucifera* (Jardín Botánico de Santiago, 2022). Este género alguna vez tuvo muchas especies que se fueron independizando de este género, algunas hacia el género *Syagrus*, taxonómicamente hablando, las especies más próximas son *Jubaeopsis caffra* de Sudáfrica y *Voanioala gerardii* de Madagascar (Cañizo, 2011).

La variedad *Cocos nucifera* L., es considerada una fruta tropical de aspecto redondeado cuyas dimensiones oscilan entre 20 a 30 cm, pudiendo alcanzar pesos de hasta 2,5 kg. El fruto del cocotero consta de una capa exterior o cáscara blanda o leñosa. La piel del medio del fruto tiene tejido fibroso resistente y representa el 35% del total del fruto, en la parte más interna se encuentra lo que se llama parte endocrina. Rodea la semilla, a menudo llamada cubierta de la semilla (Vaca-Cárdenas *et al.*, 2021).

2.5.2. PRODUCCIÓN DEL COCO

En el Ecuador, la producción de coco con mayor extensión se da en el perfil costero abarcando las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas, Los Ríos y El Oro, donde se ubica el 85% del total cultivado, lo que evidencia que el país cuenta con zonas potenciales para un cultivo eficiente de coco (Delgado *et al.*, 2020).

Dueñas y Macías (2018) comentan que el último censo agropecuario reflejó apenas 1.212 hectáreas para la producción de coco en la provincia de Manabí; pero considerando que tiene posibilidades favorables de aumentar esa cantidad por las condiciones de suelo existentes principalmente en las zonas playeras de la provincia.

2.5.3. RESIDUOS DE LA COSECHA

Desamparados *et al.* (2022) mencionan que, en la actualidad, de los residuos agroindustriales del coco sólo se aprovechan el 17% de la cubierta y parte media de los cocos, siendo el 83% restante considerado como residuo. Castro *et al.* (2020) mencionan que la actividad de producción de coco genera residuos celulósicos con alto contenido de lignina, siendo complicada su disposición final y degradación en el tiempo sin que se vea afectado el entorno, por lo que los productores no lo gestionan de forma adecuada.

Vaca *et al.* (2020) expresan que la acumulación de los desechos generados por la producción de coco se convierte en un grave problema, causando proliferación de insectos, presencia de roedores, que perjudican la salud de la población y generan contaminación visual, esta fibra de coco es extraída de la parte externa del fruto del coco conocida como cubierta, la fibra del coco llamada bonote, la cual está compuesta por tres tipos de fibras: Una larga y fina conocida como esteras, una tosca llamada fibra de cerda y una más corta denominada fibra para colchones, la fibra de coco se encuentra entre la capa dura externa llamada epicarpio y la interna llamada endocarpio, miden hasta 35 cm de largo y un diámetro aproximado de 12 a 25 micras.

2.5.4. CARACTERÍSTICAS DE LA CÁSCARA DEL COCO

Según Fonseca y Monroy (2022) la fibra de coco se considera una de las fibras más duras y tiene la longitud más corta en comparación con otras fibras vegetales. El diámetro medio de las fibras es de 1 mm y su longitud mide de 15 a 30 cm, las fibras obtenidas del coco se componen principalmente de lignina, celulosa y hemicelulosa, los componentes que le confieren sus propiedades de absorción y retención de agua; la composición química de la fibra de coco

depende en gran medida del nivel de madurez de la fruta, la variedad y el lugar de cultivo.

Vaca *et al.* (2021) explican que la capacidad de elongación de la fibra le confiere diversas aplicaciones en campos como: construcción, química analítica, tratamiento de efluentes industriales, y medios hidropónicos debido a que es una fuente valiosa de minerales, sobre todo de Potasio (K^+) y Cloro (Cl^-), hay 3 tipos principales: alfombra de fibra o fibra de cabello (largo y liso), más grueso y fibra para colchón que son fibras más cortas. Comparando la fibra de coco con otro tipo de fibras duras, se puede mencionar que es relativamente corta, sus células fibrosas miden aproximadamente 1 mm de longitud, en lugar de un promedio de 2,5 mm en el caso de las células del coco y 4,9 mm en el caso de las fibras duras. de bonote. de ábaco. esas cosas; las células de la fibra de coco tienen un diámetro promedio de 15 micrones y un haz de fibras puede contener de 30 a 300 células o más.

2.5. BIOMASA CELULOLÍTICA

Afanasjeva *et al.* (2017) expresan que la lignocelulosa es el principal componente mayoritario de la biomasa, representa la fuente orgánica más económica, abundante y renovable del mundo, los residuos agrícolas, compuestos principalmente de raíces, hojas, tallos u otras partes de plantas, son una fuente de biomasa lignocelulósica, que a menudo se desecha y no se trata.

La celulosa es el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza y en términos de producción anual es uno de los polímeros más importantes del planeta: además, es de gran importancia a nivel biológico e industrial, es el componente principal de la mayoría de fibras naturales como: lino de algodón, cáñamo, yute, sisal, etc. (Sanz, 2014).

En general, la madera, dependiendo de su peso, se compone de un 20 a un 40% de lignina, de un 30 a un 50% de celulosa, de un 9 a un 28% de pentosano y de un 0,2 a un 20% de extracto, variando las cantidades entre coníferas y árboles de hoja caduca, sin embargo, su degradación es difícil debido a su estructura de hemicelulosa, a pesar de ello, cada uno de estos componentes tiene propiedades

físicas y químicas que los hacen sustratos de interés para ser usados en procesos biotecnológicos, debido a su bajo costo y su amplia disponibilidad (Galván, 2018).

2.6. ACTIVIDAD CELULOLÍTICA DE MICROORGANISMOS

Según Alvarado *et al.* (2019) los microorganismos encargados de descomponer la celulosa, principal componente de las paredes celulares vegetales, incluyendo bacterias, hongos y actinomicetos, aeróbicos, anaeróbicos, mesófilos y termófilos, cuentan con la maquinaria enzimática necesaria para este efecto, por esta razón, su aislamiento e identificación representan una importante recurso para lograr reducir el impacto ambiental y generar sustratos fermentables cuya utilidad puede ser producir etanol, obtener ácidos orgánicos, edulcorantes, productos farmacéuticos y alimentos, entre otros.

Asimismo, Sánchez *et al.* (2020) mencionan que como las bacterias y hongos del suelo son los microorganismos más involucrados en el reciclaje de materiales vegetales; los cambios en su número pueden indicar cambios en el contenido de materia orgánica del suelo. Cuando esto se corrobora con otros indicadores ecológicos (biomasa y diversidad de especies encontradas), obtenemos información sobre el estado del suelo y su productividad. Como resultado, se ha prestado gran atención a los organismos que participan en la descomposición de esta sustancia.

Los principales microorganismos celulolíticos pertenecen a los dominios bacterianos *Proteobacteria*, *Firmicutes*, *Actinobacteria*, *Bacteroidetes* y a los dominios fúngicos *Ascomycota*, *Basidiomycota*, los cuales representan más del 90% de las secuencias de celulasa identificada. Actualmente, la mayoría de las celulasas comerciales se derivan de hongos, a pesar de ello, en los últimos años el aislamiento y la caracterización de nuevas enzimas lignocelulolíticas se han centrado cada vez más hacia fuentes bacterianas debido a que presentan una alta actividad específica y eficiencia de producción heteróloga típica de los sistemas bacterianos (Quintero, 2021).

2.7.1. HONGOS CON CAPACIDAD CELULOLITICA

Entre los hongos celulolíticos se destacan: *Trichoderma reesei*, *Phanerochaete chrysosporium*, *Fusarium solani*, *Penicillium funiculosum*, *Trichoderma koningii*, *Sporotrix Sp.*, *Alternaria Sp.*, *Geotrichum Sp.*, *Rhizoctonia Sp.*, *Trametes Sp.*, *Paecilomyces Sp.*, *Mucor Sp.*, *Cladosporium Sp.*, *Bulgaria Sp.*, *Chaetomium Sp.*, *Helotium Sp.*, *Aspergillus Sp* (Rodríguez, 2019).

2.7.1.1. PLEUROTUS OSTREATUS

Pleurotus ostreatus es un hongo de la pudrición blanca capaz de degradar muchos compuestos xenobióticos y recalcitrantes debido a su capacidad para producir un sistema de enzima no específica capaz de catalizar la oxidación de muchos tipos de compuestos orgánicos que incluyen colorantes textiles, investigaciones han determinado el perfil de expresión de cinco genes extraída de *P. ostreatus* desarrollado en medios con un pH diferente en fermentación sumergida, lo que permite indicar que el pH inicial del medio de crecimiento es un factor importante para regular la expresión de genes de lacasa (Chávez, 2017).

2.7.1.2. TRICHODERMA REESEI

Es un hongo que se presenta naturalmente en diferentes rangos de zonas de vida y hábitat, especialmente en los que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición, su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por estos microorganismos (Campos, 2009). Generalmente, se presenta naturalmente en diferentes rangos de zonas de vida y hábitat, especialmente en los que contienen materia orgánica o desechos vegetales en descomposición, su desarrollo se ve favorecido por la presencia de altas densidades de raíces, las cuales son colonizadas rápidamente por estos microorganismos (Chávez, 2006)

2.7.2. BACTERIAS CELULOLÍTICAS

Las bacterias celulolíticas más abundantes y conocidas son las aerobias, entre las cuales se pueden citar: *Cellilomonas Sp.*, *Microbispora bispora*, *Thermomonospora Sp.*, *Cytoplaga Sp.*, *Corynebacteriumsp.*, *Vibrio Sp.*,

Bacillus Sp., *Pseudomonas Sp.*, *Thermobifidia Sp.* Además, se encuentran algunos anaerobios como: *Acetivibrio cellulolyticus*, *Butivibrio Sp.*, *Bacteroides cellulosolvens*, *Bacteroides siccinogenes*, *Clostridium cellulovorans*, *Clostridium thermocellum*, *Ruminococcus albus Sp.* *Ruminococcus flavefaciens* (Caviedes, 2010). Entre los *actinomicetes* destacan: *Streptomyces drozdowiczii*, *Streptomyces cellulolyticus*, *Thermospora curvata*, *Thermospora chromogena*, *Thermospora alba* y *Thermomobifidia fusca* (Bedia, 2021).

2.7.2.1. BACILLUS SUBTILLUS

Villarreal *et al.* (2018) destacan el crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio facultativo, Gram positivas, morfología bacilar, movilidad flagelar, y tamaño variable (0.5 a 10 μm), su crecimiento óptimo ocurre a pH neutro, presentando un amplio intervalo de temperaturas de crecimiento, aunque la mayoría de las especies son mesófilas (temperatura entre 30 y 45 °C), su diversidad metabólica asociada a la promoción del crecimiento vegetal y control de patógenos; además destaca su capacidad de producir endosporas (ovales o cilíndricas) como mecanismo de resistencia a diversos tipos de estrés, son saprófitas pudiendo utilizar la gran diversidad de sustratos orgánicos presentes en el suelo, siendo ésta una matriz compleja para el establecimiento de una gran diversidad genética y funcional de especies microbianas.

2.7. APLICACIÓN DE SISTEMAS CELULOLÍTICOS

Las celulasas son glicosil hidrolasas especializadas en catalizar la descomposición de celulosa (Bernal, 2022). Estas enzimas tienen múltiples aplicaciones en varias industrias como la textil, alimentaria, bioenergética, entre otras (Herrera, 2021). Las celulasas pueden ser de origen bacteriano o fúngico; estas últimas, particularmente las producidas por el hongo *Trichoderma reesei* en varios sistemas fermentativos, son las más destacadas por la capacidad celulolítica que poseen (Guevara, 2020).

La biomasa lignocelulósica o biomasa vegetal cuenta con los beneficios de ser altamente renovable, económica y con amplia distribución geográfica, de hecho, al ser la fuente principal de materia orgánica renovable del mundo, en los últimos

años emergió el concepto de biorefinería, que es la utilización de biomasa como materia prima en múltiples procesos de transformación (energía, biomateriales, etc.), en particular bioetanol de segunda generación. Las fuentes principales de biomasa lignocelulósica se clasifican en: cultivos energéticos, residuos forestales, residuos agroindustriales y la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales e industriales (Ghio, 2018).

Gómez *et al.* (2019) exponen que, para convertir la biomasa lignocelulósica a bioetanol, es necesario realizar un proceso de hidrólisis seguido de una fermentación, sin embargo, procesos de hidrólisis basados en ácido, dejan restos de Sulfato de Calcio (CaSO_4), causando efectos negativos al ambiente. En la actualidad se han desarrollado técnicas ambientalmente racionales y a costos viables, tal es el caso de la hidrólisis enzimática, en la cual la conversión de celulosa, eficiencia de fermentación y recuperación, así como el costo dependen fuertemente de la eficiencia de los microorganismos empleados.

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en el Sitio “Sosote”, correspondiente a la localidad rural del cantón Rocafuerte en la provincia de Manabí. Se encuentra ubicada al suroeste del cantón, kilómetro 10 de la vía Portoviejo – Chone (Gobierno Provincial de Manabí, 2015).

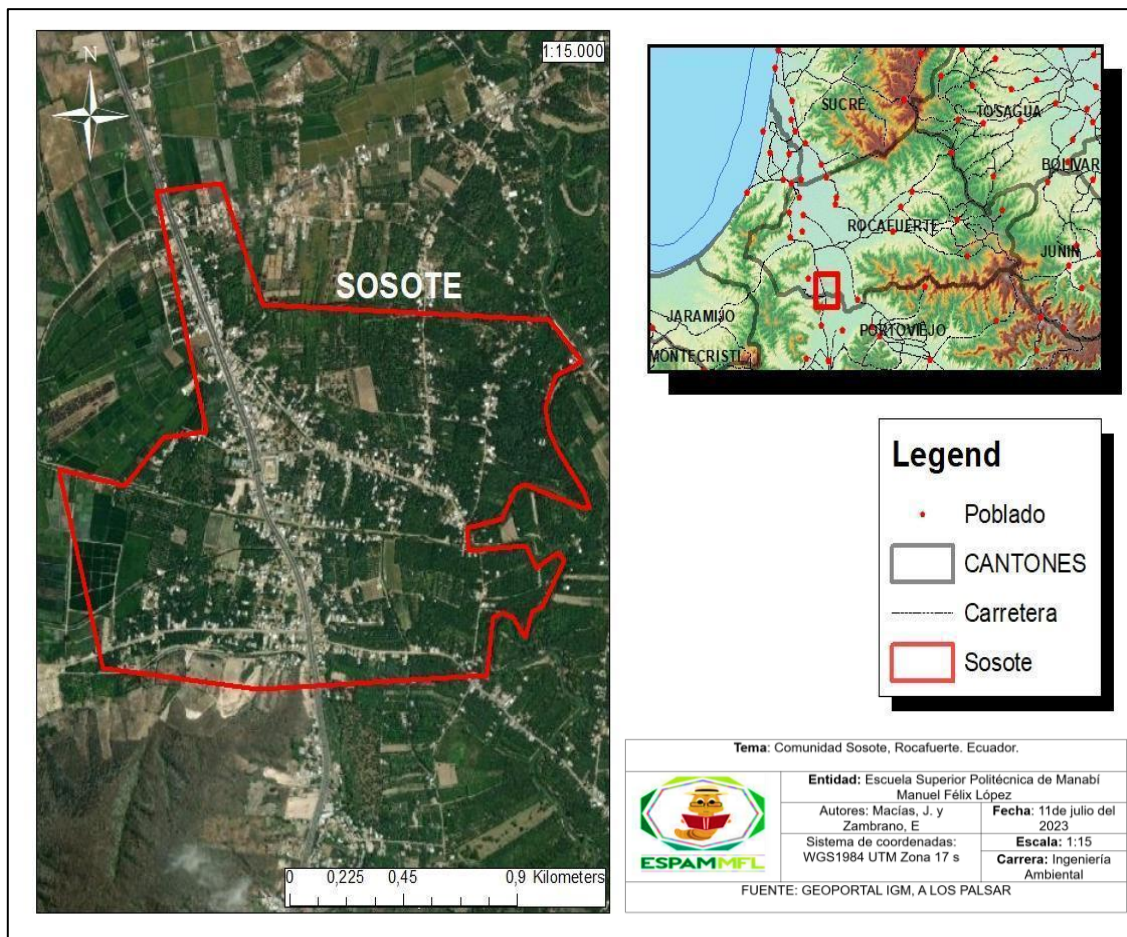


Figura 3.1. Ubicación del sitio Sosote

3.2. DURACIÓN

La presente investigación tuvo una duración de nueve meses a partir de la aprobación de la planificación del trabajo de integración curricular.

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación fue de tipo cuantitativa-experimental, ya que se cuantificaron e identificaron las causas del efecto de estudio experimental, manipulando una o más variables vinculadas a las causas para medir el efecto en otra variable de interés (Mata, 2019). Además, desarrolla o requiere examinar el comportamiento de los fenómenos y hechos, a partir de la operación de cambios intencionados en las variables que los componen (Hernández, *et al.*, 2019).

3.4. MÉTODOS

Los métodos empleados en la investigación fueron el analítico y bibliográfico.

3.4.1. MÉTODO ANALÍTICO

El método analítico o método empírico-analítico se basa en experimentar a partir de la aplicación de la lógica empírica (Labajo, 2017). Es el más usado en las ciencias, tanto naturales como en sociales (Equipo Editorial Etecé, 2023). Este método analiza el fenómeno que estudia, es decir, lo descompone en sus elementos básicos (Barrera, 2017) y que para el caso de esta investigación correspondió al estudio del potencial de degradación de los microorganismos celulolíticos.

3.4.2. MÉTODO BIBLIOGRÁFICO

Para Landín y Sánchez (2019) este es uno de los métodos que permite explorar de manera diferente el conocimiento sobre un objeto de estudio. En este trabajo, integró una síntesis sobre los diferentes procesos de degradación de fibras naturales como residuos celulolíticos de actividades agroproductivas.

3.5. TÉCNICAS

Las técnicas por emplear fueron la observación directa relacionada al comportamiento en la degradación de los residuos de la cáscara de coco y la georreferenciación de la zona de estudio.

3.5.1. OBSERVACIÓN DIRECTA

La observación directa se basa en la inspección descriptiva del objeto de estudio empleando los propios sentidos, tiene lugar de forma espontánea en el tiempo en que acontecen y con arreglo a las exigencias de la investigación científica, con o sin instrumentos técnicos (Díaz, 2011). Esta técnica definió los sitios de producción y recolección de la materia prima antes de ser llevada al laboratorio para analizarla.

3.5.2. GEORREFERENCIACIÓN

La georreferenciación o rectificación es un proceso que permite determinar la posición de un elemento en un sistema de coordenadas espaciales diferente al que se encuentra (Dávila y Camacho, 2012). Existen por tanto dos sistemas de coordenadas: el sistema origen y el sistema destino (Consejería de Cultura, 2011). Esta técnica sirvió para la toma de coordenadas para el mapa de ubicación de la investigación.

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

La unidad experimental consistió en una caja Petri con 10 g de sustrato de fibra de coco y 15 g de agar solidificado para hongos, las cuales se incubaron a temperatura 30°C por 72 horas (Martínez, 2019). Para bacterias, la unidad experimental consistió en una caja Petri con 10 g de sustrato de fibra de coco y 15 g de agar nutriente, las cuales se incubaron a temperatura 37°C por 18 horas.

3.7. VARIABLES A MEDIR

3.7.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Microorganismos Celulolíticos

3.7.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Degradabilidad de cáscara de coco

3.8. FACTORES EN ESTUDIO

Factor A: Microorganismos

- **Factor A1:**
 - *Trichoderma reesei* (EM-49)
 - *Trichoderma longibrachiatum* (EM-72)
 - *Trichoderma longibrachiatum* (EM-150)

- **Factor A2:**
 - *Bacillus subtilis* (E-54)
 - *Bacillus subtilis* (21-BMC)
 - *Bacillus licheniformis* (E-44)

Factor B: Cáscara de coco (estopa)

- Factor B1: Fibra de coco en polvo y recortada

El experimento se efectuó en dos fases, una de laboratorio y otra de campo, la de laboratorio correspondió a un Diseño Completamente al Azar con dos factores. Siendo el factor A las bacterias del género *Bacillus* (*B. subtilis* cepa E-54; *B. subtilis* cepa 21-BMC; o *B. licheniformis* cepa E-44) y los hongos del género *Trichoderma* (*T. reesei* cepa EM-49; *Trichoderma longibrachiatum* cepa EM-72; *Trichoderma longibrachiatum* cepa EM-150) y el factor B (Tipo de sustrato: fibra de coco en polvo y recortada). Las unidades experimentales constituyeron en seis tratamientos con seis controles (Medio de cultivo sin fibra adicionada) tomando como referencia lo establecido por Nova y Mamani (2020).

La fase de campo consistió en formar pilas de compostaje con el material celulósico en estudio, la fibra de coco, la cual se cortó y molió por tres ocasiones antes de ser incorporada, se adicionó gallinaza fresca y seca (Soriano et al., 2022) proveniente de una granja avícola del cantón Junín, para luego agregar los microorganismos estudiados previamente en la fase de laboratorio (Guzmán, et al., 2014) que se describieron en el párrafo anterior.

3.9. MANEJO DEL EXPERIMENTO

FASE 1. DIAGNOSTICAR SOCIO-AMBIENTALMENTE EL SECTOR PRODUCTIVO DE COCO EN EL SITIO SOSOTE

ACTIVIDAD 1. DETERMINAR LA LÍNEA PRODUCTIVA DEL COCO

Se indago sobre el proceso productivo del coco en las familias del sitio Sosote, aplicando una entrevista en cada finca, la cual estuvo estructurada en dos bloques (Características sociodemográficas y Caracterización del cultivo de coco) (Mendoza, 2019) empleando las preguntas descritas por Menéndez y Solórzano (2016); Morales y Vaca (2019) y Barcia (2020):

Tabla 3.1. Preguntas a realizar en la entrevista a productores de coco

Características sociodemográficas
¿Cuál es el género?
¿Cuál es su rango de edad?
¿Cuál es su estado civil?
¿Cuál es su grado de instrucción?
¿Su nivel de ingreso mensual está entre?
¿Cuántas personas conforman su hogar?
¿Cuál es su ocupación laboral?
¿Con cuántos y cuáles servicios básicos cuentan en su propiedad?
Caracterización del cultivo de coco
¿Consumen coco?
¿Regularidad que consumen coco?
¿Son productores de Coco?
¿Desde hace cuánto tiempo usted produce coco?
¿Cuál es su producción de coco al mes?
¿Cuánta área de coco mantienen?
¿Cuántas plantas de coco mantienen?
¿Cómo comercializa usted el coco?
¿Utiliza usted la totalidad del fruto en su proceso productivo?
¿Considera que la producción de coco de la zona cubre la demanda?
¿Qué hacen con los residuos finales del coco?
¿Realizan la quema de la cáscara de coco?
¿Conoce usted los productos que se derivan de cada parte del coco?
¿Cuál es el tiempo en el cual usted cosecha los cocos?

¿Cuál es el precio en el que comercializa usted los cocos en las ventas al por mayor?

ACTIVIDAD 2. ESTIMAR LA GENERACIÓN DE RESIDUOS

Posteriormente, se efectuó un cálculo de la generación de residuos de la producción de coco en las fincas del sitio Sosote, de acuerdo a lo aplicado por Arrieta (2019) tomando como peso estandarizado de la cáscara de coco el valor de 2,4 kg y el peso del residuo equivale al 44% del peso total del fruto, con base a esto el peso de residuos se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$P_{Rc} = (\text{Número de UMF} \times 2,4) \times 0,44 \quad [3.1]$$

Ecuación 3.1. Peso de residuos de coco

Donde

P_{Rc} = Peso de residuos de coco

UMF = Unidades muestreadas por finca

Los datos se procesaron mediante análisis gráfico y representaciones estadísticas siguiendo lo descrito por Zambrano *et al.* (2021).

Tabla 3.2. Peso promedio de la cáscara de coco por unidades

Semana	
Unidades de coco	Peso del residuo*

* El peso del material residual corresponde al mesocarpio y se expresa en Kg

ACTIVIDAD 3. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE LA FIBRA DE COCO

Se caracterizó la fibra de coco mediante la realización de los siguientes análisis de laboratorio: fibra soluble, fibra insoluble, cenizas, proteínas, Fibra Detergente Neutro (FDN), Fibra Detergente Ácida (FDA) y lignina tal como lo dispone Ponce (2015), para lo cual se recogieron 1000 g de fibra de coco seca molida en el molino de cuchillas y retenida en malla número 40.

FASE 2. PLANTEAMIENTO DE LOS EXPERIMENTOS CON LOS MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS SELECCIONADOS

ACTIVIDAD 4. ACTIVACIÓN DE CEPAS DE MICROORGANISMOS

Los microorganismos con que se emplearon en este experimento pertenecen a la Colección de Cultivos del Laboratorio de Microbiología de la ESPAM MFL. Se solicitó mediante oficio la disponibilidad de trabajo en dicho laboratorio para la preparación de medios sólidos de acuerdo a lo dispuesto por Rodríguez (2019). Los microorganismos seleccionados para el montaje del experimento fueron el *Trichoderma reesei* y *Trichoderma longibrachiatum* los cuales han sido ampliamente estudiados para su evaluación en diferentes fuentes de carbono como una estrategia que ha permitido la evaluación del incremento de la producción de celulasa para degradar compuestos celulolíticos (Grijalva, 2013); así como *Bacillus subtilis* y *Bacillus licheniformis* por su capacidad de degradar los residuos agrícolas tanto en cultivo o cuando se usan sólo sus enzimas xilanolíticas y celulolíticas (Lázaro, 2018).

Se aislaron y activaron los microorganismos celulíticos, realizando repiques en dos diferentes medios: Agar nutriente para bacterias y Agar PDA para hongos (Reinoso *et al.*, 2007; Reyes *et al.*, 2011). Para el proceso de crecimiento de *Bacillus subtilis*, se utilizó caldo nutritivo metabólicamente activo y libre de contaminantes, la producción se realizó con agitación constante a 180 rpm y 37°C entre 18 a 24 horas (Sotelo *et al.*, 2012). En el caso de los hongos se inocularon en cajas Petri, las cuales se sellaron y etiquetaron con los datos correspondientes, incubándose a 30°C durante un periodo de 3 días (Elejalde, 2019).

ACTIVIDAD 5. ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA

Después de la obtención de las materias primas, se lavaron las cáscaras con agua corriente y después con agua destilada para eliminar cualquier residuo que pudieran contener (Soo, 2021) se procedió con un primer proceso de trituración del residuo con el propósito de reducir su tamaño (Caiza y Plua, 2021), para esto, se partieron en trozos grandes con el fin de hacer el secado más eficiente y en menor tiempo; el secado se hizo en un horno de gas, a una temperatura de 70 a 80°C por 24 horas (Rocha, 2006).

Posteriormente se efectuó un segundo secado de los trozos previamente cortados durante 8 horas a 70 o 80°C, estos trozos de fibra (estopa de coco) pasaron por un segundo proceso de trituración y uno de molienda hasta obtener dos tipos de presentación, una parte de la fibra en polvo y otra parte en trozos pequeños de entre 1 a 2 cm de longitud (Navas, 2017), los cuales fueron el medio de sustrato de los microorganismos en las cajas Petri preparadas (Martínez, 2019).

ACTIVIDAD 6. INOCULACIÓN DE MICROORGANISMOS EN PILAS DE COMPOSTAJE

Se colocaron 43,12 kg de las cáscaras molidas y trituradas en una pila a la que se le adicionó 21,56 kg de estiércol de aves más el consorcio de bacterias y hongos inoculados en las cajas Petri donde se sembraron solo sobre cáscara de coco molida, formando tres pilas con la misma mezcla y un tratamiento control sin microorganismos (Soo, 2021).

En la pila 1 se agregaron 100 mL de cada microorganismo inoculado, sumando 400 mL que se disolvieron en 10 L de agua destilada; en la pila 2 el volumen por microorganismo fue de 300 mL por cada uno, teniendo 1200 mL disueltos en 10 L de agua destilada, para la pila 3 se tomaron 300 mL dando un total por los 4 microorganismos de 2400 mL que se disolvieron en la misma cantidad de agua destilada (10 litros), mientras que en la pila de control no se le adicionó microorganismo alguno (Zambrano, 2021).

Las pilas fueron monitoreadas respecto a pH, humedad, conductividad eléctrica y temperatura por un plazo de 30 días alternando por semana (Suárez, 2015; Riaño, 2019).

Tabla 3.3. Control de variables en pilas de compostaje

N° Pila	Tiempo de control	pH	Temperatura	Humedad	Conductividad Eléctrica
Pila 1	Día 1				
	Día 2				
	Día 3				
	Día 4				
	Día 5				
	Día 6				
	Día 7				
	Día 8				
Pila 2	Día 1				
	Día 2				
	Día 3				
	Día 4				
	Día 5				
	Día 6				
	Día 7				
	Día 8				
Pila 3	Día 1				
	Día 2				
	Día 3				
	Día 4				
	Día 5				
	Día 6				
	Día 7				
	Día 8				
Pila 4	Día 1				
	Día 2				
	Día 3				
	Día 4				
	Día 5				
	Día 6				
	Día 7				
	Día 8				

FASE 3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD DE LOS COMPONENTES CELULOLÍTICOS DE LA FIBRA DE COCO

ACTIVIDAD 7. PRUEBAS DE ACTIVIDAD CELULÍTICA DE LAS CEPAS SELECCIONADAS

Se realizó la observación de crecimiento de las cuatro cajas Petri donde estaban inoculados los microorganismos (Baena y García, 2012). El crecimiento se observó como la formación de una zona alrededor de la colonia de

microorganismos sembrados en la caja, la cual se registró en una tabla de datos de crecimiento (Hwang y Park, 2015).

ACTIVIDAD 8. PRUEBAS DE FITOTIXICIDAD

A partir de una muestra extraída de las tres pilas de compostaje se pesaron 10 g y se transfirieron a 900 mL de agua destilada, para luego llevarse al agitador magnético durante una hora, centrifugándose a 6000 rpm por 5 minutos. Posterior a esto, se separó el sobrenadante filtrándose con un filtro de membrana de 0,45 μm . A continuación, se ubicaron de forma uniforme 20 semillas de rábano (*Raphanus sativus*), las cuales se dejaron a oscuras por 8 días a temperatura ambiente, mientras que, para el testigo, las semillas se ubicaron en papel filtro humedecido con agua destilada (Andrade y Avellán, 2020). Después del período de incubación se registró el porcentaje de germinación, además se midió el crecimiento de la raíz primaria y se empleó para el índice de germinación (IG) de acuerdo a lo dispuesto por Hidalgo (2019):

$$IG (\%) = \frac{PGR (\%) \times CRR (\%)}{100} \quad [3.2]$$

Ecuación 3.2. Índice de germinación expresado en porcentaje

En donde:

IG (%): Índice de germinación expresado en porcentaje

PGR (%): Porcentaje de germinación relativo

CRR (%): Crecimiento de radícula relativo

El PGR (%) y CRR (%) son obtenidos respecto a la muestra control. Se obtienen de la ecuación 3.3. y 3.4:

$$PGR (\%) = \frac{GM_n}{G_c} \times 100 \quad [3.3]$$

Ecuación 3.3. Porcentaje de germinación relativo

En donde:

GM_n: Número de semillas germinadas en la muestra "n" (n=1, 2, 3, 4, ...)

G_c: Número de semillas germinadas en la muestra control

$$CRR (\%) = \frac{L_{Mn}}{L_c} \times 100 \quad [3.4]$$

Ecuación 3.4. Crecimiento de radícula relativo

En donde:

LMn: Longitud promedio de las raíces en la muestra "n" (n=1, 2, 3, 4, ...)

Lc: Longitud promedio de las raíces en la muestra control.

3.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Posteriormente, para demostrar la eficiencia del mejor tratamiento se realizó una comparativa por medio del programa Infostat siguiendo lo dispuesto por Escobar (2015), en cuyo procesamiento estadístico se obtuvo el análisis de varianza y prueba de Tukey que representan la variación de los parámetros de control de las pilas de compostaje a las que se les adicionó los siguientes microorganismos, entre ellos bacterias: *Bacillus subtilis* *Bacillus licheniformis* y hongos: *Trichoderma reesei*, *Trichoderma longibrachiatum*.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DEL SECTOR PRODUCTIVO DE COCO EN EL SITIO SOSOTE

Se muestrearon cinco fincas productoras de coco en el sitio Sosote (figura 4.1), en el mapa se evidencian fincas contiguas a las monitoreadas pero que no entraron en el estudio debido a que no se permitió el acceso a las mismas por cuestiones de seguridad.

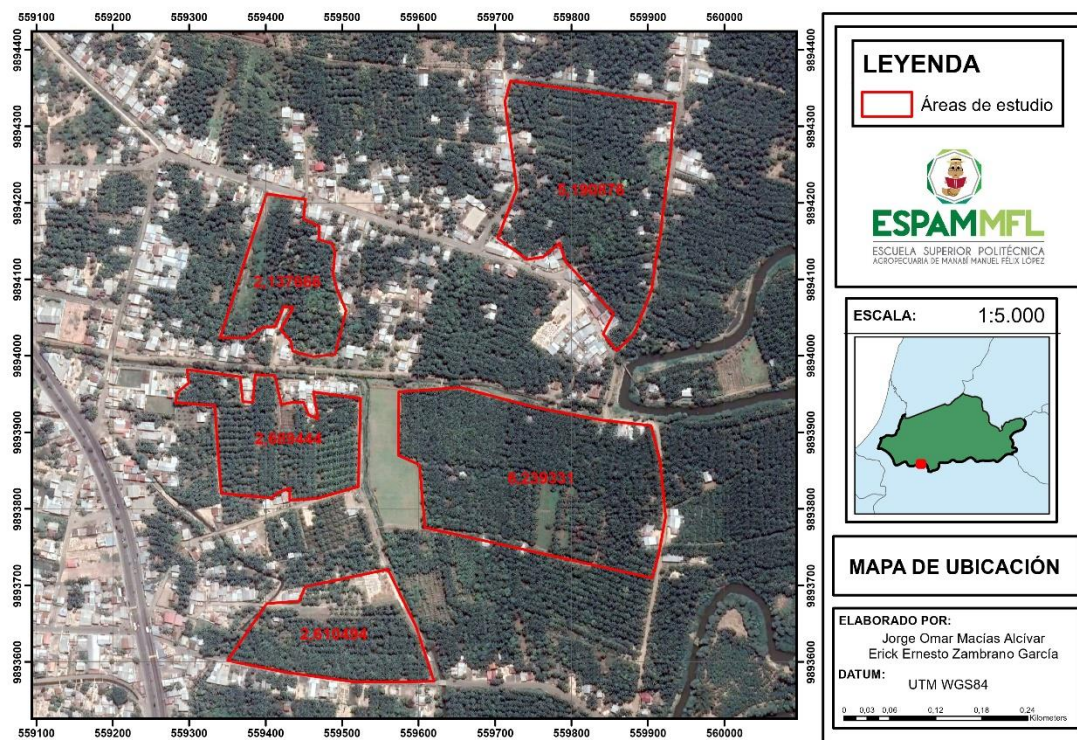


Figura 4.1. Ubicación de las 5 fincas cocoteras consideradas en el estudio

Entre las cinco fincas consideradas en este trabajo suman un área total de 18,87 hectáreas, con aproximadamente 37740 palmas de coco sembradas, a una relación de 2000 plantas por hectárea. Teniendo como resultado del proceso productivo lo que se resume en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Resultados de la determinación de la línea productiva de coco

Características sociodemográficas			
¿Cuál es el género?	5	100%	Masculino
¿Cuál es su rango de edad?	5	100%	30 - 50 años
¿Cuál es su estado civil?	1	20%	Casado
	4	80%	Unión libre
¿Cuál es su grado de instrucción?	5	100%	Bachiller
¿Su nivel de ingreso mensual está entre?	5	100%	Menos \$450
¿Cuántas personas conforman su hogar?	1	20%	Entre 4 a 5 personas
	4	80%	Entre 5 a 6 personas
¿Cuál es su ocupación laboral?	5	100%	Cocoteros
¿Con cuántos y cuáles servicios básicos cuentan en su propiedad?	5	100%	Energía eléctrica
			Agua Potable
Caracterización del cultivo de coco			
¿Consumen coco?	5	100%	Si
¿Regularidad que consumen coco?	5	100%	Regularmente
¿Son productores de Coco?	5	100%	Si
	1	20%	Hace 5 años
	3	60%	Hace 10 años
¿Desde hace cuánto tiempo usted produce coco?	1	20%	Hace 15 años
	4	80%	De 5000 a 10000 cocos
	1	20%	Más de 10000 cocos
¿Cuál es su producción de coco al mes?	3	60%	2 Ha
	1	20%	5 Ha
	1	20%	6 Ha

¿Cuántas plantas de coco mantienen?	2	40%	De 1000 a 2000 plantas/Ha.
	3	60%	Más de 2000 plantas/Ha.
¿Cómo comercializa usted el coco?	5	100%	Si
¿Utiliza usted la totalidad del fruto en su proceso productivo?	5	100%	No
¿Considera que la producción de coco de la zona cubre la demanda?	5	100%	No
¿Qué hacen con los residuos finales del coco?	2	40%	Lo dejan en la finca a descomponer
	3	60%	Quema
¿Realizan la quema de la cáscara de coco?	3	60%	Quema
¿Conoce usted los productos que se derivan de cada parte del coco?	5	100%	No
¿Cuál es el tiempo en el cual usted cosecha los cocos?	5	100%	Cada seis meses
¿Cuál es el precio en el que comercializa usted los cocos en las ventas al por mayor?	5	100%	A 0,50 ctvs/unidad

La determinación de la línea productiva de coco en Sosote evidencia que el 100% de los productores son hombres con un rango de edad de entre 30 a 50 años, cuyos núcleos familiares se componen entre 4 a 6 personas por familia que cuentan con agua potable y energía eléctrica como servicios básicos, lo que de acuerdo a Menéndez y Solorzano (2016) es una gran parte de la realidad productiva manabita rural. El 60% de los entrevistados se dedica desde hace 10 años a la producción de coco; un 80% produce mensualmente entre 5000 a 10000 cocos, con áreas de producción que va entre 2 a 6 hectáreas, con aproximadamente 2000 plantas/Ha, lo que coincide con los datos de Macías et al. (2018) que indica que en el sitio Río Chico del cantón Portoviejo el promedio de superficie de cultivo es de 2,15 hectáreas.

El 100% de la producción se comercializa en el mercado externo, aunque los involucrados mencionan que no se cubre la demanda totalmente. El 60% de los residuos se queman en la misma finca siendo esta una práctica recurrente ya que el 100% de participantes indicó que desconoce que se deriva de cada una

de las partes de la planta de coco. Esto se relaciona con lo expuesto por Castro et al. (2020) y Bedolla et al. (2021) quienes indican que la quema de residuos agrícolas es una práctica común en el sector primario, constituyéndose en una fuente de emisiones al aire de compuestos como metano (CH₄), monóxido de carbono (CO), dióxido de nitrógeno (NO₂) y material particulado (PM10).

Tabla 4.2. Peso promedio de la cáscara de coco por unidades

Semana	Unidades de coco	Peso del residuo (kg)
Semana 1	80	84,48
Semana 2	60	63,36
Semana 3	57	60,19
Semana 4	50	52,80
Total	247	260,83
Promedio		65,21

En lo que respecta a la cantidad de cocos muestreados, en cuatro semanas de estudio se pesaron 247 cocos con un promedio de 65,21 kg de cáscara como residuo para ese periodo, cifra cercana a la media productiva de acuerdo a Romero et al. (2020), esta cifra es positiva según lo expresan Dueñas y Macías (2018) puesto que, al generar una data sobre la cuantificación de los residuos de la producción de coco, en especial de la cáscara, se fortalecen las oportunidades de su aprovechamiento y valorización comercial, lo que en palabras de Bermúdez (2021) fortalece la cadena de producción y comercialización de la producción del coco generando un impacto en la economía local.

De la caracterización de la fibra de coco se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 4.3. Resultados del análisis bromatológico de la fibra de coco

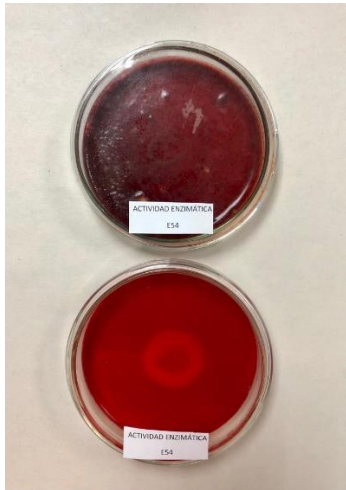
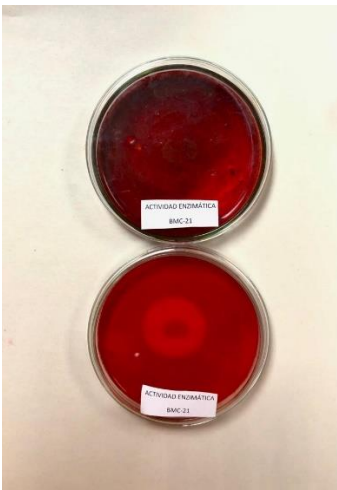
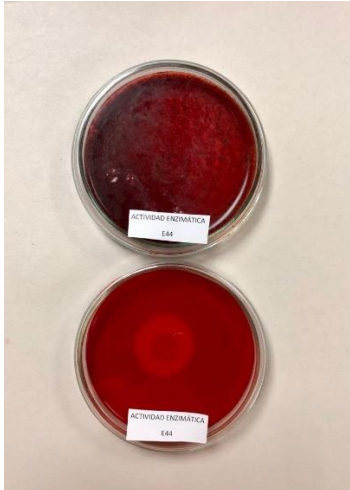
Parámetro	Unidad	Resultado
Fibra detergente neutra (FDN)	%	86,42
Fibra detergente ácida (FDA)	%	84,20
Lignina	%	76,08

Evidenciando que la cáscara de coco presentó 86,42% de fibra detergente neutra, 84,20% de fibra detergente ácida y 76,08% de lignina, este último parámetro con resultados mayores a los alcanzados por Rincón et al. (2016) y Pazmay (2023), en cuyas investigaciones la lignina fue de 19,38%, así como también siendo superiores en FDN y FDA a los obtenidos por Salas et al., (2023). Esto puede verse según Sánchez et al., (2020) a variables tales como la variedad de coco seleccionada, el grado de descomposición de la cáscara o las condiciones de producción.

4.2. PLANTEAMIENTO DE LOS EXPERIMENTOS CON LOS MICROORGANISMOS CELULOLÍTICOS SELECCIONADOS

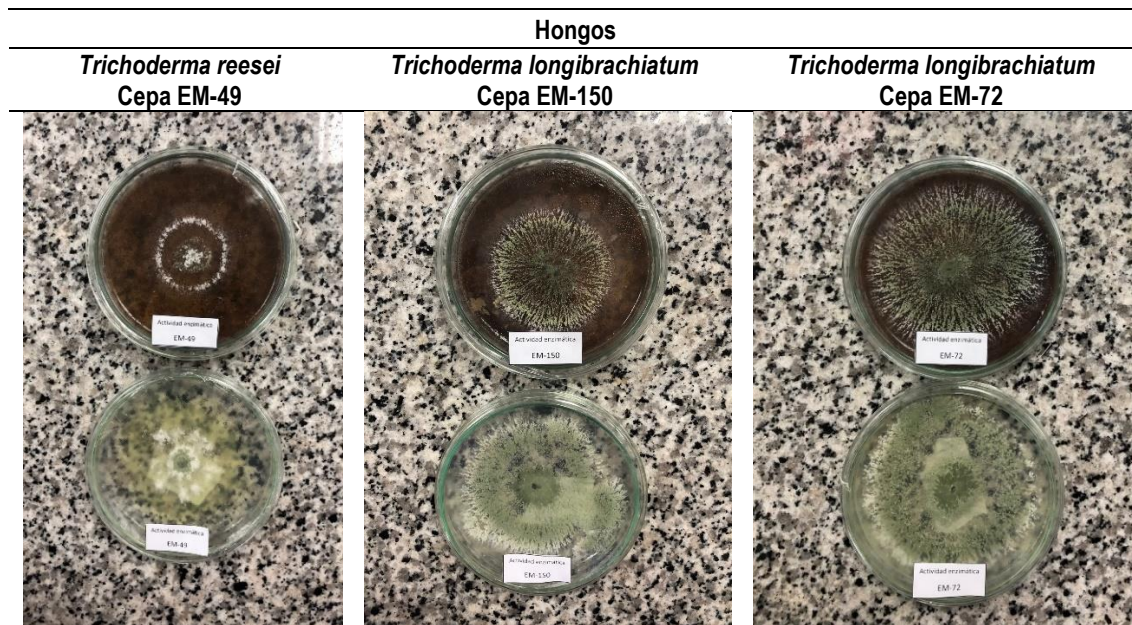
Las cepas activadas se evidencian en las siguientes tablas:

Tabla 4.4. Cepas de bacterias sembradas en laboratorio

Bacterias		
<i>Bacillus subtilis</i> Cepa E-54	<i>Bacillus subtilis</i> Cepa 21-BMC	<i>Bacillus licheniformis</i> Cepa E-44
		

Las imágenes evidencian que hay crecimiento de *Bacillus* sobre el medio preparado (Cáscara de coco en polvo y recortado + agar nutriente) lo que sugiere que la fibra de coco rica en celulosa, hemicelulosa y lignina es fuente de alimento para estas bacterias, coincidiendo con el estudio de Camacho et al., (2014) y López (2020) quienes indican que las cepas de *Bacillus* son capaces de crecer en medios ricos en celulosa.

Tabla 4.5. Cepas de hongos sembradas en laboratorio



Las imágenes evidencian que hay crecimiento de *Trichoderma* sobre el medio preparado (Cáscara de coco en polvo y recortado + agar PDA) lo que sugiere que el mesocarpio de coco rico en compuestos celulíticos es fuente de nutriente para este tipo de hongos tal y como lo indican Hernández et al. (2019), puesto que *Trichoderma* es un hongo cosmopolita cuya importancia radica en su capacidad de adaptación, así como, en su potencial de transformación de la fibra vegetal (Bardales et al., 2020).

Bacillus subtilis y *Bacillus licheniformis* tienen la capacidad de emplear material lignocelulósico como fuente de carbono (Plaza, 2019; Miño et al., 2019) por lo que fácilmente pueden ser considerados para mejorar estrategias de degradación y valorización de biomasa lignocelulósica (Tamariz et al., 2020) como la de la producción de coco, diversificando las formas de aprovecharla, fortaleciendo la cadena de valor. Por su parte, los *Trichoderma reesei* y *Trichoderma longibrachiatum* pertenecientes a la orden Hypocreales, cumplen con el perfil ideal de un hongo biodegradador (Flores y Retamozo, 2020) además de que su empleo, es ventajoso económicamente para degradar residuos agrícolas (Rodríguez et al., 2018) como los analizados en esta investigación.

Mientras las cepas se reproducían en laboratorio, se preparó la materia prima bajo el siguiente esquema:

Tabla 4.6. Proceso de acondicionamiento de la materia prima

<p>Obtención de materia prima</p> <p>Las cáscaras de coco se obtuvieron de las fincas cocoteras del sitio Sosote.</p>		
<p>Corte de la materia prima</p> <p>Se empleó la desgranadora ubicada en la UDIV de Pastos y Forrajes de la carrera de Medicina Veterinaria para efectuar el primer corte de las cáscaras de coco recolectadas.</p>		
<p>Primer triturado</p> <p>El triturado se efectuó en el Taller de Harinas y Balanceados de la ESPAM MFL con el equipo triturador para balanceados con el cual se redujo el tamaño de las partículas de la cáscara de coco.</p>		
<p>Secado de materia prima</p>		

El secado se efectuó en el Taller de Harinas y Balanceados de la ESPAM MFL con el horno de gas, secando las cáscaras de coco en quince bandejas y en dos hornos.



Molienda de materia seca




Finalmente, luego del secado en los hornos, se procedió a pasar la materia seca por el molino casero para reducir el tamaño de las cáscaras y obtener un polvo fino



El proceso de acondicionamiento de la materia prima que se sintetiza en la tabla 4.6 sigue el mismo lineamiento empleado por Cabrera et al., (2020) quienes consideran prioridad preparar la fibra de coco antes de ser empleada en cualquier proceso biológico o mecánico, esto con el fin de que el tamaño homogéneo obtenido de la trituración y molienda favorezca a dichos procesos. Fiestas y Millones (2019) consideran que la adecuación previa es crucial para tener buenos rendimientos en procesos como filtración de aguas residuales, degradación de material lignocelulósico y obtención de carbón activado, por ejemplo.

Una vez acondicionada la materia prima, se realizaron las pilas de compostaje siguiendo el siguiente esquema:

Tabla 4.7. Proceso de preparación de pilas de compostaje

<p>Pesaje</p> <p>Se pesaron por separado, las cáscaras de coco molidas, así como el estiércol, registrando los siguientes pesos: -Cáscara de coco en polvo + recortada = 43,12 kg -Estiércol = 21,56 kg</p>	
<p>División</p> <p>Se dividió el material en cuatro pilas; tres de experimentación y una de control, dividiendo los componentes en partes iguales</p>	
<p>Mezclado</p> <p>El mezclado se realizó de forma manual, con lampa; el material se dispuso sobre una pista de cemento de 5 x 7 m.</p>	
<p>Control de parámetros de calidad antes de la aplicación de microorganismos</p>	

Se efectuaron controles respecto a pH, humedad, conductividad eléctrica y temperatura por un plazo de 30 días alternando por semana, se empleó un termómetro digital para temperatura.

Para humedad se obtuvo el valor por diferencia de pesos en laboratorio, así como también lo de conductividad eléctrica y Ph.



Aplicación de microorganismos

Se adicionaron los microorganismos en las siguientes escalas:

- Pila 1 = 400 ml de microorganismos/10 l agua destilada
- Pila 2 = 1200 ml de microorganismos/10 l agua destilada
- Pila 3 = 2400 ml de microorganismos/10 l agua destilada
- Pila 4 = Control



Monitoreo en laboratorio de las muestras de pilas post aplicación de microorganismos



Las pilas de compostaje se han empleado durante mucho tiempo como una opción barata y eficiente para descomponer la biomasa, reduciéndola en volumen y masa, lo que en palabras de Alves (2012) mitiga el problema ambiental que supone la disposición final de esos residuos sólidos agrícolas, pero para evidenciar un proceso de compostaje óptimo es necesario que las pilas se monitoreen constantemente, controlando parámetros como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), temperatura (T°C) y humedad (%H) (Martínez y Martínez, 2022), que fue el proceso de campo llevado a cabo en esta investigación; de lo cual se despliegan los datos en la tabla 4.8:

Tabla 4.8. Control del pH de las pilas

Tiempo de control	pH							
	Pila 1		Pila 2		Pila 3		Pila 4	
	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.
Día 1	8,77	7,62	8,54	7,55	8,55	7,57	8,72	7,73
Día 2	8,52	7,49	8,47	7,42	8,37	7,50	8,50	7,90
Día 3	8,54	7,36	8,72	7,39	8,55	7,46	8,84	7,70
Día 4	8,49	7,35	8,60	7,28	8,48	7,41	8,63	7,55
Día 5	8,31	7,39	8,44	7,29	8,33	7,37	8,55	7,62
Día 6	8,68	7,38	8,67	7,29	8,48	7,38	8,75	7,66
Día 7	8,29	7,42	8,31	7,36	8,32	7,40	8,40	7,75
Día 8	7,90	7,46	7,93	7,39	7,97	7,43	7,93	7,81

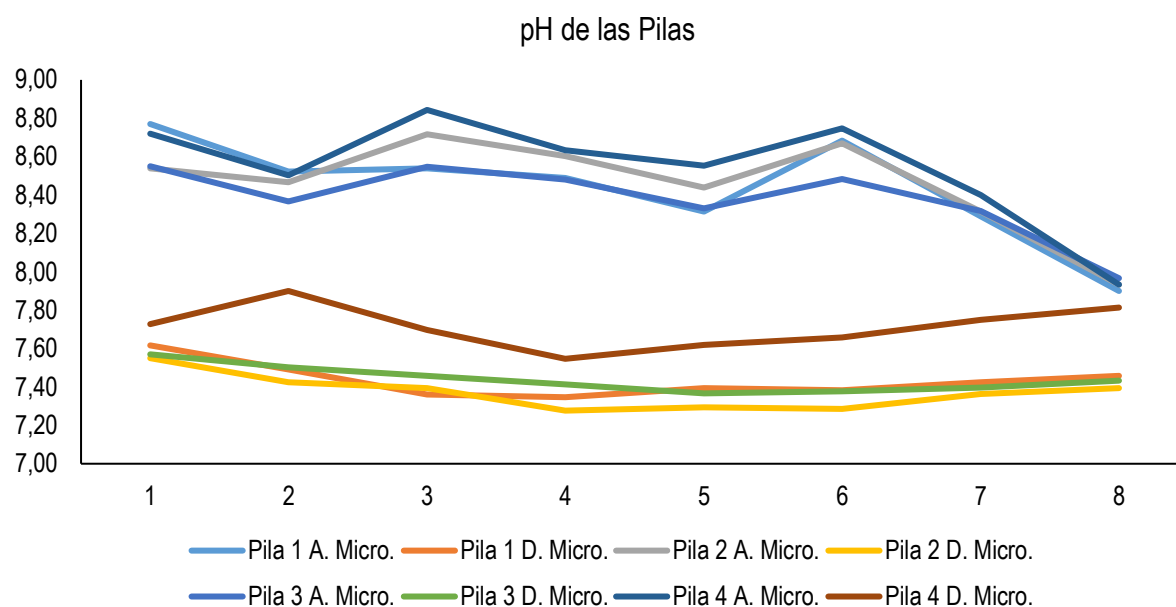


Gráfico 4.1. pH de las pilas de compostaje

El pH es un valor que determina si el producto es ácido ($\text{pH} < 7,00$), neutro ($\text{pH} = 7,00$) o alcalino ($\text{pH} > 7,00$), por tanto, es recomendable que el compost sea lo más neutro posible porque los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores muy alejados del 7 (Melquisedec et al., 2022). En el monitoreo de las pilas en esta investigación se evidencia que este parámetro experimenta variaciones entre sus máximos y mínimos en las 3 pilas, incluida la 4 que es de control y que no tiene microorganismos, moviéndose entre un rango de 7,25 a 7,60 quedándose en el área de neutralidad.

Tabla 4.9. Control de temperatura de las pilas

Tiempo de control	Temperatura							
	Pila 1		Pila 2		Pila 3		Pila 4	
	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.
Día 1	46,00	32,67	47,67	32,33	45,33	30,67	45,00	30,33
Día 2	48,33	30,80	50,67	30,33	49,00	30,67	51,00	30,70
Día 3	51,47	30,90	51,63	31,37	51,67	30,57	52,33	31,40
Día 4	54,10	30,62	53,30	31,23	53,80	30,83	54,10	31,27
Día 5	55,50	30,90	54,47	31,33	54,83	31,10	54,97	30,67
Día 6	56,07	31,10	56,63	30,73	55,90	30,07	56,90	30,33
Día 7	50,50	30,57	50,87	30,67	50,83	30,07	51,33	30,80
Día 8	47,50	30,90	47,47	30,77	48,30	31,13	47,37	31,07

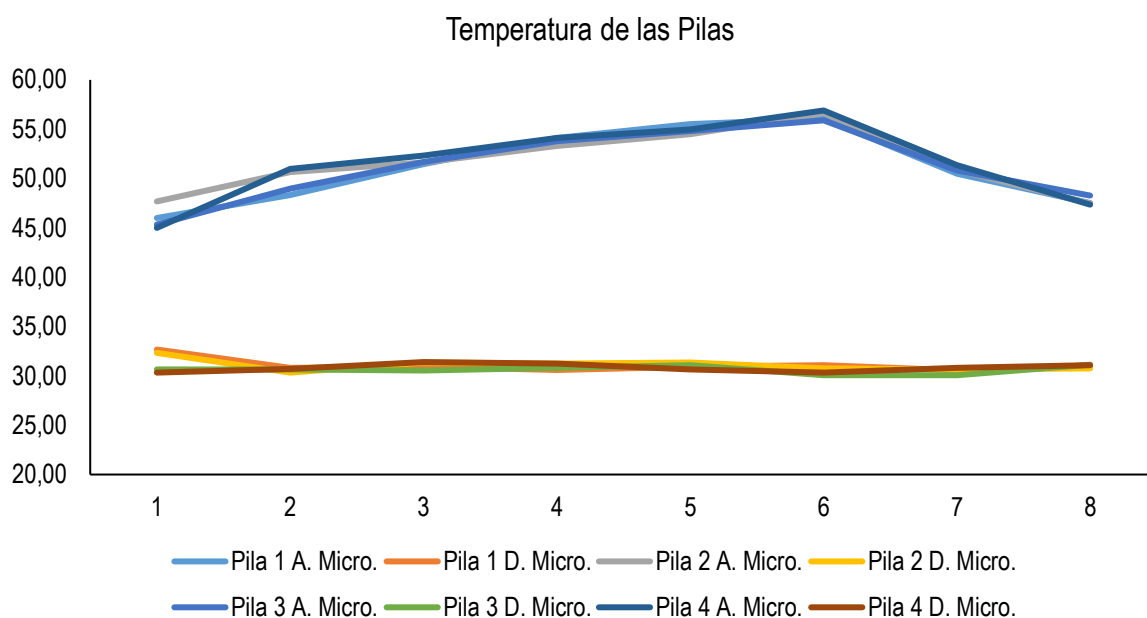


Gráfico 4.2. Temperatura de las pilas de compostaje

Antes de la incorporación de los microorganismos se ve una ligera curva de incremento de la temperatura en las pilas en el día 6 de medición cuando esta llegó a 56,40°C. A partir de los 60°C las bacterias termófilas cesan su actividad y aparecen hongos que producen enzimas para degradar la lignina y hemicelulosa y el calor generado destruye bacterias, contaminantes de origen fecal, semillas de malezas, entre otros (Nova et al., 2022). Mientras que se evidencia que después de la incorporación de los microorganismos (*Bacillus* y *Trichoderma*) se estabilizó la temperatura entre 30 a 32°C.

Tabla 4.10. Control de la conductividad eléctrica de las pilas

Tiempo de control	Conductividad Eléctrica							
	Pila 1		Pila 2		Pila 3		Pila 4	
	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.
Día 1	151,00	136,33	141,67	136,67	141,67	135,33	142,67	136,67
Día 2	146,00	139,67	140,37	139,33	140,37	136,53	148,23	138,20
Día 3	146,33	139,33	141,10	138,67	140,70	137,67	146,47	142,33
Día 4	143,57	139,00	140,57	135,73	139,97	137,80	144,93	140,17
Día 5	144,00	141,00	141,33	137,10	140,63	136,67	144,50	141,00
Día 6	142,83	139,83	140,23	140,33	140,73	134,80	141,77	140,23
Día 7	141,40	131,37	139,93	132,97	140,43	133,43	140,33	136,97
Día 8	141,00	139,47	140,57	133,73	140,83	135,53	140,50	140,27

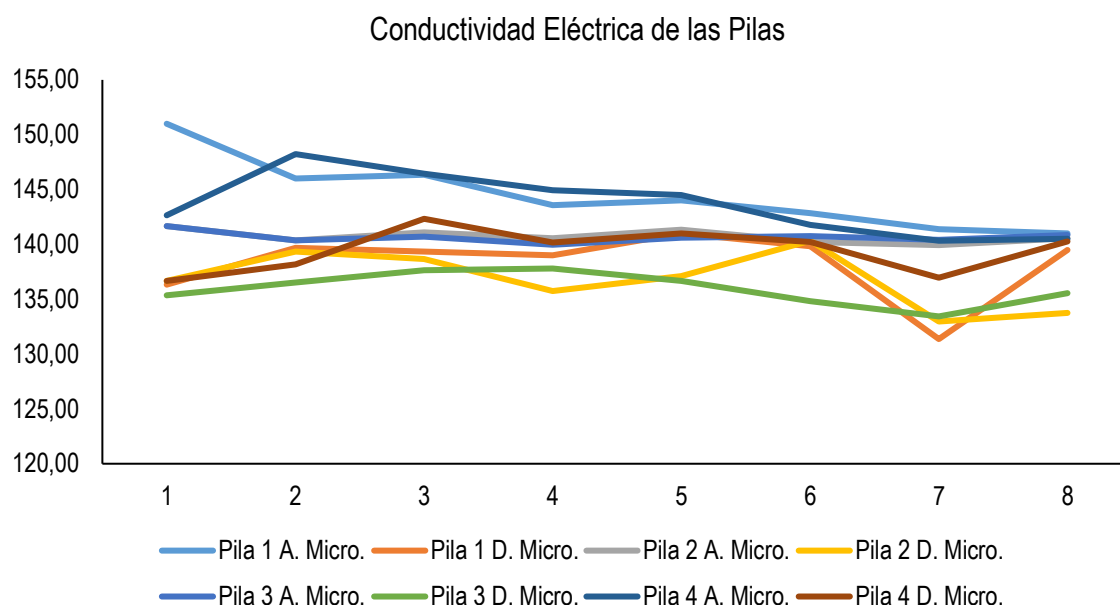


Gráfico 4.3. Conductividad eléctrica de las pilas de compostaje

La conductividad eléctrica de las pilas antes y después de la aplicación de los microorganismos fue variando de forma constante, pasando de un valor máximo registrado de 151 a 132,97 $\mu\text{S}/\text{cm}$ lo que coincide con lo expuesto por Delgado et al., (2020) en cuya investigación la evolución de este parámetro presentó aumentos y disminuciones en sus valores, observándose una estabilidad a partir de un determinado día, que para esta investigación fue el sexto día de control.

Tabla 4.11. Control de humedad de las pilas

Tiempo de control	Humedad							
	Pila 1		Pila 2		Pila 3		Pila 4	
	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.
Día 1	37,83	38,77	36,90	36,70	38,20	37,40	38,10	36,33
Día 2	37,35	38,50	36,61	36,74	38,05	37,17	37,82	36,71
Día 3	37,83	38,51	36,68	36,73	37,88	37,01	37,76	36,45
Día 4	38,03	38,63	36,40	36,90	38,07	37,13	37,93	36,73
Día 5	38,00	38,52	36,57	37,05	38,37	37,40	38,15	36,83
Día 6	37,78	38,60	36,76	36,53	38,28	36,75	37,77	36,29
Día 7	38,51	38,83	36,64	36,83	37,59	37,63	36,33	37,00
Día 8	37,46	38,67	36,07	36,95	37,69	37,02	37,56	35,92

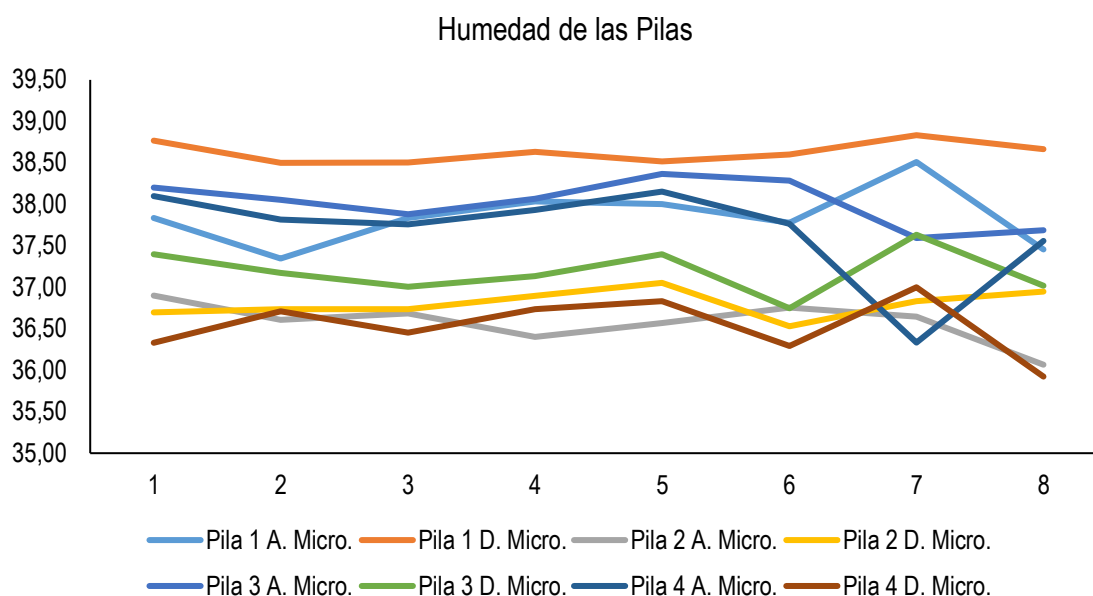


Gráfico 4.4. Humedad de las pilas de compostaje

La humedad en las pilas de compostaje varió entre el 35 al 39%, encontrándose dentro del rango óptimo de acuerdo a Alvarez et al., (2019) quien consideran que el máximo ideal es del 40%, que este parámetro fundamental que regula el proceso de compostaje de los residuos orgánicos, ya que los microorganismos presentes necesitan humedad (agua) con el fin de disolver y transportar los nutrientes (Delgado et al., 2020).

Tabla 4.12. Valores de la relación C/N de las pilas de compostaje

Tratamiento por pilas	Relación C/N
Tratamiento 1	29,17
Tratamiento 2	26,92
Tratamiento 3	53,57

La relación C/N eficaz para un compost maduro debe estar cercana a 10, es decir parecido al del humus. De manera general se puede decir que un compost es maduro o estable cuando la relación C/N es menor a 20, pero cabe mencionar que esta es una condición que se la considera como indispensable pero no es suficiente (Mejía y Ramos, 2019), por su parte Giraldo et al., (2021) mencionan que la relación C/N ideal está entre 25 a 30, rango en el que caen los resultados del tratamiento 1 y tratamiento 2 con 29,17 y 26,92 respectivamente evidenciando que las adiciones de 400 ml y 1200 ml de microorganismos a las

pilas tuvo un efecto positivo en la descomposición del carbono de los residuos con los que se prepararon.

Posteriormente se realizó el análisis de varianza de los parámetros de control de las pilas de compostaje para evaluar la incidencia de la incorporación de las bacterias y hongos en la degradación de las cáscaras de coco y cuyos resultados se reflejan a continuación:

Tabla 4.13. Cuadro de Análisis de la Varianza del pH de las pilas antes de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,66	7	0,24	25,78	<0,0001
Tiempo de control	1,66	7	0,24	25,78	<0,0001
Error	0,22	24	0,01		
Total	1,88	31			

Tabla 4.14. Prueba de Tukey para el parámetro pH antes de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.		
3	8,66	4	0,05	A	
6	8,65	4	0,05	A	
1	8,65	4	0,05	A	
4	8,55	4	0,05	A	B
2	8,47	4	0,05	A	B
5	8,41	4	0,05		B
7	8,33	4	0,05		B
8	7,93	4	0,05		C

Tabla 4.15. Cuadro de Análisis de la Varianza del pH de las pilas después de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,17	7	0,02	0,95	0,4892
Tiempo de control	0,17	7	0,02	0,95	0,4892
Error	0,62	24	0,03		
Total	0,79	31			

Tabla 4.16. Prueba de Tukey para el parámetro pH después de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.
-------------------	--------	---	-------

1	7,62	4	0,08	A
2	7,58	4	0,08	A
8	7,52	4	0,08	A
7	7,48	4	0,08	A
3	7,48	4	0,08	A
6	7,43	4	0,08	A
5	7,42	4	0,08	A
4	7,40	4	0,08	A

Se evidencia en las tablas 4.13 y 4.14 que el pH varió ($p < 0,0001$) entre 8,66 a 7,93 antes de la aplicación de los microorganismos, identificándose 4 grupos; mientras que en las tablas 4.15 y 4.16 el parámetro no varió ($p = 0,4892$) formando un grupo sin diferencias significativas y cuyos valores estuvieron entre 7,62 a 7,40. Melquisedec et al., (2022) consideran que la variación del pH antes de la adición de los microorganismos deja claro el rol importante de estos en los procesos de descomposición de la biomasa agrícola. Los valores de pH en esta investigación coinciden con los reportados por Amanqui (2021) que oscilaron entre 7,52 a 7,61.

Tabla 4.17. Cuadro de Análisis de la Varianza de temperatura de las pilas antes de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	357,84	7	51,12	100,58	<0,0001
Tiempo de control	357,84	7	51,12	100,58	<0,0001
Error	12,2	24	0,51		
Total	370,03	31			

Tabla 4.18. Prueba de Tukey para el parámetro temperatura antes de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.			
6	56,38	4	0,36	A		
5	54,94	4	0,36	A	B	
4	53,83	4	0,36		B	
3	51,78	4	0,36			C
7	50,88	4	0,36			C D
2	49,75	4	0,36			D
8	47,66	4	0,36			E
1	46,00	4	0,36			E

Tabla 4.19. Cuadro de Análisis de la Varianza de temperatura de las pilas después de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	2,96	7	0,42	1,62	0,1773
Tiempo de control	2,96	7	0,42	1,62	0,1773
Error	6,25	24	0,26		
Total	9,21	31			

Tabla 4.20. Prueba de Tukey para el parámetro temperatura después de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.	
1	31,50	4	0,26	A
3	31,06	4	0,26	A
5	31,00	4	0,26	A
4	30,99	4	0,26	A
8	30,97	4	0,26	A
2	30,93	4	0,26	A
6	30,56	4	0,26	A
7	30,53	4	0,26	A

Se evidencia en las tablas 4.17 y 4.18 que la temperatura varió ($p < 0,0001$) entre $56,38^{\circ}\text{C}$ a 40°C antes de la aplicación de los microorganismos, identificándose 7 grupos; mientras que en las tablas 4.19 y 4.20 el parámetro no varió ($p = 0,1773$) formando un grupo sin diferencias significativas y cuyos valores estuvieron entre $31,50^{\circ}\text{C}$ a $30,53^{\circ}\text{C}$, resultados similares a los obtenidos por Nova et al., (2022) quienes en su investigación la temperatura final en las pilas osciló entre $29,7^{\circ}\text{C}$ a $31,9^{\circ}\text{C}$, lo que de acuerdo a García y Villanueva (2021) facilita la degradación de fuentes complejas de carbono como celulosa y lignina.

Tabla 4.21. Cuadro de Análisis de la Varianza de conductividad eléctrica de las pilas antes de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	56,85	7	8,12	1,13	0,3795
Tiempo de control	56,85	7	8,12	1,13	0,3795
Error	173,03	24	7,21		
Total	229,88	31			

Tabla 4.22. Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica antes de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.	
1	144,25	4	1,34	A
2	143,74	4	1,34	A
3	143,65	4	1,34	A
5	142,62	4	1,34	A
4	142,26	4	1,34	A
6	141,39	4	1,34	A
8	140,73	4	1,34	A
7	140,52	4	1,34	A

Tabla 4.23. Cuadro de Análisis de la Varianza de conductividad eléctrica de las pilas después de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	100,54	7	14,36	3,01	0,0205
Tiempo de control	100,54	7	14,36	3,01	0,0205
Error	114,67	24	4,78		
Total	215,21	31			

Tabla 4.24. Prueba de Tukey para el parámetro conductividad eléctrica después de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.	
1	139,50	4	1,09	A
2	138,94	4	1,09	A
3	138,80	4	1,09	A B
5	138,43	4	1,09	A B
4	138,18	4	1,09	A B
6	137,25	4	1,09	A B
8	136,25	4	1,09	A B
7	133,69	4	1,09	B

Se evidencia en las tablas 4.21 y 4.22 que la conductividad eléctrica no varió ($p = 0,3795$) antes de la aplicación de los microorganismos, identificándose un solo grupo sin diferencia significativa; mientras que en las tablas 4.23 y 4.24 el parámetro si varió ($p = 0,0205$) formando tres grupos con diferencias significativas y cuyos valores estuvieron entre 139,50 a 133,69 $\mu\text{S}/\text{cm}$, estos resultados difieren a los obtenidos por Bustinza y Gomero (2023) en cuyo trabajo

la CE alcanzó 7410 a 15700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, así como a los de Delgado et al., (2020) cuyos valores estuvieron entre 12410 a 14180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ esto evidencia que la CE está determinada por la naturaleza y composición del material, principalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones de amonio o nitrato formados durante el proceso.

Tabla 4.25. Cuadro de Análisis de la Varianza de humedad de las pilas antes de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	1,27	7	0,18	0,33	0,9311
Tiempo de control	1,27	7	0,18	0,33	0,9311
Error	13,06	24	0,54		
Total	14,33	31			

Tabla 4.26. Prueba de Tukey para el parámetro humedad antes de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.	
5	37,77	4	0,37	A
1	37,76	4	0,37	A
6	37,65	4	0,37	A
4	37,61	4	0,37	A
3	37,54	4	0,37	A
2	37,46	4	0,37	A
7	37,27	4	0,37	A
8	37,2	4	0,37	A

Tabla 4.27. Cuadro de Análisis de la Varianza de humedad de las pilas después de la adición de microorganismos

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	0,82	7	0,12	0,13	0,9951
Tiempo de control	0,82	7	0,12	0,13	0,9951
Error	21,77	24	0,91		
Total	22,59	31			

Tabla 4.28. Prueba de Tukey para el parámetro humedad después de la adición de microorganismos

Tiempo de control	Medias	n	E. E.	
7	37,57	4	0,48	A
5	37,45	4	0,48	A



4	37,35	4	0,48	A
1	37,30	4	0,48	A
2	37,28	4	0,48	A
3	37,18	4	0,48	A
8	37,14	4	0,48	A
6	37,04	4	0,48	A

Se evidencia en las tablas 4.25 y 4.26 que la humedad no varió ($p = 0,9311$) antes de la aplicación de los microorganismos, identificándose un solo grupo sin diferencia significativa; mientras que en las tablas 4.27 y 4.28 después de la aplicación de los microorganismos el parámetro tampoco varió ($p = 0,9951$) formando un grupo sin diferencias significativas. Estos porcentajes de humedad son similares a los obtenidos por Becerra (2022) cuyo compost alcanzó una humedad promedio de 39%.

4.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DEGRADABILIDAD DE LOS COMPONENTES CELULOLÍTICOS DE LA FIBRA DE COCO

En la evaluación de la degradabilidad se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4.29. Evaluación del crecimiento de microorganismos inoculados

Número de caja Petri	Microorganismo inoculado	Nombre de la cepa	Presencia/Ausencia de crecimiento en el medio	
Caja Petri 1	<i>Trichoderma reesei</i>	Cepa EM-49	Presencia	
Caja Petri 2	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Cepa EM-150	Presencia	

Caja Petri 3	<i>Trichoderma longibrachiatum</i>	Cepa EM-72	Presencia	
Caja Petri 4	<i>Bacillus subtilis</i>	Cepa E-54	Presencia	
Caja Petri 5	<i>Bacillus subtilis</i>	Cepa 21-BMC	Presencia	
Caja Petri 6	<i>Bacillus licheniformis</i>	Cepa E-44	Presencia	

Las bacterias del género *Bacillus* son reconocidas por su capacidad para degradar la materia orgánica (Bermeo, 2021), mientras que los hongos del género *Trichoderma* son hongos saprófitos que se encuentran especialmente en suelos con material vegetal en descomposición; con gran plasticidad ecológica debido a su capacidad enzimática para degradar sustratos (Morocho, 2020), lo que evidencia la capacidad de estos microorganismos para crecer en medios lignocelulósicos como son las cáscaras de coco.

Adicionalmente, de la prueba de fitotoxicidad del compostaje se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 4.30. Longitudes de raíces de rábano medidas por pilas

Tiempo de evaluación	Variable a medir Longitud (cm)	T1	T2	T3	Control
		Pila 1	Pila 2	Pila 3	Pila 4
Repetición 1	Longitud 1 de raíz	13,70	13,00	14,50	8,00
	Longitud 2 de raíz	10,20	14,00	10,30	12,30
	Longitud 3 de raíz	10,60	12,70	7,00	7,60
	Longitud 4 de raíz	12,30	5,50	3,20	11,20
	Longitud 5 de raíz	4,30	12,50	5,50	11,80
Repetición 2	Longitud 1 de raíz	6,80	0,00	7,50	17,00
	Longitud 2 de raíz	0,00	0,00	2,00	9,50
	Longitud 3 de raíz	6,00	0,00	3,00	3,00
	Longitud 4 de raíz	7,20	0,00	1,00	13,00
	Longitud 5 de raíz	3,00	0,00	4,50	10,00
Repetición 3	Longitud 1 de raíz	12,50	14,40	1,50	8,00
	Longitud 2 de raíz	10,00	13,60	7,00	6,50
	Longitud 3 de raíz	9,00	12,80	2,30	5,00
	Longitud 4 de raíz	6,00	4,30	7,60	5,70
	Longitud 5 de raíz	3,00	6,50	4,50	6,00
Repetición 4	Longitud 1 de raíz	16,20	9,20	17,50	5,50
	Longitud 2 de raíz	13,90	10,10	1,40	14,70
	Longitud 3 de raíz	14,70	11,30	1,00	12,70
	Longitud 4 de raíz	5,80	9,60	0,50	2,50
	Longitud 5 de raíz	2,50	3,30	3,40	3,60
Promedio		8,39	7,64	5,26	8,68

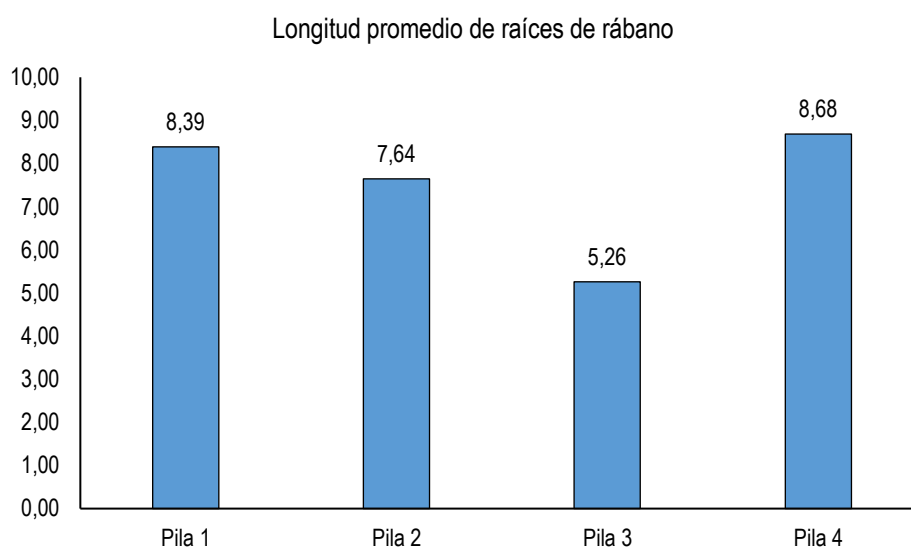


Gráfico 4.5. Longitud promedio de raíces de rábano empleadas en prueba de fitotoxicidad

En la tabla 4.30 y gráfico 4.5 se evidencian los promedios de las longitudes de las raíces de rábano medidas posterior a los 8 días de germinación, teniendo

que la Pila 1 (cáscara de coco molido/recortado + gallinaza + 400 mL de microorganismos diluidos) presentó el mejor promedio en el crecimiento de raíz con un valor de 8,39 cm frente a los promedios de las pilas 2 y 3, aunque siendo menor a la pila control (cáscara de coco molido/recortado + gallinaza sin microorganismos diluidos) que alcanzó un promedio de 8,68 cm. Estos resultados son superiores a los obtenidos por Hidalgo (2020) en cuya experimentación usaron tres tipos de agua para riego de las pilas de compostaje

Los datos para la obtención de Porcentaje de germinación relativo (PGR) y Crecimiento de radícula relativo (CRR) se presentan en la tabla 4.31:

Tabla 4.31. Medición de raíces en semillas de rábano germinadas por pila

Datos de medición de raíces en semillas germinadas	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Número de semillas germinadas en la muestra (GMn)	19	15	20
Número de semillas germinadas en la muestra control (Gc)	20	20	20
Longitud promedio de las raíces en la muestra (LMn)	8,39	7,64	5,26
Longitud promedio de las raíces en la muestra control (Lc)	8,68	8,68	8,68

Mientras que los valores del cálculo están efectuados en el anexo 4 y se sintetizan en la tabla 4.32:

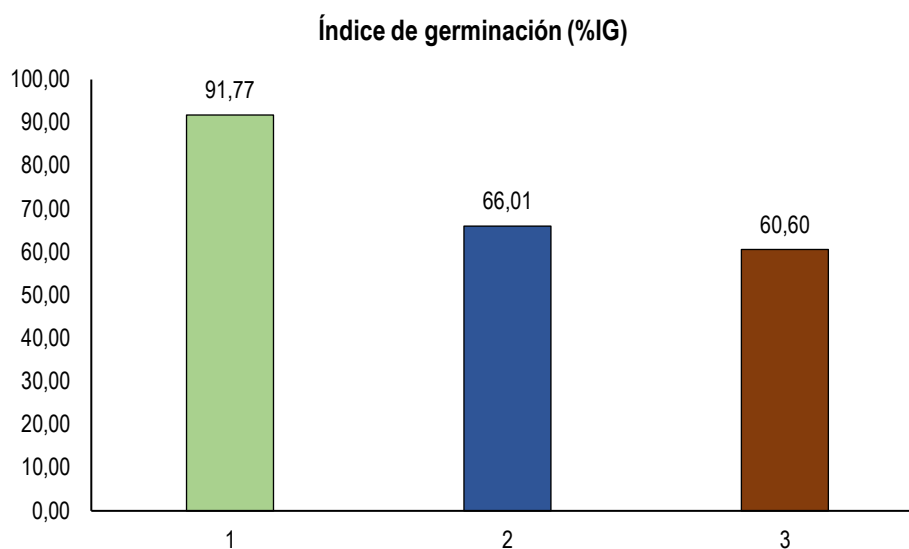
Tabla 4.32. Datos para el cálculo del índice de germinación por pila

Datos para el índice	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Porcentaje de germinación relativo (PGR)	95,00%	75,00%	100,00%
Crecimiento de radícula relativo (CRR)	96,60%	88,02%	60,60%

La obtención del índice de germinación por pila está reflejada en el anexo 4 y se presenta en la tabla 4.32 y gráfico 4.6:

Tabla 4.33. Valores del índice de germinación obtenido por pilas

	Pila 1	Pila 2	Pila 3
Índice de germinación expresado en porcentaje (IG)	91,77%	66,01%	60,60%

**Gráfico 4.6.** Porcentaje del índice de germinación por pila de compostaje

Se evidencia en el gráfico 4.6 que la pila 1 correspondiente a la mezcla de cáscara de coco molido/recortado + gallinaza + 400 mL de microorganismos diluidos presentó el mejor porcentaje de índice de germinación (91,77%) coincidiendo con los resultados de Hidalgo (2019) cuyos valores estuvieron entre el 60% y 94%, mientras que el menor porcentaje fue para la pila 3 (cáscara de coco molido/recortado + gallinaza + 2400 mL de microorganismos diluidos), lo que indica que no siempre se requiere una mayor cantidad de organismos celulolíticos para alcanzar tasas de germinación altas y bajas tasas de toxicidad.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Del diagnóstico socioambiental efectuado se tiene que de los encuestados en el sitio Sosote, el 100% se dedica a la siembra de coco con entre 1000 a 2000 plantas por hectárea, considerando áreas productivas entre 2 a 6 hectáreas, así como un tiempo dedicado a esta actividad que va de 5 hasta 15 años, con un ingreso mensual de menos de \$450,00 por la venta; respecto a los residuos (cáscaras) el 60% afirmó que las quema dentro del mismo predio y entre las fincas monitoreadas se generan 65,21 Kg promedio de este residuo, cuyos análisis bromatológico reveló que un contenido de Fibra detergente neutra del 86,42%; Fibra detergente ácida de 84,20% y lignina de 76,08%.
- Los microorganismos celulolíticos seleccionados para el estudio fueron *Bacillus subtilis* - Cepa E-54, *Bacillus subtilis* - Cepa 21-BMC, *Bacillus licheniformis* - Cepa E-44, *Trichoderma reesei* - Cepa EM-49, *Trichoderma longibrachiatum* - Cepa EM-150 y *Trichoderma longibrachiatum* - Cepa EM-72 los cuales tuvieron crecimiento positivo sobre la fibra de coco molida y recortada que había sido previamente acondicionada con los medios de cultivos preparados (agar nutriente y PDA respectivamente). Posteriormente su evaluación en las pilas de compostaje evidenció un descenso en el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica, mientras que la humedad no presentó variaciones marcadas.
- Todos los tratamientos planteados presentaron degradabilidad de los componentes celulolíticos, puesto que en las seis cajas Petri analizadas se presentó presencia de *Bacillus* y *Trichoderma*.

- Se evidenció que la pila 1 (cáscara de coco molido/recortado + gallinaza + 400 mL de microorganismos diluidos) presentó el mejor promedio en el crecimiento de raíz con un valor de 8,39 cm frente a los promedios de las pilas 2 y 3, aunque siendo menor al control (sin microorganismos) que fue de 8,68 cm; de igual forma la pila 1 logró el mayor porcentaje de índice de germinación que fue de 91,77% con 19 de las 20 semillas sembradas germinadas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Ampliar la investigación en otros sectores productivos del coco comparando los resultados de la caracterización funcional de la cáscara, así como incluir otros parámetros en el diagnóstico socioambiental como la variedad de coco sembrada.
- Probar otros microorganismos para la degradación de la cáscara de coco pero que se identifiquen y aislen de las mismas fincas productivas con el fin de potencializar el efecto degradador de los mismos.
- Efectuar diferentes ensayos de degradabilidad de los materiales celulolíticos para tener un bosquejo más amplio de la capacidad de los microorganismos para descomponer las cáscaras de coco.

BIBLIOGRAFÍA

- Afanasjeva, N., Castillo, L. y Sinisterra, J. (2017). Biomasa Lignocelulósica. Parte I: Transformación de biomasa. *Revista Journal of Science with Technological Applications*, 3(1), 27-43. doi: <https://doi.org/10.34294/j.jsta.17.3.22> |
- Alcántara, Y. (2018). Producción y formulación de *Trichoderma asperellum* para el manejo de patógenos de la raíz de caña de azúcar. *Universidad Autónoma del Estado de Morelos*.
- Alonso, A. (2017). Ensayo de estabilización y reparación de digestores anaerobios, con residuos industriales y agroalimentarios en un proceso de co-digestión anaerobia. En Tesis de Grado (págs. 1-293). Universidad de Sevilla.
- Alvarado, J., Estela, R., López, Y., Santamaría, N., Mori, R. y Gutiérrez, M. (2019). Aislamiento y evaluación de la actividad celulolítica de bacterias rozosféricas del Distrito de Bagua, Amazonas. DOI: <http://dx.doi.org/10.17268/rebiol.2019.39.02.04>
- Alvarez, M., Largo, A., Iglesias, S. y Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*. 10(3): 353 – 361. DOI: [10.17268/sci.agropecu.2019.03.05](https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05)
- Alves, L. (2012). Compostación optimizada en residuos sólidos orgánicos con el uso de metodología enzimática. Tesis de posgrado. Universidad de León. León, España.
- Amanqui, J. (2021). Optimización del proceso de compostaje de los residuos orgánicos provenientes de las áreas verdes del distrito de Tiabaya. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
- Andrade, D. y Avellán, A. (2020). Inoculación de un consorcio microbiano autóctono encapsulado con capacidad celulolítica para la producción de

compost de calidad en Manabí-Ecuador. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.

Araiza, J., Chávez, J. y Moreno, J. (2017). Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera Municipal de Berriozábal, Chapas, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(4), 691-699. doi:DOI: 10.20937/RICA.2017.33.04.12

Arrieta, N. (2019). Estudio de la generación y manejo de los residuos de la comercialización de coco en el municipio de Xoxocotla, Morelos. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca.

Baena, L. y García, N. (2012). *Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de Theobroma cacao L. de una industria chocolatera colombiana*. Pereira: Risaralda: Universidad Tecnológica de Pereira.

Baque, A. (2015). Estudio de factibilidad para el aprovechamiento de la fibra de coco en la elaboración de sustrato, en la provincia de Santa Elena. En *Trabajo de graduación previo a la obtención del título de Ingeniero en Administración de Empresas Agropecuarias y Agronegocios* (págs. 1-108). La Libertad, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Ciencias Agrarias. Carrera de Ingeniería en Administración de Empresas Agropecuarias y Agronegocios.

Barba, C. (2002). Síntesis de carboximetilcelulosa (CMC) a partir de pastas de plantas anuales. En *Tesis Doctorales en Xarxa* (págs. 1-15). Universitat Rovira i Virgili. Departamento de Ingeniería Química.

Barcia, Y. (2020). Canales de comercialización de los derivados del coco y su impacto económico en ASOPARC de la parroquia Cojimíes del cantón Pedernales. Jipijapa: Universidad Estatal del Sur de Manabí.

Bardales, C., Cabos, J., León, C. y Jara, E. (2020). Enriquecimiento proteico de los principales residuos lignocelulósicos agroindustriales de la Región La Libertad con la asociación mixta de *Trichoderma reesei*, *Chaetomium*

cellulolyticum y *Candida utilis* para alimentación animal. *Arnaldoa*. 27 (1): 99-114. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.271.27104>

Barrera, C. (2017). *Método Analítico*. Editorial Etecé.

Becerra, G. (2020). *Valorización de Residuos Orgánicos Municipales y su compostaje mediante el Método Takakura*, Distrito de San Jerónimo, Andahuaylas, 2022. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Bedia, B. (2021). *Cuantificación de la actividad enzimática celulolítica total (fpasa) de cinco basidiomicetos in vitro, procedentes del Santuario Nacional del Ampay*. En *Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial* (págs. 1-103). Abancay, Perú: Universidad Nacional Micaela Bastidad de Apurímac. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agroindustrial.

Bedolla, J., Flores, V. y Recoba, M. (2021). *Estudio de diferentes tipos de residuos de madera como combustible renovable*. Innovación Tecnológica Avances y Aplicaciones. Editorial: Red Iberoamericana de Academias de Investigación A.C. México, D.F.

Bermeo, C. (2021). *Aplicaciones Actuales en las Técnicas del Compostaje a partir de Residuos Sólidos Urbanos*. Revisión Sistemática 2021. Tesis de grado. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Bermúdez, G. (2021). *Proceso agroindustrial y su impacto en la producción y comercialización de productos derivados del coco en la ciudad de Portoviejo*. Tesis de grado. Universidad San Gregorio de Portoviejo. Portoviejo, Ecuador.

Bernal, O. (2022). *Química orgánica y macromolecular*. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: <https://www.docsity.com/es/celulasa-y-su-importancia/8575212/>

Burgos, G. y Jaramillo, J. (2015). *Aprovechamiento de los residuos de cacao y coco para la obtención de carbón activado, en el cantón Milagro, provincia del Guayas*. Universidad de Guayaquil.

- Cabrera, O., Bautista, C., Ortega, Y., Cabrera, D. y Cuello, M. (2020). Obtención de carbón activado a partir de la cáscara del coco (*Cocos nucifera* L) y su evaluación en la remoción de residuos líquidos coloreados. *UTCiencia*. 7(3): 36-47
- Caiza, C. y Plua, D. (2021). *Determinación de la celulosa en residuos lignocelulósicos por el método de Kurschner y Hoffer*. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Química.
- Camacho, A., Martínez, L., Ramírez, H., Valenzuela, R. Y Valdés, M. (2014). Potencial de algunos microorganismos en el compostaje de residuos sólidos. *Terra Latinoamericana*. 32 (49): 291-300
- Cartay, R., Intriago, J., Ordoñez, J. y Varela, A. (2023). Residuos, desperdicios y subproductos. Importancia económica y social, y repercusión medioambiental. *Revista de Gastronomía y Cocina* 2 (2): 10-21. doi: 10.5281/zenodo.8212552
- Castro, H., Contreras, E. y Rodríguez, J. (2020). Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*. 41(38): 42-50. DOI: 10.48082/espacios-a20v41n38p05
- Castro, L., Solis, J., Ortega, P. y Astudillo, M. (2020). Cadena de valor del cocotero de la Costa Grande de Guerrero, México. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 119(2), 1-9.
- Cañizo, J. (2011). *Palmeras*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Caviedes, D. (2010). Aislamiento y selección de *Pseudomonas* sp., y *Bacillus* sp., promotoras del crecimiento vegetal en cultivo de uchuva (*Physalis peruviana* L.) con actividad antagónica frente a *Fusarium oxysporum*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Chávez, J. (2017). Obtención y Evaluación de extractos enzimáticos con actividad celulítica y lignolítica a partir del hongo *Pleurotus ostreatus* cultivados en tuza de maíz. En *Proyecto de Investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario* (págs. 1-68). Quevedo, Los

- Ríos, Ecuador: Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencias Pecuarias. Carrera de Ingeniería Agropecuaria.
- Cieza, J. (2017). Aplicación de bacterias ácido lácticos para acelerar la descomposición de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el centro de compostaje Yencala Boggiano - Lambayeque. En *Tesis para obtener el título preprofesional del Ingeniero Ambiental* (págs. 1-97). Chiclayo, Perú: Universidad César Vallejo. Facultad de Ingeniería. Escuela Académico de Ingeniería Ambiental.
- Concejería de Cultura. (2011). Recomendaciones Técnicas para la georreferenciación de entidades patrimoniales. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico.
- Dávila, F. y Camacho, E. (2012). Georreferenciación de documentos cartográficos para la gestión de Archivos y Cartotecas. "Propuesta Metodológica". Instituto Geográfico Nacional de España.
- De Lucas, A., Del Peso, C., Rodríguez, E. y Prieto, P. (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad*. Madrid: Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario. ITAGRA.CT.
- Delgado, M., Mendoza, K., González, M., Tadeo, J. y Martín, J. (2020). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 35 (4) 965-977. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.04.15
- Desamparados, M., García, F. y García, L. (2022). Residuos de coco. Arte y vermicompostado para su reutilización. *El Gusto en el Museo*, 281-288.
- Díaz, L. (2011). La Observación. En *Textos de apoyo didáctico* (págs. 1-29). Facultad de Psicología UNAM.
- Dueñas, L. y Macias, N. (2018). La diversificación relacionada de la producción del coco en Riochico-Ecuador. *Observatorio de la Economía Latinoamericana. Revista Eumedret*, 1-18.

- Elejalde, M. (2019). Evaluación de métodos de encapsulación de esporas de *Trichoderma* en presencia de ácido húmico para mantener su actividad. Universidad San Francisco de Quito. Quito.
- Equipo Editorial Etécé. (2023). Método Analítico. De: Argentina. Para: Concepto.de. Disponible en: <https://concepto.de/metodo-analitico/>. Última edición: 16 de julio de 2021. Consultado: 13 de septiembre de 2023
- Escobar, J. (2015). Evaluación de dos crioprotectores sobre la viabilidad y actividad de una bacteria ruminal celulolítica conservada por liofilización. Montecillo: Instituto de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
- Estupiñan, E. y Sánchez, W. (2019). Plan de Empresa para la creación de "Fibras de coco", Empresa dedicada a la producción y comercialización de fibras y sustrato a partir de la estopa de coco. En *Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería. Departamento de Operaciones y Sistemas* (págs. 1-165). Santiago de Cali: Programa de Ingeniería Industrial.
- Fernández, A., García de la Fuente, C., Saéz, J. y Valdezate, S. (2010). Procedimientos en Microbiología Clínica. Recomendaciones de la Sociedad Española de Enfermedades infecciosas y microbiología clínica. En *Métodos de Identificación bacteriana en el laboratorio de microbiología* (págs. 1-52). Seimc.
- Fiestas, M. y Millones, A. (2019). Influencia de la concentración y el tiempo de contacto del carbón activado de cáscara de coco en la remoción de arsénico de aguas subterráneas de Mórrope. Tesis de grado. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Lambayeque, Perú
- Flores, Y. y Retamozo, O. (2020). Revisión sistemática: biodegradación del poliuretano utilizando microorganismos fúngicos. Tesis grado. Universidad César Vallejo. Lima, Perú.
- Flores, B. y Simaluisa, J. (2022). Proyecto de factibilidad para la fabricación de tableros aglomerados con estopa de coco. Tesis de grado. Universidad Técnica del Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.

- Fonseca, P. y Monroy, J. (2022). Propuesta de un medio filtrante biodegradable mediante fibras de celulosa a partir del Bagazo de caña de azúcar. En *Proyecto integral de grado para optar por el título de Ingeniero Químico* (págs. 1-122). Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Química.
- Franco, L., Meza, M. y Almeida, J. (2018). Situación de la disposición final de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Bucaramanga: caso relleno sanitario El Carrasco. *15(1)*, 190-193. Obtenido de DOI: <https://doi.org/10.18041/avances.v15i1> • pp 180-193 (2018)
- FOSS Dedicated Analytical Solutions. (2015). Solución para determinar la fibra cruda y la fibra en detergente Fibertec M6.
- Fundación ENDESA. (7 de Julio de 2022). *Endesa*. Obtenido de Centrales de biomasa y sus tipos: <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/centrales-renovables/central-de-biomasa>
- Gaitán, D. y Pérez, L. (2007). Aislamiento y evaluación de microorganismos celulolíticos a partir de residuos vegetales frescos y en compost generados en un cultivo de Crisantemo (*Dendranthema grandiflora*). En *Trabajo de grado presentado como requisito para optar título de Microbiología Industrial* (págs. 1-114). Bogotá, Colombia: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencia.
- Galván, B. (2018). Aislamiento, purificación y caracterización de actividad celulolítica de hongos de corteza de *Pinus hartwegii*. En *Tesis para obtener el grado de Licenciada en Biotecnología* (págs. 1-69). Universidad Autónoma del Estado de México.
- García, R., Quevedo, J. y Socorro, A. (2019). Prácticas para el aprovechamiento de residuos bananera y resultados de su implementación. *Universidad y Sociedad*, *12(1)*, 280-291.
- García, S. (2015). Estudio de factibilidad para la industrialización de la fibra de coco en el Recinto La Tolita, Pampa de Oro-Esmeraldas. En *Tesis de*

- grado previa a la obtención del título de Ingeniero Industrial* (págs. 1-117). Guayaquil, Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil. Ingeniería Industrial.
- García, T. y Villanueva, K. (2021). Evaluación de dos sistemas de compostaje para la valorización de residuos orgánicos de un centro de abastos del distrito de Islay. Arequipa. 2019. Tesis de grado. Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.
- Giraldo, J., Pérez, L., Mosquera, L. y Ángel, R. (2021). Evaluación de los parámetros de control del compostaje (oxigenación y relación C/N) de residuos de hogares en Neiva, Huila. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*. 7(7): 2-7. DOI: 10.23850/raa.v7i1.3728
- Ghio, S. (2018). Prospección y caracterización de bacterias celulolíticas y hemicelulolíticas. En *Tesis Doctoral* (págs. 1-165). Universidad de Buenos Aires.
- Gobierno Provincial de Manabí. (2015). Cantón Rocafuerte.
- Gómez, C., Láinez, M., Martínez, S. y Suárez, J. (2019). Aislamiento de microorganismos celulolíticos del sistema digestivo de *Ptichopus angulatus* Leach, 1815 (COLEOPTERA: PASSALIDAE) con potencial aplicación para biocombustibles. *Revista Ecología y Comportamiento, Entomología Mexicano* (6), 396-400.
- Grijalba, N. (2013). Degradación de residuos vegetales mediante inoculación con cepas microbianas. *Enfoque UTE*, 1-13.
- Guevara, A. (2020). Obtención de extractos enzimáticos con actividad celulolítica mediante fermentación del hongo *Trichoderma reesei* sobre celulosa y posible aplicación en el bio-pulpeo de envases multicapa. En *Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniería Agroindustrial* (págs. 1-15). Quito, Ecuador: Escuela Politécnica Nacional. Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
- Guzmán, A., Zambrano, D., Rondón, A., Laurencio, M., Pérez, M., León, R. y Rivera, R. (2014). Aislamiento, selección y caracterización de hongos

celulolíticos a partir de muestras de suelo en Manabí-Ecuador. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 46(2), 177-189. Recuperado en 24 de agosto de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-86652014000200013&lng=es&tlng=es.

Hernández D., Ferrera, R. y Alarcón, A. (2019). *Trichoderma*: Importancia agrícola, biotecnológica, y sistemas de fermentación para producir biomasa y enzimas de interés industrial. Chilean journal of agricultural & animal sciences. 35(1):98-112.

Hernández, H. (2020). Evaluación del índice de germinación en semillas de rábano (*Raphanus sativus* L.) usando aguas tratadas. Tesis de grado. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Chiapas, México.

Hernández, T., Fernández, D. y Baptista, R. (2019). Investigaciones cuantitativas de tipo experimental. Parte 1.

Herrera, G. (2021). Fermentación sólida en la industria alimentaria. Tesis de grado. Universidad Técnica de Ambato. Ambato, Ecuador.

Hidalgo, K. (2019). Contenido nutricional del compost elaborado a partir de residuos de soca de maíz (*Zea mays* L.) Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta.

Hwang, J. y Park, J. (2015). Characteristics of enterotoxin distribution, hemolysis, lecithinase, and starch hydrolysis of *Bacillus cereus* isolated from infant formulas and ready-to-eat foods. Journal Dairy Science. 98 :1652–1660. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2014-9042>

InfoAgro. (2023). El cultivo del coco (1ª parte). Recurso en línea. Disponible en: https://infoagro.com/frutas/frutas_tropicales/coco.htm#:~:text=%2DFruto,%a%20pesar%20hasta%202.5%20kilogramos.

Jardín Botánico de Santiago. (2022). Catálogo de Plantas. Cocotero. Recurso en línea. Disponible en: <https://botanicodesantiago.com/cocos-nucifera/>

Labajo, E. (2017). El Método Científico (I). Universidad Complutense de Madrid.

- Landín, M. y Sánchez, S. (2019). El método biográfico-narrativo. Una herramienta para la investigación educativa. *Educación, XXVIII* (54), 227-242. Obtenido de <https://doi.org/10.18800/educacion.201901.011>
- López, J. (2020). Degradación de plumas mediante la aplicación de aislados de *Bacillus licheniformis* procedentes de pilas de compostaje de restos vegetales. Tesis grado. Universidad de Almería. Almería, España.
- Macías, N., Esquivel, R. y Valdés, P. (2018). Caracterización de la producción y diversificación del coco para la transformación de la matriz productiva en Manabí-Ecuador”, *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*.
- Martínez, K., Pereira, M. y Kohout, M. (2021). “*Economía circular en América Latina y el Caribe: oportunidad para una recuperación transformadora*”, *Documentos de Proyectos (LC/TS.2021/120)*. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Martínez, L. y Martínez, E. (2022). Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería). Tesis de grado. Universidad de Córdoba. Montería, España.
- Martínez, R. (2019). Evaluación de sustratos orgánicos para la reproducción de hongos benéficos *Trichoderma sp*, en el laboratorio de la Universidad Luterana Salvadoreña, en el periodo de septiembre-noviembre 2019. Universidad Luterana Salvadoreña. San Salvador.
- Mata, L. (2019). *Investigaciones cuantitativas de tipo experimental. Parte 1*. Obtenido de <https://investigaliacr.com/investigacion/investigaciones-cuantitativas-de-tipo-experimental-parte-1/#:~:text=Los%20dise%C3%B1os%20de%20investigaciones%20cuantitativas%20de%20tipo%20experimental%20corresponden%20a,las%20variables%20que%20los%20componen>.
- Mejía, E. y Ramos, S. (2019). Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa pública municipal mancomunada de aseo de los cantones

- Colta, Alausi y Guamote, mediante tratamientos biológicos. Compostaje, cocompostaje, vermicompostaje y takakura. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.
- Mejía, F. y Alvarado, R. (2016). Evaluación in vitro de hongos nativos antagonistas de *Moniliophthora roreria* (Cif. y Pr., Evans et al.,) en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). En *Trabajo de Graduación* (págs. 1-71). Managua, Nicaragua: Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía.
- Melgarejo, L. (2010). Experimentos en fisiología vegetal. Colombia: Charlies.
- Melquisedec, A., Corzo, M., Ramírez, H., Jaimes, F., Jaimes, Y., Duarte, F., Contreras, M., Contreras, G., Rodríguez, Y., Marlín, E. y Caicedo, J. (2022). El compostaje a partir de microorganismos eficientes. Servicio Nacional de Aprendizaje – SENA. Centro de Formación para el Desarrollo Rural y Minero. Cúcuta, Colombia.
- Mendoza, M. (2019). Caracterización de la producción agrícola de una muestra de unidades productivas agropecuarias de la provincia de Manabí. Calceta: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Menéndez, J. y Solórzano, L. (2016). Creación de una planta procesadora y comercializadora de agua de coco y su aporte al desarrollo del sector productivo del sitio Sosote del cantón Rocafuerte. Tesis de grado. Universidad San Gregorio de Portoviejo. Portoviejo, Ecuador
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. (2012). Producción y consumo sostenibles y residuos agrarios. Madrid.
- Miño, J., González, E. y Pérez, O. (2019). Contribución de la ingeniería de las reacciones químicas al desarrollo de nuevos procesos industriales. 1a edición - Posadas, Misiones, Argentina
- Morales, M. y Vera, E. (2019). Estudio de factibilidad para la elaboración y comercialización de carbón vegetal, hecho a base de la cáscara de coco, en la provincia de Manabí. Guayaquil: Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

- Morocho, A. (2020). Evaluación de la aplicación de consorcios microbianos en un sistema de producción de plántulas de aguacate (*Persea americana* Mill.) cultivar 'criollo'. Tesis de grado. ESPE Universidad de las Fuerzas Armadas. Sangolquí, Ecuador.
- Moya, L. (2013). Determinación de la capacidad celulolítica in vitro de consorcios de hongos provenientes de suelo del bosque alto andino y tusas de palma de aceite (*Eleaeis guinensis* Jacq) en descomposición sobre dos sustratos: tusa y celulosa microcristalina.
- Nacimba, G., Andueza, F. y Santafé, D. (2018). Tratamiento de desechos orgánicos empleando microorganismos celulolíticos. FIGEMPA: Investigación y Desarrollo. 1 (1): 31-40
- Navas, A. (2017). *Análisis de la fibra de coco como material filtrante en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la lavadora y lubricadora de autos "Izurieta" ubicada en el cantón Cevallos provincia de Tungurahua*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Civil.
- Nova, M. y Mamani, B. (2020). Efecto de la aplicación de microorganismos eficientes con y sin la pulpa de celulosa contenida en el gel del pañal de bebe para la producción de humus. *Acta Nova*, 737-753.
- Nova, M., Mamani, B. y Álvarez, J. (2022). Aplicación de activadores biológicos en dos tipos de compostaje para la degradación de residuos orgánicos, Carmen Pampa, Coroico – Bolivia. *Acta Nova*, 10(3): 263-282
- Olvera, S. (2014). *Operaciones para la gestión de residuos industriales SEAG0108* (Primera Edición ed.). (I. Editorial, Ed.)
- Palomino, L. y Barinia Lea, J. (2018). *Evaluación de la capacidad de degradación de residuos agrícolas utilizando bacterias celulolíticas y xilanolíticas, como alternativa de tecnología limpia*. Perú: Universidad Nacional Santiago Atunéz de Mayolo.

- Pazmay, E. (2023). Obtención de derivados semisintéticos de la celulosa aislada del mesocarpio de Cocos nucifera. Tesis de grado. Universidad Central del Ecuador. Quito, Ecuador.
- Peñalver, D. (2019). Nanoliposomas a partir de productos naturales infrautilizados y residuos agroalimentarios como ingrediente funcional en alimentos. En Tesis Doctoral (págs. 1-360). Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Ciencias Biológicas.
- Pérez, V., Boix, P., Campo, J., Carrasco, P., Escaray, F., Gimeno, E., . . . Catalá, J. (2020). *Presente y futuro de las tecnologías verdes*. La Universitat de València.
- Plaza, J. (2019). Degradación de celulosa de pañales desechables usados con *Bacillus sp.* Tesis grado. Universidad de las Américas. Quito, Ecuador.
- Ponce, R. (2015). Elaboración de placas rígidas biodegradables, por moldeo en prensa, a partir de cortezas de palmito (*Bactris gasipaes*), con almidón acetilado de yuca (*Manihot sculenta*) impregnado (Bachelor's thesis, Quito, 2015.).
- Quintero, J. (2021). Comportamiento de microorganismos celulolíticos y fijadores de nitrógeno asociados a *Espeletia argentea* en dos zonas con diferente grado de intervención en el páramo de Rabanal, Boyacá, Colombia. En *Programa de Biología* (págs. 1-69). Bogotá: Universidad del Bosque. Facultad de Ciencias.
- Redes, L. (19 de 01 de 2018). Los residuos en la industria. 1.
- Reinoso, Y., Vaillant, D., Casadesús, L., García, E. y Pazos, V. (2007). Selección de cepas de *Bacillus* y otros géneros relacionados para el control biológico de hongos fitopatógenos. *Fitosanidad*, vol. 11, pp. 35-40.
- Reuters, T. (2021). *Economía Circular: Fundamentos y aplicaciones* (Primera Edición ed.). (J. V. Mesequer-Sánchez, V. Molina-Moreno, & P. Núñez-Cacho, Edits.) Editorial Aranzadi, S.A.U.

- Reyes, A., Ruiz, E., Yam, C. y Dzul, M. (2011). Selección de *Bacillus* spp. Con actividad antagonica in vitro contra *Macrophomina phaseolina* (tassi) Goid. En diferentes medios de cultivo. *Fitosanidad*, pp. 117-121.
- Riaño, E. (2019). Aislamiento e identificación de *Bacillus* spp.: Efecto en la mineralización de residuos sólidos orgánicos y evaluación de aportes nutricionales en un sistema acuapónico (*Oreochromis niloticus* - *Solanum lycopersicum* L.). Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Perú.
- Rincón, J., Rincón, P., Torres, E., Mondragón, A., Sánchez, M., Arana, A., Ortiz, A. y Jiménez, E. (2016). Caracterización fisicoquímica y funcional de la fibra de mesocarpio de coco (*Cocos nucifera* L.). *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1(2): 279-284
- Rodríguez, J., Brown, A., Álvarez, A. y Michelena, G. (2018). Producción de ácido levulínico: una revisión bibliográfica.
- Rodríguez, A. (2019). Actividad celulolítica de hongos filamentosos aislados del parque nacional de Foz de Iguacu-Brasil en sustratos agrícolas mediante la planificación experimental. En *Trabajo de conclusión de curso* (págs. 1-54). Foz de Iguacú: Unila Universidad Federal de Integración Latinoamericana. Instituto Latino-Americano de Ciencias de la vida y de la naturaleza (ILACVN). Biotecnología.
- Romero, V., Rosado, G., Sablón, N. y Burbano, L. (2020). Análisis de la cadena agroalimentaria del coco (*Cocos nucifera*) en la provincia de Manabí, Ecuador. *La Técnica, Revista de las Agrociencias*. (24): 43-72
- Rondón, E., Szantó, M., Pacheco, J., Contreras, E. y Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Saenz, A., Urdaneta, G. y Joheni, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 121-135.
- Salas, V., Sánchez, P., Torres, N. y Herrera, J. (2023). Composición de la pared celular de vástago de coco tratado por fermentación sólida usando

- Pleurotus ostreatus como inóculo. Archivos Latinoamericanos de Producción Animal. 2023. 31 (Supl. 1):175-179
- Sánchez, E., Heredia, J., Buitrago, S. y Medina, J. (2020). Aislamiento e identificación de microorganismos potencialmente amilolíticos y celulolíticos de suelos de humedales de Bogotá. *Revista Colombiana Biotecnológica*, XXII (1), 36-44. Obtenido de DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.71278
- Sánchez, J. (2003). *Manejo de residuos industriales* (Primera Edición ed.). (R. González-De la Fuente, C. González-García, R. Morales-Escalante, L. A. Pineda-Barreiro, & I. E. Semadeni-Mora, Edits.) México: Colegio de Ingenieros Ambientales de México. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Occapama.
- Sánchez, M., Cruz, J. y Maldonado, P. (2020). Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación. *Revista Finanzas y Política Económica*, 11(2), 321-335. doi: <https://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon.2019.11.2.6>
- Sanz, A. (2014). *Tecnología de la celulosa. La Industria papelera*. Obtenido de Química Orgánica Industrial: <https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-03.php>
- Sastoque, E. (2005). Aislamiento y selección de microorganismos productores de quitinasas a partir de residuos de conca de camarón con potencial biocontrolador. En *Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar por el título de Microbiólogo Industrial, Agrícola y Veterinario* (págs. 1-123). Bogotá, Ecuador: Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias. Carrera de Microbiología Industria, Agrícola y Veterinaria.
- Seguí, L., Medina, R. y Guerrero, H. (2018). Gestión de residuos y economía circular. En *EAE Business School* (págs. 1-46). España.

- Soo, E. (2021). Valorización de las cáscaras de coco como potencial fuente para la obtención de azúcares y edulcorantes no calóricos. Universidad Autónoma de Baja California. Mexicali.
- Soria, V. (2020). La bioenergía: Presente y perspectivas del uso energético de la biomasa. *Presente y futuro de las tecnologías verdes: Contribuciones desde la Universitat de València*, 47.
- Soriano, M., García, F. y García, L. (2022). Residuos de coco. Arte y vermicompostado para su reutilización. En Actas del III Congreso Internacional sobre Patrimonio Alimentario y Museos. 281-290. <https://doi.org/10.4995/EGEM2021.2021.14899>
- Sotelo, I., Jiménez, J., De Zan, A. y Cueto, C. (2012). Efecto de inoculación de microorganismos en crecimiento de rábano (*Raphanus sativus*). *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial: BSAA*, 21-31.
- Suárez, K. (2015). Estudio de los recursos fitoterapéuticos ancestrales para su conservación y aprovechamiento sostenible: Tamizaje fitoquímico, aislamiento de metabolitos secundarios y actividad biológica de *Mansoa alliacea*. Universidad Técnica Particular de Loja. Loja.
- Tamariz, C., Lázaro, J., Olivera, P., Castañeda, A. y Villena, G. (2020). Isolation of thermotolerant *Bacillus subtilis* DCH4 from Chancos hot spring (Carhuaz, Peru) with potential to degrade lignocellulosic agriculture wastes. I Congreso Internacional de Biotecnología e innovación (ICBi), Revista Peruana de Biología, 27(1): 067–078. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v27i1.17582>
- Triviño, J., Yolanda, C. y Sánchez, J. (2021). Subproductos generados en el tratamiento y valorización de residuos sólidos urbanos del concepto de biorrefinería: una revisión sistemática. *Revista Ingeniería y Región*, 25, 60-74.
- Trujillo, J. (2021). *Caracterización de los residuos generados en el proceso de deshidratación de tres tipos de frutas*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica del Chimborazo.

- Vaca, M., González, M. y Vaca, P. (2020). Caracterización de las propiedades físicas del residuo de coco con vista a su aprovechamiento agroindustrial. *ESPOCH Congresses: The Ecuadorian Journal of S.T.E.A.M*, 1(1), 339-354. Obtenido de DOI 10.18502/epoch.v1i1.9569
- Vaillant, D., Romeu, C., Gómez, M. y Ramírez, R. (2014). Actividad fungicida del hongo liquinizado *Loxospora pustulata* sobre *Rhizoctonia solani*. *Revista Ciencia y Tecnología*, 16(21), 12-26.
- Zambrano, D. (2021). Bioprospección de cepas de hongos y bacterias productoras de enzimas que aceleren la descomposición de residuos agropecuarios en el compostaje. Tesis Maestría. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Zambrano, J., Palacios, N., Alcívar, A., Alcívar, M., Arana, D. y Macías, C. (2021). La cadena de valor del coco (*Cocos nucifera* L.) y su productividad. *Ciencias Tecnológicas UTEQ*, 41-46.

ANEXOS

Anexo 1. Fotogalería del trabajo



Foto 1. Recolección de la materia prima



Foto 2. Trituración de la materia prima



Foto 3. Preparación de medio de cultivo sólido



Foto 4. Preparación de medio de cultivo líquido



Foto 5. Microorganismos sembrados en los medios



Foto 6. Evidencia de crecimiento de microorganismos



Foto 7. Pesaje de materia prima para compost



Foto 8. Preparación de pilas de compost



Foto 9. Adición de microorganismos en las pilas



Foto 10. Control de parámetros en las pilas




Foto 11. Control en laboratorio



Foto 12. Pruebas de germinación

Anexo 2. Análisis de laboratorio

 AGROCALIDAD AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL FITO Y ZOOSSANITARIO	LABORATORIO DE BROMATOLOGÍA	PGT/B/09-FO01
	Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf: 02- 3828 860 ext. 2035	Rev. 6
	INFORME DE ANÁLISIS	Hoja 1 de 1

Informe N°: LN-B-E22-344

Fecha emisión Informe: 30/12/2022

DATOS DEL CLIENTE

Persona o Empresa solicitante¹: Erick Ernesto Zambrano GarcíaDirección¹: Sitio SosoteTeléfono¹: 0988651181Correo Electrónico¹: erickzambrogarcia@gmail.comProvincia¹: ManabíCantón¹: Rocafuerte

N° Orden de Trabajo: 13-2022-801

N° Factura/ Memorando: 709

DATOS DE LA MUESTRA:

Lote ¹ : ---	Conservación de la muestra ¹ : Ambiente
Provincia ¹ : Manabí	Tipo de envase ¹ : Funda plástica
Cantón ¹ : Rocafuerte	Condiciones ambientales: Temperatura (°C): 21
Parroquia ¹ : Rocafuerte	Humedad Relativa(% HR): 50,2
Responsable de toma de muestra ¹ : Erick Zambrano	
Fecha de toma de muestra ¹ : 16-11-2022	Fecha de inicio de análisis: 29-12-2022
Fecha de recepción de la muestra: 22-12-2022	Fecha de finalización de análisis: 30-12-2022

RESULTADOS DEL ANÁLISIS BROMATOLÓGICO

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA ¹	PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO	RESULTADO	ESPECIFICACIÓN/ REFERENCIA ¹
B220340	Es-01	Fibra detergente neutra (FDN)	%	Gravimétrico PEE/B/05	86,42	---
		Fibra detergente ácida (FDA)	%	Gravimétrico PEE/B/05	84,20	---
		Lignina	%	Gravimétrico PEE/B/16	76,08	---

Analizado por: Quím. A. Patricia Obando.

Observaciones:

- Los resultados se aplican a la muestra como se recibió.
- Datos suministrados por el cliente. El Laboratorio no se responsabiliza por esta información.
- Informe revisado por Quím. A. Patricia Obando.

Anexo Gráficos: NA

Anexo Documentos: NA


 Firmado digitalmente por:
 BLANCA PATRICIA
 OBANDO CAMALLE

 Quím. A. Patricia Obando
 Responsable Técnico [e]
 Laboratorio de Bromatología

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha.
 Está prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización del Laboratorio



ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL "PICHILINGUE"
LABORATORIO DE SUELOS, TEJIDOS VEGETALES Y AGUAS

Km 5 Carretera Quevedo - El Empalme
 Mocache - Ecuador Teléfono: 2783044 Ext. 201

Nombre del Propietario:	ZAMBRANO GARCIA ERICK ERNESTO	Telf	052783128	Reporte N°:	11069
Nombre de la Propiedad:		Cultivo:	Abono	Fecha de muestreo:	18/07/2023
Localización:	El Limón	Bolivar	Manabí	Fecha de ingreso:	26/07/2023
	Paroquia	Cantón	Provincia	Fecha salida resultados:	10/08/2023

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESPECIAL

Número de Laboratorio	Identificación de las Muestras	Concentración %										ppm					
		MO	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Zn	Cu	Fe	Mn				
81659	Tratamiento 1	35.0	1.2														
81660	Tratamiento 2	35.0	1.3														
81661	Tratamiento 3	37.5	0.7														
81662	Cascara de Coco	35.4	0.8														
81663	Gallinaza	20.3	1.1														
81664	Control	32.6	4.1														

Observaciones: -----


 Dr. Manuel Carrillo Zenteno
 RESPONSABLE DPTO.




 LABORATORISTA



Anexo 3. Monitoreo de pilas

N° Pila	Tiempo de control	pH		Temperatura		Conductividad Eléctrica		Humedad	
		A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.	A. Micro.	D. Micro.
Pila 1	Día 1	8,77	7,62	46,00	32,67	151,00	136,33	37,83	38,77
	Día 2	8,52	7,49	48,33	30,80	146,00	139,67	37,35	38,50
	Día 3	8,54	7,36	51,47	30,90	146,33	139,33	37,83	38,51
	Día 4	8,49	7,35	54,10	30,62	143,57	139,00	38,03	38,63
	Día 5	8,31	7,39	55,50	30,90	144,00	141,00	38,00	38,52
	Día 6	8,68	7,38	56,07	31,10	142,83	139,83	37,78	38,60
	Día 7	8,29	7,42	50,50	30,57	141,40	131,37	38,51	38,83
	Día 8	7,90	7,46	47,50	30,90	141,00	139,47	37,46	38,67
Pila 2	Día 1	8,54	7,55	47,67	32,33	141,67	136,67	36,90	36,70
	Día 2	8,47	7,42	50,67	30,33	140,37	139,33	36,61	36,74
	Día 3	8,72	7,39	51,63	31,37	141,10	138,67	36,68	36,73
	Día 4	8,60	7,28	53,30	31,23	140,57	135,73	36,40	36,90
	Día 5	8,44	7,29	54,47	31,33	141,33	137,10	36,57	37,05
	Día 6	8,67	7,29	56,63	30,73	140,23	140,33	36,76	36,53
	Día 7	8,31	7,36	50,87	30,67	139,93	132,97	36,64	36,83
	Día 8	7,93	7,39	47,47	30,77	140,57	133,73	36,07	36,95
Pila 3	Día 1	8,55	7,57	45,33	30,67	141,67	135,33	38,20	37,40
	Día 2	8,37	7,50	49,00	30,67	140,37	136,53	38,05	37,17
	Día 3	8,55	7,46	51,67	30,57	140,70	137,67	37,88	37,01
	Día 4	8,48	7,41	53,80	30,83	139,97	137,80	38,07	37,13
	Día 5	8,33	7,37	54,83	31,10	140,63	136,67	38,37	37,40
	Día 6	8,48	7,38	55,90	30,07	140,73	134,80	38,28	36,75
	Día 7	8,32	7,40	50,83	30,07	140,43	133,43	37,59	37,63
	Día 8	7,97	7,43	48,30	31,13	140,83	135,53	37,69	37,02
Pila 4	Día 1	8,72	7,73	45,00	30,33	142,67	136,67	38,10	36,33
	Día 2	8,50	7,90	51,00	30,70	148,23	138,20	37,82	36,71
	Día 3	8,84	7,70	52,33	31,40	146,47	142,33	37,76	36,45
	Día 4	8,63	7,55	54,10	31,27	144,93	140,17	37,93	36,73
	Día 5	8,55	7,62	54,97	30,67	144,50	141,00	38,15	36,83
	Día 6	8,75	7,66	56,90	30,33	141,77	140,23	37,77	36,29
	Día 7	8,40	7,75	51,33	30,80	140,33	136,97	36,33	37,00
	Día 8	7,93	7,81	47,37	31,07	140,50	140,27	37,56	35,92

Anexo 4. Cálculos del índice de germinación**Para la pila 1**

$$IG (\%) = \frac{PGR (\%) \times CRR (\%)}{100}$$

$$IG (\%) = \frac{95\% \times 96,60\%}{100}$$

$$IG (\%) = 91,77\%$$

Para la pila 2

$$IG (\%) = \frac{PGR (\%) \times CRR (\%)}{100}$$

$$IG (\%) = \frac{74\% \times 88,02\%}{100}$$

$$IG (\%) = 66,01\%$$

Para la pila 3

$$IG (\%) = \frac{PGR (\%) \times CRR (\%)}{100}$$

$$IG (\%) = \frac{100\% \times 60,60\%}{100}$$

$$IG (\%) = 60,60\%$$