

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL”

TEMA:

**DESARROLLO DE UN PLAN DE MINIMIZACIÓN DE RESIDUOS
PARA LA MITIGACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL GENERADO
POR LA PRODUCCIÓN DE CAFÉ EN UNA FINCA EN NANEGAL,
PICHINCHA**

AUTOR:

VANESSA ALEXANDRA VILLARROEL DIAZ

Guayaquil - Ecuador

2023

RESUMEN

El café es uno de los bienes más producidos y comercializados a nivel mundial. De su producción se obtiene pulpa como residuo o subproducto principal, la cual tiene un alto potencial contaminante si no se trata correctamente debido a la cantidad de nutrientes y antinutrientes que contiene. Igualmente, su composición lo convierte en un recurso importante para aplicaciones biotecnológicas que permiten su aprovechamiento y previenen la contaminación. La producción de hongos ostra y la lombricultura son dos tecnologías que combinadas resultan en un excelente tratamiento para los residuos de la producción de café dentro de la misma finca. La combinación permite aprovechar el residuo en grandes cantidades, en el lugar de producción, con bajos costos de inversión, con pretratamiento sencillo, e incrementando las ganancias de la finca. Este estudio presenta el Plan de Minimización de Residuos no Peligrosos y el estudio de prefactibilidad de la combinación de aplicaciones para una finca en Nanegal, Pichincha. La producción anual de la finca es de 300 q anuales de café y 30,373 kg de pulpa seca al 11%. El proyecto tiene una inversión inicial total de \$7785.96 y un porcentaje de ganancias anuales del 48,10% considerando las características de la finca de estudio. Se recomienda al final realizar estudios como composición del producto, mejoramiento del sustrato, y almacenamiento de los hongos para obtener el mayor aprovechamiento del residuo, e industrializar la producción.

Palabras clave: café, valorización, residuos, hongos ostra

ABSTRACT

Coffee is one of the most produced and traded goods in the world. Coffee pulp is the main solid waste obtained from the wet method of production. This residue has a high contamination potential if directly disposed into the environment because of its high nutrient and antinutrient content. At the same time, its composition makes it an important resource for biotechnology. There are several valorization applications that prevent further contamination. Oyster mushroom production and vermicomposting are two technologies that, combined, are an excellent solid waste treatment for coffee production within a farm. The combination allows for waste exploitation on the farm, in big quantities, with low investment, with an easy and low-tech pretreatment, and allows for more income for the farm. This research presents a Plan for Minimization of Non-Hazardous Solid Waste and a prefeasibility study for the application of the two technologies in a coffee farm in Nanegal, Pichincha. The annual production of the farm is 300 q of coffee and 30,373 kg coffee pulp dried at 11%. The project considers an initial investment of \$7785.96 and a 48.10% annual profit for the coffee farm studied. At the end of the study there are many recommendations like substrate, oyster and compost composition, and oyster packaging to maximize solid waste exploitation and industrialize the production.

Keywords: coffee, valorization, solid waste, oyster mushrooms

DEDICATORIA

A mi mamá por su infinita paciencia, amor y apoyo incondicional en todas mis decisiones. No podría cumplir tantas metas sin ellas a mi lado.

AGRADECIMIENTO

A Guillermo Ortiz, por abrirme las puertas de su finca y ayudarme en todo el proceso para obtener juntos el mejor resultado.

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Titulación, me corresponde exclusivamente y ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría. El patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.



Firmado electrónicamente por:
**VANESSA
ALEXANDRA
VILLARROEL DIAZ**

Vanessa Alexandra Villarroel Diaz

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Nadia Flores Manrique
PRESIDENTE

MSc. Francesca Escala Benites
TUTOR

Mgtr. Jenny Venegas
DOCENTE EVALUADOR

ABREVIATURAS O SIGLAS

°C – Grados centígrados
CH₄ – metano
COA – Código Orgánico del Ambiente
g - gramo
kg - kilogramo
km – kilometro
L – litro
m³ – metros cúbicos
q – quintales

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Alcance.....	3
CAPÍTULO 2	4
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Conceptos clave	4
2.2. Descripción de la planta y la cereza del café	5
2.3. El beneficio del café	5
2.5. Problemática de la producción de café.....	8
2.6. Disposición actual de residuos.....	8
2.7. Tecnologías disponibles para procesamiento de los residuos de café	9
2.7.1. Producción de hongos	9
2.7.2. Compostaje y lombricultura.....	9
2.7.3. Alimento para animales	10
2.7.4. Sustratos en procesos biotecnológicos.....	10
2.7.5. Biocombustibles	11
2.7.6. Extracción y recuperación de compuestos bioactivos.....	11
2.8. Tecnologías disponibles para procesamiento de los residuos de café Error! Bookmark not defined.	
2.9. Jerarquización de residuos	13
CAPÍTULO 3	14
3. METODOLOGÍA.....	14
3.1. Revisión bibliográfica	14
3.2. Recolección de datos.....	14
3.3. Análisis de datos.....	15
3.4. Diseño de la investigación	15
3.4.1. Identificación de los objetivos	15
3.4.2. Caracterización de los residuos generados	15
3.4.3. Evaluación y elección de las tecnologías de procesamiento	16
3.4.4. Análisis de prefactibilidad de las alternativas seleccionadas	16
3.4.5. Análisis de la legislación vigente.....	16

CAPÍTULO 4	17
4. RESULTADOS.....	17
4.1. Caracterización de los residuos generados	17
4.2. Evaluación y selección de las tecnologías de procesamiento	17
4.3. Análisis de prefactibilidad de las alternativas seleccionadas.....	17
4.3.1. Producción de hongos ostra	17
4.3.2. Lombricultura.....	25
4.4. Estudio financiero.....	28
4.4.1. Inversión.....	28
4.4.2. Costo operativo	28
4.4.3. Ingresos.....	28
4.4.4. Beneficios.....	28
4.5. Análisis de la legislación vigente	28
4.5.1. Jerarquización de residuos	28
4.5.2. Desechos sólidos.....	29
4.5.3. Producción y consumo sustentable	29
CAPÍTULO 5.....	30
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
6. Referencias	32
7. Apéndices y anexos	34
ANEXO A.....	34
ANEXO B.....	35
ANEXO C	39
ANEXO D	42

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 2.1	5
Fig. 2.2	6
Fig. 2.3	7
Fig. 2.4	8
Fig. 2.5	13
Fig. 2.6	14
Fig. B.1.....	38
Fig. B.2.....	38
Fig. B.3.....	39
Fig. B.4.....	39
Fig. B.5.....	40
Fig. B.6.....	40
Fig. B.7.....	41
Fig. B.8.....	41
Fig. B.9.....	41
Fig. B.10.....	42
Fig. D.1.....	47
Fig. D.2.....	48

LISTADO DE TABLAS

TABLA 4.1	17
TABLA 4.2	38
TABLA 4.3	23
TABLA 4.4	27
TABLA D.1	47
TABLA D.2	47
TABLA D.3	48

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Se han realizado diferentes estudios a nivel internacional que buscan reutilizar los residuos obtenidos de la producción de café en distintas industrias con el fin de aprovechar el recurso y disminuir el impacto ambiental generado por su incorrecta disposición final. Kovalcik et. al., Hoseini et. al., y Murthy et. al., [1]–[3] analizaron las propiedades de los residuos del bagazo el café y resumen las ventajas y desventajas de estos para sus distintas aplicaciones. Además, revisaron los estudios realizados en los últimos años sobre aprovechamiento del recurso, destacando las fortalezas y limitaciones de las tecnologías en desarrollo.

La valorización de los residuos agroindustriales de la producción de café se ha visto limitada por su concentración de antinutrientes. Sera et. al., [4] determinó el potencial de degradación de cafeína y taninos contenidos en la cáscara del café mediante el uso de tres cepas diferentes de hongos filamentosos. No se utilizan suplementos adicionales para el crecimiento de los hongos en el medio para demostrar la capacidad de los residuos de café de proveer los nutrientes necesarios para su crecimiento. Por otro lado, Mateus et. al. [5], analizó diferentes métodos para producción de hongos ostra utilizando la cáscara de café como sustrato. Estos estudios demuestran que la capacidad de los hongos para tratamiento de los residuos que necesita ser explotada en mayor escala para medir su eficacia como tratamiento.

La agroindustria del café produce grandes cantidades de residuo, siendo la cascara y la pulpa el residuo predominante con el que se debe tratar. Hoseini et. al., [2] elaboró un resumen de los residuos generados en cada etapa de la producción del café y las alternativas de procesamiento de estos. La investigación tiene un énfasis especial en el análisis de la cáscara del café para la industria, producción de energía y los productos que se pueden obtener con fermentación de la cáscara. Este estudio, al igual que los mencionados anteriormente, enfatizó en la necesidad de encontrar soluciones para tratamiento a gran escala por el volumen producido anualmente.

1.2. Descripción del problema

La agricultura tiene un gran impacto en los diferentes ecosistemas, desde que se empieza a preparar la zona para producir, hasta el procesamiento de los productos que se obtienen. El café es el segundo bien más comercializado en el mundo, solo le anteceden el petróleo y sus derivados [1] y se espera que su consumo aumente junto con el crecimiento de la población mundial [2]. La elaboración de café en Ecuador es económicamente relevante debido a la cantidad que se cultiva para consumo interno y exportación [6].

La agroindustria de café genera gran impacto ambiental, especialmente dentro de un contexto de economía lineal. En la actualidad, el uso de fertilizantes, pesticidas y herbicidas genera un alto impacto negativo en los ecosistemas [7]. De cada etapa de la producción se obtienen residuos que contribuyen a una gran cantidad de biomasa total [1]. Sera et. al., [4] estima que solo el 6% del grano es utilizado para la producción de la bebida y el resto se convierte en desecho. Los residuos son un subproducto agrícola que significa un gran problema ambiental para las regiones cafeteras debido a que la incorrecta disposición de estos genera contaminación en los cuerpos de agua [4] y en la tierra dentro y fuera de las plantaciones.

Los residuos de café generalmente son desechados o enterrados directamente en la tierra sin tratamiento. Este método de disposición final permite que los desechos contaminen el agua y causen anomalías a organismos acuáticos [2]. La valorización de residuos es un excelente método que puede ser utilizado dentro de la economía circular para minimizar el impacto ambiental de las diferentes industrias en el planeta [8]. Una de las opciones para valorización de residuos alimenticios, agrícolas o textiles es la producción de biomateriales a través de tratamientos biológicos [8]. En el caso del café, es crítico desarrollar pretratamientos con los que se obtenga productos útiles con mínimo impacto ambiental [8] ya que del 30 al 50% del grano del café son residuos [2]. Sin embargo, estos poseen una gran cantidad de nutrientes que pueden ser aprovechados, a su vez algunos de sus componentes, como los fenoles, los hacen tóxicos y desagradables para ciertos organismos si se los utiliza sin pretratamiento [1].

Diversos estudios indican que es posible obtener un correcto tratamiento de residuos agrícolas [9] y reutilizar los recursos sin necesidad de grandes equipos tecnológicos. Para ello es necesario elaborar un plan de minimización de residuos que considere las características importantes de la zona como acceso a tecnología y la disponibilidad de recursos.

1.3. Objetivos

Objetivo General: Elaborar un plan de minimización de residuos sólidos no peligrosos para la mitigación del impacto ambiental generado por la producción de café en una finca en Nanegal, Pichincha mediante la valorización de los residuos producidos.

Objetivos específicos:

- Categorizar los residuos generados en la finca cafetera y sus cantidades para la elaboración del plan de minimización de residuos.
- Identificar las tecnologías de valorización de residuos agrícolas aplicables a la producción de café.
- Seleccionar las alternativas de minimización de residuos por medio de un análisis de prefactibilidad.

1.4. Alcance

Debido a la cantidad de café que se produce en el país y su constante crecimiento al ser uno de los bienes más consumidos a nivel mundial, es importante implementar medidas de mitigación para el impacto ambiental que se genera en su cadena de producción.

El presente estudio realizó un análisis de prefactibilidad de las dos mejores alternativas de minimización de residuos agrícolas para una finca cafetera en Nanegal, Pichincha, que además de reducir el impacto ambiental actualmente creado por la producción de café, sumen valor a los productos al aplicar modelos más responsables con el medio ambiente.

La investigación fue de carácter bibliográfica y cualitativa. Tuvo una duración de cinco meses desde el inicio del análisis de la información y sus resultados pueden ser utilizados en un futuro por los dueños y trabajadores de la finca para su implementación y desarrollo.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos clave

Beneficio por vía húmeda. Proceso de producción de café pergamino que involucra despulpado, fermentado, lavado y secado.

Beneficio por vía seca. Proceso de producción de café pergamino que involucra deshidratación natural del grano. También conocido como beneficio natural.

Café. Es el término empleado para el fruto y/o granos provenientes de las plantas del género *Coffea*; así como, de los productos del procesamiento del grano destinados al consumo humano [10].

Café arábica. Café perteneciente a la especie *Coffea arabica*.

Café de altura. Café producido a altitudes entre 800 y 1200 msnm.

Café pergamino. Grano de café cubierto por su pergamino.

Café pergamino seco. Grano de café cubierto por su pergamino con un porcentaje de humedad entre 11 a 12.5%.

Café robusta. Café perteneciente a la especie *Coffea canephora*.

Cáscara. Envoltura del grano de café verde.

Cereza de café. Fruto completo y fresco del árbol de café (cafeto).

Desecho. Aquello que queda después de haber escogido lo mejor y más útil de algo y que no puede ser usado nuevamente en otro proceso.

Hongos ostra. Con nombre científico *Pleurotus ostreatus*, son una especie de hongos comestible que pertenece a los hongos de pudrición blanca o Agaricales.

Pergamino. Fragmentos de endocarpio presentes en una muestra de café verde [10].

Pulpa de café. Parte de la cereza de café que es eliminada en el despulpado.

Residuo. Material resultante de un proceso que puede ser reutilizado o reciclado debido a su valor.

2.2. Descripción de la planta y la cereza del café

El café, también conocido como cafeto, es un arbusto perenne. Es una planta que mide de 2 a 4 m de altura en plantaciones, lo que facilita su recolección frente a su altura silvestre que alcanza hasta los 15 m [11]. A su fruto se le conoce como cereza porque se torna de un color similar cuando madura. La planta de café se desarrolla idealmente en la región tropical, con altitudes entre nivel del mar y 1980 msnm o más dependiendo de su especie, y en lugares con abundante lluvia y temperaturas que rodean los 21 °C [2].

El arbusto toma alrededor de un año en alcanzar madurez y fructifica generalmente durante 15 años [2] aunque en situaciones favorables pueden fructificar hasta 60 años [11]. Se cosecha generalmente una vez al año y de un solo árbol se puede obtener entre 400 g y 2,2 kg de cereza [11].



Fig. 2.1. Campo de cafetales [11].

2.3. El beneficio del café

El beneficio del café consiste en el proceso por el cual se transforma la cereza del café en café pergamino seco. Existen principalmente dos métodos o beneficios que varían en su nivel de complejidad y en las características del producto final. Estos beneficios son el 'beneficio por vía húmeda' y 'beneficio por vía seca'. Del beneficio vía húmeda se obtiene un café con características más suaves [12], aunque más ácido [2].

La cereza se cosecha de forma manual, por personal capacitado que retira uno a uno los frutos maduros para garantizar la calidad del producto final. Una vez cosechada la cereza, se separan los frutos que no cumplen con estándares de calidad y finalmente se procesa el grano por uno de los dos beneficios. El primero es el beneficio vía seca (Fig. 2). Este método es el tradicional para producir café y consiste en secar la cereza del café al sol después de limpiarlas y recolectarlas. Después, la trilla retira las capas exteriores de la cereza, lo clasifica y el grano está listo para tueste. Este método es también el más sencillo y amigable con el medio ambiente porque requiere menos agua para realizarlo y se completa en menos pasos [2].



Fig. 2.2. Beneficio por beneficio vía seca.

Por otro lado, el 'beneficio por vía húmeda' consta de 6 pasos en los que se puede requerir hasta 12 L de agua por tonelada de café [13]. Este beneficio empieza con el lavado de las cerezas recolectadas. Después se retira la pulpa con la ayuda de una pulpeadora. El grano resultante se lo fermenta para retirar el mucilago. La fermentación se la puede realizar de forma natural o con el uso de una fermentadora/demucilaginadora. Al final se lava nuevamente el grano y se seca hasta que alcance una humedad del 10% [3]. A pesar de su complejidad, es el método más utilizado porque brinda un café de mayor calidad y acidez [2].



Fig. 2.3. Beneficio por vía húmeda.

2.4. Residuos de la producción de café

Los residuos agroindustriales tienen gran potencial para ser reutilizados en procesos de fermentación por su alto contenido de carbohidratos [3]. El grano verde del café constituye solamente del 50 al 55% del peso seco del grano de café maduro [14], el resto es considerado como residuo. Los residuos de la producción de café, específicamente, destacan por su alto contenido de carbohidratos, proteína, pectina, y compuestos bioactivos que son de gran valor en diferentes industrias [3] por lo que pueden ser reutilizados disminuyendo su impacto en el medio ambiente y aportando a la economía local. Se los puede transformar en biomateriales o se los puede reutilizar con técnicas biológicas debido a su alto contenido orgánico y mineral [2]. Los residuos que se obtienen de la producción del café son:

- **Bagazo de café:** Es el producto del café filtrado. Generalmente tiene un color café oscuro y su textura depende de la trituration del grano. Tiene un gran contenido de humedad y alrededor del 2% de grasa [2].
- **Granos imperfectos y prematuros:** Tienen un alto contenido de aminoácidos y fenoles. Además, contienen menor cantidad de azúcares [2].
- **Película plateada:** Es la capa fina que rodea el grano. Contiene fibra dietética, y se le atribuye actividad prebiótica y antioxidante. Tiene aspecto plateado o cobrizo y puede permanecer adherida al grano hasta que se tuesta [15].
- **Pulpa:** Es el principal residuo proveniente del método húmedo y se elimina durante el despulpado. Es generalmente de color rojo. A menudo el residuo conocido como pulpa incluye también el pergamino. Representa aproximadamente el 35% de la cereza de café y la mayor cantidad del residuo del proceso [2]. Se estima que por cada 2 toneladas de café que se produce, se obtiene una tonelada de pulpa [3]. La pulpa contiene aproximadamente 75% de humedad y se la deja secar hasta un 13% de humedad [14]. Se caracteriza por su alto contenido en carbohidratos, proteínas y minerales, entre los que destaca el potasio. Además, contiene cantidades considerables de taninos, polifenoles y cafeína, componentes que son atractivos para diferentes industrias [3].
- **Cáscara de café:** Incluye todas las partes de la cereza que no son la semilla y es el principal producto resultante de la producción con método seco. Representa entre el 12 al 18% de peso seco de la cereza. Destaca por contener aproximadamente 72% de carbohidratos completos, seguido de 15% de humedad y 7% de proteína [3]. Tiene alto contenido de nitrógeno, potasio y fósforo y bajo nivel de sodio.

La composición de la pulpa depende de varios factores como el tipo de café, la forma de producción, tipo de suelo, clima, entre otros [16]. Sin embargo, las condiciones de almacenamiento también afectan su composición [14]. Oliveira & Franca (2015) indica que, en su estudio, las muestras de cáscara de café

almacenadas por un año aumentaron un 12% su nivel de cafeína, disminuyeron sus taninos en un 39% y aumentaron levemente su contenido de lignina. En general, a los cambios en la composición de la pulpa los consideraron como un aumento en su calidad. Sin embargo, el aumento en la cantidad de cafeína limita sus aplicaciones.

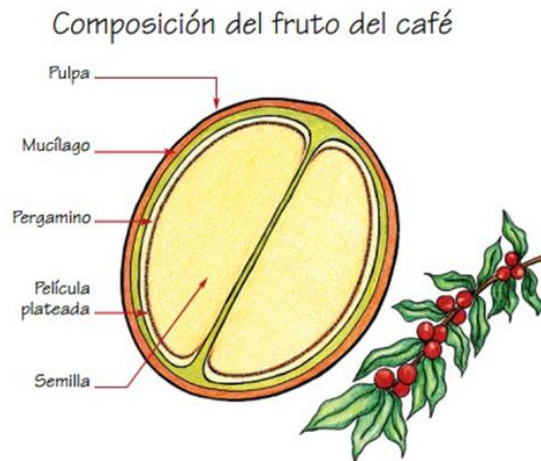


Fig. 2.4. Esquema del fruto de café [15]

2.5. Problemática de la producción de café

Los principales subproductos de la producción del grano de café son la cáscara y pulpa. Representan del 30 al 50% del mismo en peso dependiendo del método de producción [2] ya que para producir el grano de café que se consume generalmente se desecha la pulpa, pergamino, mucilago y película plateada (Fig.4). Aún con la cantidad que se produce, su reutilización biológica no ha sido explorada para aplicación a gran escala por su complejidad [3]. Su disposición final es principalmente en producción de energía y alimento para animales [2] o incluso se lo deja descomponer en la tierra. El problema de este tipo de aplicaciones radica en los anti nutrientes presentes en el café. La cantidad de cafeína, taninos, entre otros, resulta muchas veces letal para los animales, por lo que se recomienda utilizarlo en bajas dosis o requiere de pretratamiento previo a la disposición final para disminuir su toxicidad en el ecosistema [3]. Por otro lado, al utilizar para producción de energía se producen grandes cantidades de dióxido de carbono por lo que es necesario encontrar métodos de tratamiento que permitan aprovechar sus beneficios y permitan una disposición final con bajo impacto después de la reutilización del residuo.

2.6. Disposición actual de residuos

Existe un largo camino por recorrer con respecto a la disposición actual de residuos. En su mayoría en países en vías de desarrollo este se deja descomponer en áreas abiertas, es vertido en ríos y terrenos baldíos, o se lo

utiliza como abono para las plantaciones. En menor cantidad, existen agricultores que lo reutilizan para alimento de animales o en composta [2], aunque estos métodos representan un reto por la cantidad de anti nutrientes que tiene el café para los ecosistemas naturales.

2.7. Tecnologías disponibles para procesamiento de los residuos de café

Debido a la importancia de este bien a nivel mundial, varios científicos se han enfocado en encontrar formas de reutilización del residuo para su aprovechamiento y una mejor disposición. La mayoría de estas investigaciones se han desarrollado a nivel de laboratorio y deben escalar todavía a plantas piloto de acuerdo con Murthy, et. Al [3].

Algunas de estas aplicaciones, como alimento para animales y compostaje se han visto limitadas por los anti nutrientes presentes en la pulpa del café y se lo ha utilizado en pocas cantidades o en procesos ineficientes [3]. Sin embargo, considerando que este residuo se genera en grandes cantidades, es necesario encontrar mejores opciones.

2.7.1. Producción de hongos

Los residuos de la producción de café pueden ser utilizados, como otros residuos agroindustriales como sustrato para la producción de hongos comestibles y terapéuticos [2], [3], [5]. Algunos autores reportan que la pulpa y el bagazo del café [2], [3], [5] son excelente sustrato para hongos comestibles y terapéuticos, incluso sin pretratamiento, por la cantidad de nutrientes y humedad que mantienen. La ventaja de esta alternativa es que no requiere un pretratamiento complicado para su utilización [14] y puede, incluso, ser utilizado como un pretratamiento para otras tecnologías como producción de alimentos para animales o compostaje [17]. Los hongos pueden aprovechar los nutrientes y humedad que mantiene la pulpa mientras que degradan los anti nutrientes y hacen de su posterior uso o disposición más sencilla.

Al igual que otros residuos agroindustriales, se ha reportado eficiencia de hasta el 88,8% para sustratos formulados con una mezcla de cascara y bagazo [3] en la producción de hongos comestibles. Estudios en los que se produjeron diferentes tipos de *Pleurotus*, fructificaron después de 20 días y obtuvieron una eficiencia biológica de 96.6%. La producción de hongos en el sustrato formado por cáscaras de café causó un cambio en la composición del sustrato, aumentando su contenido proteico y disminuyendo su contenido fibroso [16].

2.7.2. Compostaje y lombricultura

La pulpa del café puede resultar muy beneficiosa para el suelo si se la agrega en el mismo con el pretratamiento adecuado. La pulpa de café es alta en nutrientes y

celulosa [2]. Los residuos tienen la capacidad de aumentar la retención de humedad en el suelo y pueden mejorar su calidad a largo plazo [14]. Los residuos del café tienen una baja relación carbono nitrógeno (C/N), por lo que se deben mezclar con residuos con alto C/N para garantizar un mejor resultado [14]. Además, en la mezcla se debe considerar que los anti nutrientes pueden afectar el suelo por lo que se debe limitar la cantidad aplicada.

2.7.3. Alimento para animales

Tradicionalmente los residuos agrícolas han sido utilizados para alimentar a animales. Es difícil utilizar los residuos del café de esta manera porque tiene baja cantidad de proteína digerible, baja retención de nitrógeno [16] y por su contenido de anti nutrientes como cafeína, y taninos en altas cantidades [14]. Se considera también que la cafeína hace que el alimento tenga un sabor desagradable para los animales [16].

Se ha limitado el uso de la cascara de café al 40% para alimento de animales en general, con la excepción de ganado porcino que no debe exceder el 10% (Oliveira & Franca, 2015). Esta limitación se debe a las propiedades estimulantes, diuréticas y adictivas de la cafeína, y al efecto inhibidor de las enzimas digestivas que tienen los taninos. Se ha demostrado que el uso en altas cantidades de los residuos de café como alimento para peces inhibe su crecimiento [14]. Es posible incrementar el uso de la cascara de café para alimentos de animales utilizando un pretratamiento que permita cambiar su composición para mayor aprovechamiento de sus beneficios. Sin embargo, los pretratamientos pueden resultar costosos y no se obtiene un beneficio adicional del tratamiento [14].

2.7.4. Sustratos en procesos biotecnológicos

Se han cultivado microbios de la pulpa y cascara de café en fermentación líquida y sólida. Es un sustrato económico que puede ser utilizado en diferentes aplicaciones [2]. Entre los procesos estudiados se encuentran

- Producción de ácido cítrico: Según estudios, la pulpa de café puede ser un sustrato económico para la producción de ácido cítrico [3] con el que se obtiene mayor producción comparado a salvado de trigo, salvado de arroz, y salvado de arroz desaceitado [16].
- Producción de enzimas: Entre las más estudiadas se encuentra la pectinasa, tanasa, y cafeinasa [16].
- Producción de compuestos aromáticos: Se han producido levaduras con aromas frutales [16].

2.7.5. Biocombustibles

La producción de biocombustibles es una gran alternativa si se utiliza bajo las condiciones correctas de fermentación del residuo [2] debido a su alto contenido energético [14]. Sin embargo, su producción no ha sido investigada todavía a gran escala para mejorar la tecnología y hacerla competitiva con otras alternativas existentes. Un estudio reportado por Oliveira & Franca (2015) indica que el biocombustible obtenido por la fermentación de la pulpa de café contenía solamente el 2.5-3.0% de etanol (w/v), lo que requeriría altos costos energéticos para su destilación. Además, sugiere mezclar este residuo con jugo de caña de azúcar o melaza para mejorar la producción. Por otro lado, la producción de biometano fue alta en comparación a otros residuos agroindustriales. Se produjo de 650 a 730 m³ CH₄ por tonelada de sólidos volátiles [16]. El tipo de café utilizado para la producción incide en la cantidad de metano obtenida.

2.7.6. Extracción y recuperación de compuestos bioactivos

Se considera que la cascara y pulpa de café son fuentes potenciales de colorantes y productos bioactivos que son utilizados en alimentos procesados. Los productos bioactivos obtenidos de los residuos de café contienen 65-70% actividad antioxidante y del 40 al 80% de fibra dietética [14]. Los extractos obtenidos por extracción de baja presión con etanol mostraron los porcentajes más altos de producción y la actividad antioxidante más alta [14].

2.8. Descripción de la finca de estudio

La finca se encuentra ubicada en la parroquia Nanegal, al noroccidente de Pichincha a 84 km de la ciudad de Quito. La altitud en la parroquia se encuentra entre los 800 y 2800 msnm. Su población se dedica principalmente al turismo, ganadería y agricultura. Entre los productos de principal producción destacan la caña de azúcar y la leche. Su clima es cálido, con temperaturas anuales entre 18 °C y 28 °C [18]. Tiene un clima tropical de sabana con humedad media del 86% [19]. Lluvia durante todo el año, aunque su temporada más lluviosa va de octubre a mayo [19].

La finca es relativamente nueva y cuenta con plantas en etapa de fructificación en sus 10 ha de cultivo. Tiene una capacidad de producción de 30 quintales anuales de café pergamino seco en etapa de producción completa. La producción es de café arábica que es la subespecie que mejor se adapta a la región por su altura. Los tiempos de producción son:

- Cosecha de junio a agosto. Durante la cosecha se obtiene la cereza fresca para su posterior tratamiento
- Exportación que se refiere a la producción de la cereza. De aquí se obtiene el café verde para exportación o posterior consumo en cafetería. El periodo va de octubre a abril.

El procesamiento se lo realiza por beneficio vía húmeda ya que es el método que mejor se adapta por sus estándares de calidad. Una vez recolectadas, las cerezas pasan por el área de postcosecha (Fig. 2.5) en la que se verifica nuevamente que las cerezas recolectadas cumplan con los parámetros para procesamiento y se lavan. Después van al área de máquinas (Fig. 2.5) en las que se despulpa y remueve el mucilago. Las cerezas son lavadas nuevamente para pasar al área de secado (Fig 2.5) en las que pasan de 21 a 36 días en camas de secado hasta alcanzar una humedad de 11 a 12,5%. Las cerezas que después de este tiempo no cumplen con la humedad requerida, van a una máquina de secado por 3 h aproximadamente. El pergamino seco pasa a la trilladora y está listo para su almacenamiento o consumo.



Fig. 2.5. Exteriores de las áreas de (a) postcosecha, (b) maquinas, (c) secado, y (d) almacenamiento de la finca.

De acuerdo con Hoseini et al., se obtiene media tonelada de residuo sólido por cada tonelada de café recolectada [2] mientras que la entrevista realizada al propietario de la finca [13], indica que el ratio de producción de residuo seco por cantidad de cereza recolectada es de 4:1 [13]. Además del proceso de producción de café, en la finca se obtiene residuos vegetales productos del desbroce que debe realizarse constantemente en ciertas áreas por el rápido crecimiento vegetal.

Del procesamiento del café también se obtiene agua residual, que se clasifica en aguamiel y agua de pesticidas. En el proceso de lavado de café normalmente se utilizan 12 L de agua por cada kg de café. Con la desmucilagadora el uso se reduce a 2.5 L de agua por cada kilogramo de café. Uno de los objetivos de la administración de la finca es del de reducir su consumo 0.7 L por kilo con el uso de tecnologías como recirculación de agua. Para fumigación se utilizan 200 L de agua por hectárea de cultivo. Se realizan 3 fumigaciones durante el proceso en

las 10 ha de cultivo. Lo que equivale a 2000 L de agua por fumigación y 6000 L en total por ciclo se cosecha. Se fumiga únicamente con fungicidas (hongos). Además, se realizan 3 fumigaciones con insecticida contra la Broca en las semanas 4, 6 y 8.



Fig. 2.6. Diagrama de producción de residuos sólidos de la producción de café

2.9. Jerarquización de residuos

El artículo 226 del Código Orgánico Ambiental [20], establece el principio de jerarquización para residuos que indica el orden para su tratamiento. Siendo este:

1. Prevención;
2. Minimización de la generación en la fuente;
3. Aprovechamiento o valorización;
4. Eliminación; y,
5. Disposición final.

El objetivo es el de destinar para disposición final solamente los residuos que no se pudieron prevenir, aprovechar, o eliminar de una forma amigable con el medio ambiente en alguna etapa del proceso ya sea por la falta de recursos como una tecnología adecuada.

CAPÍTULO 3

3. METODOLOGÍA

3.1. Revisión bibliográfica

El estudio inició con una investigación bibliográfica para entender las alternativas y requerimientos del proyecto. Con esto y la información proporcionada en entrevistas al personal de la finca fue posible plantear las bases de la investigación y proceder a la segunda fase de la revisión bibliográfica.

En la segunda fase se utilizó esta herramienta para

- Estudiar a profundidad las tecnologías que han sido investigadas para aprovechamiento de residuos agrícolas, especialmente las relacionadas a residuos agrícolas de la producción de café y las aplicadas en zonas con características similares.
- Comprender las alternativas tecnológicas que puedan ser aplicadas en el plan de manejo de residuos, sus beneficios, requerimientos, y limitantes.
- Complementar la información disponible obtenida en campo y en entrevistas con estudios realizados en el tema para proponer las mejores alternativas a ser aplicadas.

Para la revisión bibliográfica se utilizaron fuentes como trabajo de investigación, publicaciones de revistas cafeteras, libros especializados, información disponible en páginas web de organizaciones sociales y ambientales que se encuentran trabajando en la zona; según fueron relevantes para el tema.

3.2. Recolección de datos

Se realizaron varias entrevistas con el director de la finca para poder conocer sobre los detalles del terreno, de producción y de generación de residuos en cada etapa de producción. El director estuvo interesado en el proyecto por lo que facilitó la información que se utilizó para el análisis del presente estudio. También comunicó sobre la información que no se encontraba disponible, como los análisis de la composición de residuos sólidos, que fueron complementados con revisión bibliográfica.

Se realizó una visita técnica a la finca para conocer de manera presencial el lugar, su proceso de producción de café, y las características del sitio que puedan limitar la aplicación de algunas tecnologías como espacio disponible, topografía del terreno, entre otras. Adicionalmente, se entrevistó a 102 personas considerados como posibles clientes del café para conocer su interés en el mercado de hongos comestibles producidos con el residuo de café.

3.3. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó por medio de una matriz en la que se comparan las características que se consideran relevantes para el sitio y es parte de la sección de evaluación y selección de las tecnologías de procesamiento de este estudio. Esta tabla busca realizar un diagnóstico de las tecnologías encontradas en la revisión bibliográfica (Mendoza-Jiménez, 2019). Con los resultados de la matriz se seleccionaron las dos tecnologías idóneas para realizar el estudio de prefactibilidad para su aplicación en la finca.

3.4. Diseño de la investigación

La investigación se realizó siguiendo los pasos de valorización de residuos y del Plan de Minimización de Residuos del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE).

3.4.1. Identificación de los objetivos

Los objetivos se establecieron combinando la información bibliográfica disponible con las entrevistas al gerente de la finca para que sean realistas y exista el compromiso de la empresa de cumplirlos. Para establecerlos se tomaron en cuenta los beneficios:

- Económicos:
 - Reducción del costo de disposición de residuos.
 - Incremento de ingresos para la finca.
- Ambientales:
 - Reducción de descargas contaminantes al suelo, aire y agua.
 - Minimización de la cantidad de residuos para disposición final.
- Sociales:
 - Generación de oportunidades de empleo.
 - Mejora en la salud de la población.

3.4.2. Caracterización de los residuos generados

Para caracterizar los residuos generados en la finca se tomó en cuenta el tipo (sólido o líquido), la cantidad generada, composición y disponibilidad del residuo. Las características tipo, cantidad y disponibilidad fueron obtenidas mediante entrevistas al gerente de la finca, mientras que la composición fue determinada por revisión literaria debido a la falta de información disponible. Determinar la composición de los distintos tipos de residuo fue crucial para recomendar alternativas ya que de ello dependen las posibles aplicaciones y limitaciones.

3.4.3. Evaluación y elección de las tecnologías de procesamiento

Este paso consistió en la recopilación de información bibliográfica y estudio de las alternativas disponibles para reutilización de los residuos de la finca. A continuación, se escogieron las tecnologías idóneas para la finca. Los criterios de selección fueron:

- Tecnología
- Disponibilidad de espacio
- Personal requerido
- Financiamiento
- Beneficios económicos (evaluación de mercado), sociales y culturales

Se elaboró una matriz de selección en la que se asignaron pesos del 1 al 5 a cada uno de los criterios considerados, siendo 1 el menos importante y 5 el más importante. Después se calificaron las tecnologías para cada criterio asignando nuevamente valores del 1 al 5, siendo 1 el que menos cumple con el criterio y 5 el que más se ajusta. Se seleccionaron las dos alternativas con mayor puntaje para su desarrollo.

3.4.4. Análisis de prefactibilidad de las alternativas seleccionadas

Se realizó un análisis de prefactibilidad con las dos alternativas seleccionadas. El análisis consta de los componentes [22]:

- Estudio de mercado
- Estudio tecnológico: para el estudio tecnológico se consideró el tamaño de las instalaciones, cantidad de producción y requerimientos de los servicios, procesos productivos, localización, obra requerida, organización, herramientas y materiales.
- Estudio financiero

3.4.5. Análisis de la legislación vigente

Se consultó los artículos del Código Orgánico Ambiental (COA) correspondientes al manejo del recurso suelo y agua que serían afectados directamente por los proyectos a implementar.

CAPÍTULO 4

4. RESULTADOS

4.1. Caracterización de los residuos generados

Considerando el potencial de producción de la finca, de 30 quintales por hectárea y sus 10 hectáreas productivas. Cada año se producirían 30,273 kg de pulpa seca al 11% (Anexo A).

4.2. Evaluación y selección de las tecnologías de procesamiento

TABLA 4.1

Valorización de las tecnologías de procesamiento

	Disponibilidad de la tecnología	Disponibilidad de espacio	Pretratamiento requerido	Personal especializado requerido	Financiamiento	Beneficios económicos	Beneficios sociales	Total
Peso	5	2	5	3	3	5	4	
Producción de hongos	5	5	5	5	5	5	5	175
Compostaje y lombricultura	4	3	4	5	5	4	3	155
Alimento para animales	5	4	3	4	4	4	4	140
Sustratos en procesos biotecnológicos	3	4	4	1	1	5	3	84
Biocombustibles	2	5	5	3	1	4	4	89
Extracción y recuperación de compuestos bioactivos	3	4	4	1	1	5	3	84

4.3. Análisis de prefactibilidad de las alternativas seleccionadas

4.3.1. Producción de hongos ostra

4.3.1.1. Residuos de café como sustrato para la producción de hongos ostra

La cáscara de café es alta en nutrientes. Sin embargo, también contiene niveles considerables de cafeína, taninos y polifenoles que pueden resultar tóxicos para algunos organismos [5]. Producir hongos a partir de los residuos del

café es una estrategia innovadora e inteligente porque transforma el recurso en alimento de alta calidad para seres humanos ya que es una buena fuente de proteína, fibra, vitaminas y minerales [5]. Es un proceso corto de producción de alimentos en el que se puede optimizar el espacio y los recursos utilizados. Los hongos ostra no requieren de suelo para crecer y pueden ser cultivados en lugares pequeños que tengan la correcta ventilación, asepsia y humedad [23]. Se puede utilizar los residuos frescos o secos. Los residuos secos presentan varias ventajas, como disponibilidad, alta capacidad de retención de agua, y homogeneidad [24].

El estudio de Martínez-Carrera et.al., [24] demostró que los residuos de café son un buen medio de cultivo para los hongos *Pleurotus* (ostra), *Lentinula* (shiitake), *Auricularia* (oreja de judas) con el tratamiento adecuado. Identificó que los hongos tienen una huella hídrica más baja que otras fuentes de proteína vegetal y animal, utilizándose solo 1 L de agua por 2,8 g de proteína [24] ya que se necesitan 28 L de agua para producir 1 kg de hongos ostra frescos de manera artesanal. La producción dura de 25 a 30 días. Se puede alcanzar una eficiencia de 89-175% calculado como el porcentaje del peso de los frutos frescos al peso seco del sustrato al momento de incubación [24]. El producto final es alto en proteína (19-35% base seca), vitaminas y minerales.

Después de producir hongos, se le puede dar incluso un tercer uso al residuo, ya que se puede considerar al proceso de cultivo de hongos como un pretratamiento para producción de alimentos para animales, compostaje, lombricompostaje y acondicionamiento del suelo [23], previniendo de esta forma la emisión de contaminantes y devolviendo los nutrientes a la naturaleza. Así, con el tratamiento correcto, se pueden reducir las emisiones y la contaminación del proceso de producción de café actual.

4.3.1.2. Infraestructura

Para producir los hongos se requieren cinco áreas

1. Preparación del sustrato
2. Almacenamiento del sustrato
3. Pasteurización, inoculación, e incubación
4. Fructificación
5. Postcosecha

La finca cuenta con espacios disponibles que pueden ser adaptados para la producción de hongos, como son

- Casa de almacenamiento: construcción con primer piso de bloque y cemento (Fig. 2.5.d) que cuenta con habitaciones. Actualmente una de las habitaciones se encuentra en uso para almacenamiento de las

herramientas de siembra y puede ser adaptada como área de "Pasteurización, almacenamiento e incubación" agregando ollas pasteurizadoras, dos mesas metálicas para mezclas e inoculación y estanterías para las bolsas en proceso de colonización.

- Área de postcosecha de café: es una construcción abierta y techada en la que se encuentran las máquinas de lavado del café. Se usa solo en época de lavado de la cereza. Cuenta con mesas que pueden ser usadas para empacar y surtir los hongos después de la cosecha.

Adicionalmente es necesaria la construcción de un invernadero para fructificación. Cada invernadero es de 3.5m de ancho y 5m de largo y tiene una producción de 34,000 kg de hongos frescos anuales. Se estima que cada invernadero tendría una vida útil de 6 años con los cuidados y mantenimiento correctos [23].

4.3.1.3. Proceso

El siguiente proceso ha sido determinado en base a investigación literaria relevante para la región y la finca. Es recomendado realizar pruebas de composición del sustrato para obtener el mayor provecho del recurso.

1. Preparación del sustrato
 - a) Secar la pulpa durante 4-8 horas o hasta alcanzar una humedad del 60-80%.
 - b) Apilar en pirámides de 1 m de alto y 1.5 m de base aproximadamente para facilitar la fermentación aeróbica.
 - c) Girar la pila cada tres días. Se encontró mayor producción con 5 días de fermentación, aunque se puede fermentar hasta 10 días [24].
 - d) Pasteurizar la pulpa mediante inmersión en agua caliente a 70 °C por 15 minutos.
 - e) Secar. Se puede realizar al sol por 4-6 días si existen las condiciones ambientales correctas o secar los 5000 kg en una secadora comercial a 80 °C por 30 h.
 - f) Almacenar o preparar para inocular.
 - g) Si es necesario, triturar. El tamaño ideal de las partículas es de 1 mm, aunque se puede trabajar con más grandes de hasta 1 cm.
2. Inoculación y colonización
 - a) Rehidratar el sustrato añadiendo agua hasta alcanzar el 70-75% de humedad. Se puede medir con la prueba de puño, en la que al tomar en la mano un poco de sustrato y aplastarlo mucho cae una sola gota de agua.
 - b) Pasteurizar mediante inmersión de las bolsas en agua caliente de 70 °C por 1-2 horas. También se puede pasteurizar en una cámara o túnel de pasteurización a vapor por 6-24 horas a una temperatura de 60-100 °C.

- c) Enfriar y drenar las bolsas hasta alcanzar una temperatura de 20-26 °C.
- d) Preparar el sustrato en un envase limpio. Añadir carbonato de calcio según sea necesario para ajustar el pH. Normalmente se agrega el 1% del sustrato.
- e) Pesar la mezcla y colocar en las bolsas de cultivo. Apretar un poco el sustrato en las bolsas. No deben quedar espacios vacíos. Sin embargo, no debe quedar muy ajustado el sustrato.
- f) Inocular manual o mecánicamente con 5% de semilla por sustrato húmedo. Varias guías y productores indican que se puede utilizar del 0.5-3% en base a sustrato húmedo.
- g) El área de inoculación debe ser estéril, y oscura con temperatura entre 20 °C y 26 °C para inducir la colonización.
- h) Colocar el sustrato en las bolsas de cultivo.
- i) Ubicar en el invernadero de incubación a una temperatura de 15-30 °C y humedad relativa mayor a 60%, con ventilación e iluminación constante por 25-30 días.

Estudios demuestran que el mejor pretratamiento para este tipo de residuos agrícolas es pasteurización, no esterilización para evitar la competencia con otros microorganismos que se puedan encontrar en el ambiente [5]. Es recomendable sembrar en luna creciente o menguante para obtener un mayor crecimiento de los frutos.

3. Fructificación

- a) Mover las bolsas al invernadero de fructificación cuando la bolsa se encuentre totalmente colonizada (blanca y exudada).
 - i) Se puede dar un shock de temperatura (dejando a la intemperie o en refrigeración por una noche) para inducir la fructificación.
- b) Abrir las bolsas por el agujero indicado para el crecimiento de los hongos o hacer cortes en la bolsa con un cuchillo limpio en las zonas que se vea crecimiento de primordios.
- c) Regar de 2 a 4 veces al día para garantizar el crecimiento del micelio. La frecuencia dependerá de la humedad del invernadero.
- d) Los hongos estarán listos para cosechar después 4-7 días a partir del apareamiento de los primordios.
- e) Cortar el tallo con un cuchillo estéril para remover los frutos sin retirar el sustrato.
- f) Mantener las bolsas de cultivo en el invernadero de fructificación hasta el final de su vida útil. Cada micelio fructifica hasta 3-5 veces. Se puede resembrar el micelio a los 3-6 meses de crecimiento o compostar cuando empiece su decaimiento.

TABLA 4.2
Características requeridas colonización y fructificación del micelio

	Colonización	Fructificación
Luz	Cuarto oscuro	Sombra 600-1200 Luxens
Oxígeno	Poco oxígeno	Cuarto cerrado con poca circulación de aire
Humedad relativa		90%
Temperatura	Alrededor de 25 °C	20 °C a 30 °C dependiendo de la variedad (24 °C para hongos ostra)

4. Postcosecha

- a) Se debe enfriar los hongos después del procesamiento para mantenerlos frescos. Se puede elaborar alimentos como conserva, congelados u hongos secos para la venta o guardarlos frescos para su distribución.
- b) Después de ser utilizado se recupera aproximadamente el 27% del peso del sustrato [24] y puede ser utilizado para compostaje, lombricultura, alimento animal [24], o acondicionamiento del suelo en jardinería y agricultura y producción de plantas ornamentales [24].

4.3.1.4. Materiales

- Preparación de sustrato
 - Pulpa de café
- Inoculación
 - Alcohol al 70%
 - Papel de cocina para limpieza
 - Equipos de bioseguridad (mascarilla, guantes, cofia, mandiles desechables)
 - Semilla
 - Agua potable o filtrada
 - Fundas de cultivo
- Cultivo
 - Bandejas plásticas
 - Agua
- Procesamiento post cosecha
 - Fundas de polietileno
 - Etiquetas
 - Bandejas plásticas

4.3.1.5. Equipos

- Preparación de sustrato

- Palas
- Carretilla
- Ollas pasteurizadoras
- Inoculación
 - PH metro o tiras de pH
 - Balanza
 - Envases para mezcla
- Cultivo
 - Atomizadores
 - Guantes
 - Cuchillo

4.3.1.6. Personal

Para facilitar la producción es necesario contar con dos personas para la mayoría de las etapas. El personal deberá tener conocimientos básicos en microbiología y entrenamiento sobre el proceso de producción, así como en bioseguridad y asepsia para evitar la contaminación y maximizar la cantidad y calidad de los hongos. Durante la etapa de fructificación es necesario contar con una persona que riegue los hongos dos veces al día.

4.3.1.7. Calendario de producción

TABLA 4.3
Calendario sugerido de producción de hongos para el año inicial

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Cosecha de café	Yellow	Yellow																								
Pretratamiento sustrato			Blue	Blue																						
Preparación sustrato y siembra		Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown
Colonización	Green		Brown	Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown
Fructificación 1 y cosecha		Green				Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown		
Riego	Light Brown	Light Brown	Green	Green	Green			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown	
Fructificación 2 y cosecha			Light Brown			Green				Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown	
Riego	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Green	Green	Green			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown		
Fructificación 3 y cosecha	Light Brown			Brown			Light Brown			Green				Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown
Riego	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Green	Green	Green			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Light Brown
Fructificación 4 y cosecha		Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Green					Brown			Light Brown			Brown	
Disposición final		Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Green					Brown			Light Brown			Brown	

	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Cosecha de café																										
Pretratamiento sustrato																										
Preparación sustrato y siembra			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown		
Colonización	Brown	Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown		
Fructificación 1 y cosecha	Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown	
Riego	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Light Brown
Fructificación 2 y cosecha		Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown
Riego	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown			Light Brown
Fructificación 3 y cosecha			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown		
Riego	Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown	Light Brown	Light Brown	Brown	Brown	Light Brown			Brown	Brown	Light Brown		
Fructificación 4 y cosecha	Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown	
Disposición final	Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown			Brown			Light Brown	

Yellow	Tiempo de cosecha de café
Blue	Tiempo de pretratamiento del sustrato
Brown	Ciclos de cultivo, se utilizan diferentes colores para distinguir entre ciclos
Light Brown	
Green	

4.3.1.8. Estudio de mercado

Existe una tendencia a nivel mundial y de país de comprar productos amigables con la salud y el medio ambiente. Las personas buscan alimentos con producción más limpia, menor impacto ambiental, y mayor valor nutricional. Con esto, se ha creado una tendencia por consumir fuentes alternas de proteína que han beneficiado el consumo de productos de origen vegetal, como los derivados de soya y otras leguminosas, y los hongos.

En el mercado ecuatoriano existen actualmente varias marcas que comercializan a pequeña escala hongos ostra ya que este no es tan conocido entre la población todavía. Estas marcas tienen un sistema de producción que utiliza residuos madereros y una formulación de sustrato similar a base de pigüé por su disponibilidad en la región y van abriéndose paso en el mercado en ferias y mercados especializados, especialmente vegetarianos y veganos, para dar a conocer los beneficios de sus productos al público. La competencia directa de los hongos ostra son el champiñón y el portobello. Un estudio del 2020, indica que el mercado de champiñones tuvo un ingreso operativo de alrededor de 8 millones de dólares (Lituma, 2020), demostrando el potencial de consumo de hongos en el país.

- Casi todas las personas han probado alguna clase de hongos comestibles (97,8%), también que a su gran mayoría les gusta su sabor (94,4%).
- Los hongos favoritos de las personas son los champiñones con un 47,8% de aceptación, seguidos de los portobellos (38,9%),
- No existe una razón principal para el consumo de hongos y que esto depende de cada persona ya que el 50% de las personas respondió que consumen hongos por todas las razones enlistadas (sabor, salud, fuente de proteína) e incluso que las personas en su mayoría no conocen sus beneficios (68.1%) aunque si les interesan conocerlos (85,6%).
- Los encuestados en su mayoría (80%) no saben cómo se cultivan los hongos, aunque al 85,6% si le interesa conocer el origen de sus alimentos.
- La frecuencia de consumo de hongos es muy variable y casi equitativa entre una vez a la semana (21,10%), varias veces a la semana (14,4%), una vez al mes (21,20%), dos veces o tres veces al mes (26,7%) y varias veces al año (16,7%); por lo que no se puede determinar la frecuencia de consumo y se entiende que depende de los hábitos de cada persona.
- Al 57,8% de los encuestados les es indiferente que los hongos puedan tener una baja concentración de cafeína, mientras que al 31,1% le parece una ventaja y el 11,1% prefiere que los alimentos que consume no la tengan.
- A la mayoría de los encuestados les gustaría comprar los hongos como parte del plato de una cafetería (72,2%).

Los resultados indican que el proyecto tiene potencial en el mercado ya que los hongos comestibles son un producto conocido y que la mayoría de las personas ha probado y gusta de ellos. Sin embargo, es necesario promover el consumo específico de hongos ostra como parte del día a día de los quiteños y elaborar platillos en restaurantes y cafeterías que permitan que estos hongos se den a conocer en el mercado. Además, es importante, en el caso de la finca, destacar los beneficios alimenticios, ambientales, y sociales que tendría la producción de hongos en la finca en estudio.

4.3.2. Lombricultura

4.3.2.1. Residuos de café como sustrato para la producción de lombricomposta

Al compostaje se lo considera como una de las mejores alternativas para tratamiento de residuos de café por ser un método que permite tratar con grandes cantidades de residuo, como las que se obtienen en esta industria, de manera amigable con el medio ambiente, eficiente y económica [2]. Se ha identificado la lombricomposta como una mejor alternativa frente al compostaje tradicional porque tiene menor emisión de dióxido de carbono y se considera que se obtiene un producto de mayor calidad gracias a la aireación que producen las lombrices [25]. Naturalmente, es una mejor solución que llevar los residuos al relleno sanitario o dejarlos solamente en la naturaleza.

Existe un debate sobre la calidad del producto obtenida y sus posibles aplicaciones debido a los antinutrientes presentes en el residuo de café y su posible impacto en las lombrices y en el ambiente. Sin embargo, una empresa en Guatemala demuestra que es posible la lombricomposta de residuos de café y que se obtiene un producto alto en nutrientes. En una entrevista [26], su dueña indica los beneficios de este proceso desde su experiencia:

- Se obtiene hasta un gramo de fertilizante por lombriz por día.
- La más utilizada es la lombriz roja por su alta eficiencia. Por cada 100kg de biomasa, de 40 a 60kg son convertidos en biomasa. El resto se convierte en alimento y es usado por los gusanos, además de pierde en evapotranspiración y como CO₂.
- La principal inversión es la inicial de las lombrices, después de eso, gracias a su alta tasa de reproducción incluso se pueden vender a otros productores. Se obtienen hasta 1000 huevos anuales por lombriz.
- En pequeña escala la producción no requiere trabajo físico extenso.
- Los análisis de la composta basada solo en pulpa de café indican una alta concentración de nutrientes como nitrógeno, calcio, fósforo, magnesio, boro, potasio, hierro, cobre, manganeso, zinc, entre otros. No se ha encontrado rastros de cafeína en la composta.

- La composta tiene un pH de 7.2.

4.3.2.2. Infraestructura

Este proceso no requiere de extensa infraestructura. Se construirán dos composteras de bloque. Las dimensiones de las composteras son 5m de largo, 2m de ancho y 1,6m de profundidad. Cada una tendrá un volumen de 16m³ y permitirán juntas el procesamiento de todo el residuo orgánico para producir compost con el durante un año.

4.3.2.3. Proceso

Se puede dejar la pulpa apiladas en un área abierta después de obtenerla e ir poco a poco incorporándola a la mezcla, según sea necesario. Mientras más avejentada la pulpa, será mejor alimento para las lombrices.

Una vez construidas las composteras, se debe poner la pulpa inicial durante dos semanas e irla mezclando antes de agregar las lombrices. Después de este periodo de reposo se debe mover la pulpa reposada hacia un solo lado de la compostera y se añaden las lombrices. Las lombrices se encargarán del resto del proceso. Cada dos semanas se debe agregar más alimento por un solo lado de la compostera.

Es importante cuidar de la humedad, aireación y pH de la mezcla para mantener la población de lombrices saludable y potenciar su reproducción. Se puede regar, mezclar o agregar cal para mantener las características necesarias para el crecimiento de las lombrices [27].

4.3.2.4. Equipos

- Pala
- Manguera

4.3.2.5. Personal

El proceso no requiere de extensa labor humana. La mayor parte del procesamiento lo realizan las lombrices, por lo que las personas contratadas para la producción de hongos podrían ocuparse de mantener la composta.

4.3.2.6. Calendario de producción

TABLA 4.4
Calendario sugerido de producción de composta para el año inicial

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Cosecha de café	Yellow	Yellow																								
Reposo inicial del sustrato			Blue	Blue	Blue	Blue																				
Composta							Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Primera cosecha																			Dark Green							
Composta																				Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Segunda cosecha																										
Composta																										
Terceraa cosecha																										
Composta	Light Green	Light Green																								
Cuarta cosecha		Dark Green																								

	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
Cosecha de café																										
Reposo inicial del sustrato																										
Composta																										
Primera cosecha																										
Composta	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green																						
Segunda cosecha				Dark Green																						
Composta				Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	
Terceraa cosecha																Dark Green										
Composta																	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green	Light Green
Cuarta cosecha																										

Yellow	Tiempo de cosecha de café
Blue	Tiempo de pretratamiento del sustrato
Light Green	Tiempo de composta
Dark Green	Tiempo de cosecha de composta

4.4. Estudio financiero

4.4.1. Inversión

El proyecto tiene una inversión inicial total de \$7785.96 que contempla la construcción del invernadero, su equipamiento, la adaptación del espacio ya existente en la finca para espacio de inoculación y colonización; la construcción de las dos composteras, la compra inicial de las lombrices y otros materiales necesarios para empezar la producción. Este valor corresponde principalmente a la inversión necesaria para producción de hongos, siendo este \$4885.96 y \$2800.00 para la construcción de las dos composteras.

4.4.2. Costo operativo

El costo operativo del proyecto es más de dos veces la inversión de este debido a los salarios del personal requerido. El costo operativo determinado es de \$17040.00. Los salarios representan el 84,5% de este costo.

4.4.3. Ingresos

Para calcular los ingresos del proyecto, se tomó en cuenta únicamente los ingresos provenientes de la producción de hongos debido a que representan el rubro más grande. Los ingresos totales son del \$34,000 anuales. La composta producida con los residuos de la finca sería mejor utilizada para acondicionamiento de los suelos del lugar.

4.4.4. Beneficios

Los beneficios correspondientes a la venta de los hongos son de \$17,645.60 anuales. Además, a estos se le suman un ahorro de \$1184.00 correspondientes a las fundas de abono orgánico que no compraría la finca gracias a la producción interna del mismo. El total de beneficios de las dos actividades suman \$18,829.90.

El tiempo de retorno de la inversión es de 6 meses. Este tiempo es corto debido a que se optimizará el uso de las instalaciones de la finca para su implementación y no es necesario construir nuevos espacios.

Ver el cálculo detallado de cada una de las secciones en el Anexo C.

4.5. Análisis de la legislación vigente

4.5.1. Jerarquización de residuos

Se consideró el artículo 226 del COA [20] para determinar el aprovechamiento o valorización de los residuos de la pulpa de café como alternativa para el plan de minimización ya que no es posible prevenir ni minimizar su generación en el proceso de producción de café.

4.5.2. Desechos sólidos

De acuerdo con el artículo 225 del Código Orgánico del Ambiente [20], este plan de minimización de residuos tiene como objetivo la gestión integral de residuos y desechos obtenidos en el proceso de elaboración del café. De acuerdo con los numerales del artículo, se consideraron las siguientes políticas de gestión integral de residuos y desechos

- 1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente;*
- 2. La minimización de riesgos sanitarios y ambientales, así como fitosanitarios y zoonosológicos;*
- 3. El fomento al desarrollo del aprovechamiento y valorización de los residuos y desechos, considerándolos un bien económico con finalidad social, mediante el establecimiento de herramientas y mecanismos de aplicación;*
- 4. El fomento de la investigación, desarrollo y uso de las mejores tecnologías disponibles que minimicen los impactos al ambiente y la salud humana;*
- 5. El estímulo a la aplicación de buenas prácticas ambientales, de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, en todas las fases de la gestión integral de los residuos o desechos;*
- 6. El fomento al establecimiento de estándares para el manejo de residuos y desechos en la generación, almacenamiento temporal, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final;*

La finca de estudio, como generador de residuos (Art. 31) se hace responsable con el presente plan de la minimización de sus residuos sólidos no peligrosos y de su tratamiento hasta disposición Este plan de minimización de residuos sólidos contribuye a la prevención de los impactos y daños ambientales de la parroquia de Nanegal, así como a la prevención de los riesgos a la salud de la población aledaña a la finca (Art. 29).

4.5.3. Producción y consumo sustentable

La reutilización de la pulpa de café para producción de hongos comestibles y abono para el suelo resultará en una producción más limpia y garantizarán el consumo de un café más sustentable, de acuerdo con los siguientes numerales del artículo 245 del COA [20]:

- 1. Incorporar en sus propias estructuras y planes, programas, proyectos y actividades, la normativa y principios generales relacionados con la prevención de la contaminación, establecidas en este Código;*
- 2. Optimizar el aprovechamiento sustentable de materias primas;*
- 3. Prevenir y minimizar la generación de cargas contaminantes al ambiente, considerando el ciclo de vida del producto;*
- 4. Fomentar procesos de mejoramiento continuo que disminuyan emisiones;*
- 5. Coordinar mecanismos que faciliten la transferencia de tecnología para la producción más limpia;*
- 6. Minimizar y aprovechar los desechos.*

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Fue posible cumplir con los objetivos plantados para el estudio. En las entrevistas se determinó que el único residuo que no contaba con correcta disposición era pulpa de café por lo que la investigación se basó en ésta. La cantidad de pulpa de café seca que se obtiene se calculó con la información obtenida en las entrevistas con el personal de la finca, y se corroboró con información bibliográfica sobre residuos de la producción de café. Se determinó que para el potencial de producción de la finca, cada año se obtienen 30,273 kg de pulpa seca al 11%.

Se identificaron seis tecnologías de valorización de residuos que han sido estudiadas para la producción de café mediante análisis de la información bibliográfica publicada en los últimos años. Las tecnologías analizadas fueron: producción de hongos, compostaje y lombricultura, alimento para animales, sustratos en procesos biotecnológicos, biocombustibles, y extracción y recuperación de compuestos bioactivos.

Para aplicación en la finca se seleccionaron las dos alternativas con mayor puntaje en la matriz de selección en la que se incluyeron los criterios de: disponibilidad de la tecnología, disponibilidad de espacio, personal requerido, financiamiento, beneficios económicos, y beneficios sociales. Las dos alternativas con mayor puntaje fueron: producción de hongos y lombricultura, para aplicación en la finca de estudio. El análisis de prefactibilidad de las dos tecnologías concluyó que su aplicación en la finca es factible por la disponibilidad de espacio, tecnología y personal, baja inversión, alta rentabilidad, y cantidad de residuos reutilizados al aplicar las dos tecnologías como solución conjunta.

5.2. Recomendaciones

Para obtener el mayor provecho y éxito de este plan, se recomienda a la empresa realizar un trabajo de marca exhaustivo que demuestre el trabajo y la importancia ambiental de las soluciones que se están aplicando en la finca para conocimiento de su público ya que, en el mercado actual, es importante para los clientes que las marcas que consumen busquen reducir su impacto ambiental.

Se recomienda realizar los siguientes estudios con respecto a los residuos y sus productos para contar con la información completa y poder mejorar el plan para su máximo aprovechamiento:

- Análisis físico químico de los residuos de la producción de café en sus distintas etapas (recién obtenido, después de fermentar y seco)
- Análisis físico químico del sustrato utilizado y listo para composta
- Análisis físico químico de las propiedades de los hongos ostra producidos en la finca
- Ensayos de composición del sustrato

6. Referencias

- [1] A. Kovalcik, S. Obruca, y I. Marova, “Valorization of spent coffee grounds: A review”, *Food and Bioproducts Processing*, vol. 110. Institution of Chemical Engineers, pp. 104–119, el 1 de julio de 2018. doi: 10.1016/j.fbp.2018.05.002.
- [2] M. Hoseini, S. Cocco, C. Casucci, V. Cardelli, y G. Corti, “Coffee by-products derived resources. A review”, *Biomass and Bioenergy*, vol. 148. Elsevier Ltd, el 1 de mayo de 2021. doi: 10.1016/j.biombioe.2021.106009.
- [3] P. S. Murthy y M. Madhava Naidu, “Sustainable management of coffee industry by-products and value addition - A review”, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 66. pp. 45–58, septiembre de 2012. doi: 10.1016/j.resconrec.2012.06.005.
- [4] T. Sera, C. R. Soccol, A. Pandley, y S. Roussos, *Coffee Biotechnology and Quality*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000. doi: 10.1007/978-94-017-1068-8.
- [5] D. N. Mateus, C. S. da S. Marliane, G. S. S. Joao, S. da S. Juliana, T. Yutaka, y C. M. K. Maria, “Pleurotus ostreatus, mushrooms production using quick and cheap methods and the challenges to the use of coffee husk as substrate”, *Afr J Microbiol Res*, vol. 11, núm. 31, pp. 1252–1258, ago. 2017, doi: 10.5897/AJMR2016.7942.
- [6] N. Castellano, “¿Por qué Ecuador importa tanto café?”, *Perfect Daily Grind Español*, 2022. <https://perfectdailygrind.com/es/2022/03/07/por-que-ecuador-importa-tanto-cafe/> (consultado el 6 de julio de 2022).
- [7] C. Granados, “EL IMPACTO AMBIENTAL DEL CAFÉ EN LA HISTORIA COSTARRICENSE”, Costa Rica , 1994.
- [8] X. Wang *et al.*, “Emerging waste valorisation techniques to moderate the hazardous impacts, and their path towards sustainability”, *J Hazard Mater*, vol. 423, feb. 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.127023.
- [9] Agrequima, “¿Qué es Biodep?”, 2022. <https://agrequima.com.gt/site/que-es-biodep7> (consultado el 6 de julio de 2022).
- [10] INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, “CAFÉ VERDE EN GRANO. CLASIFICACIÓN Y REQUISITOS ”, , núm. 1. INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, Quito, Ecuador , 2006. Consultado: el 14 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/285.pdf>
- [11] Bonka, “EL ÁRBOL DEL CAFÉ: 5 SECRETOS QUE NADIE TE HA CONTADO”, *Bonka*, 2022. <https://www.bonka.es/amor-por-el-cafe/arbol-cafe-cafeto> (consultado el 14 de noviembre de 2022).
- [12] G. Puerta-Quintero, “BENEFICIE CORRECTAMENTE SU CAF... Y CONSERVE LA CALIDAD DE LA BEBIDA”, junio de 2000. Consultado: el 14 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/561/1/avt0276.pdf>
- [13] G. Ortiz, “Entrevista ”. el 28 de octubre de 2022.
- [14] L. S. Oliveira y A. S. Franca, “An Overview of the Potential Uses for Coffee Husks”, en *Coffee in Health and Disease Prevention*, Elsevier Inc., 2015, pp. 283–291. doi: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00031-0.
- [15] F. Vanegas, “COMPOSICIÓN DEL FRUTO DEL CAFÉ”, *Coffee Media*, el 5 de junio de 2016. <https://www.yoamoelcafedecolombia.com/2016/06/05/composicion-del-fruto-del-cafe/> (consultado el 14 de noviembre de 2022).
- [16] A. Pandey, C. R. Soccol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan, y S. Roussos, “Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses”, 2000.
- [17] M. C. M. Kasuya *et al.*, “Production of Selenium-Enriched Mushrooms in Coffee Husks and Use of This Colonized Residue”, en *Coffee in Health and Disease Prevention*, Elsevier Inc., 2015, pp. 301–309. doi: 10.1016/B978-0-12-409517-5.00033-4.

- [18] GAD Parroquial Nanegal, “Nanegal - Datos Geograficos ”, 2022. <https://www.gadnanegal.gob.ec/index.php/ct-menu-item-11/ct-menu-item-27> (consultado el 14 de noviembre de 2022).
- [19] cuandovisitar.com.ec, “Cuando Visitar Nanegal”, 2022. <https://www.cuandovisitar.com.ec/ecuador/nanegal-1187462/> (consultado el 14 de noviembre de 2022).
- [20] Ministerio del Ambiente, “Código Orgánico del Ambiente”. abril de 2017.
- [21] C. Mendoza-Jimenez, “PLAN DE MINIMIZACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS PARA UNA PLANTA CEMENTERA EN PIURA”, Universidad de Piura, Piura, 2019. Consultado: el 14 de diciembre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4051/ING_625.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [22] Sosteniblepedia, “Estudio de prefactibilidad”, el 28 de diciembre de 2021. https://www.sosteniblepedia.org/index.php/Estudio_de_prefactibilidad (consultado el 14 de diciembre de 2022).
- [23] J. C. C. Lopez y K. Bhaktikul, “Cultivation of oyster mushroom (pleurotus ostreatus (Jacq.) P. Kumm.) using coffee waste and pulp to mitigate caffeine and pulp related pollution”, *Bangladesh J Bot*, vol. 47, núm. 4, pp. 887–892, dic. 2018, doi: 10.3329/bjb.v47i4.47366.
- [24] D. Martínez-Carrera, A. Aguilar, W. Martínez, M. Bonilla, P. Morales, y M. Sobal, “Commercial Production and Marketing of Edible Mushrooms Cultivated on Coffee Pulp in Mexico”, en *Coffee Biotechnology and Quality*, Springer Netherlands, 2000, pp. 471–488. doi: 10.1007/978-94-017-1068-8_45.
- [25] N. Yasmin, M. Jamuda, A. K. Panda, K. Samal, y J. K. Nayak, “Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives”, *Energy Nexus*, vol. 7, p. 100092, sep. 2022, doi: 10.1016/j.nexus.2022.100092.
- [26] H. Jürgen, “Vermicomposting with coffee pulp. A talk with Maria Rodriguez, BYOEARTH, Guatemala.”, el 17 de octubre de 2022. <https://www.thezerowastecoffeeproject.com/post/vermicomposting-with-coffee-pulp-a-talk-with-maria-rodriguez-byoearth-guatemala> (consultado el 10 de febrero de 2023).
- [27] M. R. Morales, *Taller de elaboración de porque tener lombrices nos beneficia a todos....* 2011. Consultado: el 10 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ibero.mx/web/filesd/publicaciones/taller-de-lombricomposta.pdf>

7. Apéndices y anexos

ANEXO A

Cálculo de residuos generados en la producción de café

Los datos resaltados en verde fueron obtenidos del personal de la finca en una entrevista [13].

500 lb	cereza fresca	>	100 lb	Café pergamino seco
100 lb	Café pergamino seco	>	84 lb	café verde
400 lb	pulpa húmeda			
200 lb	materia seca		200 lb	agua
Pulpa seca al 11%				
222 lb	pulpa seca al 11%		178 lb	agua
30 q	café pergamino seco	/	ha	
10 ha				
300 q	café pergamino seco	/	año	
1 q	=		100 lb	
30.000 lb	café pergamino seco	/	año	
222 lb	pulpa seca al 11%	>	100 lb	café pergamino seco
66.600 lb	pulpa seca al 11%	/	año	
30.273 kg	pulpa seca al 11%	/	año	

ANEXO B

Encuesta para la evaluación del mercado potencial para la producción de hongos ostra con el residuo de café

- 1) ¿Has comido hongos anteriormente (champiñones, portobello, hongos ostra, etc.)?
- a. Si
 - b. No

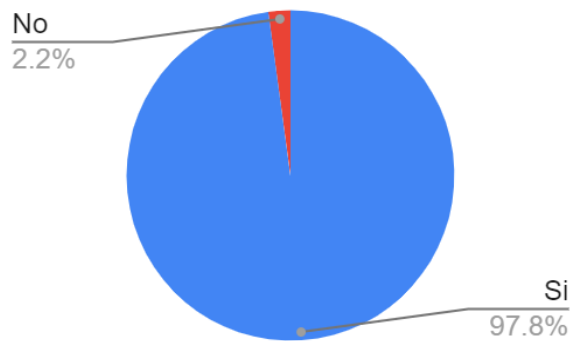


Fig. B.1. Resultados pregunta 1 encuesta

- 2) ¿Conoces los beneficios de los hongos?
- a. Si los conozco
 - b. No tengo idea

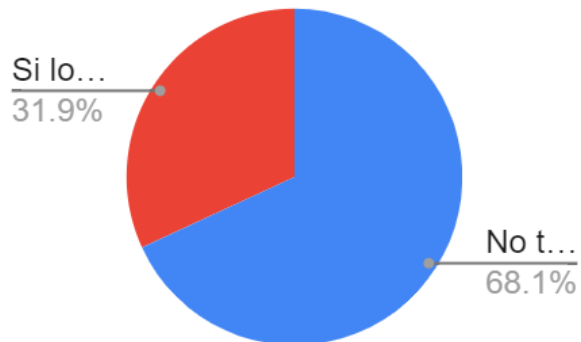


Fig. B.2. Resultados pregunta 2 encuesta

- 3) ¿Te gustan los hongos?
- a. Si
 - b. No

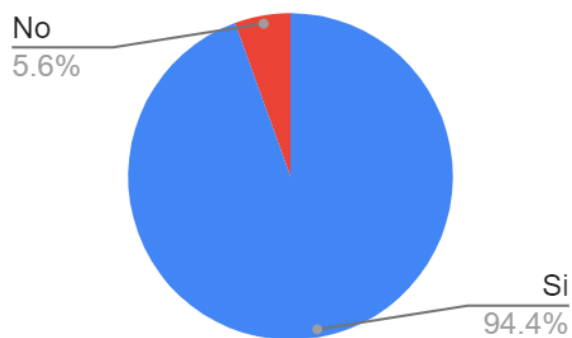


Fig. B.3. Resultados pregunta 3 encuesta

4) ¿Cuáles son tus hongos preferidos?

- a. Portobellos
- b. Champiñones
- c. Hongos Ostra
- d. Todos

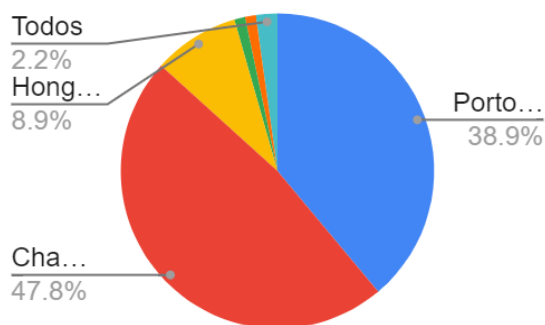


Fig. B.4. Resultados pregunta 4 encuesta

5) ¿Por qué comes hongos?

- a. Porque son saludables
- b. Porque me gusta su sabor
- c. Porque son una fuente alternativa de proteína
- d. Todas las anteriores
- e. Otros

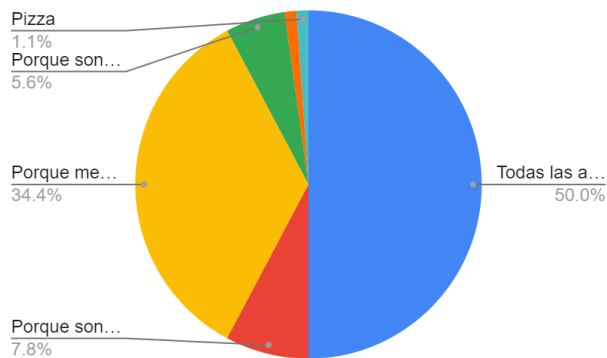


Fig. B.5. Resultados pregunta 5 encuesta

- 6) ¿Con que frecuencia comes hongos?
- Una vez a la semana
 - Varias veces a la semana
 - Una vez al mes
 - Dos o tres veces al mes
 - Varias veces al año

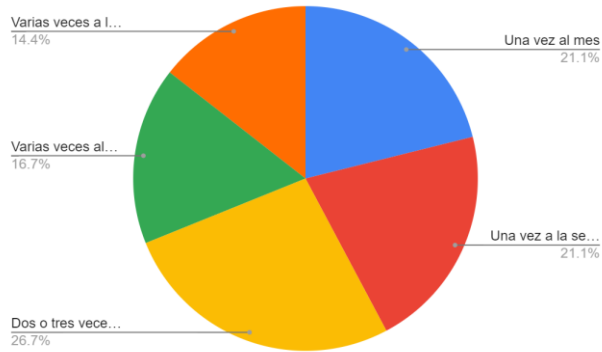


Fig. B.6. Resultados pregunta 6 encuesta

- 7) ¿Te interesa conocer el origen de tus alimentos?
- Si
 - No

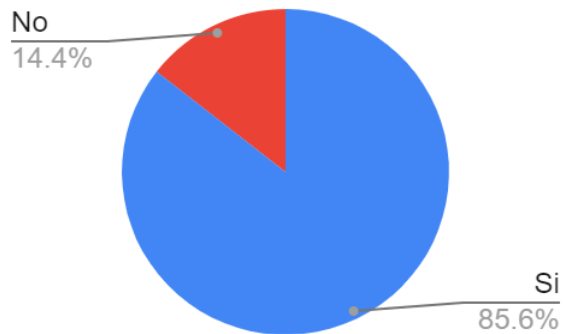


Fig. B.7. Resultados pregunta 7 encuesta

- 8) ¿Sabes cómo se cultivan los hongos que comes?
- Si
 - No

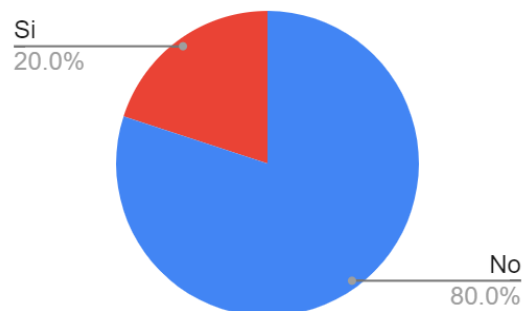


Fig. B.8. Resultados pregunta 8 encuesta

- 9) Los hongos producidos en cáscara de café pueden tener una baja concentración de cafeína, consideras esto como
- Una ventaja
 - Prefiero que mis alimentos no contengan cafeína
 - Me es indiferente

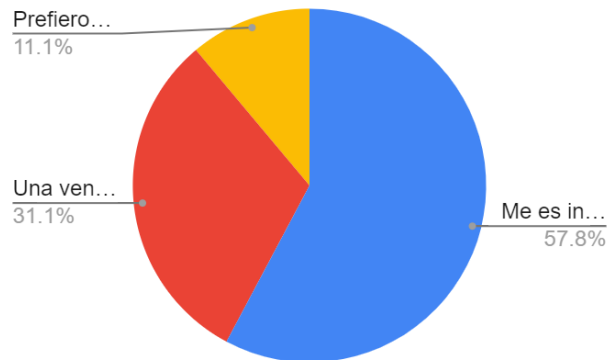


Fig. B.9. Resultados pregunta 9 encuesta

- 10) En la cafetería, te gustaría comprar hongos
- Como parte de tus platos (sanduche, picadas, ensaladas, etc.)
 - Frescos para prepararlos en casa
 - En conserva

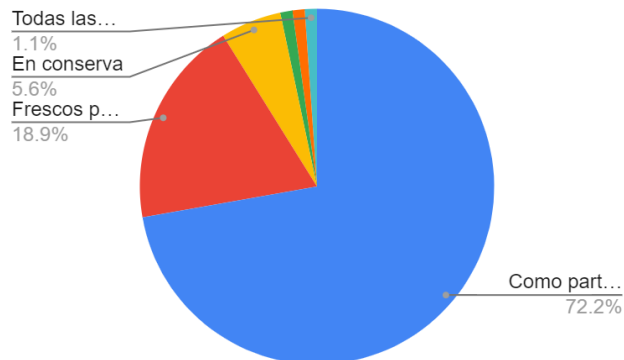


Fig. B.10. Resultados pregunta 10 encuesta

ANEXO C

Análisis de producción de hongos: Producción y costos

C.1 Producción de hongos

17	siembras de hongos	/ año	
1.781	kg	disponibles por siembra	
0,56	kg	pulpa seca por funda	2 kg sustrato húmedo al 75%
100		fundas por siembra	
		sustrato húmedo al 75% por	
200	kg	siembra	
56	kg	por siembra	
		pulpa seca al 11% requeridos	
666	kg	anuales	

Rendimiento

		sustrato húmedo por	
200	kg	siembra	
10	kg	semilla por siembra	Rendimiento 20 fundas por kg
200	kg	hongos frescos por siembra	
3.400	kg	hongos frescos anuales	
283	kg	hongos frescos mensuales	
9	kg	hongos frescos diarios	
10	\$	por kg de hongos promedio	
2.000	\$	por siembra	
34000	\$	anuales	

Costos operativos anuales

12	\$	kg de semilla	
120	\$	semilla por siembra	
2040	\$	en semilla anual	
2		personal	
600	\$	mensual personal / persona	
1200	\$	salarios mensuales	
14400	\$	salarios anuales	
50	\$	Servicios básicos y gastos varios mensuales	
600	\$	Servicios básicos anuales	
17040	\$	costos operativos anuales	0,84507

Inversión

11	u	fundas por repisa	
4	u	repisas por estantería	
90	\$	estantería	
44	f	fundas por estantería	

2,272,727	u	estantería
3	u	estantería
270	\$	inversión en estanterías para incubación ciclos de cultivo
4	u	simultáneos inversión estanterías
1080	\$	fructificación inversión total en
1350	\$	estanterías
15	u	estanterías mesa de acero
2	u	inoxidable mesa de acero
130	\$	inoxidable
260	\$	inversión mesas
1	u	olla pasteurizadora 500L
1480	\$	olla pasteurizadora 500L
1480	\$	inversión ollas
2	u	tanque azul 200L
60	\$	tanque azul 200L
120	\$	inversión tanque azul
2	u	carretilla
60	\$	carretilla
120	\$	inversión carretilla
2	u	pala
12,98	\$	pala
25,96	\$	inversión pala
30	\$	malla ventanas
1500	\$	Invernadero
2	u	atomizador
3	\$	atomizador
6	\$	inversión atomizador
4885,96		
1954,384		depreciación anual
114,9638		depreciación por siembra

C.2 Producción de lombricomposta

29.607	kg	pulpa seca al 11% disponibles anuales
4	mes	producción por cama
3	ciclos de producción	anuales
9.869	kg de pulpa seca	pulpa seca al 11% por ciclo
100	kg/m ³	densidad aparente

98,69 m3 volumen requerido

Rendimiento

4934 kg composta
50 kg fundas comerciales
99 u fundas comerciales
12 \$ fundas comerciales
1184,269
kg/m3 densidad
550 aparente
9 m3 volumen requerido

Dimensiones canteros

2 m ancho
5 m largo
1,6 m profundidad/alto
16 m3 volumen
6,17
2 composteras requeridas
1400 \$ por compostera
2800 Inversión total composteras

100 \$ inversión lombrices

ANEXO D

Plan de Minimización de Residuos No Peligrosos

D.1 Objetivos y metas de acuerdo con la naturaleza de los desechos que se generan

Los objetivos se establecieron combinando la información bibliográfica disponible con las entrevistas al gerente de la finca para que sean realistas y exista el compromiso de la empresa de cumplirlos. Para establecerlos se tomaron en cuenta los beneficios:

- Económicos:
 - Reducción del costo de disposición de residuos.
 - Incremento de ingresos para la finca.
- Ambientales:
 - Reducción de descargas contaminantes al suelo, aire y agua.
 - Minimización de la cantidad de residuos para disposición final.
- Sociales:
 - Generación de oportunidades de empleo.

D.2 Descripción del proceso productivo: Descripción básica, acompañada de un diagrama de flujos, de los diferentes procesos o líneas de trabajo de la empresa. Si los procesos son complejos se debe presentar un diagrama de flujo por proceso

La finca es relativamente nueva y cuenta con plantas en etapa de fructificación en sus 10 ha de cultivo. Tiene una capacidad de producción de 30 quintales anuales de café pergamino seco en etapa de producción completa. La producción es de café arábica que es la subespecie que mejor se adapta a la región por su altura. Los tiempos de producción son:

- Cosecha de junio a agosto. Durante la cosecha se obtiene la cereza fresca para su posterior tratamiento
- Exportación que se refiere a la producción de la cereza. De aquí se obtiene el café verde para exportación o posterior consumo en cafetería. El periodo va de octubre a abril.

El procesamiento se lo realiza por beneficio vía húmeda ya que es el método que mejor se adapta por sus estándares de calidad. Una vez recolectadas, las cerezas pasan por el área de postcosecha (Fig. D.1.(a)) en la que se verifica nuevamente que las cerezas recolectadas cumplan con los parámetros para procesamiento y se lavan. Después van al área de máquinas (Fig. D.1.(b)) en las que se despulpa y remueve el mucilago. Las cerezas son lavadas nuevamente para pasar al área de secado (Fig. D.1.(c)) en las que pasan de 21 a 36 días en

camas de secado hasta alcanzar una humedad de 11 a 12,5%. Las cerezas que después de este tiempo no cumplen con la humedad requerida, van a una máquina de secado por 3 h aproximadamente. El pergamino seco pasa a la trilladora y está listo para su almacenamiento o consumo.



Fig. D.1. Exteriores de las áreas de (a) postcosecha, (b) maquinas, (c) secado, y (d) almacenamiento de la finca.



Fig. D.2. Beneficio por vía húmeda.

D.3 Análisis de los procesos generadores de desechos (balances de materiales de entrada-salida)

De acuerdo con la entrevista realizada al propietario de la finca [13], el radio de producción de residuo seco por cantidad de cereza recolectada es de 4:1 [13]. Además del proceso de producción de café en sí, en la finca se obtiene residuos vegetales productos del desbroce que debe realizarse constantemente en ciertas áreas por el rápido crecimiento vegetal.

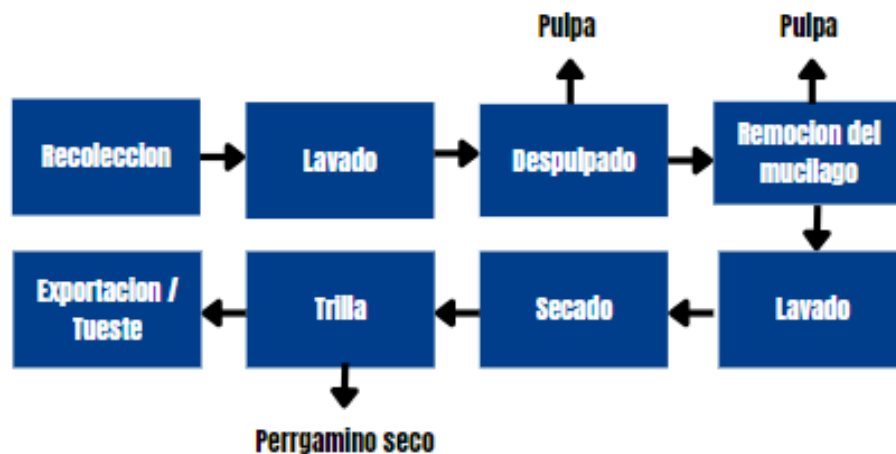


Fig. D.3. Diagrama de producción de residuos sólidos de la producción de café

D.4 Inventario de desechos

Del proceso productivo, el principal residuo sólido que se genera es la pulpa de café seca. Se producen 30,273 kg de pulpa de café anualmente.

D.5 Jerarquización de desechos

Según el análisis realizado a los procesos productivos y residuos de la finca, se determinó que la pulpa de café seca es el único residuo relevante para este estudio ya que por la cantidad que se produce tiene un alto potencial contaminante al contener tantos antinutrientes que pueden afectar el ecosistema si no se trata el residuo correctamente. A su vez, es un subproducto alto en nutrientes que se pueden aprovechar para diversos usos pero que también pueden contaminar.

D.6 Identificación de opciones de prevención y minimización

Debido a la importancia de este bien a nivel mundial, varios científicos se han enfocado en encontrar formas de reutilización del residuo para su aprovechamiento y una mejor disposición. La mayoría de estas investigaciones se han desarrollado a nivel de laboratorio y deben escalar todavía a plantas piloto de acuerdo con Murthy, et. Al [3]. Algunas de estas aplicaciones, como alimento para animales y compostaje se han visto limitadas por los anti nutrientes presentes en la pulpa del café y se lo ha utilizado en pocas cantidades o en procesos ineficientes [3]. Sin embargo, considerando que este residuo se genera en grandes cantidades, es necesario encontrar mejores opciones.

D. 6. 1 Producción de hongos

Los residuos de la producción de café pueden ser utilizados, como otros residuos agroindustriales como sustrato para la producción de hongos comestibles y terapéuticos [2], [3], [5]. Algunos autores reportan que la pulpa y el bagazo del café [2], [3], [5] son excelente sustrato para hongos comestibles y terapéuticos, incluso sin pretratamiento, por la cantidad de nutrientes y humedad que mantienen. La ventaja de esta alternativa es que no requiere un pretratamiento complicado para su utilización [14] y puede, incluso, ser utilizado como un pretratamiento para otras tecnologías como producción de alimentos para animales o compostaje [17]. Los hongos pueden aprovechar los nutrientes y humedad que mantiene la pulpa mientras que degradan los anti nutrientes y hacen de su posterior uso o disposición más sencilla.

Al igual que otros residuos agroindustriales, Se ha reportado eficiencia de hasta el 88,8% para sustratos formulados con una mezcla de cascara y bagazo [3] en la producción de hongos comestibles. Estudios en los que se produjeron diferentes tipos de Pleurotus, fructificaron después de 20 días y obtuvieron una eficiencia biológica de 96.6%. La producción de hongos en el sustrato formado por cáscaras de café causó un cambio en la composición del sustrato, aumentando su contenido proteico y disminuyendo su contenido fibroso [16].

D. 6. 2 Compostaje y lombricultura

La pulpa del café puede resultar muy beneficiosa para el suelo si se la agrega en el mismo con el pretratamiento adecuado. La pulpa de café es alta en nutrientes y celulosa [2]. Los residuos tienen la capacidad de aumentar la retención de humedad en el suelo y pueden mejorar su calidad a largo plazo [14]. Los residuos del café tienen una baja relación carbono nitrógeno (C/N), por lo que se deben mezclar con residuos con alto C/N para garantizar un mejor resultado [14]. Además, en la mezcla se debe considerar que los anti nutrientes presentes en el suelo pueden afectar el suelo por lo que se debe limitar la cantidad aplicada.

D. 6. 3 Alimento para animales

Tradicionalmente los residuos agrícolas han sido utilizados para alimentar a animales. Es difícil utilizar los residuos del café de esta manera porque tiene baja cantidad de proteína digerible, baja retención de nitrógeno [16] y por su contenido de anti nutrientes como cafeína, y taninos en altas cantidades [14]. Se considera también que la cafeína hace que el alimento tenga un sabor desagradable para los animales [16].

Se ha limitado el uso de la cascara de café al 40% para alimento de animales en general, con la excepción de ganado porcino que no debe exceder el 10% (Oliveira & Franca, 2015). Esta limitación se debe a las propiedades estimulantes, diuréticas y adictivas de la cafeína, y al efecto inhibitor de las enzimas digestivas que tienen los taninos. Se ha demostrado que el uso en altas cantidades de los residuos de café como alimento para peces inhibe su crecimiento [14]. Es posible incrementar el uso de la cascara de café para alimentos de animales utilizando un pretratamiento que permita cambiar su composición para mayor aprovechamiento de sus beneficios. Sin embargo, los pretratamientos pueden resultar costosos y no obtener un beneficio adicional del tratamiento [14].

D. 6. 4 Sustratos en procesos biotecnológicos

Se ha cultivado microbios de la pulpa y cascara de café en fermentación líquida y sólida. Es un sustrato económico que puede ser utilizado en diferentes aplicaciones [2]. Entre los procesos estudiados se encuentran

- Producción de ácido cítrico: Según estudios, la pulpa de café puede ser un sustrato económico para la producción de ácido cítrico [3] con el que se obtiene mayor producción comparado a salvado de trigo, salvado de arroz, y salvado de arroz desaceitado [16].
- Producción de enzimas: Entre las más estudiadas se encuentra la pectinasa, tanasa, y cafeinasa [16].
- Producción de compuestos aromáticos: Se han producido levaduras con aromas frutales [16].

D. 6. 5 Biocombustibles

La producción de biocombustibles es una gran alternativa si se utiliza bajo las condiciones correctas de fermentación del residuo [2] debido a su alto contenido energético [14]. Sin embargo, su producción no ha sido investigada todavía a gran escala para mejorar la tecnología y hacerla competitiva con otras alternativas existentes. Un estudio reportado por Oliveira & Franca (2015) indica que el biocombustible obtenido por la fermentación de la pulpa de café contenía solamente el 2.5-3.0% de etanol (w/v), lo que requeriría altos costos energéticos para su destilación. Además, sugiere mezclar este residuo con jugo de caña de azúcar o molasa para mejorar la producción. Por otro lado, la producción de biometano fue alta en comparación a otros residuos agroindustriales. Se produjo de 650 a 730 m³ CH₄ por tonelada de sólidos volátiles [16]. El tipo de café utilizado para la producción incide en la cantidad de metano obtenida.

D. 6. 6 Extracción y recuperación de compuestos bioactivos

Se considera que la cascara y pulpa de café son fuentes potenciales de colorantes y productos bioactivos que son utilizados en alimentos procesados. Los productos bioactivos obtenidos de los residuos de café contienen 65-70% actividad antioxidante y del 40 al 80% de fibra dietética [14]. Los extractos obtenidos por extracción de baja presión con etanol mostraron los porcentajes más altos de producción y la actividad antioxidante más alta [14].

D.7 Valoración de las alternativas de prevención y minimización

TABLA D.1
Valoración de las alternativas de prevención y minimización

	Disponibilidad de la tecnología	Disponibilidad de espacio	Pretratamiento requerido	Personal especializado requerido	Financiamiento	Beneficios económicos	Beneficios sociales	Total
Peso	5	2	5	3	3	5	4	
Producción de hongos	5	5	5	5	5	5	5	175
Compostaje y lombricompostaje	4	3	4	5	5	4	3	155
Alimento para animales	5	4	3	4	4	4	4	140
Sustratos en procesos biotecnológicos	3	4	4	1	1	5	3	84
Biocombustibles	2	5	5	3	1	4	4	89
Extracción y recuperación de compuestos bioactivos	3	4	4	1	1	5	3	84

D.8 En función de la realidad productiva de la empresa, valorar las diferentes alternativas que pudieran ajustarse a las necesidades de la empresa.

TABLA D.2
Valoración de las alternativas de acuerdo a los lineamientos del plan

	Mejora de los aspectos ambientales	Mejora de los aspectos de prevención de riesgos laborales	Mejora de los costos de gestión y producción	Costos de inversión	Programa de acción para la implantación del Programa de Minimización	Total
Peso	5	1	5	5	4	
Producción de hongos	5	5	5	5	5	101

Compostaje y vermicompostaje	5	5	4	5	5	96
Alimento para animales	4	5	3	5	4	82
Sustratos en procesos biotecnológicos	4	5	2	2	3	58
Biocombustibles	5	5	4	3	4	82
Extracción y recuperación de compuestos bioactivos	4	5	2	2	3	58

D.9 El programa de acción para implementar

D. 9. 1 Cronograma

TABLA D.3
Cronograma de implementación del plan

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
Construcción invernadero	■	■	■	■																					
Adaptación área cultivo	■	■	■	■																					
Construcción composteras	■	■	■	■																					
Cosecha de café					■	■																			
Pretratamiento sustrato							■	■																	
Preparación sustrato y siembra						■			■			■			■			■			■				■
Colonización							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fructificación 1 y cosecha										■		■			■			■			■				
Riego											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fructificación 2 y cosecha													■				■			■					
Riego														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Fructificación 3 y cosecha																		■			■				■
Riego																			■	■	■	■	■	■	■
Fructificación 4 y cosecha																							■		
Disposición final																							■		
Reposo inicial del sustrato							■	■	■																
Composta											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Primera cosecha																								■	
Composta																								■	■

	Tiempo de cosecha de café
	Tiempo de pretratamiento del sustrato
	Ciclos de cultivo, se utilizan diferentes colores para distinguir entre ciclos
	Tiempo de composta
	Tiempo de cosecha de composta

D. 9. 2 Alternativas elegidas

Las alternativas elegidas son producción de hongos ostra y lombricomposta.

D. 9. 3 Objetivos temporales

- Completar la construcción de las áreas necesarias para fructificación de hongos y composteras
- Completar la adaptación del área para pasteurización e inoculación del sustrato

D. 9. 4 Objetivos de mejora

- Hacer pruebas con el sustrato y el proceso sugerido y adaptarlo de ser necesario
- Empezar estrategia de comunicación e introducción de los nuevos productos de la finca a su público y nuevos mercados

D. 9. 5 Recursos necesarios

El proyecto tiene una inversión inicial total de \$7785.96 que contempla la construcción del invernadero, su equipamiento, la adaptación del espacio ya existente en la finca para espacio de inoculación y colonización; la construcción de las dos composteras, la compra inicial de las lombrices y otros materiales necesarios para empezar la producción. Este valor corresponde principalmente a la inversión necesaria para producción de hongos, siendo este \$4885.96 y \$2800.00 para la construcción de las dos composteras.

D. 9. 6 Necesidad de adecuación de la empresa

La finca cuenta con espacios disponibles que pueden ser adaptados para la producción de hongos, como son

- Casa de almacenamiento: Construcción con primer piso de bloque y cemento (Fig. D.1.d). Cuenta con habitaciones. Actualmente una de las habitaciones se encuentra en uso para almacenamiento de las herramientas de siembra y puede ser adaptada como área de "Pasteurización, almacenamiento e incubación" agregando ollas pasteurizadoras, dos mesas metálicas para mezclas e inoculación y estanterías para las bolsas en proceso de colonización.

- Área de postcosecha de café: Es una construcción abierta y techada en la que se encuentran las máquinas de lavado del café. Se una solo en época de lavado de la cereza. Cuenta con mesas que pueden ser usadas para empacar y surtir los hongos después de la cosecha.

Adicionalmente es necesaria la construcción de un invernadero para fructificación y de dos composteras. Cada invernadero es de 3.5m de ancho y 5m de largo y tiene una producción de 34,000 kg de hongos frescos anuales. Se estima que cada invernadero tendría una vida útil de 6 años con los cuidados y mantenimiento correctos. Cada compostera será de 5m*2m y altura de 1.6m para tratar todo el residuo sobrante.

Con respecto al personal, la finca deberá contratar y capacitar a dos personas para que se encarguen de esta área y puedan darle el cuidado y seguimiento necesario a los hongos y a la composta para tener el mayor aprovechamiento de las tecnologías propuestas.

D. 9. 7 Programa de control e indicadores de seguimiento

Para que el plan funcione a largo plazo y se puedan implementar las mejoras necesarias, se debe llegar un registro detallado de la pulpa utilizada, cantidades, fechas y productos obtenidos para poder analizar los resultados.

Los indicadores de seguimiento son el peso de hongos obtenidos y el compost cosechado, cada uno basados en la cantidad de sustrato utilizado para su producción.

D.10 Para conocer si se está cumpliendo los objetivos propuestos, la metodología más adecuada consistirá en la implantación de controles temporales (por ejemplo, trimestrales) en los que se revisen las adecuaciones realizadas en función de indicadores.

- Control anual de
 - Cantidad total de pulpa húmeda producida
 - Cantidad de pulpa seca obtenida
 - Cantidad de pulpa utilizada para la composta
 - Peso total de composta obtenida
- Control trimestral de
 - Cantidad de pulpa seca utilizada para producir hongos
 - Peso total de hongos cosechados