



Alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tostión del
café.

Yina Paola López Moreno

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2019

Alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tosti3n del
caf3.

Yina Paola L3pez Moreno

Trabajo de grado presentado para optar al t3tulo de Ingeniera Ambiental

Asesor:

Ingeniero Agr3nomo Giovanni S3nchez Rojas de la Universidad Nacional; Magister en
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente; Especializaci3n en gesti3n Ambiental Urbana.

L3nea de investigaci3n: gesti3n Ambiental

Universidad Antonio Nari3o

Facultad de Ingenier3a Ambiental

Bogot3, Colombia

2019

Agradecimientos

El desarrollo de este trabajo fue posible gracias a la colaboración de diferentes personas e instituciones que fueron piezas clave para culminar esta etapa con determinación y entusiasmo. Agradezco a mi familia López Moreno por siempre brindar su apoyo, confianza, esfuerzo y dedicación a lo largo de mi vida y de este ciclo que ya culmina.

A mi asesor Giovanni Sánchez por su dedicación y asesoría a lo largo de este proceso de aprendizaje.

A las compañías donde he laborado, las cuales han desarrollado competencias aplicativas a todos los conocimientos teóricos recibidos en el proceso de formación.

TABLA DE CONTENIDO

0. INTRODUCCIÓN.....	7
1. OBJETIVOS.....	8
1.1. Objetivo General.....	8
1.2. Objetivos Específicos.....	8
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
2.1. Descripción del problema.....	9
2.2. Formulación del problema.....	9
3. JUSTIFICACIÓN.....	10
4. MARCOS DE REFERENCIA.....	11
4.1. Marco teórico conceptual.....	11
4.1.1. Generalidades de la semilla del Café.....	11
4.1.2. Taxonomía del café.....	12
4.1.3. Residuos del café.....	14
4.1.4. Generalidades conceptuales de la Biomasa.....	16
4.2. Marco Normativo.....	17
4.2.1. Manejo actual de los residuos sólidos en Colombia.....	17
5. METODOLOGÍA.....	20
5.1. Tipo de investigación.....	20
5.2. Diseño Metodológico.....	20
5.2.1. Fase de selección.....	21
5.2.2. Fase de generación del plan de trabajo.....	21
5.2.3. Fase de búsqueda de información.....	21
5.2.4. Fase de construcción.....	21
5.2.5. Fase final de consolidación.....	22
6. RESULTADOS.....	23
6.1. Descripción del proceso productivo de tostado y molido de café.....	23
6.2. Descripción de los residuos del proceso de tostión y molienda de café.....	24
6.2.1. Nombre del material.....	24
6.2.2. Descripción.....	24
6.2.3. Etapa en la que se genera.....	25

6.2.4.	Inocuo	25
6.2.5.	Método de cuantificación	25
6.3.	Descripción del residuo Silver Skin.....	28
6.3.1.	Silver Skin	28
6.3.2.	Composición química del residuo Silver Skin	29
6.3.3.	Alternativas para el aprovechamiento de la película plateada.....	32
7.	CONCLUSIONES.....	42
8.	RECOMENDACIÓN	43
9.	REFERENCIAS	45
ANEXO 1: Alternativas de aprovechamiento por tipo de residuos.....		50
ANEXO 2: Tecnologías de combustión de biomasa		51
ANEXO3: Etapas de la gasificación para producción de biogás.....		52
ANEXO 4: Aprovechamiento de residuos orgánicos para producción de bioetanol.....		52

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Bioetanol obtenido por cada millón de sacos de café verde producidos. Fuente: (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010).....</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2 Marco normativo para la gestión de residuos sólidos en Colombia.....</i>	<i>17</i>
<i>Tabla 3 Matriz de descripción de los residuos de proceso de tostión y molienda de café.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 4 Etapa de generación del residuo de café.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 5 Composición química del residuo Coffea Silver Skin</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 6 Composición química de la película plateada en las variedades Colombia y Caturra y de las reportadas en la literatura.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 7 Características químicas de Silver Skin</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8 Caracterización de los residuos orgánicos</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 9 Requisitos para la correcta utilización del compost</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 10 Tipos de gasificación.....</i>	<i>39</i>

LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Morfología del grano de café. (2019) [Imagen].....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 2 Taxonomía Coffea Arabica. (2019) [Imagen].....</i>	<i>14</i>
<i>Ilustración 3 Fases de la investigación (2019) [Imagen].....</i>	<i>22</i>
<i>Ilustración 4 Proceso productivo tostión y molienda de café. (2019). [Imagen].....</i>	<i>24</i>
<i>Ilustración 5 Etapa de generación de Silver Skin [Esquema]</i>	<i>28</i>
<i>Ilustración 6 Ejemplo de un biodigestor [Esquema].....</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 7 Etapas del compostaje [Esquema]</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 8 Etapas del proceso de lombricultura [Esquema].....</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 9 Proceso de combustión de biomasa [Esquema].....</i>	<i>38</i>

INTRODUCCIÓN

En el mundo la bebida de café es de gran importancia, en 2016 el área agrícola dedicada al cultivo de café verde alcanzó las 10.975.184 hectáreas, lo que arrojó 9.221.534 toneladas de café verde (Hijosa-Valsero, Garita-Cambronero, Paniagua-García, & Díez-Antolínez, 2018), generando impactos medio ambientales significativos del sector cafetero, los cuales se pretenden cuantificar y disminuir. En 2017 y 2018 Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia logran ser los países de mayor producción de café (Lora, 2018) y según (Fairtrade Foundation, 2018) más de 125 millones de habitantes presentan dependencia de este producto para su sustento.

Durante el procesamiento del café desde el fruto hasta la taza, se van generando distintas problemáticas ambientales, sociales y económicas referente a la utilización y contaminación de los recursos naturales, pero actualmente la legislación y tendencias mundiales limitan cada vez más estos impactos negativos, por esta razón los residuos de las industrias alimentarias ya no pueden ser dispuestos en relleno sanitario, la generación de los mal llamados residuos del café representa un desafío significativo para el sector cafetero y la academia. Para la solución de esta problemática y por las tendencias ya mencionadas es importante continuar con el desarrollo de alternativas de tratamiento de estos coproductos, agregando valor y una economía circular en la industria alimentaria.

En este documento se da a conocer algunas generalidades del sector cafetero, el fruto del café, el marco normativo para la gestión de residuos no peligrosos, el proceso de tuestión y molienda de este producto y las alternativas de aprovechamiento sugeridos por la norma GTC 53-7 de 2006, adicionalmente se concluye un análisis de la viabilidad del subproducto Silver Skin (generando en el proceso de torrefacción del café) por ser el más representativo debido a su volumen y peso, para que permita a las partes interesada una información confiable y actualizada.

1. OBJETIVOS

1.1. Objetivo General

Determinar las alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tuestión del café.

1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos generados en el proceso de tuestión del café.
- Establecer los usos potenciales del residuo de Silver Skin generado en el proceso de manufactura de la tuestión del café.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Descripción del problema

El café proviene de la semilla del cafeto, mide cerca de 1 cm dependiendo de su origen, es plana por un lado y convexa por el otro con una película plateada en la mitad; requiere condiciones de cultivo exigentes, un desarrollo del grano especial; y de este producto dependen millones de personas especialmente en países en vías de desarrollo (Perez Porto, Julian ; Marino, 2012). El café es un producto reconocido a nivel mundial por generar ciertas propiedades a la salud al momento de prepararse, Colombia es reconocida por su alta calidad en la producción y manufacturación del café, por esto ofrece un gran reto en la adecuada gestión de los recursos naturales. Según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en 2017-2018 el país tuvo una producción de 13,8 millones de sacos (Clavijo, 2018), los cuales presentaron un impacto en recursos como el agua, la energía, el aire, generación de vertimientos, generación de residuos, entre otros. En este caso la generación de residuos de café del proceso de manufactura de producto terminado representa 54 kg de residuos por tonelada producida y el 67% de estos son subproductos del café que tienen un alto potencial de aprovechamiento; de no gestionarse correctamente representan un impacto negativo en el ámbito social, económico y ambiental ya que una de las opciones legales en Colombia de destino final es disposición a relleno sanitario.

2.2. Formulación del problema

Esta monografía pretende dar solución a la pregunta problema ¿Qué alternativas de aprovechamiento en los residuos generados en el proceso productivo de tostión del café existen en la actualidad? Basado en un registro de la información con fuente no menor a diez años y haciendo un enfoque en el residuo denominado película plateada o Silver Skin.

3. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo sostenible es un reto planteado en la actualidad a nivel mundial que busca no comprometer las necesidades de las futuras generaciones y satisfacer los requisitos de las actuales bien sea en el ámbito social, ambiental y económico, se da en la Comisión Brudtland (Collins, 2019) y se habla que la tendencia actual es la “Era de la Sostenibilidad”, por esta razón ofrecer alternativas a la gestión de los recursos se convierte en un requisito obligatorio.

Thomas Malthus consideró que, si se continuaba con el crecimiento poco controlado de la población, existiría un momento donde el consumo de alimentos logra superar su fabricación. Eventualmente el aumento de la población y desarrollo de actividades antropogénicas, requiere que la industria de alimentos logre subsanar aquellos requerimientos que los clientes demandan, por esta razón es importante ofrecer alternativas de solución hacia el desarrollo (Malthus, 2016). En los inicios industriales se hablaba de una producción lineal, donde un producto cumplía su función y al finalizar su etapa era desechado. Posteriormente, las empresas se concentraron en dar cumplimiento a lo esencial y básico establecido por cada normatividad publicada en sus países de desarrollo para la prevención de la contaminación. Actualmente esta tendencia ha cambiado, donde una industria competitiva debe desarrollar un producto pensado en su reincorporación como materia prima al mismo u otro proceso lo que se denomina análisis de ciclo de vida y se presenta de forma explícita en la norma ISO 14040:2006; adicionalmente los subproductos generados en las industrias ofrecen un valor económico y como consecuencia de los avances en normatividad a nivel mundial, esta monografía de compilación pretende compilar varias alternativas para la correcta gestión de los subproducto del proceso de manufactura de café tostado, con el fin de proporcionar información actualizada y en tendencia sobre las mismas; para que sirvan como fuente de información para próximos estudios a nivel industrial, académico o de procesos.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1. Marco teórico

4.1.1. Generalidades de la semilla del Café.

El café es el producto comestible del cafeto, un arbusto que pertenece a la familia botánica *Coffea Arabica* y *Coffea Robusta* que tiene entre 500 géneros y 8.000 especies y se dan en regiones tropicales, las semillas del café están contenidas en el fruto de la planta, cuando llega a la etapa de maduración se le denomina cereza y presenta un color rojizo. (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018)

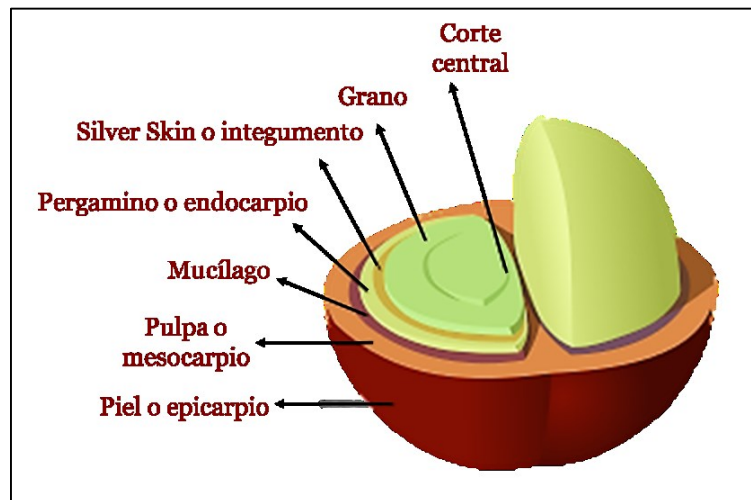
Según la literatura el café se origina en Kaffa, y la incorporación en América se hizo en el año 1718 de manera progresiva, empezando por Surinam, posteriormente se evidencia plantaciones en la Guyana Francesa. En el año 1730 los británicos introducen el café en Jamaica y, posteriormente, este fruto se extendió a Centro y Sur América (Sánchez & Anzola V., 2014).

El perfil de café en Colombia es una bebida suave por esta razón la especie *arábico* es la de mayor cultivo, la cual tiene mayor aceptación en el mercado. Otros ejemplos de las variedades del café en el país corresponden a: *Tabí*, *Borbón*, *Geisha*, *Maragogipe*, *Típica*, *Caturra* y *Colombia*, correspondiendo a un mayor porcentaje de cultivo las tres últimas variedades mencionadas. (Sánchez & Anzola V., 2014)

El grano tostado y molido del fruto del cafeto es el utilizado para el consumo humano, como lo muestra la figura 1, el café se compone por una cubierta exterior llamada piel o epicarpio que protege el grano de factores externos, en la pulpa o mesocarpio que es la encargada de proteger la semilla hay una sustancia gelatinosa denominada mucílago de carácter azucarado, posteriormente está el pergamino o endocarpio que es una cubierta un poco más dura, y finalmente en el

recubrimiento del grano o semilla existe una cubierta más delgada y fina denominada película plateada (Silver Skin) o integumento (Echeverría & Nuti, 2017). Dentro del fruto del café se encuentran dos semillas o granos, como se muestra en la siguiente ilustración.

Ilustración 1 Morfología del grano de café. (2019) [Imagen].



Fuente: Adaptación (Wordpress & Theme Freesia, 2019).

4.1.2. Taxonomía del café.

Es importante conocer el funcionamiento de la planta que genera el fruto del café, por esta razón a continuación, se da a conocer la estructura y función que cumple cada una de las partes del café:

4.1.2.1. La raíz.

Permite al arbusto captar los nutrientes necesarios para el desarrollo, producción y estabilidad en el sitio. Su raíz principal, se introduce verticalmente, hasta una profundidad de 50 centímetros. Adicionalmente se generan otras raíces de mayor grosor extendiéndose de forma horizontal y permiten dar soporte a las raíces menos gruesas. En los primeros 10 centímetros de profundidad

se encuentran más del 50% de estas raicillas y el 86% en los primeros 30 centímetros (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2010).

4.1.2.2. El tallo o tronco y ramas.

El tallo forma el soporte del cafeto y tiene 2 tipos de brotes: ortotrópicos, que crecen verticalmente y deben ser podados, y plagiotrópicos, que se desarrollan horizontalmente y dan lugar a las ramas primarias, secundarias y terciarias donde se da el fruto, cuando se pierde una rama primaria, la planta de café llega a perder un área para la generación de nuevos frutos. Cabe mencionar que la cosecha se produce en su gran mayoría en las ramas que nacen. Cuando se cuenta con mayor número de ramas nuevas, se concluye que mayor será la cosecha (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

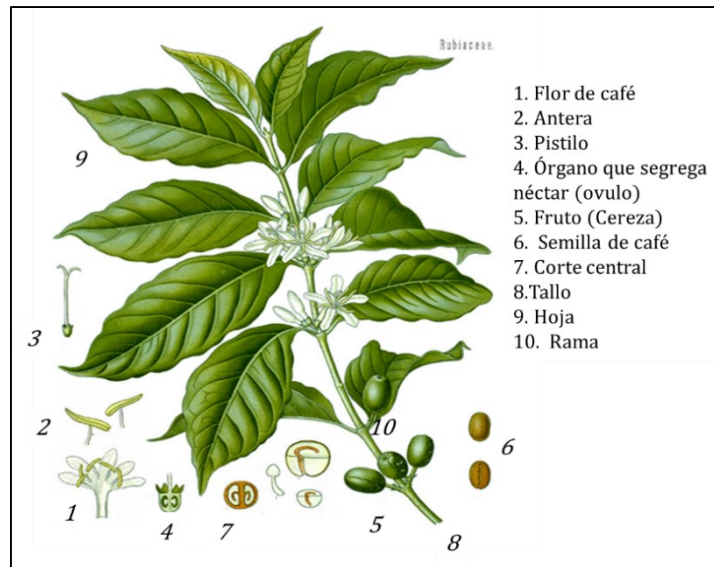
4.1.2.3. La hoja.

Se encarga de los procesos de fotosíntesis, transpiración y respiración. En promedio un cafeto de un año de edad tiene 440 hojas. A partir del segundo año, la densidad de siembra, al igual que la condición de sol o sombra, influyen notablemente en la cantidad de hojas por planta (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

4.1.2.4. La flor.

Se encarga de la reproducción de la planta, no se deben retirar ya que sin la existencia de las flores no existiría la cosecha, las flores se generan en los nodulos de las ramas, en grupos de 4 o más, sobre un tallo muy corto llamado glomérulo. Cuando un grano de polen está en contacto con el óvulo se da la fecundación de la flor. En el cafeto se da la autofecundación que ocurre en organismos bisexuados y se encuentra por encima del 90% (Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 2018).

Ilustración 2 Taxonomía Coffea Arabica. (2019) [Imagen].



Fuente: Adaptación (Erläuterndem, 1897)

4.1.3. Residuos del café.

En la industria cafetera se observa que solo hay un aprovechamiento de casi el 10 % del peso total del fruto cuando se realiza la preparación de una taza y el 90 % restante es dispuesto como residuo según Calle como se citó en (Valencia Rodríguez, 2000) se analizaron algunos de los residuos generados durante cada etapa del proceso para el beneficio e industrialización de café cereza registrados de la siguiente manera:

4.1.3.1. Pulpa fresca del café.

Es el residuo generado en el proceso de despulpado, donde se desprende y elimina la cascara del café, es idóneo destinarlo para el consumo animal, además de funcionar como abono orgánico, obtención de cafeína, extracción de proteína, incluso se puede aprovechar las sustancias pépticas y enzimas pectinolíticas (Valencia Rodríguez, 2000).

La pulpa del café representa un 43,58% de humedad (Gomez et al., 2008) y como menciona (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010) por 1 millón de carga de café, es decir, 60 Kg de

café verde se generan 162.900 toneladas de pulpa fresca. Presenta también un alto potencial para utilización como combustible directo, producción de biogás y producción de bioetanol.

4.1.3.2.El mucilago de café.

Al despulpar el grano del café existe una capa gelatinosa que recubre el grano llamada mucilago, esta mucosidad se desprende en el proceso llamado desmucilaginado y se considera un residuo. Según Calle como se citó en (Valencia Rodríguez, 2000) esta fracción de fruto contiene una elevada cantidad de azúcares reductores y pectinas que se pueden aprovechar en la obtención de pectina, en la producción de miel, de alcohol etílico e incluso para producir gas metano.

Como menciona (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010) por cada media carga de 1 millón de sacos café de origen Colombiano que se exporta 56 mil toneladas de mucilago, que si no son utilizados de manera correcta producirían una contaminación equivalente en heces y orina equivalente a la que genera una población de 310.000 habitantes . Al igual que la pulpa del café el mucilago reporta descomposición anaerobia para la producción de biogás, bioetanol con procesos de fermentación. La siguiente tabla da a conocer los litros de etanol generados por tonelada de subproducto por cada 1 de sacos de café.

Tabla 1. Bioetanol obtenido por cada millón de sacos de café verde producidos.

Subproducto	Toneladas generadas	Litros de etanol/tonelada de subproducto	Galones de etanol (galus)
Pulpa fresca	162.900	25	1.083.274
Mucilago fresco	55.500	58	855.888
Galones de etanol/millon de sacos de café verde			1.939.162

Fuente: (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010)

4.1.3.3. Pergamino.

Residuo generado durante la Trilla, esta parte del café envuelve el grano y compone aproximadamente el 12% del peso del fruto en base seca. Se expone que se utiliza como combustible en ladrilleras, fogones en hogares campesinos y gracias a su composición química se puede utilizar para el cultivo de hongos de zona tropical (Valencia Rodríguez, 2000). Para este subproducto se reporta una capacidad calorífica de 17,90 MJ/kg. Y representa el 4,2% del peso total del fruto fresco (UPME, 2003).

4.1.3.4. Borra de café.

Posterior a la preparación de la bebida y en el proceso productivo de las fábricas de café soluble se genera la borra, que cuenta con un alto contenido de grasas, que pueden ser aprovechadas en la producción de biodiesel, y aceites en otros procesos industriales (Valencia Rodríguez, 2000). Este residuo representa aproximadamente el 10% del peso del fruto, su humedad disminuye y también puede ser usado como combustible en calderas generadoras de vapor (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010).

4.1.4. Generalidades conceptuales de la Biomasa.

Como se citó en (Castellanos, 2009) la biomasa corresponde a la “materia total de un ser vivo determinado que se expresa en peso por unidad de área o volumen o materia orgánica generada en un proceso biológico, provocado o espontáneo, utilizable como fuente de energía”.

Una forma de clasificación de la biomasa es por su origen, y se divide en tres grupos, la biomasa natural que corresponde a la que se produce en la naturaleza y no ha sido intervenida por el hombre o por otras especies. La biomasa residual es un residuo que surge de las actividades primarias humanas por ejemplo industrias como la ganadera, la agrícola, maderera, etc.

(Castellanos, 2009). Los cultivos biomásicos tienen como fin la producción de energía y corresponde aquellos donde la biomasa que se cultiva con una combustión de forma directa o por evolución del recurso en un combustible más refinado (Castellanos, 2009).

4.2.Marco Normativo

4.2.1. Manejo actual de los residuos sólidos en Colombia.

En este apartado se describe los componentes normativos a tener en cuenta para el aprovechamiento y disposición final de los residuos sólidos en Colombia, con el fin de determinar que aprovechamiento puede tener el residuo de interés (película plateada) en la actualidad. La Constitución Política define en los artículos 79, 80 y en el numeral 8 del artículo 95, que es compromiso del Estado proteger la diversidad del ambiente, prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental y el derecho de todas las personas a gozar de un ambiente sano; también define que es deber de las personas proteger los recursos culturales y naturales del país y velar por la conservación de un ambiente sano (Secretaría del senado, 2019).

A continuación, se presenta el marco normativo en Colombia para la correcta gestión de residuos sólidos no peligrosos.

Tabla 2 Marco normativo para la gestión de residuos sólidos en Colombia

GESTIÓN DE RESIDUOS		
NORMA	ARTÍCULO	DESCRIPCIÓN
Ley 9 de 1979.	ART. 1	Se dictan las medidas sanitarias.
Ley 99 de 1993	ART. 5	Define cuales son las funciones del Ministerio del Medio Ambiente, donde es necesario regular las condiciones generales para el saneamiento. (Ley 99, 1993)

Ley 142 de 1994	ART. 8	Menciona que el Estado es competente para apoyar a los prestadores del servicio de aseo y cuidar porque con las normas de protección y conservación. (Ley 142, 1994)
Decreto 605 de 1996	ART. 1 al 125	Derroga el decreto 2104 de 1993 reglamenta la Ley 142 de 1994 que establece las normas para la prestación de servicios públicos domiciliarios de aseo. (Decreto 605, 1996)
Decreto 2811 de 1974	ART. 34	Define que para el manejo de los residuos sólidos se deben utilizar métodos, de acuerdo a los avances que se tengan en ciencias y tecnología, para cada proceso bien sea recolección, tratamiento, procesamiento o disposición final de residuos sólidos, en general los desechos que se generan. (Decreto 2811, 1974)
Decreto 2811 de 1974	ART. 36	Para la disposición de los residuos se debe encaminar a: Evitar el deterioro del ambiente y de la salud humana; Reutilizar los componentes, etc. (Decreto 2811, 1974)
Decreto 1713 de 2002	ART. 1	Reglamenta la ley 632 de 2000, ley 142 de 1994 y la ley 689 de 2001, referente a la prestación del servicio público de aseo, y el decreto ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la GIRS. (Decreto 1713,2002)
Decreto 1505 de 2003	ART. 8	Los PGIRS, define la obligación que tiene las entidades del territorio de actualizar el plan municipal o distrital para la GIRS, de acuerdo con la metodología establecida por el Ministerio (Decreto 1505, 2003)
Decreto 838 de 2005	ART. 2	Modifica el Decreto 1713 de 2002, en relación con la disposición final de residuos sólidos. (Decreto 838, 2005)
Resolución 1045 de 2003	ART. 1	Adopta la metodología para la elaboración de los PGIRS. (SINJuriscol, 2019)

Resolución 1390 de 2005	ART. 7	Establece directrices para el cierre, clausura y restauración de los rellenos sanitarios de los sitios de disposición final. (SINJuriscol, 2019)
Resolución 970 de 2001	ART. 4	Da lugar a los requisitos, condiciones y los límites máximos permisibles de emisión, bajo las cuales se debe realizar la eliminación de residuos específicos hornos de producción de Clinker de plantas cementeras. (SINJuriscol, 2019)
Resolución 58 de 2002	ART. 2	Establece normas y límites máximos permisibles de emisión para incineradores y hornos crematorios de residuos sólidos y líquidos. (SINJuriscol, 2019)

DE LOS SISTEMAS DE GESTIÓN

ISO 14001:2015	No aplica	Cuáles son los requisitos de un Sistema de Gestión Ambiental (ISO, 2019a), adicionalmente busca la mejora continua y proporciona a las organizaciones método para la protección del medio ambiente y dar respuesta a las condiciones ambientales, siempre teniendo en cuenta el equilibrio de desarrollo sostenible. (SINJuriscol, 2019)
ISO 14040:2007	No aplica	Describe los principios, pautas y las referencias para para el análisis de ciclo de vida (ACV) (ISO, 2019b)
GTC 53-7:2006	No aplica	Esta guía permite visualizar información sobre las técnicas de aprovechamiento de los residuos orgánicos. Los criterios a tener en cuenta para la selección de alternativas de tratamiento y se basa principalmente en el uso a nivel nacional e internacional. (ICONTEC, 2006)

Fuente: (SINJuriscol, 2019)

5. METODOLOGÍA

5.1. Tipo de investigación

Para responder a la pregunta problema de este trabajo de grado fue necesario definir el tipo de investigación, el cual contiene elementos de la investigación documental que radica en realizar un análisis de toda la información ya existente sobre un objeto determinado de estudio con el único propósito o fin de entablar relaciones, etapas, comentarios o etapa del conocimiento actual en consideración a un tema de estudio (Bernal, 2012). Para el presente documento se tiene como principales fuentes de información del sector cafetero colombiano, bases de datos suscritas al Sistema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Antonio Nariño como los son, Scielo, One Look, Scopus, Springer, Servicio de Información Sectorizado E-Normas ICONTEC y VIRTUALPRO, donde el 40 % de la información consultada pertenece a publicaciones realizadas en inglés.

Adicionalmente presenta elementos de la investigación descriptiva, que tiene como objetivo evaluar la capacidad de respuesta para seleccionar lo más importante del objeto de estudio y realizar un detalle de los componente de ese objeto, según (Bernal, 2012). Para el desarrollo de este tipo de investigación fue necesario el uso de la experiencia práctica de la autora a lo largo de su vida profesional y laboral.

5.2. Diseño Metodológico

La presente monografía de compilación se divide en (5) fases:

5.2.1. Fase de selección.

En esta fase se realizó la identificación del objeto de estudio que pretende determinar las alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tuestión del café.

5.2.2. Fase de generación del plan de trabajo.

Para el correcto cumplimiento de los requisitos normativos de la Universidad Antonio Nariño, se definen los tiempos de entrega de avances del documento, las reuniones de trabajo y acompañamiento con el asesor, las fechas de entrega final y sustentación del presente documento.

5.2.3. Fase de búsqueda de información.

Una vez se tiene claro el objetivo del trabajo de compilación, se procede a buscar las fuentes de información y el origen las mismas, como ya se mencionó se utilizan bases de datos científicas para ofrecer al lector una mayor confiabilidad de la información. Y se define que el 40 % de la información debe provenir de documentos escritos en inglés.

5.2.4. Fase de construcción.

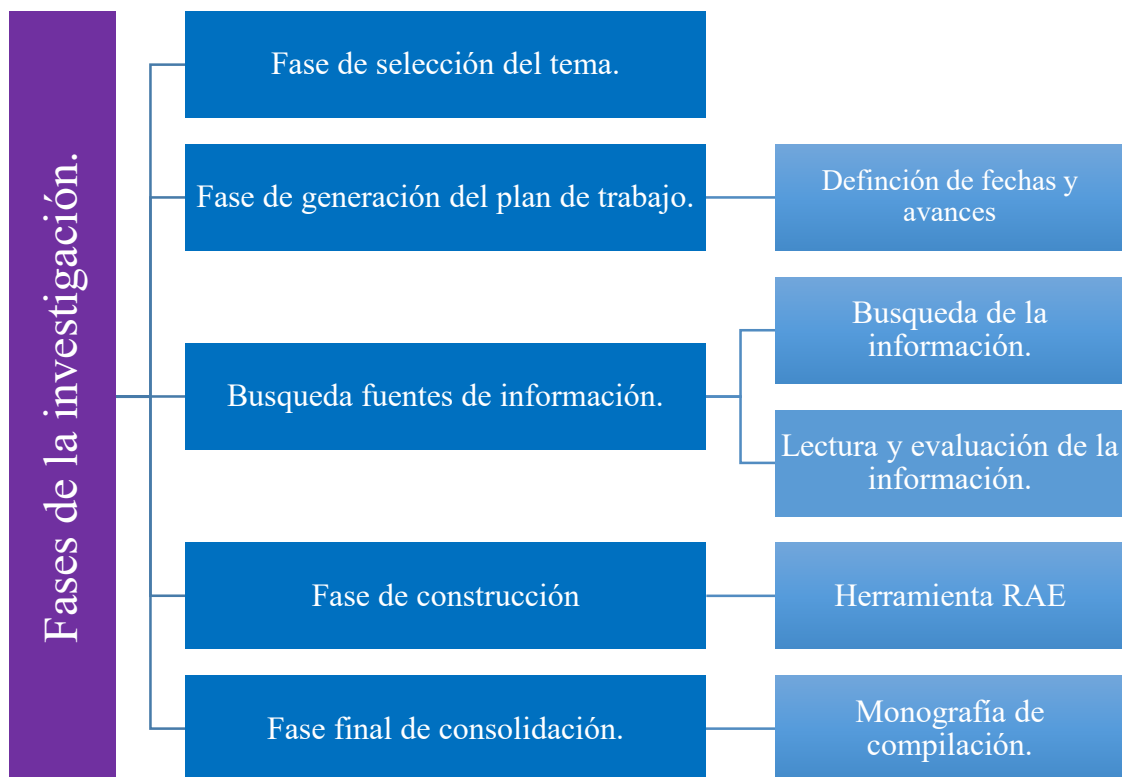
En esta fase se da aplicación a la herramienta Resumen Analítico Educativo (RAE) que corresponde a la consolidación de información que se encuentra en documentos y estudios en materia académica, con el fin de que facilite al usuario el análisis de un documento (Universidad Pedagógica Nacional, 2017). En esta fase también se quiere dar un detalle y análisis a la información secundaria recolectada, conectar conceptos y concluir cuales las soluciones más óptimas para el aprovechamiento de la película plateada como subproducto generado en el proceso de manufactura de tuestión de café.

5.2.5. Fase final de consolidación.

En esta fase se procede a organizar la información y consolidar en medio digital y físico el documento monográfico, dando cumplimiento a las normas de escritura expuestas por la Universidad Antonio Nariño.

A continuación, se muestra el esquema general del diseño metodológico:

Ilustración 3 Fases de la investigación (2019) [Esquema].



Fuente: Autor

6. RESULTADOS

Para dar cumplimiento a la metodología de investigación planteada a continuación se da a conocer el objeto del estudio; que corresponde a determinar las alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tuestión del café, adicionalmente se realiza una descripción detallada de cada residuo de proceso conociendo que el subproducto de mayor volumen y peso corresponde a la película plateada, posteriormente se muestra la caracterización de este residuo. Finalmente se proponen las alternativas de aprovechamiento del residuo Silver Skin bajo norma GTC 53-7 de 2006.

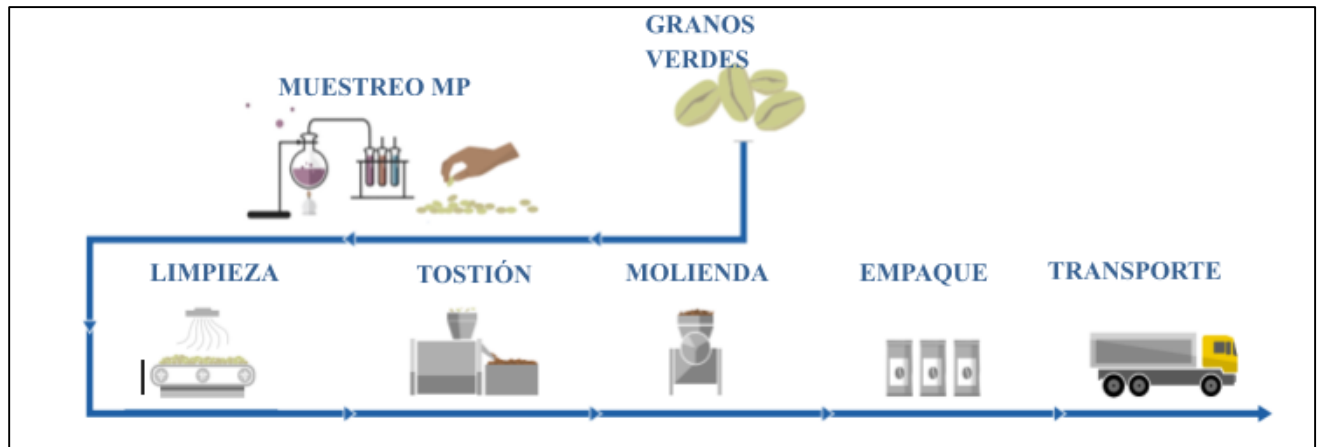
6.1. Descripción del proceso productivo de tostado y molido de café

El proceso productivo inicia con la recepción y muestreo para el control de calidad a las materias primas provenientes desde las trilladoras. Una vez aprobadas las órdenes de recepción, las materias primas se almacenan de manera temporal para incorporarlas al proceso de acuerdo con el programa de producción que se tenga diariamente. Antes de iniciar el proceso de transformación, el café se somete a un proceso de limpieza, pasándolo a través de una serie de tamices en los que se retiran impurezas.

El primer proceso de transformación industrial que sufre el café trillado es la tuestión, operación donde se da una reacción físico- química causada por altas temperaturas que determinan y destacan los diferentes compuestos del café. Luego de la operación de tostado y almacenado, el café es molido, para ser transportado a los silos de almacenamiento donde se inicia un proceso de desgasificación, para su posterior empaque y distribución como producto terminado.

La secuencia de operaciones de transformación de materias primas hasta la elaboración de los productos finales se muestra en el siguiente diagrama:

Ilustración 4 Proceso productivo tostión y molienda de café. (2019). [Imagen].



Fuente: Adaptado de (SUCDEN, 2019b)

6.2. Descripción de los residuos del proceso de tostión y molienda de café

Para llevar a cabo una descripción detallada de los residuos generados en cada proceso, es necesario definir conceptos previos correspondientes a la descripción del material:

6.2.1. Nombre del material.

Hace referencia a cualquier masa alimenticia retirada de la cadena de valor que por cualquier motivo no son consumidos por humanos, generan un riesgo como producto terminado.

6.2.2. Descripción.

Se relaciona si se trata de una pérdida o un desperdicio. Entiéndase por pérdida (la disminución en la cantidad o calidad de materiales que se desechan en las etapas de almacenamiento, procesamiento y transporte primario) y desperdicio se refiere a los materiales que se desechan en las etapas de distribución secundaria tales como proveedores de servicios alimentarios y consumidores (FAO, 2016).

Es decir, en el proceso de manufactura la pérdida hará referencia aquellos residuos que no se pueden reincorporar o reprocesar en el proceso productivo y que deben de manera obligatoria, tener una disposición final. Para subproductos como el desperdicio se puede evaluar si se reincorpora a la cadena productiva.

La pérdida y el desperdicio de alimentos (FLW) generan una pérdida de tiempo, esfuerzo, energía y recursos al disminuir el suministro de alimentos a medida que los productos pasan de la producción al consumo (Porter, Reay, Higgins, & Bomberg, 2016).

6.2.3. Etapa en la que se genera.

Etapa del procesamiento en la cual se genera la pérdida o el desperdicio (Fuente y causa del residuo o subproducto).

6.2.4. Inocuo.

Un alimento inocuo hace referencia a que no causara daño a la salud de los consumidores cuando lo prepare y/o consuma. Actualmente, existen tecnologías que permiten recuperar aquellos alimentos que, por parámetros de calidad en el producto terminado, no representaron confiabilidad al momento de distribución.

6.2.5. Método de cuantificación.

Método de estimación de la cantidad generada del material, ejemplo: Pesaje directo: utilizando un dispositivo de medición para determinar el peso, volumen, etc.

En la siguiente matriz se realiza una descripción detallada de cada material, con los conceptos de pérdida, desperdicio, inocuidad, etapa de generación y método de cuantificación ya definidos.

Tabla 3 Matriz de descripción de los residuos de proceso de tostión y molienda de café




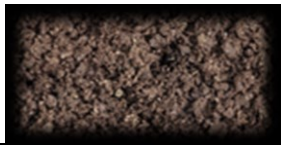

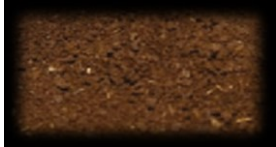
Nombre del Material	Descripción	Pérdida o Desperdicio
Desperdicio de materia prima	Café verde que cae al piso, se contamina con agua y no es posible su incorporación en el proceso por parámetros de calidad.	Pérdida
Cascarilla verde	Cascarilla de café verde después de Trillado, que llega a la compañía.	Pérdida
Impurezas	Material extraño que no corresponden al café ni sus derivados (Material ferroso, piedras, otro tipo de granos).	Pérdida
Silver Skin (Película plateada)	Cutícula de café que se desprende en el momento de realizar la tostión y expansión del grano.	Pérdida
Ripio	Café que por tamaño no logra pasar la malla para ser molido.	Pérdida
Desperdicio de café molido	Café que cae el piso o entra en contacto con zonas de la compañía diferentes a equipos y que se limpian frecuentemente. Limpieza de equipos.	Desperdicio
Cascarilla del tamiz.	Cascarilla que se da después de la molienda y que debido al tipo de molino no logra incorporarse en el producto.	Pérdida
Devolución de producto terminado	Producto vencido. Devoluciones	Desperdicio

Fuente: Autor (2019)

En la tabla 3, se evidencia que los únicos subproductos que presentan una viabilidad para la incorporación dentro del producto terminado corresponden al desperdicio de café molido y devoluciones de los clientes, esto de realizarse un correcto tratamiento de la inocuidad, para que finalmente el subproducto no sea establecido como pérdida. Sin embargo, los demás residuos deben ser dispuestos como biomasa y evitar ser llevados a relleno sanitario, ya que representan una pérdida en las industrias manufactureras y en Colombia estos residuos aún no presentan un

valor económico viable para el tratamiento y aprovechamiento con nuevas tecnologías, normalmente las industrias deben pagar para disponer correctamente este residuo.

Tabla 4 Etapa de generación del residuo de café

Nombre del Material	Imagen	Etapas en la que se genera	Inocuo	Método de cuantificación	Fuente imagen
Desperdicio de materia prima		Recepción de materias primas	No	Pesaje	(M/S Dennys, 2019)
Cascarilla verde		Maquina limpiadora de café verde	No	Pesaje	(NOC Coffe, 2019)
Impurezas	No aplica	Maquina limpiadora de café verde	No	Pesaje	No aplica
Silver Skin (Película plateada)		Tostar café	Si	Pesaje	(Mussatto, Machado, Martins, & Teixeira, 2011)
Ripio		Tostar café	Si	Pesaje	(Anonimo, 2019)
Desperdicio de café molido		Molienda de café	No	Pesaje	(Anonimo, 2019)
Cascarilla del tamiz.		Molienda de café	Si	Pesaje	(Mussatto, Machado, Martins, & Teixeira, 2011)
Devolución de producto terminado	No aplica	Empaque y Embalaje	Si	Pesaje	No aplica

Fuente: Autor (2019).

En la tabla 4 se da a conocer la etapa de generación de los residuos ya mencionados, se establece que para un control documental en las industrias, el método de cuantificación más viables es por pesaje y se definen aquellos materiales inocuos, en este caso Silver Skin, ripio, cascarilla de tamiz y devolución de producto terminado, esta clasificación se da porque los ambientes de almacenamiento y recolección dentro del proceso productivo permiten la posibilidad de contar con

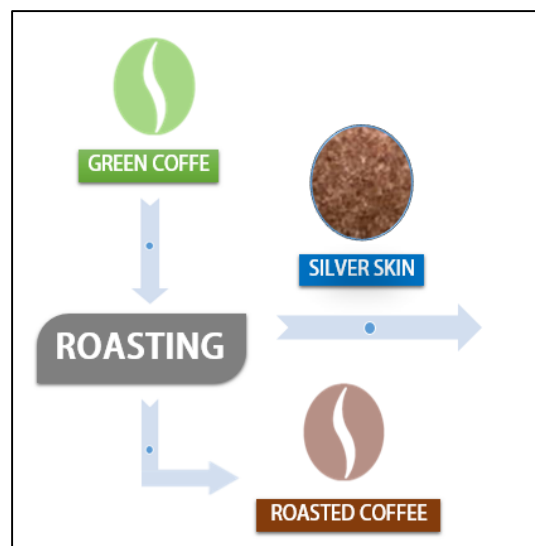
unas herramientas para garantizar la inocuidad. Para el caso de Silver Skin, se debe almacenar en bolsas plásticas inocuas y salir directamente del proceso de torrefacción sin ser contaminado por agente externo en ningún momento del transporte hasta la disposición final.

6.3.Descripción del residuo Silver Skin

6.3.1. Silver Skin.

La película plateada del café o Silver Skin es un residuo o subproducto que se produce en gran volumen durante el proceso de torrefacción. (Sánchez & Anzola V., 2014). Este residuo es un tegumento delgado que constituye aproximadamente el 4.2% (p/p) de los granos de café verde. Después del beneficio del fruto del café, los granos verdes rodeados por esta película plateada se conservan y se envían a las industrias tostadoras (Hijosa-Valseiro et al., 2018). En la actualidad este subproducto es usado como abono/compostaje o combustible (Sánchez & Anzola V., 2014) por su bajo porcentaje de humedad y alto poder calorífico. En el siguiente esquema se da a conocer la etapa de generación de la película plateada en el proceso de manufactura de tosti3n del café.

Ilustración 5 Etapa de generación de Silver Skin [Esquema]



Fuente: Autor (2019)

6.3.2. Composición química del residuo Silver Skin.

Como se cita en (Hijosa-Valsero et al., 2018) en el estudio “*Biobutanol production from apple pomace: the importance of pretreatment methods on the fermentability of lignocellulosic agro-food wastes*” el residuo Silver Skin contiene cantidades importantes de fibras celulósicas y hemicelulósicas, moléculas como la cafeína y los compuestos polifenólicos, lo que hace de este subproducto una fuente interesante de celulosa, fibras dietéticas y antioxidantes.

Tabla 5 Composición química del residuo *Coffea* Silver Skin

Parameter	Content
Total carbohydrates (%)	30.37
Soluble carbohydrates (%)	0.40
Cellulose (%)	10.33
Hemicellulose (%)	9.64
Starch (%)	7.15
Lignin (%)	29.91
Protein (%)	14.43
Fats (%)	4.97
Ash (%)	5.87
Moisture (%)	4.81
Total phenolic compounds (mg/g)	8.0

Fuente: (Hijosa-Valsero et al., 2018)

Por otro lado (Echeverria & Nuti, 2017) menciona que las propiedades de la película plateada o Silver Skin no difiere de gran manera respecto al residuo de la pulpa del café, desde un punto de vista cuantitativo. En un estudio realizado por la universidad nacional sobre la caracterización química del silver skin o película plateada del café en variedades Colombia y Caturra se especificó que el porcentaje de humedad se encuentra en un rango entre el 6 al 7,3 % , siendo la variedad arábica la de mayor porcentaje; adicionalmente cuenta con un porcentaje de cenizas entre el 5,59

% al 7% lo que indica un importante contenido de minerales; pero el contenido de grasa es muy bajo, alrededor del 2,2 %; por otro lado los glúcidos resultan ser el principal compuesto de la película plateada o silver skin, lo cual da como resultado que este subproducto del café presenta un alto contenido en polisacáridos.

Tabla 6 Composición química de la película plateada en las variedades Colombia y Caturra y de las reportadas en la literatura.

Película Plateada	Variedad Caturra	Variedad Colombia	Variedad Costa Rica(*) (arábica)	Variedad Etiopía(*) (arábica)	Variedad arábica(**)
Humedad (%)	6,16 ± 0,07	6,29 ± 0,07	-----	-----	7,30 ± 0,04
Cenizas (%)	5,59 ± 0,03	5,78 ± 0,01	-----	-----	7,00 ± 0,2
Grasa (%)	2,11 ± 0,08	2,82 ± 0,04	1,56 ± 0,1	3,15 ± 0,2	2,20 ± 0,1
Proteína total (método de Kjeldahl) (%)	11,91 ± 0,04	11,82 ± 0,07	18,40 ± 0,1	18,50 ± 0,4	18,60 ± 0,6
Proteína real (método de Bradford) (%)	0,55 ± 0,01	0,51 ± 0,01	-----	-----	-----
Fibra insoluble (%)	66,59 ± 0,14	66,88 ± 0,12	57,4 ± 0,5	60,7 ± 0,3	53,7 ± 0,2
Fibra soluble (%)	3,34 ± 0,04	3,27 ± 0,12	5,0 ± 0,5	5,2 ± 0,3	8,8 ± 0,4
Fibra dietaria total (%)	69,93 ± 0,02	70,15 ± 0,01	62,4 ± 0,3	65,9 ± 0,5	62,4 ± 0,6
Azúcares reductores (%)	2,94 ± 0,02	2,63 ± 0,01	-----	-----	0,21 ± 0,01
Carbohidratos totales (%)	72,87 ± 0,07	72,78 ± 0,08	47,0 ± 1,2	34,6 ± 1,3	62,1 ± 1,6

* Fogliano, V.; Napolitano, A. Natural Occurrence of Ochratoxin A and Antioxidant Activities of Green and Roasted Coffees and Corresponding Byproducts. *J. Agric. Food Chem.* 2007. **55**: 10499-10504.

** Borrelli, R. C.; Visconti, A. Characterization of a New Potencial Functional Ingredient: Coffee Silverskin. *J. Agric. Food Chem.* 2004. **52**: 1338-1343.

Fuente: (Sánchez & Anzola V., 2014)

Con el fin de verificar esta información, en un muestreo realizado por el laboratorio de carbones de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional en el año 2009 a una industria que por temas de confidencialidad no se nombrará se conocen los siguientes resultados de caracterización de la película plateada:

Tabla 7 Características químicas de Silver Skin

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA				
Fecha de recepción de la muestra	8/07/2019			
Procedimiento de Muestreo utilizado	Pila			
RESULTADOS				
Nombre del ensayo	Próximo Completo			
FECHA DEL ENSAYO	ENSAYO	METODO	RESULTADO	UNIDADES
15/07/2019	Humedad residual	ASTM D 3173	6,9	%
15/07/2019	Cenizas	ASTM D 3174	5,1	%
16/07/2019	Materia Volátil	ASTM D 3175	69,3	%
16/07/2019	Carbono fijo	ASTM D 3172	18,7	%
23/07/2019	Azufre total	ASTM D 3177 Mét B	0,19	%
21/07/2019	Poder calorífico	ASTM D 5865	4795	cal/g

NOTAS: 1. Ensayo realizado en base seca al aire después de ser triturada la muestra a tamaño menor de 1 pulgada. 2. Los resultados corresponden única y exclusivamente al material recibido como muestra. 3. El informe no puede reproducirse en forma parcial, solo en forma total previa autorización por escrito del Coordinador del Laboratorio de Carbones.

Fuente: (Vargas, 2014)

Se logra evidenciar que los resultados de humedad residual y cenizas son similares a los expuestos por (Sánchez & Anzola V., 2014). Se logra identificar el poder calorífico que presenta el subproducto Silver Skin 4.795 cal/g y es similar a lo mencionado en la literatura.

6.3.3. Alternativas para el aprovechamiento de la película plateada.

Para la formulación de alternativas de aprovechamiento se tomó como guía base la norma GTC 53-7 del 2006 que suministra la información necesaria para asignar aquellos métodos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos más factibles a nivel nacional e internacional. (ICONTEC, 2006)

La clasificación de los residuos orgánicos se da de acuerdo con el tipo de generador, se clasifican como residuos naturales (producidos por la naturaleza sin intervención humana), agrícolas (ganaderos, agroindustria), forestales, industriales, institucionales y comerciales y domésticos (ICONTEC, 2006).

6.3.3.1. Características de los residuos orgánicos no peligrosos.

La guía GTC 53-7 sugiere que, para evaluar las opciones de tecnología con el fin de llevar a cabo un tratamiento y un adecuado uso de los residuos orgánicos, es fundamental identificar las características tanto físicas, como químicas de un residuo, ejemplo: el porcentaje de humedad, la materia orgánica, el contenido de proteína y porcentaje tanto de micronutrientes y macronutrientes.

Tabla 8 Caracterización de los residuos orgánicos

Parámetro	GTC 53-7
Materia Orgánica	5-95% en BH (base húmeda)
Fermentación húmeda	15 % de materia seca en BH
Fermentación seca	20 % a 45 % de materia seca en BH
Compostaje	40 % a 60 % de materia seca en BH
Combustión	60 % de materia seca en BH

Fuente: (ICONTEC, 2006)

En el numeral 6.3.2. del presente documento monográfico se muestra que el contenido de materia orgánica de este residuo corresponde al 69,30 % y cumple con uno de los requisitos para la propuesta de alternativas de aprovechamiento de la película plateada.

6.3.3.2. Elección de alternativas de aprovechamiento del Silver Skin.

La elección de alternativas para el tratamiento de residuos de origen orgánico no peligroso radica en la aplicación de procesos bioquímicos, biológicos, termoquímicos, físicos y/o fisicoquímicos (ICONTEC, 2006).

En el anexo 1, alternativas de aprovechamiento por tipos de residuos se evidencia que los tipos de residuos generados por industrias procesadoras de alimentos en la descripción de cereales y otros granos (residuos del café como la borra), los métodos de aprovechamiento disponible corresponden a digestión anaeróbica, compostaje, lombricultura, alimentación animal, combustión, elaboración de papel, fermentación alcohólica, gasificación, pirólisis y licuefacción.

6.3.3.3. Métodos de aprovechamiento.

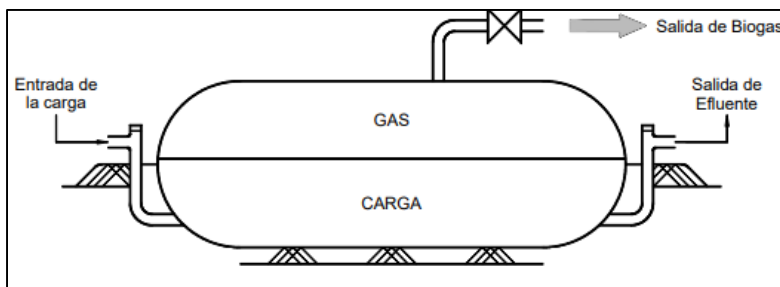
- *Digestión anaeróbica.*

En este proceso los residuos se descomponen por la acción que realizan los microorganismos anaerobios para generar biogás y compuestos líquido o semisólido que se puede emplear como fertilizante orgánico (ICONTEC, 2006), es importante que el tipo de biomasa tenga un alto contenido de humedad, para que el proceso que realizan los microorganismos sea más óptimo, entre el 80% y 90% de contenido de humedad (Castellanos, 2009).

En la siguiente figura se muestra el funcionamiento básico de un biodigestor, es importante tener en cuenta que este proceso se lleva a un tanque séptico en ausencia de oxígeno ya que los

microorganismos productores del metano no sobreviven en ambientes con oxígeno y luz (ICONTEC, 2006).

Ilustración 6 Ejemplo de un biodigestor [Esquema]



Fuente: (ICONTEC, 2006).

En un trabajo adelantado en el grupo de investigación de Prospectiva Ambiental realizado en el año 2018 por la Universidad Nacional en la Sede Palmira, se evidencia que por medio de la implementación de un proceso de digestión anaerobia con mucilago de café se logra mejorar la generación de metano, este indicador da lugar a la cantidad máxima de biogás que se puede generar a partir de un compuesto orgánico. Para este estudio se obtuvo muestras de fincas de La Quisquina, en Palmira, Valle del Cauca, posteriormente este residuo se realizó una mezcla con estiércol de gallina en reactores anaerobios y uno de los mayores retos consistió en mantener el pH de la mezcla cercano a 7 (UNAL, 2018).

- *Compostaje.*

Proceso biológico aeróbico o anaerobio o ambos, de degradación, con una matriz sólida y con auto calentamiento (ICONTEC, 2003). Este proceso logra aumentar la capa vegetal y la capacidad del suelo para aprovechar los micro y macronutrientes que utilizará la planta, también puede mejorarla textura del terreno y cumple la función de retener el agua en época de lluvias. Es necesario llevar a cabo con el fin de avalar una utilización segura del compost lo siguiente:

Tabla 9 Requisitos para la correcta utilización del compost

REQUISITOS	DESCRPCIÓN
Caracterización del producto final	Incluye pruebas fisicoquímicas, microbiológicas y de contaminantes.
Análisis del suelo en el cual se va aplicar el producto	Parámetros como capacidad de drenaje, contenido de MO, micro y macronutrientes, pH, entre otras.
Necesidades nutricionales del cultivo	Con el fin de elaborar un plan de fertilización
Análisis microbiológico	Cuando se utiliza para la alimentación animal, para descartar la presencia de microorganismos patógenos.
Evaluación de los resultados obtenidos	Esta se debe divulgar a todas las partes interesadas

Fuente: (ICONTEC, 2006)

El proceso consta de las siguientes etapas:

Ilustración 7 Etapas del compostaje [Esquema]



Fuente: (ICONTEC, 2006)

Durante cada una de la etapa es necesario controlar y hacer seguimiento a parámetros como el contenido de humedad, la temperatura, el tiempo, el tamaño de partículas, la aireación, la relación de nutrientes y el pH.

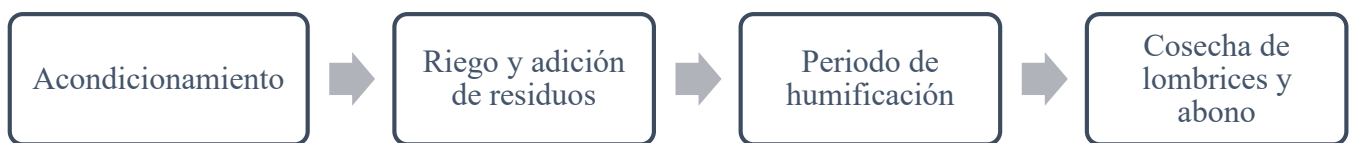
De acuerdo a una investigación realizada por (Vásquez de Díaz, López, Fuentes, & Cote, 2010) que titula “Aceleración del proceso de compostaje de residuos post-cosecha (pulpa) del café con la aplicación de microorganismos nativos” se demuestra prácticamente que es posible disminuir el tiempo de compostaje en el proceso haciendo uso de microorganismos nativos de la pulpa del café, en el experimento se redujo el tiempo necesario para obtener los sustratos orgánicos a 40 días que logra ser de una calidad buena, referente a la NTC 5167- 2003, que se encarga de regular los materiales orgánicos para ser usados como abono en suelos en Colombia.

- *Lombricultura*

Consiste en la crianza intensiva en cautiverio de lombrices de tierra principalmente de las especies Roja Californiana (*Eisenia foetida*) y *Rubellus* dispuestas en lechos o recipientes, consumen residuos de origen orgánico en proceso de descomposición, dando como resultado después del proceso digestivo un producto llamado "vermiabono", “lombricompuesto”, “casting de lombriz” o “guano de lombriz” rico en nutrientes (ICONTEC, 2006). Este proceso se puede llevar a cabo a nivel doméstico o industrial dependiendo de los volúmenes de residuos.

El proceso consta de las siguientes etapas:

Ilustración 8 Etapas del proceso de lombricultura [Esquema]



Fuente: (ICONTEC, 2006)

Dentro de los residuos más utilizados se encuentran el estiércol, los residuos de las flores, residuos urbanos o municipales, residuos de mataderos y residuos agroindustriales extensivos e

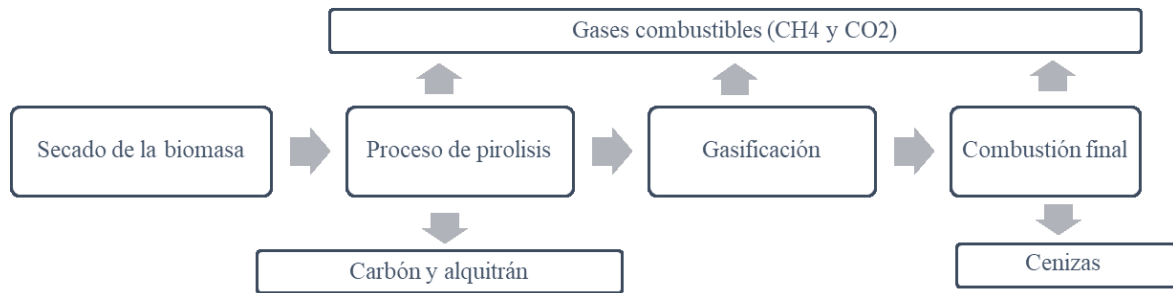
intensivos debido a los altos contenidos de sacarosa, como menciona la caracterización físico-química de una muestra de pulpa de café realizada por (Londoño, 2017) este tipo residuo tiene una concentración 15,69 mg/L de sacarosa. En este proceso de lombricultura, el residuo más usado es la pupa del café. (Clavijo, Adrián, & Jiménez, 2016) sugieren realizar este proceso en «camas» o «lechos» de un metro de ancho y longitud variable de acuerdo a la disponibilidad de terreno, recomiendan que el área en donde se establece el proceso debe estar techada para evitar el encharcamiento por el agua de lluvia, con cerramiento lateral para evitar la entrada de aves y otros depredadores de la lombriz y menciona un tasa de aprovechamiento así, para 2 m² de área y capas de 5 cm se requirió, según la densidad de la pulpa (298,20kg/m³), una cantidad de 30 kg de pulpa fresca y lombrices a razón de 4 kg de lombriz roja comercial/m² de lombricultivos.

En este estudio concluye que los valores y el comportamiento de las variables como son el pH, la Temperatura, la relación final de C/N y su observación aparente a suelo, en los tratamientos de compostaje y lombricompostaje son indicaciones de la descomposición de un material.

- *Combustión*

Este proceso resulta de la oxidación total de un combustible para producir energía y algunos subproductos como dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O)g (Castellanos, 2009). Los residuos orgánicos son incinerados en una caldera para producir vapor de alta presión. Existen dos principales sistemas para quemar los residuos, el de parrilla (los residuos se queman sobre una parrilla o rejilla que permiten mover el combustible a través de la caldera y remover la ceniza) y el de lecho fluidizado (el residuo arde en un lecho de arena u otro mineral que es agitado fuertemente por el aire de combustión) (ICONTEC, 2006).

Ilustración 9 Proceso de combustión de biomasa [Esquema]



Fuente: (Castellanos, 2009)

El combustible es alimentado a una tasa controlada para mantener la temperatura del lecho entre 800 °C y 1000 °C. Esta tecnología es usada generar calor, energía eléctrica o mecánica que se transforma a través de la energía química almacenada en la biomasa, es posible carbonizar cualquier biomasa, pero realmente la combustión es factible si la biomasa cuenta con un porcentaje de humedad inferior al 50% al menos que con anterioridad a la combustión sea sometida a un proceso de desecado (Castellanos, 2009). En el anexo 2, se identifica cuáles son las tecnologías de combustión de biomasa, principales aplicaciones, ventajas y desventajas.

En la conclusión obtenida por (Protásio, Melo, Guimarães Junior, Mendes, & Trugilho, 2013) en el estudio denominado “*Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing*” menciona que la briqueta carbonizada hecha de residuos del procesamiento de granos de café presentó la mayor estabilidad y baja descomposición térmica.

En el estudio se logra observar una influencia débil de la velocidad de calentamiento de la torrefacción bajo estabilidad y resistencia térmica, así como bajo contenido de carbono fijo y materia volátil. En cuanto a la biomasa natural, menor pérdida de masa total para residuos del procesamiento de granos de café se observó en comparación con el aserrín de eucalipto. Este resultado se atribuyó a las diferencias en la estructura química y molecular inmediata de los

combustibles. Los resultados sugieren una mejora de hidrofobicidad de las briquetas carbonizadas y torrefactadas en relación con la materia orgánica convencional (Protásio et al., 2013).

- *Gasificación y pirolisis.*

Es un proceso termoquímico que consiste en la transformación de los desechos sólidos orgánicos a un combustible en estado gaseoso (biogás), esto resulta de un proceso de oxidación incompleta y con temperaturas que alcanzan 1.000 °C (Perdigón, 2014) con baja concentración de oxígeno en el aire inyectado (ICONTEC, 2006). En el anexo 3 del presente documento se logra evidenciar las etapas que intervienen en el proceso de gasificación.

Existen tres tipos de gasificadores principalmente:

Tabla 10 Tipos de gasificación

Tipo de gasificación	Descripción
Ascendente	En la que el medio de gasificación (agua, aire o vapor) y la materia prima son llevados en flujo encontrado.
Descendente	En la que el medio de gasificación y la materia prima son llevados en flujo paralelo.
En lecho fluido	Este tipo de gasificador está en desarrollo La capacidad y tamaños típicos en los que se pueden desarrollar estas tecnologías, se describe a continuación:

Fuente: (ICONTEC, 2006)

Como menciona (Wood, E., Tappan, G., Hadj, A., 2015) es necesario contemplar las siguientes consideraciones sobre la gasificación de la biomasa, el gas debe tener un proceso de purificación o limpieza ya que contiene algunos materiales impuros, elementos de alta toxicidad y otros gases que pueden disminuir la eficiencia del proceso de combustión, el gas biomásico tiene la facilidad de ser usado para co-generar energía a través de radiadores de agua, turbinas y motores de gas, generando menor emisiones a la atmósfera.

La pirolisis es el proceso donde se da una transformación de la biomasa en partes líquidas (L), sólidas (S) y gaseosas (G) por medio de un calentamiento de la biomasa sin presencia de oxígeno y con temperaturas que van desde los 500 °C (Castellanos, 2009). En esta combustión incompleta se da lugar a un gas pobre, que resulta ser una mezcla de óxido, dióxido de carbono, de hidrógeno y de hidrocarburos ligeros (ICONTEC, 2006). Una de las técnicas más usadas en pirolisis es de “bio-flash” que logra ser usada para producir “bio-combustibles” ayudando a la producción de bio-crudo con una eficacia superior al 80% (Castellanos, 2009). El biocombustible puede ser usado como materia prima para refinerías, motores de diésel, para producir electricidad, o para generar movimiento en vehículos (ICONTEC, 2006). Es importante aclarar que estos hidrocarburos representan un riesgo en la producción ya que cuentan con poca estabilidad térmica y es corrosivo.

Como explica (Castellanos, 2009) inicialmente en el proceso de gasificación el residuo de Silver Skin ingresa por la parte superior al gasificador, este sistema garantiza si la cantidad ingresada es suficiente y presenta la humedad correcta para iniciar la pirolisis. Una vez la biomasa se mueve al interior del gasificador, este residuo atraviesa una zona “flameante” donde se da la pirolisis, pasa a estado gaseoso la humedad en la biomasa en forma de vapor de agua. Este vapor más un agente oxidante de la gasificación, se moviliza a la zona donde ocurre la pirolisis. Posteriormente las partículas continúan su trayectoria lentamente y al darse un aumento de su temperatura inicia la producción de los “vapores volátiles”. Finalmente, los productos generados en este proceso como gases, vapores de pirolisis, cenizas y el carbono salen de la zona de pirolisis e ingresan al área de oxidación de carbono para continuar con el proceso de gasificación.

En este estudio, (Castellanos, 2009) determinó que usando como recurso biomásico la película plateada de café, la gasificación de biomasa por lecho fijo “downdraft” es una de las tecnologías más aptas para evaluar la generación de energía, con una capacidad de generar entre 20 Kw hasta

25 Kw de potencia. Este subproducto cuenta con un porcentaje de humedad que resulta ser menor al 12%, además de un contenido de celulosa mayor al 50% en la composición química dando lugar a un excelente recurso en la generación de energía y para ser usado en un proceso de gasificación.

- *Fermentación alcohólica*

Con ayuda de la acción de fermentos que reaccionan con el oxígeno se logra convertir en alcohol etílico, la biomasa que tiene alto contenido de carbohidratos bajo forma de azúcares, almidón y celulosa. El producto de este proceso, es un líquido donde el alcohol aparece en porcentajes de 5 % al 15 % dependiendo del método y las condiciones de fermentación, es importante resaltar que el poder calorífico del etanol es de 6.400 kcal/kg. (ICONTEC, 2006)

Los procesos de fermentación son usados a gran escala, en algunos países con la finalidad de producir alcohol en forma de etanol a partir de residuos celulósicos con alto contenido de glúcidos como lo son la caña de azúcar, maíz, trigo y otros granos. La transformación de la biomasa que contiene un alto porcentaje de lignocelulosa, como la madera o en este caso la cascarilla del café, resulta ser más compleja ya que la fermentación de este tipo de materia se encuentra en etapas de prueba (Castellanos, 2009). Como concluye (Hijosa-Valsero et al., 2018) en su estudio "*Biobutanol production from coffee silverskin*", la película plateada podría ser una materia prima adecuada para la fermentación en biorrefinerías. Su pretratamiento fisicoquímico por autohidrólisis es técnicamente fácil y ecológico, ya que no requiere ningún reactivo sino agua. Sin embargo, aún se necesita más investigación para implementar la producción de alcohol a partir de desechos lignocelulósicos a escala industrial.

7. CONCLUSIONES

Una vez realizada la consolidación de la información en el presente trabajo de monografía compilatoria, el cual se realizó con información suministrada por diferentes bases de datos como se menciona en la metodología de investigación, se logra determinar las alternativas de aprovechamiento del residuo de Silver Skin generado en el proceso de tostión del café y de otros subproductos del proceso de acuerdo a la norma GTC 53-7, guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos.

Se realizó la caracterización de los residuos generados en el proceso de tostión y molienda del café para lograr establecer los usos potenciales del residuo de mayor peso y volumen, que corresponde al Silver Skin o película plateada generado en este proceso de manufactura.

Adicionalmente se realizó un diagnóstico de las tendencias tecnológicas en el aprovechamiento de residuos del café y se concluye que, de acuerdo a la composición química de la película plateada definida en distintas literaturas del documento escrito, presenta altas alternativas de aprovechamiento en procesos como, combustión, co-combustión, gasificación, pirolisis lombricultura, compostaje, digestión anaeróbica y fermentación alcohólica.

Finalmente se concluye que este subproducto genera varias alternativas de aprovechamiento, lo cual permite la disminución de los impactos ambientales generados actualmente y una valorización de estos residuos al ser energéticamente viables, como solución a los problemas ambientales y sociales generados en la actualidad por la combustión de recursos energéticos no renovables.

8. RECOMENDACIÓN

Con las tecnologías mencionadas se recomienda a las industrias dar un aprovechamiento al subproducto Silver Skin para procesos de combustión, co-combustión, gasificación y pirolisis ya que presenta un alto poder calorífico que corresponde a 4.796 cal/g, ofreciendo un mayor porcentaje de eficiencia energética, lo cual lo pone en ventaja con respecto a diferentes recursos biomásicos; normalmente los residuos orgánicos no peligrosos tienen un alto contenido de humedad y por consiguiente agua, se conoce en la literatura que cuando mayor es el contenido de agua se presenta una mayor dificultad para su aprovechamiento al momento de producir energía, adicionalmente la norma sugiere una humedad inferior al 50 % para aprovechamiento energético y la película plateada reporta valores del 6,9 %, permitiendo así alternativas con mayor eficiencia para aprovechamiento en recursos energéticos.

Es importante mencionar que el residuo de interés presenta deficiencia al momento de ser aprovechado en lombricultura, compostaje y digestión anaeróbica, debido a que el porcentaje de humedad que sugiere la norma GTC 53-7 debe estar en un rango entre el 80 % y 90 %, la película plateada presenta valores entre 5 y 7 %, por este motivo no es muy recomendable el aprovechamiento en digestión anaeróbica, lombricultura y compostaje. Bajo ciertas condiciones se resalta que en procesos de compostaje este residuo puede ofrecer mayor estabilidad a las pilas de compost y contribuye en el acondicionamiento de materias primas y aceleración del proceso de compost, la adecuación del tamaño del material y controlar la descomposición (periodo de calentamiento), eliminando vectores que se generan en estas fases.

Para la alternativa de solución de fermentación alcohólica se evidencia que la película plateada contiene porcentajes en contenido de carbohidratos del 60 % al 72 %, un rango óptimo para procesos de fermentación, se puede realizar tratamiento en biorrefinerías, siendo un proceso

técnicamente fácil y ecológico, ya que no requiere ningún reactivo, únicamente agua. Sin embargo, presenta oportunidades en materia de investigación. Con base a la información compilada en el presente trabajo se recomienda partir de las tecnologías ya mencionadas sea tenido en cuenta para la realización de futuras investigaciones enfocadas al aprovechamiento de los residuos del café.

9. REFERENCIAS

- Agudelo, R. (2011). Ethanol production from spent coffee ground hydrolysate. *Universidad Nacional de Colombia*, (1996), 4710.
- Asinal Laboratory. (2012). *Reporte de resultados de análisis de compuestos orgánicos volátiles VOC's*. 9–10.
- Bernal, C. A. (2012). Metodología de la investigación. In Pearson (Ed.), *Pearson* (Tercera ed, Vol. 66, pp. 37–39).
- Biocombustibles, P. D. E., Subproductos, A. P. D. E. L. O. S., & I, I. C. (2009). *Iv Simposio De Química Aplicada Los Biocombustibles : Hacia El Desarrollo Sostenible*. (1977).
- Castellanos, D. A. (2009). Propuesta de diseño de un proceso para la generación de energía eléctrica a partir de los residuos de la producción de café. *Pontificia Universidad Javeriana*, 2(5), 255.
- Clarke, R. J. (1987). Roasting and Grinding. In D. Springer (Ed.), *Elsevier Science Publishers LTD*. Retrieved from https://ezproxy.uan.edu.co:2077/chapter/10.1007/978-94-009-3417-7_4#citeas
- Clavijo, N. M., Adrián, A., & Jiménez, R. (2016). *Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras*. 124. Retrieved from http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2620/Moreno_Nidia_2016.pdf?sequence=1
- Collins. (2019). Sustainable Development. In *Collins Dictionary* (p. 1). Retrieved from <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/sustainable-development>
- Congreso de Colombia. (22 de diciembre de 1993) Ley para el Sector Público. [Ley 99 de 1993]. DO: 41146
- Congreso de Colombia. (11 de julio de 1994) Ley de Servicios Públicos Domiciliarios. [Ley 142 de 1994]. DO: 41433
- Echeverria, M. C., & Nuti, M. (2017). Valorisation of the Residues of Coffee Agro-industry: Perspectives and Limitations. *The Open Waste Management Journal*, 10(1), 13–22. <https://doi.org/10.2174/1876400201710010013>
- Erläuterndem, K. (1897). *Medizinal-Pflanzen in naturgetreuen Abbildungen mit kurz* (BANDL, Ed.). Retrieved from <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10836#page/406/mode/1up>
- Escobar, J. P. S. (2019). *Guía Ambiental para Proveedores*.
- Fairtrade Foundation. (2018). *Coffee Farmers*. Retrieved from <https://www.fairtrade.org.uk/Farmers-and-Workers/Coffee>
- FAO. (2016). Pérdida y Desperdicio de alimentos. In *Ria* (Vol. 39). Retrieved from https://mrv.dnp.gov.co/Documentos/Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf

- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2010). El arbol y el entorno. Retrieved from Cafés de Colombia website: http://www.cafedecolombia.com/particulares/es/sobre_el_cafe/el_cafe/el_arbol_y_el_entorno/
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018). El arbol y el entorno.
- Gomez, G., Oliveros, C., Montilla, J., Arcila, J., Aristizábal, M., Montoya, E., & Quintero, G. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Cenicafe*, 370. Retrieved from <http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/358/1/avt0370.pdf>
- Guerrero, M. (2017). Rendimiento de café grano seco en el Ecuador. In *SINAGAP* (Vol. 305). Retrieved from http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_cafe_grano_seco2017.pdf
- Hijosa-Valsero, M., Garita-Cambronero, J., Paniagua-García, A. I., & Díez-Antolínez, R. (2018). Biobutanol production from coffee silverskin. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-1002-z>
- ICONTEC. (2003). GTC 86. In *Servicio de Información Sectorizado E-Normas ICONTEC* (p. 15). Retrieved from <https://ezproxy.uan.edu.co:2236/normavw.aspx?ID=270>
- ICONTEC. (2006). *GTC 53-7 Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos no peligrosos*. 1–29.
- ISO. (2019a). NTC-ISO 14001:2015. In *Servicio de Información Sectorizado E-Normas ICONTEC* (p. 40).
- ISO. (2019b). NTC-ISO 14040:2007. In *ICONTEC - Instituto Colombiano de Normas Técnicas* (p. 24). <https://doi.org/https://ezproxy.uan.edu.co:2236/normavw.aspx?ID=6138>
- Kyzas, G. Z. (2012). Commercial coffee wastes as materials for adsorption of heavy metals from aqueous solutions. *Materials*, 5(10), 1826–1840. <https://doi.org/10.3390/ma5101826>
- Londoño, H. D. (2017). Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogas en un reactor de flujo piston. *Universidad Pontificia Bolivariana*, 01, 1–7. Retrieved from <http://www.albayan.ae>
- Lora, J. (2018). Coffee: Who grows, drinks and pays the most? *Business Reporter, BBC News*. <https://doi.org/https://www.bbc.com/news/business-43742686>
- M/S Dennys. (2019). *Green Coffe Bean*. <https://doi.org/https://dennysgroup.com/products/green-coffee-bean>
- Malthus, T. (2016). Primer ensayo sobre la población. *Azcárate Diz, Patricio De*, 304. Retrieved from <https://museo-etnografico.com/pdf/puntodefuga/171128malthus.pdf>
- Manrique, R. (2018). Estudio de la combustión de pélet de cisco de café. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/69757/1/1152186564.2018.pdf>

- Ministerio de Ambiente (27 de septiembre de 2005) Directrices de los rellenos sanitarios. [Resolución 1390 de 2005]. DO: 46046
- Ministerio de Ambiente (06 de junio de 2003) Planes de gestión integral de residuos sólidos. [Resolución 1505 de 2005]. DO: 45210
- Miranda, T., Suset, a, Cruz, A., & Machado, H. (2007). El Desarrollo sostenible . Perspectivas y enfoques en una nueva época Sustainable development . Perspectives and approaches in a new age. *Pastos y Forrajes*, 30(2), 191–204. Retrieved from /scielo.php?script=sci_arttext&pid=&lang=pt
- Mussatto, S., Machado, E., Martins, S., & Teixeira, J. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food and Bioprocess Technology*, 4. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/225402675_Production_Composition_and_Application_of_Coffee_and_Its_Industrial_Residues/citation/download
- NOC Coffe. (2019). *Coffee production explained* (p. 1). p. 1. <https://doi.org/https://nocoffeeeco.com/en/blog/coffee-production-explained/>
- Pegoretti, H. J., Chaves, M. D., Vidaurre, G. B., Brocco, V. F., Souza, D. P., & Protásio, T. D. P. (2019). Colorimetría de pellets de eucalipto y residuos de la cafeicultura y sus relaciones con los parámetros de calidad Colorimetry of pellets produced with eucalyptus and coffee cultivation residues and their relationship to quality standards Resumen. *Scientia Forestalis*, 47(121), 114–124. <https://doi.org/10.18671/scifor.v47n121.11>
- Perez Porto, Julian ; Marino, M. (2012). Definción de café. Retrieved from Defición de café website: <https://definicion.de/cafe/>
- Porter, S. D., Reay, D. S., Higgins, P., & Bomberg, E. (2016). A half-century of production-phase greenhouse gas emissions from food loss & waste in the global food supply chain. *Science of the Total Environment*, 571, 721–729. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.041>
- Presidencia de la república. (27 de marzo de 1996) Decreto para prestación del servicio público domiciliario. [Decreto 605 de 1996]. DO: 42755
- Presidencia de la república. (6 de agosto de 2002) Decreto para prestación de servicios públicos. [Decreto 1713 de 2002]. DO: 44893
- Presidencia de la república. (18 de diciembre de 1974) Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. [Decreto 2811 de 1974]. DO: 34243
- Presidencia de la república. (23 de marzo de 2005) Disposición final de residuos sólidos. [Decreto 838 de 2005]. DO: 45862
- Protásio, T. de P., Melo, I. C. N. A. de, Guimarães Junior, M., Mendes, R. F., & Trugilho, P. F. (2013). Thermal decomposition of torrefied and carbonized briquettes of residues from coffee grain processing. *Ciência e Agrotecnologia*, 37(3), 221–228. <https://doi.org/10.1590/s1413-70542013000300004>
- Rodríguez Valencia, N., & Zambrano Franco, D. (2010). Los subproductos del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, (3), 8. <https://doi.org/ISSN-0120-0178>

- Ruiz, N. G. (2019). Resumen analítico - RAE. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Sánchez, D. A., & Anzola V., C. (2014). Chemical characterization of the coffee silverskin (*Coffea arábica*) in varieties colombia and caturra. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 211–226.
- Scully, D. S., Jaiswal, A. K., & Abu-Ghannam, N. (2016). An investigation into spent coffee waste as a renewable source of bioactive compounds and industrially important sugars. *Bioengineering*, 3(4). <https://doi.org/10.3390/bioengineering3040033>
- Secretaria del senado. (2019). *Constitución política de Colombia*. 1–16. Retrieved from http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0055_1993.html
- SINJuriscol. (2019). Normativa Ambiental. <https://doi.org/http://www.suin-juriscol.gov.co/>
- SUCDEN. (2019a). Diagrama de flujo del café. Retrieved from S&D website: https://www.sucden.com/media/1423/suc_cafe_procesamiento_de-semilla-al-grano-a-taza.pdf
- SUCDEN. (2019b). Diagrama del flujo de proceso.
- UNAL. (2018). *Obtienen biogás con residuos del café y estiércol de gallina*. Retrieved from <https://www.palmira.unal.edu.co/index.php/noticias/palmira/496-obtienen-biogas-con-residuos-del-cafe-y-estiercol-de-gallina>
- Universidad Pedagógica Nacional. (2017). *Guía elaboración de resúmenes analíticos en educación - rae*.
- UPME. (2003). Potencialidades de los cultivos energeticos y residuos agricolas en Colombia. *UNIDAD DE PLANEACIÓN MINEROENERGÉTICA*.
- Valencia Rodríguez, N. (2000). Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. *Seminario Internacional Gestión Integral De Residuos Sólidos Y Peligrosos, Siglo Xxi*, 1–10.
- Vargas, G. (2014). *Informe de resultados: Caracterización Cisco*. (574), 328–330.
- Vásquez de Díaz, C., López, A., Fuentes, B., & Cote, E. (2010). Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181220509002>. *Revista CENIC CIENCIAS BIOLÓGICAS*, 41.
- Wood, E., Tappan, G., Hadj, A. (2015). Ecosystem Services Flows: Why Stakeholders' Power Relationships Matter. *PLoS One*.
- Wordpress & Theme Freesia. (2019). Morfología del café.

ANEXO 1: Alternativas de aprovechamiento por tipo de residuos

Tipo de generador	Tipo de residuo	Descripción	Métodos posibles de aprovechamiento disponible
Naturales		<ul style="list-style-type: none"> - Residuos de leña - Ramaje - Follaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje - Lombricultura - Combustión
Agrícola	Actividades pecuarias	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos generados por el manejo de animales - Estiércol - Mortalidad Natural 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestión anaeróbica - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal
	Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos vegetales 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestión anaeróbica - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal - Lecho hidropónico (ej: cascarilla de arroz) - Materiales estructurales (ej: cascarilla de arroz) - Fermentación alcohólica - Gasificación - Pirólisis - Licuefacción
Forestal		<ul style="list-style-type: none"> - Residuos de leña - Ramaje - Follaje 	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje - Lombricultura - Combustión
	Industrias procesadoras de alimentos	<p>Cárnicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Salas de beneficio: plumas, escamas, estiércol, sangre, despojos - Salas de corral: estiércol, tamos - Producto deteriorado - Desechos y excedentes de proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestión anaeróbica - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal
Industrial	Bebidas alcohólicas	<ul style="list-style-type: none"> - Cascarilla - Afrecho - Pulpa de papel - Levaduras 	<ul style="list-style-type: none"> - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal - Gasificación - Pirólisis - Licuefacción
	Frutas y verduras	<ul style="list-style-type: none"> - Bagazo - Cáscara o semilla - Residuos provenientes de las barreduras - Residuos orgánicos excedentes de proceso 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestión anaeróbica - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal - Fermentación alcohólica - Gasificación - Pirólisis - Licuefacción
	Grasas	<ul style="list-style-type: none"> - Grasa - Tortas de oleaginosas 	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricación de jabones - Alimentación animal - Gasificación - Pirólisis - Licuefacción
	Cereales y otros granos	<ul style="list-style-type: none"> - Afrecho - Almidones - Bagazo - Borra de café 	<ul style="list-style-type: none"> - Digestión anaeróbica - Compostaje - Lombricultura - Alimentación animal - Combustión - Elaboración de papel - Fermentación alcohólica - Gasificación - Pirólisis - Licuefacción

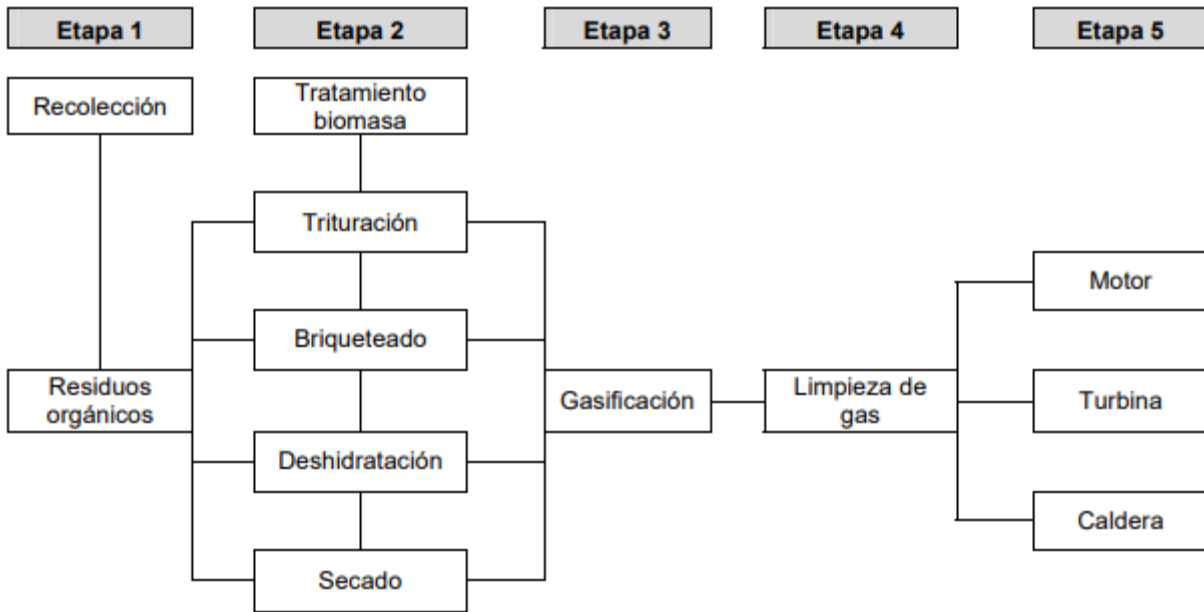
Fuente:(ICONTEC, 2006)

ANEXO 2: Tecnologías de combustión de biomasa

Tecnología de Combustión	Ventajas	Desventajas	Principales aplicaciones
Estufas y calderas de alimentación inferior	Bajo costo, control sencillo.	Alta calidad y cantidad en el suministro de combustible	Generación de calor, en algunos casos hasta 6MWh para comunidades.
Hornos de parrilla	Bajo costo de proceso, infraestructura resistente a la escoria.	Dificultad para usar mezclas de combustible. La combustión no es homogénea, generando emisiones indeseables.	Usual en la incineración de basuras. Se puede llegar a producir una potencia de hasta 20–30MWe.
Combustión de polvo (Dust combustion)	Alta eficiencia, buen control sobre la carga de biomasa, bajas emisiones de óxidos nitrosos.	Se requiere biomasa peletizada o en partículas diminutas. Se necesita el uso de revestimiento especial para el horno de combustión.	Su uso no es común salvo en instalaciones que tengan abundancia de biomasa en forma de aserrín o polvo.
Tecnología de Lecho fluidizado Burbujeante (BFB)	Alta flexibilidad en el uso de material con alta humedad, baja emisiones de óxidos nitrosos, alta eficiencia, bajo flujo de gases.	Altos costos de infraestructura y operación. La biomasa requiere ser tratada previo a su uso. Gases con alta cantidad de partículas, generación de ceniza, la escoria producida maltrata los equipos.	Capacidad de producción de hasta 20 MWh. Tecnología en plantas para alta capacidad de producción y en capacidad de recibir diversidad de combustibles.
Lecho de fluido circulante (CFB)	Alta flexibilidad de combustibles respecto a factores como humedad, bajas emisiones de óxidos nitrosos, buena eficiencia y transmisión de calor.	Altos costos de infraestructura y operación. La biomasa requiere ser tratada previo a su uso. Gases con alta cantidad de partículas, generación de ceniza, la escoria producida maltrata los equipos. Proceso improductivo para cargas parciales de combustible	Capacidad de producción de hasta 30 MWh. Tecnología en plantas para alta capacidad de producción y en capacidad de recibir diversidad de combustibles. Existen cerca de 300 plantas de este estilo en el mundo

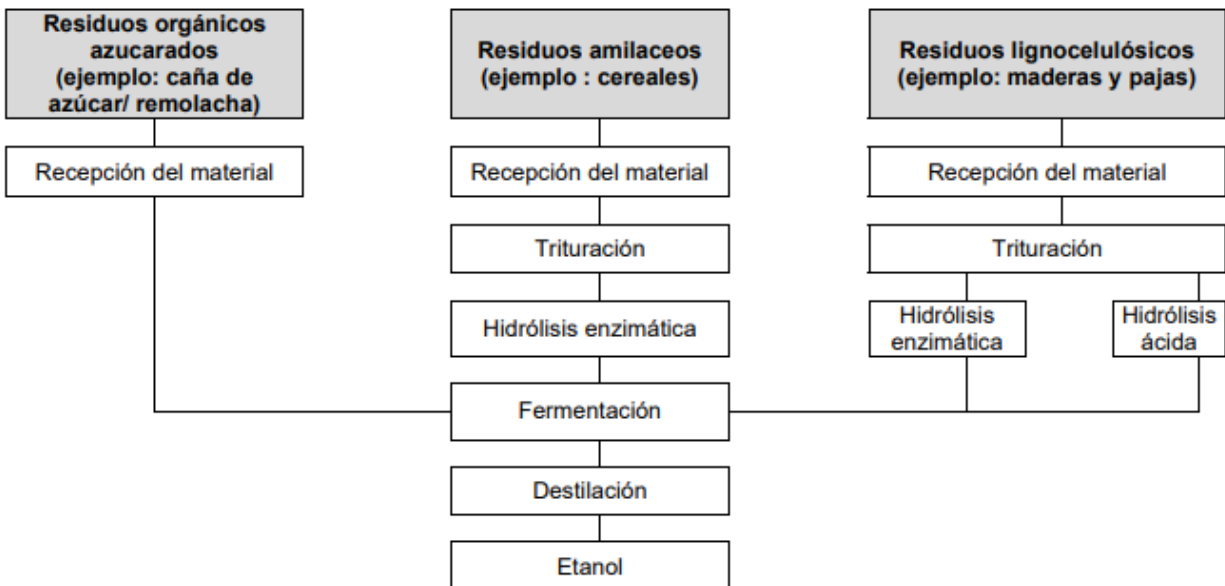
Fuente: (Castellanos, 2009)

ANEXO3: Etapas de la gasificación para producción de biogás



Fuente: (ICONTEC, 2006)

ANEXO 4: Aprovechamiento de residuos orgánicos para producción de bioetanol



Fuente: (ICONTEC, 2006)