

**APLICACIONES BIOLÓGICAS DEL MUCÍLAGO RESIDUAL PRODUCTO DEL
BENEFICIO DE CAFÉ**

LAURA FERNANDA PARDO ROCHA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2016

**APLICACIONES BIOLÓGICAS DEL MUCÍLAGO RESIDUAL PRODUCTO DEL
BENEFICIO DE CAFÉ**

LAURA FERNANDA PARDO ROCHA

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de
Especialista en Química Ambiental**

**Directora
MARIANNY COMBARIZA
Química. Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA DE QUÍMICA
ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA AMBIENTAL
BUCARAMANGA**

2016

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	11
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
2. OBJETIVOS	20
2.1 OBJETIVO GENERAL	20
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
3. MARCO TEÓRICO	21
3.1 EL BENEFICIO DEL CAFÉ	21
3.2 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO	22
3.3 EL MUCÍLAGO DEL CAFÉ	23
3.3.1 Aplicaciones biológicas del mucílago residual producto del beneficio de café	26
3.3.1.1 Proceso de compostaje	26
3.3.1.3 Producción de Ácido Láctico	32
3.3.1.4 Mucílago de café como fuente de carbono para generación de biocombustibles de segunda generación (bioetanol y biogás).	34
3.3.1.5 Utilización del mucílago de café en la alimentación de animales	41
3.3.1.6 Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café	47
3.3.1.7 Proceso para la obtención de miel a partir del mucílago de café	53
4. CONCLUSIONES	59
BIBLIOGRAFIA	61

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Aportes del sector cafetero a la huella hídrica y agua virtual azul y verde (6).	17
Tabla 2. Composición del mucílago de café. (9)	24
Tabla 3. Cuantificación de los microorganismos en el proceso de lombricompostaje de la pulpa sola y mezclada con mucílago de café. (4)	30
Tabla 4. Resultados del análisis físico-químico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en el proceso de lombricompostaje. (4)	31
Tabla 5. Valores de producción y productividad de AL para distintos sustratos. (1)	33
Tabla 6. Bioetanol obtenido por cada millón de sacos de café verde producido. (13)	35
Tabla 7. Resultados de la caracterización fisicoquímica del mucílago. ²⁵	38
Tabla 8. Caracterización físicoquímica del lodo estiércol de cerdo. ²⁵	39
Tabla 9. Volumen acumulado y rendimiento de producción de metano (25)	40
Tabla 10. Descripción, de los tratamientos de ceba de cerdos alimentados con alimento concentrado y mucílago de café. (5)	42
Tabla 11. Promedios de peso (kg) a través de los periodos de engorde, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia de cerdos con concentrado y mucílago de café. (5)	43
Tabla 12. Aceptación sensorial y química de la carne de cerdo alimentado con concentrado y mucílago de café. (5)	44

Tabla 13. Cantidad de concentrado y mucílago de café recomendada para la alimentación de cerdos, con base en el peso del animal.	46
Tabla 14. Características del mucílago de café. (12)	48
Tabla 15. Propiedades físicas del P3HB. (12)	49
Tabla 16. Cantidad de producto de acuerdo a cada sustrato. (12)	51
Tabla 17. Análisis bromatológico. (35)	56
Tabla 18. Características sensoriales. (35)	56
Tabla 19. Características físicas. (35)	56
Tabla 20. Análisis microbiológico. (35)	56

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Desmucilaginado de café (Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).	12
Figura 2. Secado de café tradicional (Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).	13
Figura 3. <i>Fruto del café, partes constitutivas, Fuente: CENIFCAFÉ</i>	21
Figura 4. <i>Proceso productivo del café e impacto ambiental Fuente: CENICAFÉ, 2014.</i>	23
Figura 5. Caseta para el almacenamiento de pulpa de café para posterior proceso de compostaje (Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).	28
Figura 6. Aislamiento previo de los actinomicetos según características morfológicas.	50
Figura 7. Actinomiceto aislado y seleccionado para la producción de biopolímero.	50

RESUMEN

TÍTULO: APLICACIONES BIOLÓGICAS DEL MUCÍLAGO RESIDUAL PRODUCTO DEL BENEFICIO DE CAFÉ*

AUTOR: PARDO, Rocha Laura Fernanda**

Palabras claves: Contaminación del agua, aguas residuales, Beneficio del café, Subproductos del café, mucílago de café.

El manejo inadecuado de los subproductos del beneficio del café, entre ellos el mucílago y la pulpa, produce impactos negativos en el medioambiente. Estos impactos son particularmente dramáticos en fuentes hídricas, pues para retirar el mucílago proveniente del proceso de fermentación es necesario efectuar lavados, que generan aguas residuales con una alta carga orgánica contaminante, lo cual se considera un punto débil de la industria cafetera.

Es por esta razón que la problemática ambiental relacionada con el beneficio del café en Colombia, precisa acciones orientadas a la depuración y tratamiento de las aguas residuales producidas, de modo que se minimice el impacto negativo sobre los ecosistemas y se proteja el recurso hídrico.

Lo anterior es importante, si se tiene en cuenta que la producción de café es uno de los sectores económicos que más proveen recursos a la economía colombiana. La producción de café se ha incrementado en el país, en el año 2014 por ejemplo, el precio de compra de carga de grano (125 kilos), pasó de \$397.875 a \$768.125, en el período comprendido entre enero y marzo, mostrando estabilidad en ese precio en los meses subsiguientes. Mayores niveles de producción, también traen consigo incremento en la contaminación de los recursos naturales, especialmente cuando se siguen prácticas tradicionales en el beneficio del café. **(1)**

Actualmente de las 19 regiones caficultoras del país, no se tiene registro de cuántas de ellas implementan estrategias para aprovechar los subproductos como la pulpa y el mucílago y con ello evitar la contaminación ambiental.

Desde esta perspectiva, esta propuesta de trabajo de monografía se orienta a realizar una revisión documental sobre las aplicaciones biológicas que pueden darse al mucílago de café con énfasis en las que provean beneficios tanto económicos como medioambientales.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias, Escuela de Química, Especialización Química Ambiental, Director Marianny Yajaira Combariza Montañez. Ph .D, Química Analítica Ambiental

ABSTRACT

TITLE: BIOLOGICAL APPLICATIONS OF RESIDUAL MUCILAGE FROM THE PROCESSING OF COFFEE.*

AUTHOR: PARDO, Rocha Laura Fernanda**

KEYWORDS: Water pollution, sewage, processing of coffee, coffee by-products, mucilage of coffee.

Improper handling of by-products from the processing of coffee, including mucilage and pulp, produced negative impacts on the environment. These impacts are particularly dramatic in water sources, as to remove the mucilage from the fermentation process is necessary to make washes that generate wastewater with high organic pollution load, which is considered a weak point of the coffee industry.

It is for this reason that the environmental problems related to the processing of coffee in Colombia call for actions aimed at the purification and treatment of the waste water produced, so that the negative impact on ecosystems is minimized and water resources are protected.

This is important, bearing in mind that coffee production is one of the economic sectors that provide resources to the Colombian economy. Coffee production has increased in the country, in 2014 for example, the purchase price for grain load (125 kilograms), went from \$ 397,875 to \$ 768,125 in the period between January and March, showing stability in that price in the following months. Higher production levels also bring increased pollution of natural resources, especially when traditional practices are followed in the processing of coffee. **(1)**

Currently, of the 19 coffee growing regions of the country, there is no record of how many of them implement strategies to leverage by-products such as pulp and mucilage and thus avoid environmental contamination

From this perspective, this monograph proposal paper aims to conduct a literature review of biological applications that can be given to the mucilage of coffee with emphasis on those that provide both economic and environmental benefits.

* Degree Work

** Science faculty, Chemistry Faculty, Specialization Environmental Chemistry, Director Marianny Yajaira Combariza Montañez. Ph .D, Environmental Analytical Chemistry

INTRODUCCIÓN

Existen muchas hipótesis sobre la aparición del café en el mundo, que han sido objeto de estudio para llegar a lo que en la actualidad conocemos como la agroindustria del café. Desde sus inicios por Etiopía a Europa, el café se convirtió en un foco muy importante en la agricultura mundial hasta el punto de ser una de las bebidas más consumidas en el mundo entero.

Existe consenso, en el sector cafetero, de que en los países tropicales se da el mejor café si se considera que el clima cálido es uno de los factores esenciales para su calidad. En este cultivo a pesar de su tecnificación, se requiere de la dedicación y esmero del cultivador pues en nuestro país el proceso es casi completamente manual (siembra, recolección, selección y envasado), Por esta razón, es una de las industrias que hoy en día requiere de más mano de obra para su desarrollo.

El cultivo ideal del café exige un clima medio, ni frío ni caliente, sin heladas que retrasen su maduración o congelen las plantaciones, ni calores que estropeen el fruto o maduren a tiempos incorrectos. Las condiciones ideales para el cultivo del café con las mejores calidades son suelos fértiles, luz solar, sombra y humedad controlada, características que reúnen a plenitud los países de Latinoamérica. En la mayoría de los países cafeteros este cultivo corresponde al minifundista, donde se garantiza, arbustos sombreados en pequeñas parcelas cuyo trabajo demanda la atención de familias completas especialmente en tiempos de recolección. La floración y la maduración del grano de café no se dan en un mismo tiempo para todos los frutos y es por esto que la recolección tarda varios meses, característica muy importante para obtener la calidad del producto, pues los frutos verdes carecen de sabor y los sobre-maduros tienen un sabor muy seco. **(2)**

Una vez recolectados los granos de café son agrupados en sacos para ser conducidos a las fases de producción. El beneficio inicia con la etapa de despulpado mecánico, en el cual se extrae el epicarpio del fruto con el fin de ir separando la semilla, en este paso se realiza la primera selección de los granos pequeños, medianos y grandes. Seguidamente, se realiza el proceso de separación del mucilago; en la mayoría de fincas cafeteras no tecnificadas se utiliza un proceso de fermentación de 12 a 30 horas en el que descompone el mucílago y se retira del grano mediante lavados en los que se emplean aproximadamente 40 litros de agua por kilo de café pergamino seco. Existen alternativas como, el desmucilaginado mecánico el cual es mucho más viable, emplea aproximadamente 0,8 litros de agua por kilo de café (Ver Figura 1) **(19)**, de esta forma se agiliza el proceso de beneficio y se minimiza el uso del agua. **(20)**

Figura 1. Desmucilaginado de café (Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).



Después del desmucilaginado continua la etapa de secado (Ver Figura 2), en la que se extiende el café en un lugar soleado, para disminuir la humedad del grano hasta el 10% o 12%.

Figura 2. Secado de café tradicional (Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).



La última etapa del beneficio de café corresponde a la selección final. En la que se separa el pergamino del brocado y la pasilla; como complemento se realiza el trillado que es el encargado de convertir el café pergamino en café verde, este último es el que se exporta en mayor cantidad en comparación del pergamino por su alta calidad.

El cultivo del café es uno de los subrenglones económicos más importantes para Colombia, pues contribuye a generar aproximadamente un millón de empleos, de los cuales 560.000 son directos, lo que representa un 37% del empleo agrícola.

(1)

La zona cafetera colombiana está conformada por 3.136.000 hectáreas, distribuidas en 20 departamentos, de las cuales 887.660 hectáreas están sembradas con café, por 527.609 caficultores en 664.700 fincas. Las exportaciones de este producto representan un 33,5% de las exportaciones totales del país en 2013. **(1)** La competitividad de este producto se ha sustentado en el programa 100% café de Colombia, el cual además de garantizar y proteger su origen, se basa en un estricto control de la calidad del grano de exportación.

La calidad del café es la suma de las actividades y factores humanos, naturales, biológicos, entre otros, que se llevan a cabo para procesar y obtener en toda su cadena productiva el mejor de los productos agrícolas del país. Cerca del 80% de los desechos de la industria cafetera se producen durante el beneficio, en las diferentes etapas postcosecha **(5)**.

Uno de los procesos críticos para asegurar la calidad del grano es la fermentación del mucílago, el cual se realiza para eliminar la capa de mucílago, que es retirada del grano a través del lavado, el cual produce aguas residuales con un gran poder contaminante.

Normalmente para el beneficio del café se emplean los tratamientos húmedo o seco. El procedimiento por vía húmeda se desarrolla en gran parte de nuestro país e involucra: recolección del café en cereza, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado hasta procesar el café pergamino seco. Aunque este tratamiento proporciona mejor calidad, también produce una gran cantidad de aguas mieles, y de mucílago, que se considera altamente contaminantes porque son ricos en azúcares reductores (glucosa) y no reductores (sacarosa).

La problemática en cuanto a la generación de residuos producto del beneficio del café provoca por muchos investigadores la creación de alternativas que

minimicen la propagación de estos desechos y por ende evitar la contaminación en fuentes de agua, suelos, ecosistemas, etc.; es por esto que los autores **(38)** del proyecto sobre el mejoramiento de las propiedades del suelo arenoso en ambientes tropicales a partir del aprovechamiento de los desechos del café. Obtienen como resultado el aumento del pH por encima de 5,5, aumento en el contenido de Ca, Mg y K, optimización de la relación carbono/nitrógeno, aumento de la materia orgánica.

En Costa Rica como en otros países tropicales la problemática en cuanto a la generación de residuos agrícolas es de gran impacto, en el año de 1993 la producción de las principales divisiones de la agricultura generó aproximadamente 3.25 millones de toneladas, algunos de estos residuos son procesados para convertirlos en productos de valor o para tratamiento físico-químico y así disminuir la contaminación producida por estos, de esta cantidad de residuos, 1.63 millones de toneladas corresponde a los subproductos que se generan en la producción agroindustrial, algunas de las aplicaciones de estos subproductos se emplea en la fertilización, alimentación de animales, combustible, sustratos en invernaderos, en este mismo país la pulpa de café ha sido incluida en dietas de pescados como la tilapia, Cachamay, carpa común y bagre africano. **(40)**

El residuo del mucílago es un tema de mucho interés para los investigadores de países productores de café y para su utilización se han planteado diversas estrategias, como las aplicaciones biológicas, que tiene como fin minimizar la contaminación del medio ambiente. Estas aplicaciones son el tema de esta monografía.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El café es el principal producto agrícola de exportación en Colombia y con el aumento en su producción se, incrementa también el volumen de los efluentes producto del beneficio del grano como, aguas-mieles y mucílago ricos en compuestos orgánicos.

El Estudio Nacional del Agua 2014 (ENA-2014) **(6)**, analiza de forma global el recurso agua en Colombia a partir de las condiciones, comportamientos actuales y posibles ambientes futuros. Este estudio inicialmente se dirige al comportamiento y estado del medio natural para estudiar las presiones sobre la dinámica hídrica, la cantidad y calidad del agua, actividades generadas por el ser humano y los impactos generados en las fuentes hídricas.

La demanda del recurso en mención está orientada al uso de las fuentes hídricas representado en la estimación de caudales de retorno y con la interacción de la huella hídrica verde, huella hídrica azul, agua virtual y huella hídrica gris.

La huella hídrica azul se relaciona con el flujo de agua de escorrentía, agua superficial, ríos y lagos, fuentes de agua subterránea, acuíferos. La huella hídrica verde atiende a la corriente vertical del agua, que a su vez representa la masa del agua en el suelo que sustenta la vegetación en secano (no requiere agua de riego), esta agua se sostiene en el suelo y recarga las fuentes de agua superficial y subterránea, el agua virtual hace referencia a aquella agua que es incorporada a los procesos productivos y se exporta, contenida en los bienes y productos. Por último tenemos la huella hídrica gris que representa la calidad del agua, y se evalúa como el volumen de agua dulce requerido para tratar la carga contaminante vertida. **(15)**

El ENA-2014 presenta resultados basados en los cultivos transitorios y permanentes que se generan en la agricultura Colombiana, el café con aproximadamente 931.060 ha de cultivo no presenta huella hídrica azul, siendo un cultivo seco bajo la práctica convencional Colombiana. **(15)**

En el 2012 Colombia apoya la inclinación de Sur América de exportar en gran mayoría agua verde, en este mismo año se encuentra un flujo virtual de agua total del 92% a través de 7 productos agrícolas de mayor exportación entre ellos el mayor aporte lo hace el sector cafetero.

Lo anterior le aporta a Colombia una preeminencia comparativa en la producción de bienes agrícolas en términos eficientes del recurso hídrico, aportando (Ver Tabla 1.) por el sector cafetero:

Tabla 1. Aportes del sector cafetero a la huella hídrica y agua virtual azul y verde **(6)**.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Huella Hídrica Azul	0 Mm ³
Agua Virtual Azul	0 Mm ³
Huella Hídrica Verde	11.822,33 0 Mm ³ /año
Agua Virtual Verde	7.363,81 Mm ³ /año
Exportaciones al año	400.651 Ton

En referencia al Estudio Nacional del Agua-2014, la carga neta de contaminantes por vertimiento puntual en el año 2012, para el caso del beneficio de café se encuentra cargas contaminantes en ton/año de 20.649 para DBO5, para la DQO de 26.995 y para SST de 16.663 **(6)**.

El proceso de fermentación del mucílago está estrechamente ligado a la etapa de lavado, dado que es necesario retirar del grano de café el mucílago que ha sido degradado a sustancias solubles en el agua, según el autor de “La gestión sostenible de la industria de los subproductos del café y la adición de valor” **(38)** el tiempo adecuado empleado en la degradación del mucílago es alrededor de 24-36 horas para el café tipo arábica y 72 horas para el café robusta, esto depende de la concentración de las enzimas pectinolíticas a temperatura ambiente.

El agua consumida en esta etapa se ha considerado un punto débil en la industria cafetera **(15)** .Para dar solución a este problema, Zambrano, ha desarrollado un sistema modular de tratamiento anaerobio de aguas residuales que remueven aproximadamente el 90% de la carga orgánica inicial. **(7)**

A nivel nacional e internacional se ha propuesto diversas estrategias que orienten a los pequeños y grandes caficultores para controlar la contaminación al medio ambiente producida por la producción del café, buscando establecer directrices que permitan realizar un aprovechamiento y disposición adecuada de estos residuos; hoy en día en gran parte del país existen regiones caficultoras que no realizan aprovechamiento del mucílago, subproducto del beneficio del café.

En este sentido es primordial que los cultivadores y procesadores de café, obtengan información, apoyo y seguimiento por parte de las entidades estatales en cuanto a las aplicaciones biológicas del mucílago y de este modo prevenir la contaminación de los recursos naturales.

Actualmente se han desarrollado investigaciones a nivel nacional e internacional sobre aplicaciones biológicas del mucílago, entre estas la alimentación del cerdo,

debido al alto contenido energético, otra de las aplicaciones es la producción de combustible y como fuente de abono orgánico en el proceso de lombricompostaje, lo anterior es solo una parte de las investigaciones llevadas a cabo para dar uso a este tipo de residuo.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Recopilar y analizar información sobre las aplicaciones biológicas que se han implementado a nivel nacional e internacional relacionadas con el aprovechamiento del mucilago residual; producto del beneficio del café.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Compilar y clasificar información relacionada con las aplicaciones biológicas disponibles para el aprovechamiento del mucílago residual del beneficio del café.

Describir las diferentes aplicaciones biológicas para el uso del mucílago, residual del beneficio del café.

Elaborar un documento que contenga información actualizada sobre las aplicaciones biológicas del mucílago de café.

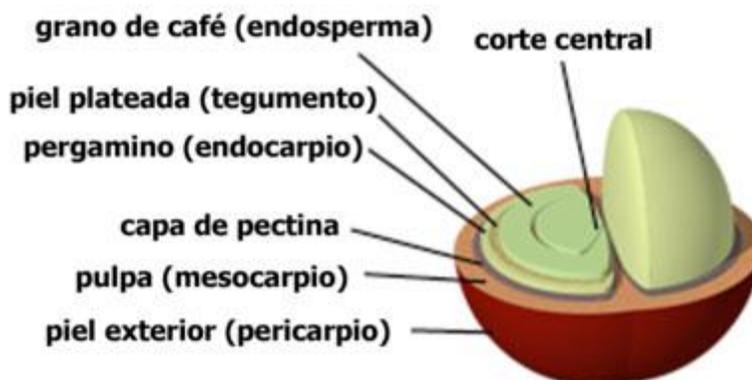
3. MARCO TEÓRICO

3.1 EL BENEFICIO DEL CAFÉ

Se denomina beneficio del café al proceso por el cual se logra convertir el café cereza en café pergamino seco, mediante la separación de las partes del fruto (Ver Figura 3).

En Colombia, comúnmente se utiliza el beneficio húmedo, con el cual se obtienen características de acidez, aromas pronunciados y un grado de amargo moderado.

Figura 3. Fruto del café, partes constitutivas, Fuente: CENIFCAFÉ



Actualmente, la mayoría de caficultores colombianos, poseen la infraestructura necesaria para realizar el proceso de beneficio húmedo, el cual aplicado adecuadamente, da un mayor margen de ganancia.

3.2 PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO

La obtención del café pergamino sigue básicamente el proceso descrito a continuación:

Cosecha: consiste en recoger la totalidad de frutos maduros. Esto trae las siguientes ventajas: mayores ingresos por la venta de una mayor cantidad de café; mejor conversión de café cereza en café pergamino; reducción de las reinfestaciones de la plaga denominada “broca”; y reducción de las pérdidas, hasta en un 10%, debidas a frutos no recolectados o que caen al piso.

Recibo: el fruto se recolecta en tolvas de cemento o madera, aprovechando la gravedad, el ángulo de la tolva, debe ser de 45 a 50 grados, es decir con una pendiente igual o superior al 100%.

Despulpado: consiste en retirar la corteza que rodea la pulpa o cereza, se debe realizar en seco, aunque en Colombia se emplea agua. El despulpado sin agua, no afecta la capacidad del proceso, ni la calidad de los granos; así se evita la contaminación hasta en un 72%.

Clasificación: consiste en la selección de los granos, de aquellos que presentan alteraciones.

Remoción del mucílago: tiene como objetivo hacer que el mucílago se desprenda del pergamino, eliminándose por medio del lavado.

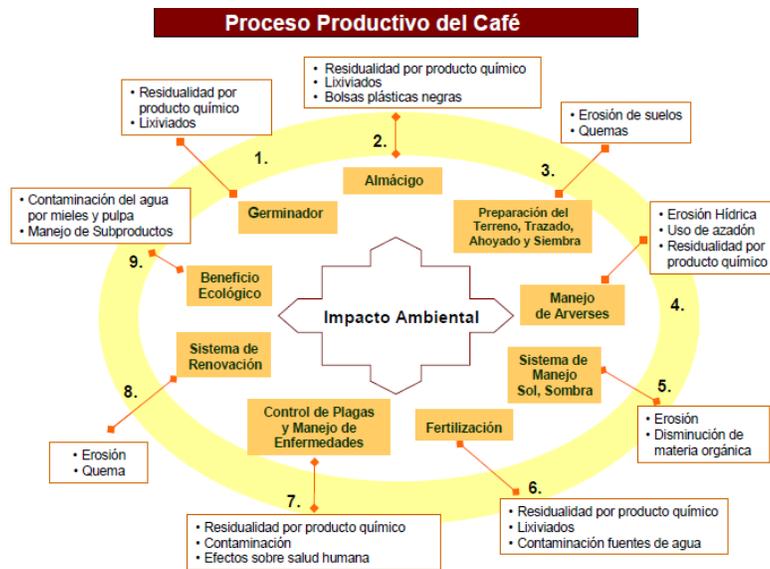
Una de las estrategias amigables con el medio ambiente que pretende controlar la contaminación por la generación del mucílago es la tecnología llamada

Becolsub⁸, desarrollada por CENICAFE, la cual presenta las siguientes ventajas con relación al proceso convencional de fermentación natural:

- Reducción del consumo de agua.
- Mayor eficiencia en la producción de café: cereza.
- Controla aproximadamente del 90% de la contaminación que se genera por la producción de la pulpa y el mucílago en las fuentes de agua.

En la siguiente imagen (Ver Figura 4) se describe el proceso productivo del café y la relación de los impactos ambientales generados por este.

Figura 4. Proceso productivo del café e impacto ambiental Fuente: CENICAFÉ, 2014.



3.3 EL MUCÍLAGO DEL CAFÉ

El mucílago o mesocarpio, es la parte del café que queda expuesta, cuando la cereza se despulpa o se separa el epicardio (cáscara) del resto del fruto. El mucílago que queda expuesto adherido al endocarpio, es un material coloidal con una fuerte capacidad para retener agua, por esto su contenido de humedad

es muy variable y depende de las condiciones climáticas que prevalezcan durante la recolección.

En la siguiente tabla (Ver Tabla 2) se describen los componentes principales del mucílago de café.

Tabla 2. Composición del mucílago de café. **(9)**

Composición	Cantidad (%)
Cenizas	0,65
Humedad	88,6
Proteínas	0,93
Azúcares totales	6,15
Pectinas	3,51

El mucílago es un fluido, con un comportamiento pseudoplástico, que contiene sustancias de alto peso molecular. Su viscosidad depende de la velocidad de deformación, es decir es menos viscoso a medida que aumenta la velocidad de deformación. **(10)** También se ha encontrado bajo análisis de laboratorio, en la composición de los residuos insolubles del mucílago de café, la presencia de celulosa (8% aproximadamente), polisacáridos (18%), pectinas con contenido de ácido urónico (60%). **(7)**

Usualmente el uso del agua en el proceso del beneficio del café se incrementa durante el despulpado, pues aproximadamente la cuarta parte de los subproductos del beneficio del café corresponden al mucílago, que como se comentó anteriormente tiene un impacto negativo sobre fuentes hídricas.

Durante el proceso de fermentación natural para desmucilaginar el café, se evidencia la ruptura de las células que conforman el mucílago mediante reacciones de hidrólisis y acidogénesis. El papel de los ácidos orgánicos

producidos en esta etapa como el láctico y el acético es disminuir el pH, y favorecer la fermentación del mucílago.

La fermentación natural del café se realiza en fincas que aún no emplean el desmucilagador mecánico, el proceso de fermentación se realiza durante la noche y se lava al día siguiente.

Cada kilogramo de café cereza, produce aproximadamente 91 ml de mucílago fermentado. Por cada millón de sacos de 60 kg de café que Colombia exporta, se generan aproximadamente 55.500 toneladas de mucílago fresco. **(5)** El manejo inadecuado de estas grandes cantidades de mucílago tiene impactos ambientales comparados a los vertimientos domésticos generados por una población de 310.000 habitantes en un año. **(12)**

Sin embargo el mucílago puede tener múltiples aplicaciones tanto a nivel animal como vegetal, además de producción de pectinas y ácido láctico. Por ejemplo:

En una investigación desarrollada en Chinchiná, Caldas **(5)** , se utilizó como complemento alimenticio para el levantamiento de cerdos. También. Se ha utilizado para generar energía, a través de la producción de biogás y de bioetanol. Se encontró un valor promedio de 58,37 ml de etanol obtenido a partir de un kilogramo de mucílago fresco, equivalente en energía a 1,23 MJ/kg **(13)**. Adicionalmente se ha empleado para procesos de lombricompostaje, pues la alta carga microbiana de la pulpa de café y del mucílago acelera la descomposición de la materia orgánica. **(4)**, azúcares naturales del fruto del café, derivado del agua del proceso del despulpado conformado en su mayor proporción de monosacáridos, glucosa, galactosa, ramnosa y arabinosa, posee un sabor particular similar al de las ciruelas, que podría comercializarse como un café más refinado, otra de las posibles aplicaciones es como compuesto antioxidante y

flavonoides que al ser combinadas pueden emplearse como aditivos en alimentos para interés en la industria de la alimentación saludable. **(39)**

3.3.1 Aplicaciones biológicas del mucílago residual producto del beneficio de café. La disposición de los residuos líquidos y sólidos del beneficio del café resulta muy compleja debido a la composición de estos materiales. Los subproductos generados en el proceso del beneficio húmedo del café son la pulpa, el mucílago, las aguas del despulpado y aguas que se generan del lavado. Considerando que la disposición de estos elementos a los cuerpos de agua superficiales genera una problemática ambiental, tanto a nivel nacional como internacional, en el presente documento se analizan las posibles aplicaciones biológicas que se pueden dar al residuo del mucílago de café.

3.3.1.1 Proceso de compostaje. En la industria cafetera únicamente se emplea el 9,5 % del peso total del fruto, para la preparación de bebidas, mientras el 90,5% restante corresponde a subproductos que se vierten a fuentes de agua, suelo y ecosistemas sin previo tratamiento. Se calcula que alrededor de 2'000.000 de toneladas de pulpa y 420.000 toneladas de mucílago son vertidas a campo abierto. **(15)**

En el proceso del beneficio del café por vía húmeda, la pulpa representa el producto principal y corresponde al 43.58% de base húmeda, la producción de pulpa en el país es aproximadamente de 2,25 millones de toneladas al año **(19)**. Actualmente en varias áreas del país se utiliza este subproducto en una pequeña porción como abono orgánico, en otras regiones y con un mercado muy limitado como suplemento alimenticio de animales. Sin embargo en estos casos no se emplea más que una pequeña porción de las millones de toneladas producidas cada año, resultando la mayor proporción de este subproducto un apilamiento de

residuos en descomposición que finalmente se arroja a las corrientes de agua más cercanas.

Los elevados costos de producción que acarrea el proceso del beneficio del café y las multas derivadas por las autoridades de las corporaciones autónomas relacionadas con los impactos de los vertimientos a fuentes hídricas hace que se reconsidere el manejo de este tipo de subproducto al igual que el mucílago que son los más contaminantes.

Los espacios adaptados para el almacenamiento de la pulpa de café por los medianos y grandes cafeteros se conocen como fosas que eventualmente se convierten en estrategias para evitar las posibles sanciones por las entidades estatales. Curiosamente los materiales orgánicos sólidos contenidos en estas fosas no se utilizan en la mayoría de casos, cuando por su alto contenido de materia orgánica pueden ser aprovechados en múltiples aplicaciones.

Sin necesidad de transformación es posible, por ejemplo, usar la pulpa de café como sustituto (hasta en un 20%) del pienso para la alimentación del ganado lechero, con un ahorro del 30% en los costos de nutrición: en la alimentación de cerdos se puede utilizar hasta el 16 % de pulpa deshidratada. Adicionalmente la pulpa seca se puede emplear como combustible, pues tiene un poder calorífico de 15,88 MJ/Kg sin embargo los proyectos energéticos a base de pulpa de café no son rentables pues necesario alcanzar los 36.92 MJ/Kg; esto hace que los proyectos formulados con este fin sean descartados tanto económica como ambientalmente. **(17)**

Por otra parte es posible también la producción de biogás, que es una combinación de metano (50-80 %). dióxido de carbono, vapor de agua,

hidrogeno, sulfuro de hidrogeno, amoniaco, monóxido de carbono y nitrógeno.
(18)

Adicionalmente el proceso de compostaje que es un método biológico empleado para transformar residuos orgánicos en productos estables por medio de la descomposición, resulta una alternativa viable para el aprovechamiento de la pulpa y el mucilago de café. En la figura 5 se puede observar el acondicionamiento de una caseta donde se apila la pulpa de café para posterior obtención de compost.

Figura 5. Caseta para el almacenamiento de pulpa de café para posterior proceso de compostaje
(Imagen tomada de la hacienda Majavita, Socorro, Santander).



Durante el proceso de compostaje se puede ejercer control sobre el proceso de biodegradación de la materia orgánica, actividad resultante de la interacción de microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición mediante procesos ya sea en ausencia o presencia de aire.

De acuerdo con un estudio de aprovechamiento de los residuos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania Antioquia se plantean tres sistemas de compostaje para la actividad caficultora: Sistema de compostaje artesanal, semi industrial e industrial. **(15)** El primero hace referencia a procesos sin ninguna tecnología o, herramienta mecánica o eléctrica; en estos procesos normalmente se emplea una pala y una carretilla para el transporte de material. Este sistema tiene eficiencias bajas debido a su bajo desempeño. El sistema de compostaje semi industrial se refiere a el empleo de equipos mecánicos o eléctricos para una o varias partes del proceso. Por último está el sistema de compostaje industrial que funciona integralmente por medio mecánico, este último resulta el más eficiente por sus dimensiones en cuanto a su procesamiento y sistema de volteo del material para obtener mayores eficiencias en la aireación y por ende a su resultado como compost. En estos procesos de compostaje el mucílago residual de café juega un papel muy importante ya que por su composición se emplea como solución de riego en las pilas de compost.

Sería muy importante y de gran ayuda incentivar en el sector de la agroindustria cafetera la adaptación de buenas prácticas del manejo de las pulpas, así como la adición del mucílago en el proceso de compostaje. De esta manera se fortalecen los ciclos productivos, pues se emplean todos los subproductos del proceso y al mismo tiempo se conserva y protege el medio ambiente.

3.3.1.2 Lombricompostaje. Otra de las aplicaciones biológicas del mucílago del café relacionada con la producción de abono orgánico es el lombricompostaje. En este proceso se emplea la lombriz *Eisenia foetida*, y la abundante población de bacterias y levaduras que contienen la pulpa y el mucilago de café. **(4)**

Teniendo como punto de análisis la caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucílago (4), en el proceso de lombricompostaje, es evidente que la existencia de lombrices crea un ambiente de condiciones de humedad, ventilación y pH propicios para los microorganismos, inicialmente para hongos y bacterias.

Otro de los resultados obtenidos de esta caracterización (4) a partir de la flora microbiana en el lombricompostaje obtenido a partir de la pulpa sola y mezclada con mucílago, comprueban que debido a las características físico-químicas de la pulpa y el mucílago del café, se encuentra gran variedad de microorganismos (Ver Tabla 3), en la fase de transformación y estabilización de la materia orgánica que los crea.

Tabla 3. Cuantificación de los microorganismos en el proceso de lombricompostaje de la pulpa sola y mezclada con mucílago de café. (4)

Tratamiento	Aerobios Mesofilos (UFC/g x 105)	Actinomycetos (UFC/g x 105)	Hongos y Levaduras (UFC/g x 105)	Coliformes Totales (NMP/g)	Coliformes Fecales (NMP/g)
Pulpa mezclada con mucílago, fresca	18,48	0,00	210,40	67,25	0,00
Pulpa mezclada con mucílago, después de estar en pilas durante dos meses	6,56 x10 ⁷	25,50	107,95	825,75	825,50
Lombricompuesto obtenido de pulpa mezclada con mucílago	6,99x10 ⁵	119,00	6,91	475,08	680,75
Pulpa de un despulpado en seco, sola y fresca	4,59 x10 ²	105,00	3117,50	1100,00	1100,00
Pulpa sola, después de estar en pilas durante dos meses	7,43 x10 ⁵	112,50	136,50	1100,00	1100,00
Lombricompuesto obtenido de pulpa sola	1,43 x10 ⁶	325,08	2,70	890,00	733,67

Los géneros hallados en el mucílago de café a partir de la caracterización microbiológica fueron: *Enterobacter*, *Staphylococcus*, *Serratia*, *Candida torulopsis*, *Rhodothorula* *Escherichia*, *Citobacter* y *Hafnia*, géneros también presentes en la pulpa. Se encontraron varios géneros en el sustrato pulpa mezclada con mucílago que no estuvieron presentes en la pulpa sola como lo es el *Saccharomyces*, levadura de uso industrial para la producción de alcohol a partir del mucílago del café.

La elevada carga microbiana favorecida por la humedad del mucilago y el contenido de carbohidratos (Ver Tabla 4), apunta a este sustrato como medio óptimo para el desarrollo de este proceso.

Tabla 4. Resultados del análisis físico-químico de los sustratos de la pulpa de café sola y mezclada con mucílago en el proceso de lombricompostaje. (4)

Determinación	Lombricompostaje	
	Pulpa de café sola	Pulpa de café mezclada con mucílago
Humedad (%)	78,05	79,48
pH	8,63	9,33
Cenizas (%)	44,06	50,21
Grasas (%)	0,16	0,20
Proteínas (%)	23,25	25,89
Materia Orgánica (%)	55,94	49,79
Fibra (%)	12,55	16,48
N/C (%)	8,73	6,98
N (%)	3,72	4,14
P (%)	0,44	0,31
K (%)	9,64	5,50
Ca (%)	1,15	1,30
Mg (%)	0,21	0,25
Fe (ppm)	3062,50	2201,67
Mn (ppm)	163,33	179,83
Zn (ppm)	149,17	118,67
Cu (ppm)	6,92	7,33
B (ppm)	73,67	67,08

Este estudio expone de manera clara que la pulpa y el mucílago de café son dos subproductos con alto contenido microbiano en los que las bacterias y levaduras

son de gran importancia en el momento de evaluar la composición y características del proceso de lombricompostaje.

Los géneros de microorganismos hallados en los sustratos dependieron de los nutrientes disponibles, el contenido de humedad, la aireación de la masa, temperatura y pH, parámetros esenciales que convierten tanto a los hongos, como los *actinomicetos*, la pulpa y el mucílago en sustratos atractivos para el empleo como fertilizantes biológicos en actividades de agricultura orgánica, contribuyendo de gran manera a la minimización de residuos contaminantes al medio ambiente.

3.3.1.3 Producción de Ácido Láctico. La producción de ácido láctico (AL) es otra de las aplicaciones biológicas del mucílago del café; este compuesto es altamente empleado en la industria de alimentos, farmacéuticos, de cueros, textil y cosmética. **(1)** En la actualidad se emplean recursos renovables como azúcar, melaza, lactosuero, almidones, yuca, entre otros para el proceso de obtención de ácido láctico por vía biotecnológica. **(10)**

En el proceso de obtención de ácido láctico, el medio de cultivo es una variable indispensable que se compone de una mezcla de nutrientes que en condiciones físicas y concentraciones adecuadas proporcionan el crecimiento óptimo para los microorganismos.

En el estudio sobre la Producción de Ácido Láctico por Fermentación de Mucílago de Café con *Lactobacillus Bulgaricus* NRRL-B548 **(1)**. Se define el mucílago como una capa gruesa de tejido mullido de 0,4 a 2,0 mm de grosor que posee 15 % de sólidos en estado de hidrogel coloidal insoluble en agua, sin estructura celular, estos sólidos tienen 80% de ácidos pécticos y 20% de azúcar.

Para la producción de AL se utilizó como inóculo el *Lactobacillus bulgaricus* NRRL-B 548 (bacteria láctica), y como variables de estudio se consideraron la concentración del inóculo y la de azúcares reductores totales-ART. Para la producción de AL fue necesario esterilizar y almacenar el mucilago a baja temperatura hasta su utilización.

A continuación se relacionan los organismos (Ver Tabla 5) reportados para la producción de AL. El sustrato y la productividad máxima de AL.

Tabla 5. Valores de producción y productividad de AL para distintos sustratos. (1)

	Sustrato	AL (g/l)	Pmax (g/l-h)
<i>Ent. faecium</i>	Alfalfa	27	
<i>Lb. casei</i> SU N°22	Suero de leche	22	
<i>Lb. delbrueckii</i> IFO 3534	Glucosa	83	1,5
<i>Lb. delbrueckii</i> MIX varias cepas	Hidrolizado de Maíz + cebada	85	
<i>Lb. delbrueckii</i> Bulgaricus	Suero de leche	44	
<i>Lb. delbrueckii</i> Bulgaricus Ch H 2217	Suero de leche	115	
<i>Lb. delbrueckii</i> Bulgaricus NRRL B-548	Lactosa	45	11
<i>Lb. helveticus</i> ATCC 15009	Suero de leche	49	1,3
<i>Lb. helveticus</i> L 89	Suero de leche		3,1
<i>Lb. rhamnosus</i> ATCC 10863	Glucosa	77	1,7
<i>Lb. rhamnosus</i> ATCC 10863	Glucosa	80	5,1
<i>Lb. rhamnosus</i> ATCC 10863	Glucosa	38	
<i>Lc. lactis</i> 65,1	Glucosa	39	
<i>Str. thermophilus</i>	Lactosa	40	7,1
<i>Lb. bulgaricus</i> NRRL-B 548	Mucílago de café	41	1,44

La información contenida en la tabla permite afirmar que el mucílago puede constituir un sustrato adecuado para procesos biotecnológicos. Particularmente para la producción de ácido láctico vía fermentación con hidrólisis enzimática.

3.3.1.4 Mucílago de café como fuente de carbono para generación de biocombustibles de segunda generación (bioetanol y biogás). La implementación de procesos de beneficio ecológico en la agroindustria cafetera con el ánimo de cumplir la legislación ambiental deben necesariamente estar acompañados de alternativas de aprovechamiento de los subproductos generados en el proceso del beneficio del café. Entre estas alternativas se encuentra la producción de biocombustibles.

La producción de biocombustibles a partir de materiales que pueden de otra forma ser usados como alimento de seres humanos (la caña de azúcar, cereales y aceite de palma) es en la actualidad muy polémica. Por esta razón el uso de biomasa residual, que no se utiliza en alimentación humana o animal, para producir los biocombustibles de segunda generación es una alternativa promisoría.

Es posible producir biogás. Según Zambrano **(12)**, la descomposición anaerobia del mucílago de café; este proceso resulta en la producción de 287 L de metano por cada kilo de DQO aplicado en el proceso de fermentación a 36 °C. En otras palabras, la transformación de 1kg de mucílago permite obtener aproximadamente 2,00 MJ de energía (a partir de la combustión del metano). Cuando estos resultados se comparan con otros estudios de fermentación alcohólica se obtienen valores aproximados de 58,37 ml de etanol a partir de 1 Kg de mucílago de café fresco, lo que equivale a 1,23 MJ/Kg de mucilago. **(21)** Consecuentemente la fermentación anaerobia (producción de metano) permite obtener más energía que la aerobia (producción de etanol)

Si la pulpa y el mucílago generados en la obtención de un millón de sacos de café verde, tipo exportación, se emplearan para la producción de biocombustible se producirían enormes cantidades de biocombustibles de segunda generación, tal y como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Bioetanol obtenido por cada millón de sacos de café verde producido. (13)

Subproducto	Toneladas Generadas	Litros de etanol/tonelada de subproducto	Galones de etanol (gal US)
Pulpa Fresca	162.900	25,17	1.083.274
Mucílago Fresco	55.500	58,37	855.888
Galones de etanol/millón de sacos de café verde			1.939.162

El estudio realizado para la producción de alcohol a partir del mucílago de café, (18) propone un modelo basado en hidrólisis (natural, ácida, alcalina y enzimática) e inóculos de la levadura *Sachharomyces cerivisiae* (presente de forma natural en el mucílago), beneficio para los procesos de hidrólisis y fermentación del mucílago de café.

Teniendo en cuenta la temperatura la cual se realizaron los tratamientos, 75°C para hidrólisis enzimática, 95°C para alcalina y 112 °C para la ácida, en la última temperatura pueden hidrolizarse azúcares reductores como la fructuosa y a la vez se eliminan microorganismos naturales presentes en el mucílago, lo que resulta en menores rendimientos.

Experimentalmente a partir de una tonelada de mucílago fresco puro, procedente de café sin selección, se pueden producir 57,9 L de alcohol del 98,6%.

Los mejores tratamientos para la obtención de etanol a partir del mucílago de café fueron los que se expusieron a hidrólisis y se inocularon con levaduras comerciales, arrojando rendimientos medios de 57,08 mL de etanol por cada kilogramo de mucílago, después de éste se encuentra el sometido a hidrólisis alcalina con un rendimiento medio de 54,65 mL de etanol y por último el de hidrólisis enzimática con rendimiento medio de 54,58 mL de etanol.

Estudios que analizan las posibles aplicaciones biológicas a partir de los subproductos del beneficio del café, afirman que la pulpa y el mucílago de café al hidrolizarse por vía ácida, fermentado con un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* procesado con panela comercial (una solución de panela entera con una concentración de 3% del total de azúcares reductores fue preparada con agua esterilizada, la levadura requerida para el proceso de producción de etanol depende de la proporción de sacarosa en la solución de panela) resulta muy eficiente en el momento de obtener etanol **(17)** . En este proceso fue necesario añadir agua a la materia prima para reducir la cantidad de sólidos solubles, desventaja que representa en la fermentación, porque requiere la mayor cantidad de azúcares concentrados en la muestra.

La descomposición de la materia prima se debe a los cambios en los sólidos solubles, pH, color y olor que se asocian a factores como la calidad del agua empleada en el procesamiento o beneficio del café, esta descomposición también se debe a la actividad de los microorganismos presentes en este tipo de materias como: *Citobacter freundij*, *Enterobacter cloacae*, *Geotrichum spp* y *Gram positivas cocci*, estas no solo son responsables de la fermentación del mucílago sino que a su vez juegan un papel negativo en el sustrato y el producto.

Investigadores realizan la comparación entre los resultados obtenidos en la producción de etanol a partir de la pulpa y del mucílago de café empleando como

un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae* procesado con panela comercial y los resultantes del proceso de desmucilaginado mecánico por Cenicafé, los cuales para este último son de 32 kg de alcohol por metro cúbico de mucílago, extraído del desmucilaginator mecánico usando $9,16 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ por segundo de agua, mientras que para la plantación de café de donde se extrajo la pulpa y el mucílago de café objeto de este estudio, **(17)** se emplea en el desmucilaginator mecánico $1,67 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ de agua por segundo y fermentación con levadura de panadería, resulta 25,44 kg de alcohol por metro cúbico de pulpa y mucílago de café, producción correspondiente al 77,29% del valor de alcohol con respecto al rendimiento teórico.

En el proceso de obtención de etanol, la fermentación es una variable indispensable de controlar, cuando se emplea la pulpa y el mucílago de café para este proceso es necesario realizar hidrólisis ácida para estimular la fermentación y por ende el contenido de azúcares; además para que el balance energético de la producción de etanol, a partir del mucílago de café sea positivo, se deben tratar vinazas mediante descomposición anaerobia y utilizar el metano generado como combustible para el proceso.

3.3.1.4.1 Producción de biogás. La contaminación generada por el vertimiento de los residuos líquidos generados en la producción del café en Colombia, ocasiona un problema ambiental de gran magnitud pues, la composición fisicoquímica del mucílago de café lo clasifica como un residuo que contiene una relación de carbono/nitrógeno de 20.4 **(8)**, característica que lo hace rico como fuente de carbono para la producción de biogás por medio de la digestión anaerobia.

El proceso de digestión anaerobia está diseñado principalmente para tratar residuos con alto contenido de materia orgánica, de forma que se puedan utilizar

para generar nuevas fuentes de energía. En este proceso el inóculo bacteriano descompone la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando biogás que está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono. **(14)**

En la actualidad existen muchos residuos biológicos que son empleados como inóculos en el proceso de digestión anaerobia, por ejemplo los lodos, estiércol de ganado vacuno y porcino. **(25)**

Dentro del diseño experimental del estudio de la producción del biogás a partir de la digestión anaerobia del mucílago de café empleando estiércol de cerdo como inóculo ²⁵ se consideraron tres etapas; inicialmente se realizó la caracterización fisicoquímica del mucílago de café (Ver Tabla 7) y del estiércol de cerdo (Ver Tabla 8). La primera etapa consistió en el estudio de la influencia del pH en la digestión anaerobia del mucílago de café. La segunda etapa se basó en el estudio de la influencia en la relación del inóculo y el sustrato en la digestión anaerobia del mucílago de café y por último en la tercera etapa se concentró en el estudio de la influencia de la temperatura en la digestión anaerobia del mucílago de café. **(25)**

Tabla 7. Resultados de la caracterización fisicoquímica del mucílago.²⁵

PARAMETRO	RESULTADO
pH (Unidades de pH)	5,64
Temperatura (°C)	25,0
Humedad (%)	95,88
Cenizas (%)	1,39
Carbono Orgánico Oxidable Total (% C)	1,53
Nitrógeno(% N)	0,075
Relación C/N	20,4
Fósforo (% P ₂ O ₅)	0,0323
Calcio (% CaO)	0,0285
Cobre (% Cu)	0,00032
Magnesio (% MgO)	0,0070
Potasio (% K ₂ O)	0,345
Sodio (% Na)	0,0034
Hierro (% Fe)	0,0203
Zinc (% Zn)	0,00002
Manganeso (% Mn)	0,00107
Azufre (% S)	<L.D

Tabla 8. Caracterización físicoquímica del lodo estiércol de cerdo. ²⁵

PARAMETRO	RESULTADO
Nitrógeno Total (mg N/L)	1680
Nitrógeno Amoniacal (mg N-NH ₃ /L)	1321
Relación (C/N)	2,92
Carbono Orgánico Oxidable Total (mg/L)	4905

La elección de la mejor relación inoculó/sustrato se halló con base al rendimiento de la producción de metano (Rendimiento de producto en sustrato $Y_{P/S}$), expresado en $m^3 CH_4/Kg$ de sólidos volátiles de mucílago de café.

En los resultados obtenidos, la cinética de consumo de los azúcares reductores totales para los dos puntos de pH (el autor de este ensayo estudio dos niveles de pH; uno de estos a 4,3 el cual corresponde al del mucílago extraído del proceso del beneficio del café en la etapa de desmucilaginado mecánico y el otro valor del pH fue de 7 el cual se ajustó con la ayuda de bicarbonato de sodio) ,se evidencia una alta concentración de azúcares reductores totales con un rápido consumo apuntando al buen arranque del reactor alcanzando un óptimo rendimiento de la hidrólisis. La concentración de los azúcares reductores totales se mantuvo constante lo que explica la estabilidad dentro del bioreactor.

El comportamiento de los ácidos grasos volátiles muestra un consumo en la digestión anaerobia, que resulta atractivo para la producción de acetato y por ende en la producción de metano.

En los ensayos realizados para evaluar la producción de biogás a partir del mucilago de café empleando como inóculo el estiércol de cerdo se observaron los siguientes resultados. (Ver Tabla 9)

Tabla 9. Volumen acumulado y rendimiento de producción de metano (25)

Relación inoculo/sustrato RIS	Volumen acumulado de metano (ml)	Y_{p/s} (m³ de CH₄/Kg SV de sustrato)
1	1639,5	0,25
1,5	2089,4	0,41
2	2770,8	0,73
2,5	2861,3	0,81

Con base en los resultados de la tabla inmediatamente anterior es posible concluir que la producción de metano es inversamente proporcional a la carga orgánica adicionada. Con el fin de aprovechar el sustrato sin afectar significativamente la producción del metano, el autor seleccionó la relación inóculo/sustrato 2 como propicia para el bioproceso con un rendimiento de 0,73 m³ de CH₄/Kg de sólidos volátiles de sustrato de mucílago de café adicionado.

Según los resultados obtenidos de obtención de metano a 25 °C fue de 1806,2 ml, para 30 °C de 2084,6 ml y para 39°C 2770,8 ml, siendo la temperatura de 39°C la más óptima y esto se debe a que la temperatura afecta directamente la velocidad de las reacciones biológicas, influenciando la actividad metabólica de los microorganismos que interviene en la digestión anaerobia.

También se puede concluir que la producción de biogás mediante la digestión anaerobia del mucílago de café depende primordialmente de la relación inóculo/sustrato y de las condiciones de funcionamiento; por otro lado se puede inferir que el inóculo empleado en el citado estudio cumplió con las expectativas de degradación del mucílago de café, facilitando el proceso de digestión.

Esta investigación demuestra que es posible utilizar residuos de biomasa producto de la agroindustria como el mucílago de café para producir biogás que se puede usar como fuente energética en el mismo proceso de producción de café.

3.3.1.5 Utilización del mucílago de café en la alimentación de animales.

Algunos de los subproductos generados en el beneficio del café, como lo es la pulpa han sido estudiados como complementos de la alimentación animal; por ejemplo la pulpa ensilada es un subproducto agrícola con alto contenido nutritivo, muy similar al de un forraje tropical de buena calidad, que tiene un bajo costo y puede usarse en alimentación animal. La pulpa de café se ha utilizado en la alimentación de bovinos, ovinos, peces, aves, conejos y cerdos. **(18)**

En el caso del mucílago de café la mayor fracción de sólidos totales se compone de carbohidratos, particularmente pectinas, y azúcares reductores y no reductores. El mucílago contiene 0,95% de proteínas, 0,08% de grasas y 0,45% de cenizas, adicionalmente, tiene nutrientes fundamentales como K, Ca, Mg, P y un poder calorífico de aproximadamente de 500 Kcal/Kg atribuido a los carbohidratos **(5)**. Esta composición hace del mucílago una buena alternativa como suplemento en la alimentación de animales, lo cual tendría como consecuencia adicional la minimización de efluentes contaminantes.

En el afán de obtener información sobre la asimilación del mucílago de café por los cerdos como complemento en su alimentación, se realizaron dos ciclos de engorde empleando lechones con un peso promedio de 35 Kg y una edad de 90 días. **(5)**

El contenido del concentrado se distribuyó así: 100% (T1), mucílago fresco y fermentado suministrado a voluntad (T14 y T15) y mezclas con mucílago de café en base seca, tanto en estado fresco como fermentado en un 20% y 30%.

A continuación (Ver Tabla 10) se toman del autor el resumen de los tratamientos descritos anteriormente.

Tabla 10. Descripción, de los tratamientos de ceba de cerdos alimentados con alimento concentrado y mucílago de café. (5)

Tratamiento	Porcentaje de concentrado	Porcentaje de mucílago	Estado del mucílago	Adición de sales ²
1	100	0	N.A	N.A
3	80	20	Fresco	Si
4	80	20	Fermentado	Si
5	80	20	Fermentado	No
8	70	30	Fresco	Si
9	70	30	Fermentado	Si
13 ¹	74	26	Fermentado	No
14	0	Voluntad	Fresco	Si
15	0	Voluntad	Fermentado	Si

¹ 13: El alimento se suministró variando la proporción entre los cinco periodos de engorde, así: 20-30-30-30-20 en los días de 0, 14, 28,56 y 70.

Todos los tratamientos, excepto el N°1 se empleó el mucílago en base seca y tipo de café seleccionado.

² La adición de sales en la dieta de los cerdos se realizó aleatoria como método experimental.

Durante la investigación se tomaron datos reales de peso, peso vivo, ganancia en peso, conversión alimenticia, controles sanitarios y constitución de los elementos empleados en la alimentación. De igual manera se evaluó la calidad de la carne, calidad organoléptica del lomo, costillas, perniles y tocino.

Los animales que consumieron concentrado solo o con mezcla de mucílago de café, ganaron peso a través de periodos del ciclo de engorde sin importar la dieta, el tipo de café o el estado del mucílago, encontrando que los animales que consumieron el mucílago a voluntad tanto en estado fresco como fermentado bajaron de peso en su ciclo de engorde 6 kg los primeros 14 días y 1,5 kg en promedio en las siguientes etapas.

Para obtener el peso vivo de 95 kg en el porcino alimentado 70 días con solo concentrado y con un peso inicial de 42, 9 kg se necesita 204 kg de alimento y ganancia en peso de 52,7 kg. Para el tratamiento 80-20 concentrado-mucílago se necesitan cerca de 309,95 kg de alimento, una ganancia en peso de 43,2 kg y un peso vivo de 81,25 kg. A continuación (Ver Tabla 11) se relaciona los pesos en ganancia de cada uno de los tratamientos.

Tabla 11. Promedios de peso (kg) a través de los periodos de engorde, ganancia diaria de peso y conversión alimenticia de cerdos con concentrado y mucílago de café. (5)

Tto	Peso final a los 70 días	Ganancia de peso cada 14 días/ Kg	Ganancia de peso diaria durante los 70 días	Consumo total del alimento (Kg)	Ganancia de peso a los 70 días (Kg)	Cantidad total de alimento para alcanzar 90 (Kg)
1	95,60	10,54	0,77	204,40	52,7	192,6
3	83,04	8,86	0,62	309,95	44,2	335,7
4	81,32	8,66	0,51	309,95	43,2	342,9
5	79,40	8,50	0,62	309,95	42,2	278,1
8	78,92	8,15	0,62	372, 42	40,7	424,0
9	77,52	8,01	0,56	372, 42	40,0	432,0
13	80,20	8,28	0,58	356,16	41,4	399,6
14	28,56	-2,38	0,17	1,852	----	----
15	28,10	-2,60	0,18	1,852	----	----

Los datos arrojados por el análisis de la carne indican que los tratamientos T14 y T15 fueron rechazados por el 52% de las personas que participaron como consumidores debido a su peculiar aspecto, olor, textura y sabor. Las carnes de los tratamientos testigo y mezcla fueron asimiladas muy bien por el 90% de los participantes. (Ver Tabla 12)

Al realizar las pruebas de aceptación para cada tipo de carne no se tuvieron resultados donde se encontraran diferencias entre las características de olor, textura del lomo, perril y tocino como también en su color. Para la asimilación de las costillas de cerdo de los tratamientos aceptados por los catadores se encontró favorable el 92,3%, para el sabor del perril el 91, 9% lo calificaron como muy bien, el tocino se evaluó como excelente por 87% y el lomo con un 85,6% ,arrojando aceptación muy buena en los tratamientos del T1 a T13. El valor nutritivo del tocino se conservó en todos los tratamientos excepto en aquellos tratamientos en los que los porcinos consumieron solo mucílago en su dieta, solo aportó el 35% del valor nutricional del valor normal.

Tabla 12. Aceptación sensorial y química de la carne de cerdo alimentado con concentrado y mucílago de café. (5)

Tratamiento	Aceptación carnes (%)	Humedad (%)	Proteína (%) b.h	Grasa (%) b.h	Cenizas (%) b.h
1	91,5	74,1	19,5	3,0	1,52
3	93,52	74,2	20,2	1,7	1,91
4	93,7	74,5	18,3	1,7	1,41
5	95,57	70,0	19,9	6,4	1,14
8	94,4	64,0	28,7	1,8	1,31
9	93,9	72,0	20,1	3,3	1,53
13	85,57	70,0	22,6	7,6	0,80
14	68,0	77,0	17,0	1,7	1,40
15	0*	74,3	17,1	3,1	1,60

* Textura rechazada por todos los participantes por dura, elástica y no masticable.

De acuerdo al análisis fisicoquímico que se realizó a la carne de cerdo en esta investigación, el autor expone que todas las carnes presentaron contenidos de calcio, potasio y fósforo en su rango normal; las carnes que se descartaron en los tratamientos donde se consumió alto contenido de mucílago fue por su alto contenido de humedad (77%), contenido de grasa de tan solo 1,7% atribuibles a las carnes magras y su contenido proteico inferior al normal. Este tipo de carnes solo aportan el 60% por cada 100 g de carga energética necesaria en la dieta humana. Como análisis complementario se realizaron pruebas de digestibilidad apuntando que el mucílago de café presenta una digestibilidad por el porcino mayor del 90% a lo que se atribuye la composición fisicoquímica de este subproducto al igual que su estado líquido lo que favorecen este proceso.

El mucílago de café no debe emplearse como única fuente de alimento en la dieta de los cerdos por que no posee los elementos nutritivos necesarios para su debida alimentación ni la energía suficiente por el porcino. Es por esto que se recomienda manejar las proporciones adecuadas (Ver Tabla 13) en cuanto al alimento y el sustrato; al suplir el concentrado de estos animales con un 20% de mucílago como suplemento no se alteran las exigencias nutricionales ni rendimientos en cuanto a la calidad de la carne como producto final. Al utilizar este subproducto en la dieta alimenticia del porcino se aporta a la minimización en la contaminación sobre todo en los ecosistemas acuáticos.

Tabla 13. Cantidad de concentrado y mucílago de café recomendada para la alimentación de cerdos, con base en el peso del animal.

Peso (Kg)	Concen trado (Kg)	Mucílago (L)	Café cereza (Kg)	Concentrado Kg/14 días	Mucílago Kg/14 días	Café cereza Kg/14 días
40-50	1.200	1,5	7,5	16,8	21	105
50-60	1.600	2,0	10,0	22,4	28	140
60-70	1.760	2,5	12,5	24,64	35	175
70-80	2.080	3,0	15,0	29,12	42	210
80-90	2.400	3,5	17,5	33,60	49	245
90-100	2.720	4,0	20,0	38,08	56	280
Promedio de cantidad de alimento 1 (Kg/día)						
	1.960	2,75	13,8			
Cantidad total de alimento/Kg (70días)						
					164,4	231
	1,155					

En la tabla anterior se puede obtener la porción diaria requerida para la mezcla del concentrado con el mucílago de café de acuerdo al peso del cerdo. (5) Teniendo en cuenta la composición química del mucílago de café se aconseja iniciar a suministrarlo en la dieta del porcino después de los 40 Kg de peso con el propósito de obtener mejores resultados. El estado favorable del mucílago para esta actividad se debe sacar de forma directa del desmucilaginado en el proceso

del beneficio del café, ya que en esta etapa del proceso se encuentra fresco, la fermentación debe ser muy corta, de máximo 24 horas a temperatura ambiente con el fin de que conserve los elementos nutritivos y si es refrigerado que no exceda los tres días a 4°C.

3.3.1.6 Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café.

Los bioplásticos son materiales biodegradables que pueden ser alternativas viables para disminuir la generación de residuos sólidos y llegan a reemplazarse por polímeros sintéticos. Los bioplásticos se producen a partir de recursos vegetales renovables, como por ejemplo residuos agrícolas de cultivos de soya, maíz, yuca y papa; que debido a su naturaleza es posible que hongos, bacterias y ciertas algas presentes en el ecosistema puedan descomponerlos de manera rápida. Entre los biopolímeros más comunes están los Polihidroxicanoatos (PHA), los cuales se desarrollan mediante la acción de bacterias, estas producen Polihidroxicanoatos como una fuente para guardar energía de manera semejante a los seres humanos y animales. Es por esta razón que las bacterias fermentan azúcares o lípidos para almacenar carbono y energía en forma de PHA.

Por lo general en la industria de bioplástico se cultivan bacterias en un ambiente bajo control para que se multipliquen y obtengan el tamaño adecuado, adicionando nutrientes que coadyuden al proceso de sintetización de PHA, luego se extrae el PHA de las bacterias empleando compuestos químicos que disuelvan la materia de las bacterias, conservando el PHA mediante procesos mecánicos.

La extracción del mucílago de café en este tipo de producción de biopolímeros es esencial por el alto contenido de pectina, evidenciando rendimiento de 82 gr de pectina por cada 10 kg de mucílago, las cuales contienen 35,8% de sustancias

pépticas totales, 45,8 % de azúcares medios y 17% de celulosa **(17)**. El mucílago obtenido para las pruebas de obtención de este biopolímero se explica a continuación. (Ver Tabla 14)

Tabla 14. Características del mucílago de café. **(12)**

Característica	Valor
pH	5,01 ± 0,01
Color	Café claro
Olor	Inoloro
Residuos	Ninguno

Por lo general en la extracción de la pectina se emplean procesos fisicoquímicos en múltiples etapas empleando ácido y alcohol, pero debido a la importancia de conservar el contenido de carbono para *Streptomyces sp*, en la síntesis del PHA se trabaja de forma natural. **(11)**

- **El inóculo se sembró en dos medios:**

El primero en 50 ml Sabouraud como control ajustando el pH a $5,6 \pm 0,1$ con diferentes concentraciones de glucosa: 5, 10,20 y 40 g/l, este ensayo se realizó por triplicado, además se produjo agitación constante de 200 rpm a 25°C, con el fin de favorecer la distribución homogénea del aire dentro de los recipientes.

El siguiente medio hace referencia a las mismas condiciones descritas antes, con la novedad de que la glucosa fue cambiada por mucílago de café proveniente del proceso de desmucilaginado. **(12)**

La siguiente tabla resume la caracterización encontrada del polímero P3HB. (Ver Tabla 15).

Tabla 15. Propiedades físicas del P3HB. (12)

Propiedad	Valor
Temperatura de transición vítrea (Tg)	2°C
Temperatura de fusión	177°C
Cristalinidad	70%
Extensión hasta quebrar	5%
Resistencia a la tracción	40 MPa

A partir de las 50 muestras seleccionadas de los suelos del departamento de Boyacá, Colombia, se alcanzaron a aislar dos cepas donde se tomaron colonias que presentan características de los actinomicetos (Ver Figura 6) tales como textura polvorienta, olor a suelo húmedo, coloración negra, forma redonda, tamaño de colonias grandes, bordes irregulares, consistencia dura y al pasar unas tres semanas se comportan como un hongo. **(6)**

En la siguiente figura (Ver Figura 7), tomada por el estudio de Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café. Se observa el aislamiento de los actinomicetos según características morfológicas que al pasar las tres semanas unos tienen coloración blanca y otros negra, este último lo tomaron por ser predominante bajo las características objetivo del suelo. Luego se tomó parte de este actinomiceto y se cultivó en medio PDA con el fin de conservar su naturaleza. Ver figura 6.

Figura 6. Aislamiento previo de los actinomicetos según características morfológicas.



Fuente: Autor del estudio Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café. **(6)**

Figura 7. Actinomiceto aislado y seleccionado para la producción de biopolímero.



Fuente: Autor del estudio Producción de POLI-3-HIBROXIBUTARATO a partir de la pectina contenida en el mucílago de café. **(6)**

En la siguiente tabla, el autor **(12)** describe la cantidad de producción de PHA de acuerdo a cada una de las concentraciones evaluadas, demostrando la relación directa entre la concentración y la producción de PHA. (Ver Tabla 16).

Tabla 16. Cantidad de producto de acuerdo a cada sustrato. **(12)**

Medio: Mucílago de café		
Concentración (g/l)	Ácido Galacturónico(g)	Producto P3HB (g)
5	3,25	0,04
10	6,5	0,08
20	13	0,15
40	26	0,31
Medio: Sabouraud		
Concentración (g/l)	Glucosa (g)	Producto P3HB (g)
5	5	0,05
10	10	0,10
20	20	0,19
40	40	0,38

La anterior información muestra una mayor producción de P3HB cuando se emplea glucosa como sustrato, esto se debe a que la glucosa es un carbohidrato de cadena corta, que permite ser metabolizado de forma más eficiente por medio de la glucosis. Mientras que el mucílago se compone de pectina fibra natural en un 30% y a la vez ésta se compone en su mayoría de 65% del ácido galacturónico que es la fuente principal del carbono **(2)**.

Con respecto a los resultados obtenidos del crecimiento de actinomiceto en medio sabouraud y mucílago de café después de tener 48 ensayos empleando los dos sustratos, se observó que los microorganismos que se encontraban en

concentración de 10 g/l de glucosa (medio sabouraud) tiene menos del 70% de crecimiento comparado al mucílago de café de 10 g/l atribuibles a las necesidades nutricionales de las cepas al crecer en diferentes condiciones de nutrientes.

En cuanto al comportamiento de los azúcares reductores totales el autor **(12)** expone que en los medios Sabouraud la concentración de glucosa en el tiempo cero comienza desde la concentración planteada con un rango de diferencia cerca de un 5%, se registran datos de 5 g/l, 10 g/l, 16 g/l, y 35 g/l; mientras que las muestras en el medio Sabouraud modificado con mucílago de café en lugar de glucosa en el momento cero, empieza más o menos en la mitad de la concentración planteada semejante al 53% de 3 g/l, 7 g/l, 10 g/l y 14 g/l; esto se debe a que las pectinas; el ácido galacturónico en dicho momento no se ha desdoblado en glucosa.

El ácido galacturónico es un sustrato que necesita adaptación de parte de los microorganismos, para poder obtener resultados óptimos, pues este sustrato tiene un proceso más arduo para desdoblar su tamaño por parte de los microorganismos. De tal manera las cepas que no poseen con anticipación adaptación a este sustrato no presentan eficiencias en cuanto a su crecimiento y llegan a utilizar entre el 5% y 10% en un tiempo de 5 horas, lo cual es muy bajo al ser comparado con los microorganismos adaptados que en ese mismo tiempo utilizan entre el 60 y 70 % del sustrato. **(16)**

Con base a este tipo de estudios, se obtienen resultados que indican que existe una alteración en el crecimiento al ascender la concentración de glucosa inicial, esto se presenta por la elevada fuente de carbono. En los ensayos con concentraciones mayores a 10 g/l, se observa que el crecimiento se debilita por

la presencia de algún nutriente que no está en la cantidad pertinente en el medio definido. **(3)**

La producción teórica con mucílago de café a una concentración de 10 g/l es de 0,08 g de PHA **(3)**, en el ensayo se obtuvo 0,013 g de PHA presentándose un rendimiento de 16,25% **(12)**. Con base en la teoría de Franco & Gómez **(9)** donde se empleó *Streptomyces subbrutilus* se evidenció un rendimiento del 27,48%. Es por esto que el mucilago de café se convierte en una materia prima viable para la producción de biopolímero, de igual manera se concluye que el microorganismo necesita un periodo de adaptación con el mucílago porque su metabolización compleja retrasa el proceso de producción de PHA.

Los procesos de caracterización del polímero por el método infrarrojo con transformación de Fourier y termogavimétrico empleados en este estudio afirman que el polímero formado corresponde a P3HB **(12)**

3.3.1.7 Proceso para la obtención de miel a partir del mucílago de café. El beneficio de café es una de los procesos agroindustriales que aportan más contaminación a los recursos naturales en el mundo, la mayor parte de las zonas a nivel mundial desarrollan esta actividad por vía húmeda, generando grandes descargas de aguas residuales a las fuentes hídricas, provocando la eutrofización o saturación de la materia orgánica causando la muerte de peces y plantas.¹ Es por esto que la generación de los subproductos del café se ha convertido en un punto de investigación para hacer de estos la conversión en materia prima, teniendo en cuenta esto la presente monografía se enfoca en uno de estos subproductos: el mucílago de café, éste se caracteriza por su composición basada en carbohidratos, azúcares reductores y no reductores y compuestos pécticos.

El mucílago de café representa el 22% en peso del café despulpado y el 13 % del peso del grano maduro y contribuye con el 28% de contaminación generada por el beneficio húmedo del café, representando en promedio a una DQO de 120.000 mg/l. El mucílago de café está conformado por 84,2 % agua, 8,9% de proteína, 4,1% azúcares reductores, 0,91 % de ácido péctico y 0,7% de cenizas.

(38)

En el año 2011 en el departamento de Antioquia, Colombia se presentó un proyecto que pretendía extraer miel del mucílago de café, y luego en el año 2012 fue apoyado y galardonado por el premio Innovadores de América. En la actualidad el proyecto se basa en una planta demostrativa de miel de café que está ubicada en el sur oriente antioqueño, con capacidad de 1500 kilo/día de miel, esta planta recibe 12.000 litros diarios de mucílago de café, el proceso inicia cuando se transporta el mucílago del beneficiadero de café, luego pasa a un separador centrífugo por gravedad que maneja un caudal de 3000 litros/hora, el mucílago obtenido de la etapa anterior es atravesado por un tamiz de 0,4 mm para la preparación de materia prima con fines de alimentación animal, y por un tamiz de 0,1 mm para la alimentación humana.

Con el fin de extraer la mayor cantidad de sólidos suspendidos, garantizando un producto puro y libre de elementos extraños, por la parte superior del separador salen los sólidos prensados y por su parte inferior el líquido extraído; al final pasa a unos tanques que son transportados a la planta de producción de miel, con una capacidad 10000 litros de mucílago, luego este subproducto es conducido a un proceso de tratamiento enzimático, sometido a un proceso de calentamiento a una temperatura que se encuentra en un rango de 50 °C a 80°C, para disminuir la carga microbiana, luego de disminuir la temperatura a 45°C se le adicionan 100 ppm de enzimas pectolíticas, actividad que se encarga de degradar la pectina contenida en el mucílago de café y de esta manera obtener la

clarificación del mucílago, esta actividad es primordial ya que permite la ruptura de las paredes de las células vegetales favoreciendo la salida del agua en el proceso de evaporación. **(35)** Es así como las enzimas pectolíticas favorecen la liberación del contenido celular del mucílago y por ende la degradación de la pectina. Los creadores de este proyecto tienen como objetivo en este punto del proceso la obtención de un mucílago más estable, rico en compuestos fenólicos y más sencillos de clarificar. En otras palabras lo que ocurre con la ruptura de las cadenas de las pectinas es ayudar a que se libere el agua natural contenida en el mucílago y al presentarse este evento se puede aumentar la concentración de los nutrientes en el proceso de evaporación y digestión.

Por último ingresa en un equipo en donde se realiza una deshidratación al vacío a temperaturas no mayores a 60°C para evitar la degradación de los nutrientes, alta digestibilidad y palatabilidad, esta materia en estado seco está compuesta en gran parte por aminoácidos y azúcares reductores y no reductores, el residuo obtenido en todo este proceso después de obtener la miel de mucílago es agua destilada que es vertida a las fuentes hídricas ayudando a descontaminar el recurso natural **(35)**. Según los análisis realizados a este mucílago, en principio conserva de 7 a 11° Brix y cuando se elimina el agua contenida llega a 55° Brix, obteniendo los siguientes resultados en el producto final (Ver Tabla 17,18,19,20). Este mucílago concentrado es lo que se conoce como la miel del mucílago produciendo por cada 7 litros de mucilago tratado un litro de concentrado de miel y 6 lt de agua evaporada. **(35)**

Tabla 17. Análisis bromatológico. (35)

Descripción	Composición (%) de la miel a partir del mucílago de café	Composición (%) de la miel ³⁶
Humedad	30-40	20
Energía bruta	2345 Cal/g	3,3 Cal/g
Proteínas	4,46	0,40
Fibra cruda	2,35	0
Grasas	0,0	0
Cenizas	2,35	0,6
Azufre	0,08	0,0058
Calcio	0,18	1,0
Cobre	10,59 ppm	0,29 ppm
Fósforo	0,07	0,0035
Hierro	135,29 ppm	2,4 ppm
Magnesio	0,04	0,0019
Manganeso	38,82 ppm	---
Potasio	0,69	1,0
Sodio	0,05	0,0018
Zinc	4,71 ppm	---
Grados Brix	55	---
Polifenoles	mg GAE/100 g 380,3	---

Tabla 18. Características sensoriales. (35)

Parámetro	Especificación
Color	Característico
Olor	Característico al producto libre de olores extraños y a putrefacción.

Tabla 19. Características físicas. (35)

Parámetro	Especificación
Presentación	Miel gelatinosa

Tabla 20. Análisis microbiológico. (35)

Parámetro	Resultado
Clostridium perfringens	Ausente en un gramo
Enterobacterias	100-500
Salmonera	Negativo

Una vez obtenidos estos resultados los productores de esta elaboración de la miel de café afirman que esta materia prima puede ser empleada en la producción de varios productos como alimentación de humanos, de animales,

etanol, entre otros; por su alto contenido de azúcares, proteínas y minerales los cuales resultan beneficiosos en la salud del consumidor.

Nuestro cuerpo está sometido a diario a un inevitable proceso químico que envejece y destruye nuestras células, este proceso se conoce como oxidación y se produce a causa de varios factores como la contaminación ambiental, radiaciones, agentes químicos y agentes infecciosos, incluso sustancias químicas que se generan en el interior de nuestro cuerpo contribuyendo a la oxidación; todo este proceso conlleva a la formación de radicales libres, moléculas de oxígeno inestable que han perdido un electrón y al tratar de robarlo de otra molécula en su estado natural, inicia una reacción en cadena que tiene efectos perjudiciales para nuestro cuerpo, provocando alteraciones como el envejecimiento prematuro, enfermedades como diabetes, artritis, degenerativas, cáncer y del corazón. En este gran problema juega un papel principal los antioxidantes, sustancias naturales que neutralizan los radicales libres y los convierte en moléculas óptimas de oxígeno, previniendo el envejecimiento prematuro y las demás enfermedades derivadas de este proceso, beneficiando así la vida de las células y por ende de gran beneficio para nuestra salud.

La percepción general que se tiene sobre la calidad de vida de un ser humano se relaciona en gran parte con el estado de salud, pero existen factores externos que interviene a diario como la calidad del aire que se respira, las radiaciones solares y los alimentos que ingresan que consume, alterando las moléculas de oxígeno, generando la oxidación que si no es combatida produce enfermedades.

El fruto de maqui y las uvas (piel/pulpa/semilla) contienen los tipos de polifenoles más valiosos y efectivos, entre los que se encuentran las antocianinas y las delfinidinas del grupo flavonoides, que por sus propiedades antioxidantes y su participación en procesos sensoriales de los alimentos naturales, traen beneficios

a la salud como el tratamiento y prevención de cáncer, enfermedades cardiovasculares, y otras derivadas de origen inflamatorio, **(34)** después del estudio y la extracción de la miel de mucílago se concluye que el mucílago de café tiene cinco veces más antioxidantes que el té la uva.

Es por eso que luego de evidenciar las características que se pueden obtener del mucílago de café como los polifenoles, minerales y proteínas, se producen una bebida energizante en presentación de granizado, helados, bebidas calientes y frías, que actúan como antioxidante liberando los radicales libres ayudando a restaurar el sistema inmune y previniendo el daño en el tejido celular. **(34)**

4. CONCLUSIONES

Es posible utilizar el mucílago de café en aplicaciones tan variables como la producción de biocombustibles (bioetanol y biogás), fabricación de abono orgánico (compostaje y lombricompostaje), obtención de monómeros y polímeros (ácido láctico y PHA'S) como suplemento en la dieta de animales (cerdo, bovinos) y como antioxidante.

Tanto la pulpa como el mucílago de café son subproductos altamente favorables en el proceso de compostación y lombricompostación ya que poseen una alta carga microbiana.

El mucílago de café se puede transformar en un sustrato rico para ser usado en procesos biotecnológicos para la producción de ácido láctico por fermentación con hidrólisis enzimática.

La utilización del mucílago de café como complemento nutricional en la dieta de los cerdos resulta adecuada ya que posee elementos nutritivos que favorecen el crecimiento del animal.

El mucílago de café puede ser una fuente de carbono viable para la producción de biopolímeros, con la salvedad de que los microorganismos empleados en esta producción deben ser adaptados al mucílago de café ya que el ácido galacturónico presente en el residuo puede afectar la producción de PHA.

La evidencia en la existencia de polifenoles en el mucílago de café, minerales y proteínas, enaltece a este subproducto en la generación de una bebida antioxidante para regular el metabolismo en los seres humanos.

Es evidente que al usar este tipo de aplicaciones en las fincas productoras de café se generan efectos positivos tanto para el ambiente como para las personas que se involucran en el proceso del beneficio del café como es la generación de nuevos ingresos, por otro lado es muy importante resaltar que al hacer uso de estas aplicaciones se generarían menos volúmenes de aguas contaminadas, disminución de la cantidad de materia orgánica, recuperación progresiva de la calidad físico-química del agua contaminada, estabilidad en los ecosistemas acuáticos y protección de los suelos.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Arias, M., Henao, L., Castrillón, Y. Producción de Ácido Láctico por fermentación de mucílago de café con *Lactobacillus Bulgaricus* NRRL-B548. *DYNA* 2008, 76 (158), 147-153.
- (2) Armas, E., Cornejo, N., Murcia, K. Propuesta para el aprovechamiento de los subproductos del beneficiado del café como una alternativa para la diversificación de la actividad cafetelera y aporte de valor a la cadena productiva. Universidad de el Salvador. 2002, 1-682.
- (3) Banacore, A., Martínez, G., Saravia, V. Producción de Polihidroxicanoatos (PHA) por *Bacillus sp.* utilizando glicerol como fuente de carbono. Departamento de bioingeniería Universidad de la Republica de Paraguay 2004, N.º 1-9.
- (4) Blandon, G., Davila, M., Rodríguez, N. Caracterización microbiológica y físico-química de la pulpa de café sola y con mucílago de café en el proceso de lombricompostaje. *Av. Técnicos Cenicafé*. 1999, 50 (1), 5-23.
- (5) CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. CENICAFÉ. Disciplina Química Industrial. Estrategias para el manejo y valorización de los subproductos del proceso de beneficio húmedo del café. Chinchiná, *Cenicafé*, 1993. 1-12.
- (6) Correa, M. Evaluación de caracteres PGPR en Actinomicetos e Interacciones de estas Rizobacterias con Hongos Formadores De Micorrizas. Universidad de Granada .2008, 1-260.
- (7) Esquivel, P., Jiménez, V. Functional properties of coffee and coffee by-products. *Revista ELSEVIER*. 2012, (46), 488-495.
- (8) Franco, F., Rodríguez, J. Caracterización reológica de la goma de mucílago de café. Universidad Autónoma de Chapingo. 1997, 1- 114.
- (9) Franco, M., Gómez, D., Castro, N., Rendón, M. Polihidroxicanoatos en actinomicetos nativos de suelos colombianos. *Revista Perú biología* 2009,

- 16 (1), 115-118.
- (10) Garcia, C., Arrázola, G., Durango, A. Producción de Ácido Láctico por vía Biotecnológica. *Temas Agrarios* 2010, 15 (2) 1-26.
 - (11) García, J. Evaluación del rendimiento de extracción de pectina en aguas mieles del beneficiadero de café procedentes del desmucilaginado mecánico. Universidad de el Salvador. 2009, 1-127.
 - (12) Gonzalez, M. Obtención de POLI-3-HIBROXIBUTARATO (P3HB) a partir de la extracción de pectina del mucílago de café con *Streptomyces sp.* aislados de suelos de Boyacá (Colombia). Universidad de la Sabana. 2014, 1-66.
 - (13) Hernandez, M., Rodriguez, M., Yves, A. Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure. *Bioresource Technology*. Elsevier. 2014, 1-12.
 - (14) IDEAM. *Estudio Nacional del Agua*. 2014.
 - (15) Kraght, A., Starr, M. Fermentation of galacturonic acid glucose by a strain of *Erwinia carotovora*. *Department Bacteriol.* 1952, 64 (2), 259-264.
 - (16) Navia, D., Velazco, R., Hoyos, J. Production and evaluation of ethanol from coffee processing by-products. *Revista de la facultad de química farmacéutica*. Universidad de Antioquia 2011, 18 (3), 1-8.
 - (17) Noriega, A., Silva, R., Garcia de Salcedo, M. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. *Zootecnia Trop.* 2008, 26 (4), 411-419.
 - (18) Pabon, J., Sanz, R., Oliveros, C. Efecto de dos prácticas empleadas con café desmucilaginado mecánicamente en la calidad y el impacto ambiental. *Cenicafé* 2008, 59 (3), 214-226.
 - (19) Pabon, J., Sanz, R., Oliveros, C. Manejo del café desmucilaginado mecánicamente. *Cenicafé* 2009.
 - (20) Peñuela, A. Estudio de la remoción del mucílago de café a través de la fermentación natural. Universidad de Manizales. 2010, 1-84.
 - (21) Perdomo, J., Mendieta, J. Factores que afectan la eficiencia técnica en el

- Sector Cafetero Colombiano Universidad de los Andes. 2007, 1-20.
- (22) Porras, L., Lopez, A. Importancia de los grupos fenólicos en los alimentos. Temas selectos de ingeniería de alimentos. Universidad de las Américas Puebla 2009, 121-134.
 - (23) Puerta, G. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café *Cenicafé* 1999, 50 (1), 78-88.
 - (24) Puerta, G. Buenas prácticas agrícolas para el café. *Av. técnicos* 349 *Cenicafé* 2006, 12.
 - (25) Puerta, G. Cinética química de la fermentación del mucílago de café a temperatura ambiente. *Cenicafé* 2013, 64 (1), 42-59.
 - (26) Puerta, G., Ríos, S. Composición química del mucílago de café según el tiempo de fermentación y refrigeración. *Cenicafé* 2011, 62 (2), 23-40.
 - (27) Pushpa, M., Madhava, M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition. *Revisita ELSERVIER*. 2012, (66), 45-58.
 - (28) Ramirez, A., Jaramillo, J. Proceso para la obtención de miel y/o harina de café a partir de la pulpa o cascara y el mucílago del grano de café. Patente WO 2013088203 A1. Jun 2003.
 - (29) Rathinavelu, R., Graziosi, G. Potential alternative use of coffee wastes and by-products. *International Coffee International*. 2005, 1-4.
 - (30) Rodriguez, N. Experiencias recientes en el uso de los subproductos del café. *Cenicafé* 2011, 1-20.
 - (31) Rodriguez, N., Zambrano, D. Los subproductos del café: fuente de energía renovable. *Av. Técnicos Cenicafé* 2010, N.º 3, 1,2,3,4,5,6,7,8.
 - (32) Rodríguez, N., Zambrano, D. Producción de alcohol a partir del mucílago de café. *Cenicafé* 2011, 62 (1), 56-69.
 - (33) Rozo, P. La miel y sus propiedades. *Laboratorio Apifarma*. 2012, 1-16.
 - (34) Sanz, J., R. Oliveros, C., Ramírez C., López, U., Velásquez, J. Controle los flujos de café y agua en el módulo Becolsub. *Cenicafé. Av. Técnicos* 2011, 405 (1), 1-8.

- (35) Sarasty,D. Alternativas de tratamiento del mucílago residual producto del beneficio del café.Universidad Industrial de Santander. 2012, 1-99.
- (36) Suarez, J.Aprovechamiento de los residuos provenientes del beneficio del café, en el municipio de Betania Antioquia: usos y aplicaciones. Corporación Universitaria Lasallista. 2012, 1-55.
- (37) Ulloa, J., Van Weerd, J.,Huisman,E.,Verreth,J. Tropical agricultural residues and their potential uses in fish feeds: the Costa Rica situation. Revsita ELSERVIER. 2004, 89-97.
- (38) Valencia, N. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. Seminario Internacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. 2000, 1-10.
- (39) Vega, M., Rondón, Y. Estudio preliminar de la producción de biogás a partir de la digestión anaerobia del mucílago de café utilizando lodo estiércol de cerdo como inóculo. Universidad Industrial de Santander 2012, 1-59.
- (40) Zambrano, D., Rodriguez, N., López, U.,Orozco,P.,Zambrano, A.Tratamiento anaerobio de las aguas mieles del café.*Cenicafe* 2006, 53, 1689-1699.