

**Usos alternativos de la borra de café (*Coffea Arabica*) como valorización del subproducto
en la industria alimenticia**

Claudia Marcela Núñez Mejía

Asesora

July Alexandra Hernández López

Magíster en Química

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías - ECBTI

Ingeniería de Alimentos

2024

July Alexandra Hernández López

Magíster en Química

Jurado

Jurado

Ibagué-2024

Dedicatoria

A Dios todopoderoso por concederme la oportunidad de ser profesional y darme fuerzas para luchar a diario por alcanzar una nueva meta. A mi madre Rosa que ha sido el pilar de mi vida y con su sacrificio me enseñó a trabajar fuertemente y nunca desfallecer, a mi hermana Lorena con quien puedo contar en cada momento y siempre está ahí pese a sus dificultades. Finalmente a Bella, Burbuja y Agatha.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD por permitirme estudiar allí y por su excelente formación de calidad, a July Hernández mi tutora y asesora de este trabajo, sin ella no hubiera sido posible. A mis jefes de Almacafé Angélica -Juanita quienes me han apoyado para estudiar y laborar; y me motivan a ser mejor cada día.

Gracias al Café que me enamoró y me impulsó por este camino tan duro y prometedor de estudiar Ingeniería de Alimentos.

Resumen

En la presente monografía se realizó una revisión bibliográfica de documentos académicos, sobre el subproducto denominado borra de café o posos de café gastado, se revisaron textos en español, inglés y en portugués. Cabe señalar que este residuo es poco apreciado y su aprovechamiento es mínimo en la industria alimenticia, por tanto, el objetivo de este trabajo es conocer los precedentes de investigaciones realizadas sobre el uso de la borra de café y dar a conocer sus aplicaciones viables que puedan ser de valor agregado para implementar en la industria alimentaria.

Para el desarrollo de esta monografía se consultaron cien (100) documentos científicos como artículos, investigaciones universitarias, tesis de grado, revistas y demás fuentes generadoras de contenidos confiables y verídicos. De esta revisión se obtuvo información de gran utilidad para el uso de la borra de café en la siembra de hongos comestibles empleado como sustrato, la adición de borra de café en formulaciones de producto de panadería entre los que se destacan las galletas, panes integrales y muffins, de igual manera en la elaboración de bebidas fermentadas, la extracción de pigmentos o colorantes y de antioxidantes y celulosa, también se identificó que la borra puede ser empleada como conservante, así como material para elaborar envases y utensilios para alimentos y en aplicaciones medioambientales como fertilizante, absorbente, para la extracción de biocombustibles y en aplicaciones medicinales. De tal manera que este subproducto tiene variada aplicación en la industria, y en especial en procesos alimenticios mediante transformaciones técnicas.

Palabras clave: industria, transformación, alimentos, nutrientes, borra de café.

Abstract

In this monograph, a bibliographic review of academic documents was carried out on the by-product called coffee grounds or spent coffee grounds; texts in Spanish, English and Portuguese were reviewed. It should be noted that this waste is little appreciated and its use is minimal in the food industry, therefore, the objective of this work is to know the precedents of research carried out on the use of coffee grounds and to publicize its viable applications that can be of added value to implement in the food industry.

For the development of this monograph, one hundred (100) scientific documents were consulted, such as articles, university research, degree theses, magazines and other sources that generate reliable and truthful content. From this review, very useful information was obtained for the use of coffee grounds in the planting of edible mushrooms used as a substrate, the addition of coffee grounds in bakery product formulations, among which cookies, whole wheat breads and muffins, in the same way in the preparation of fermented drinks, the extraction of pigments or dyes and antioxidants and cellulose, it was also identified that the fluff can be used as a preservative, as well as a material to make containers and utensils for food and in environmental applications as a fertilizer, absorbent, for the extraction of biofuels and in medicinal applications. In such a way that this byproduct has a variety of applications in industry, and especially in food processes through technical transformations.

Keywords: *Industry, transformation, food, nutrients, coffee grounds*

Tabla de Contenido

Introducción	12
Planteamiento del Problema	13
Pregunta de Investigación.....	14
Justificación	15
Objetivos	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos.....	17
Aspectos Metodológicos.....	18
Marco Teórico.....	20
Origen Botánico del Café.....	20
Características Botánicas	23
Química del Café	25
Compuestos Bioactivos.....	25
Compuestos Químicos del Café Tostado	28
Borra de Café o Posos de café Gastado	29
Propiedades Físicoquímicas de la Borra de Café.....	31
Potencial Uso de la Borra de Café en la Industria de Alimentos.....	33
Sustrato para Cultivar Hongo Pleurotus Ostreatus	33
Extracción de Antioxidantes	36
Colorante o Pigmentos para Alimentos Extraídos de Borra de Café.....	37
Borra en la Industria de Panificación.....	38

Elaboración de Galletas	39
Elaboración de Muffins.....	42
Elaboración de Pan Integral	45
Elaboración de Bebidas Fermentadas y Destiladas	46
Conservante de Alimentos Natural	48
Extracción de Celulosa	49
Efectos de Mananoligosacáridos Presentes en la Borra de Café o Posos de Café Gastado.....	52
Borra de Café como Material para Elaboración de Envases y Utensilios para Alimentos.....	53
Potencial Uso de la Borra de Café en la Conservación del Medio Ambiente	57
Borra de Café Empleado como Fertilizante.....	58
Borra de Café con Propiedades Absorbentes.....	60
Recuperación de Taninos Presentes en la Borra de Café.....	61
Biocombustibles a Partir de Borra	62
Borra de Café como Sustrato de Microbiota Humana	65
Conclusiones.....	67
Referencias	69

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Composición Química del Grano de Café Almendra</i>	25
Tabla 2 <i>Sustancias Bioactivas Presentes en el Café</i>	27
Tabla 3 <i>Análisis de la Borra de Café</i>	32
Tabla 4 <i>Tipos de Biomasa y sus Características</i>	63

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Algunos Procesos en los que se Emplea Borra de café</i>	18
Figura 2 <i>Árbol Genealógico del Café, Cruces y Mutaciones</i>	21
Figura 3 <i>Planta de Café Arábica</i>	23
Figura 4 <i>Partes de un Grano de Café (C. arábica)</i>	24
Figura 5 <i>Fruto de Café</i>	24
Figura 6 <i>Estructura Química de los Compuestos Presentes en el Café.</i>	26
Figura 7 <i>Granos de Café Tostado</i>	29
Figura 8 <i>Borra de Café o Posos de Café Gastado</i>	30
Figura 9 <i>Proceso de Cultivo del Hongo Pleurotus Ostreatus Cultivado en Borra de Café</i>	35
Figura 10 <i>Galleta Elaborada con Posos de Café</i>	40
Figura 11 <i>Muffins Incorporados con Concentraciones Crecientes de Borra de Café</i>	44
Figura 12 <i>Imágenes en Microscopio de Películas Compuesta Derivadas de la Borra de Café</i>	51
Figura 13 <i>Bioplásticos Obtenidos por la Adición de Subproductos de Mango, Jamaica y Café</i>	54
Figura 14 <i>Película Plástica a Partir de Borra de Café</i>	55
Figura 15 <i>Ejemplo de Plantas Recolectadas en el Momento de la Cosecha</i>	59
Figura 16 <i>Tazas Elaboradas con Borra de Café</i>	62

Lista de Apéndices

Apéndice A *Infografía del Proceso Productivo del Café* 79

Introducción

El café colombiano es el producto líder de exportación, Colombia es el tercer productor internacional de sacos de café, reconocido por su atributo de suavidad y dulzura (Federación nacional de cafeteros, 2023).

El café en todo su proceso industrial produce residuos, desde la recolección hasta su torrefacción a nivel industrial, uno de los desechos que se genera de este proceso térmico es la borra, el cual es enviado para eliminarse en los botaderos de basura o rellenos sanitarios, porque realmente no se utiliza al ciento por ciento, solo algunas fábricas de café liofilizado las emplean como materia prima para sus calderas o equipos que emplean vapor de agua para su funcionamiento (Rodríguez & Zambrano, 2013).

Teniendo en cuenta lo anterior, se hace necesario iniciar procesos de aprovechamiento de los residuos y mitigar en parte la contaminación medioambiental que día a día se está llevando a cabo por los seres humanos, la reutilización de los restos de café se convierte en la posibilidad de darle un valor agregado y avanzar en la consecución de un medio ambiente libre de contaminantes.

En el desarrollo de esta monografía se tuvo por objetivo conocer las propiedades físicoquímicas incluso sensoriales de la borra de café, de esta manera visualizar la forma de emplear su potencial en la industria de alimentos y la viabilidad de su uso en las aplicaciones donde pueda llegar a favorecer no solo al ser humano sino al medio ambiente.

Planteamiento del Problema

A nivel mundial, en los años 2022/2023 la producción de café fue de 167,07 millones de sacos, de 60 kg de los cuales Brasil produjo 61,5 millones de sacos, la producción nacional estuvo reflejada en alrededor de 10,6 millones de sacos (Federación nacional de cafeteros,2023).

En Colombia, en el departamento del Tolima es de producción cafetera, según cifras del Comité de cafeteros, de 47 municipios, 38 producen café, la mayoría de los hogares inician su día con una taza de café, se consume esta bebida con regularidad a cualquier hora del día, este producto ha generado reconocimiento a nivel internacional y aporta a la economía del país.

Se considera que menos del 5% de la biomasa generada en el procesamiento del café se utiliza en la elaboración de la taza de café, el resto son residuos representados en materiales vegetales madera, hojas, cáscaras provenientes de la renovación de los cafetales; no solo granos maduros y rojos caen, también granos verdes caen en la cosecha o que se separan de la cantidad de café recolectado. La producción de café genera subproductos como la pulpa, que equivale a aproximadamente al 44% del peso del fruto fresco, y la borra o ripio, que se produce durante la fabricación de café instantáneo y resulta de la preparación de la taza de café a partir del tostado y molienda de los granos. Esta borra representa cerca del 10% del peso del fruto fresco y contiene entre un 10% y un 15% de aceites en base seca (Rodríguez & Zambrano, 2013).

Pero poco se habla del residuo que queda de su preparación, conocido como los restos de café, el restante sólido que queda después de preparar café mediante métodos como la filtración, la prensa francesa o la cafetera espresso, que está compuesto principalmente por los posos de café molido que se utilizan para hacer la bebida. Ésta suele ser húmeda después de la preparación del café, pero una vez que se seca, se convierte en un material crujiente y quebradizo, que suele ser desechada del hogar y enviada a los basureros y rellenos sanitarios locales, puesto que poco

se conoce acerca del proceso de reciclaje o creación de composta con este producto.

Al llegar a su lugar de disposición final son arrojados con el resto de las basuras, allí no recibe tratamiento, ni es reciclada, situación que genera contaminación en la tierra, por los lixiviados que llegan a las afluentes hídricas cercanas.

Teniendo en cuenta lo anterior se compiló información científica y técnica para el aprovechamiento de la borra de café, aunque diversas investigaciones han evaluado las propiedades fisicoquímicas del subproducto, aún no existe un documento que determine la viabilidad de este subproducto para la transformación y el desarrollo de materia prima para la industria alimentaria, es por lo que se identifica la necesidad de recopilar la información del potencial de este subproducto. Este trabajo identificó los principales usos de este residuo del café, en la industria alimenticia y la manera en que se puede socializar el mecanismo para generar su aprovechamiento en la ciudad de Ibagué.

Pregunta de Investigación

¿Cuáles son las alternativas de uso de la borra de café y cómo estas pueden ser aplicadas en la industria de alimentos?

Justificación

La borra de café es un residuo proveniente de la extracción del grano tostado y molido después de la elaboración de la infusión, y de este subproducto es factible obtener cantidades importantes de compuestos bioactivos polifenólicos, incluyendo ácido clorogénico y ácido feruloil quínico, entre otros. Gracias a su alto porcentaje de compuestos bioactivos presentes en el residuo del café, se está estudiando y analizando sus propiedades, con la finalidad de conseguir extractos con una alta concentración de estos compuestos, para que puedan ser empleados como material principal y para creación de nuevos insumos o producto en la agroindustria, con una elevada concentración de compuestos biológicos de elevada capacidad, aportante de elementos como agentes oxidantes convirtiendo un subproducto vegetal derivado del café en un insumo factible para emplear en alimentos y fármacos (Puertas *et al.*,2013).

En algunas empresas este residuo es empleado para su uso como abono en los jardines o para composta, en las instalaciones de producción de café instantáneo, después de la extracción de la borra esta se utiliza como combustible en las calderas generadoras de vapor de agua, Su valor calorífico está entre 24,91 MJ/ kg (32) y 29,01 MJ/kg de borra seca (Rodríguez & Zambrano, 2013). Pero en otros sitios este desecho se deposita en los botes de basura que posteriormente se envían a los rellenos sanitarios donde esta biomasa es causante de gases de efecto invernadero, debido a su alta demanda de oxígeno para su degradación. En la atmósfera de la tierra, los principales GEI son el vapor de agua (H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O), el metano (CH₄) y el ozono (O₃) (Ballesteros & Aristizabal, 2007).

Algunas empresas comprometidas y preocupadas por el cuidado del medio ambiente emplean este producto como biocombustible para el funcionamiento de sus equipos y/o maquinaria de vapor de agua; la extracción de aceite o colorante alimenticio en la agroindustria.

Ahora bien, desde una visión interdisciplinar la monografía aporta desde la ingeniería de alimentos, el grupo de investigación GIEPRONAL y su semillero SEPRON-BIOTECAL, permite la creación de nuevo conocimiento de alto impacto conforme a la línea de investigación: Ingeniería en procesos de alimentos y biomateriales, para la investigación a documentar acerca de la generación de alternativas de los posibles usos en la industria alimentaria, que brinden el valor agregado a la materia prima subproducto borra de café.

Por lo anterior, resulta fundamental documentar los usos y la transformación de la borra para contribuir en el desarrollo industrial a nivel nacional e internacional; debido a que, al dar un valor extra a la borra de café, que contiene una fuente natural de compuestos con propiedades antioxidantes, permita la transformación de un residuo ordinario, en un material de características convenientes para la industria alimentaria y contribuir con el impacto ambiental.

Objetivos

Objetivo General

Documentar el uso alternativo de la borra de café como valorización del subproducto para su uso en la industria alimentaria.

Objetivos Específicos

Recopilar información pertinente sobre la composición y propiedades fisicoquímicas de la borra de café, como insumo para el desarrollo de productos para la industria alimentaria a nivel nacional e internacional.

Establecer la aplicación y usos potenciales del aprovechamiento del subproducto borra de café.

Proponer alternativas de reducción del volumen de residuo borra de café aportando al medio ambiente una fuente de energía renovable a la industria alimenticia.

Aspectos Metodológicos

La metodología empleada en el desarrollo de esta monografía es de alcance descriptivo sobre la composición y propiedades fisicoquímicas de los restos de café, para ello se realizaron distintas revisiones bibliográficas y selección de artículos en revistas indexadas, tesis, artículos científicos, libros en línea y en físico, de tal manera que este trabajo académico es de carácter interpretativo, basado en la literatura consultada a documentos publicados desde 1999 hasta 2023. Se consultaron cerca de 100 documentos de los cuales 73 se emplearon para la realización del presente documento.

La información recolectada durante la revisión se organizó en tablas de composición de elementos y de esta manera se analizó el uso potencial y el beneficio de la borra del café en distintos ámbitos de alimentación.

Figura 1

Algunos Procesos en los que se Emplea Borra de Café



Nota. Elaboración propia

Finalmente, con los datos recolectados, se logró resaltar las alternativas que más se ajustan a la reducción del volumen de residuo borra de café y se destacaron las que aportan al medio ambiente una fuente de energía renovable a la industria alimenticia.

Marco Teórico

Origen Botánico del Café

El café hace parte de una gran familia o complejo botánico, su origen genético proviene de África, se cree que de Etiopía. La extensa cantidad de variedades responde a la influencia dada por los ambientes tan diferentes en donde se puede lograr un desarrollo y los cruces, mutaciones genéticas o híbridos, que se han presentado a lo largo de la historia (Herrera & Cotina, 2013).

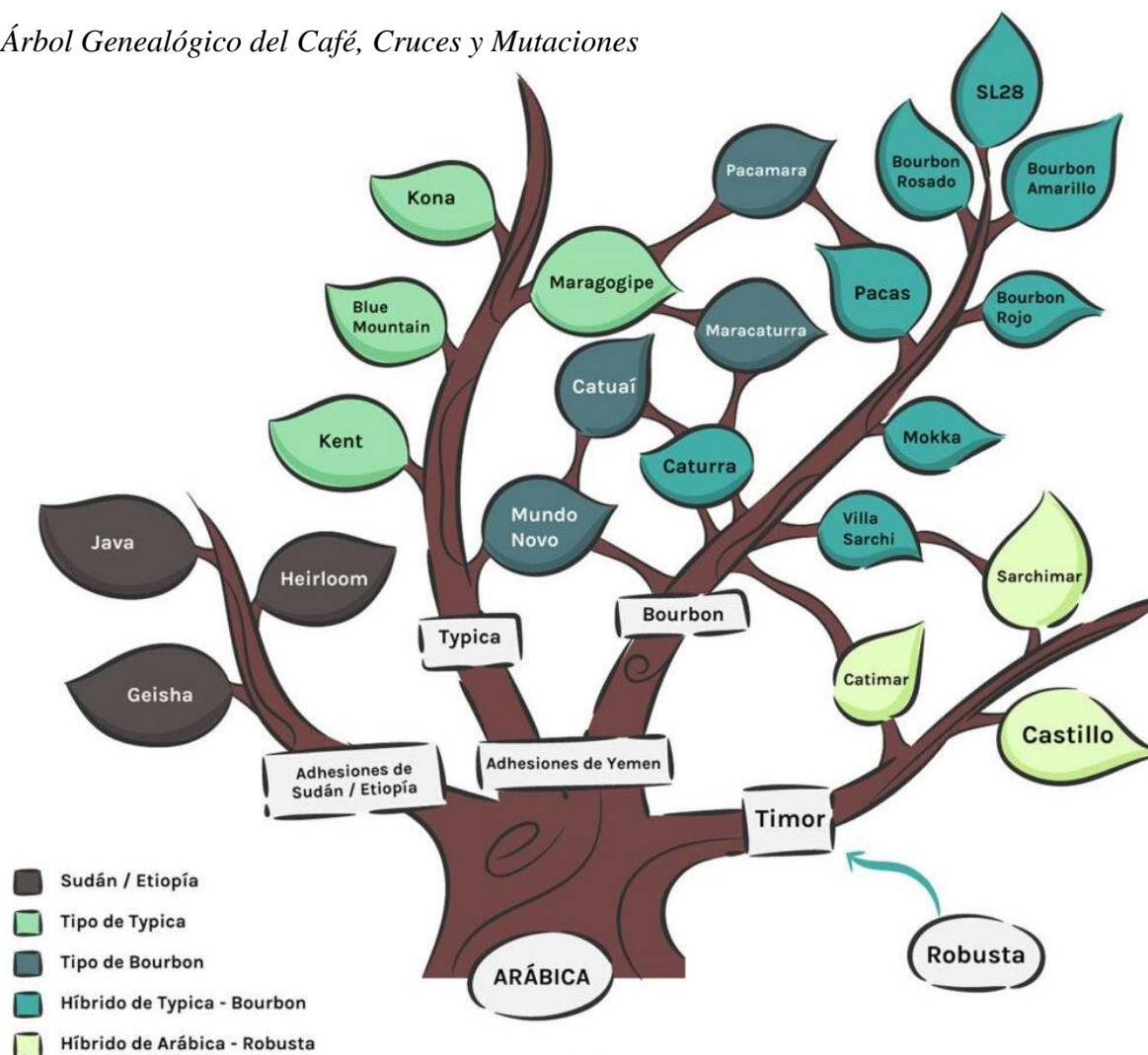
Café es el nombre común de las plantas de la familia Rubiaceae, del género *Coffea*, y comprende más de 120 especies diferentes, solo dos de las cuales, *Coffea arabica* L., (conocida como café Arábica) y *Coffea canephora* P, (conocida como café Robusta) (Arana, 2015).

El café es el fruto maduro obtenido de plantas duraderas (cafeto) estos son de diferentes formas y tamaños. Los granos al ser sometidos a proceso térmico y molienda se utilizan para preparar infusiones (Ostos & Garcia, 2019). A nivel mundial la producción principal está dada por la variedad Arábica y la variedad canephora o Robusta, de estas aparecen muchas más variedades debido que esta planta se adapta y crece en distintos sitios, así como también se presentan mutaciones que dan origen a otras variedades entre otros.

Sensorialmente la preferencia por la variedad arábica es mayor siendo este un café de alta calidad se caracteriza por presentar atributos en taza de dulzura y suavidad, mientras que el café robusta, sensorialmente es un café más amargo por su alto contenido de cafeína, mayor casi al doble de arábica, lo cual representa su facilidad para producir al igual que para comercializar a bajos precios (Morales & Pérez, 2020).

Figura 2

Árbol Genealógico del Café, Cruces y Mutaciones



Fuente. (Bobak, 2023)

Entre las especies que existen de café, arábica y canephora o robusta, se caracterizan porque tienen los mismos compuestos, pero en cantidades diferentes, esto debido a los procesos térmicos a los que se someten en la tuestión, así como otros son desnaturalizados, también

algunos aportan compuestos que enriquecen este subproducto con miras al aprovechamiento (Narváez & Villota, 2018).

En Colombia, la siembra de la variedad Arábica permite la cosecha y el beneficio de cafés especiales de calidad superior. Este tipo de café se cultiva en zonas con una altitud promedio de 2.000 metros sobre el nivel del mar y abarca una extensión de 900 mil hectáreas (Arana,2015).

Café Arábigo: De las especies más antiguas existentes sobre la tierra, se cultiva en las zonas montañosas de América y América central, originaria de África. Además de ser una planta relativamente delicada, es atacada por la roya de café. Esta especie comprende temperaturas óptimas entre los 17°C y 23 °C, y representa $\frac{3}{4}$ de la producción mundial, debido a su calidad y sabor, que reflejan en la taza variados atributos (Narváez & Villota,2018).

Café robusta: a finales del siglo XIX fue descubierta esta especie en el Congo Belga, su cultivo se ha extendido a varios países como India, Indonesia, Madagascar, Brasil, Filipinas y principalmente en África. Esta especie se puede cultivar en terrenos planos y en menor tiempo que la especie de Arábigo; su desarrollo se da en climas tropicales húmedos, es más resistente a enfermedades, su rendimiento es mayor y suele ser empleado en la mezcla con especies de café (Narváez & Villota,2018).

Taxonómicamente se clasifica como género *Coffea*, que se caracteriza por una hendidura presente en la parte central del grano, sus hojas son distintas dependiendo de la variedad, al igual presenta diferencias en cuanto a la morfología y en la textura, sus flores de color blanco tubulares y los frutos de mesocarpio carnoso de diferentes formas, colores y tamaños, de las que hacen parte las semillas, dicotiledóneas (Ostos & Garcia,2019).

Características Botánicas

El cafeto es una planta que dura mucho tiempo dependiendo de los cuidados que se tenga con esta, en buenas condiciones alcanza hasta aproximadamente 25 años dependiendo de las condiciones de su cultivo. Pasado un año de su cultivo la planta comienza la producción de drupas en ramas, durante los siguientes años continúa dando cosecha y su madurez se produce alrededor de los 8 años desde su siembra. Así las cosas, la planta puede continuar dando frutos por muchos años, pero disminuyendo su productividad (Arcila et al.,2007).

Figura 3

Planta de Café Arábica



Fuente. (Bioexploradores Farallones, 2022)

Los granos de café se conocen popularmente como “cereza”, (figura 3 y 4) los recubre una película llamada pericarpio que establece la coloración del fruto, presentes en su interior se diferencian varias capas, se conoce como mucílago al mesocarpio, que es la parte pegajosa del

grano, el pergamino es una piel que lo recubre y la película plateada es la epidermis y el grano verde o endosperma (Ostos & Garcia,2019).

Figura 4

Partes de un Grano de Café (C. arábica)



Fuente. (Campos Reyes, 2018)

Figura 5

Fruto de Café



Fuente. (Vanegas,2015)

Química del Café

El café lo constituyen agua y materia seca, la cual está compuesta por minerales, sustancias orgánicas como los carbohidratos, lípidos, proteínas, alcaloides como la cafeína y la trigonelina, así como por ácidos carboxílicos y sustancias fenólicas y por compuestos volátiles que dan el aroma a la almendra especialmente en el proceso de tostión (Puerta, 2013).

La variedad Robusta o canephora representa para la industria la mayor productividad, debido a que contiene más sustancias solubles y cafeína (Osorio,2019). En la tabla 1 se presenta la composición de algunos elementos según la variedad de café.

Tabla 1

Composición Química del Grano de Café Almendra

Variedad de café	Fibra %	Lípidos %	Proteína %	Cafeína %	Ácidos clorogénicos%	Cenizas %
Borbón	21,75	15,27	13,90	1,15	7,37	3,78
Caturra	18,85	13,98	14,79	1,13	6,97	3,39
Colombia fruto amarilla	18,45	13,07	14,79	1,16	7,55	3,49
Colombia fruto rojo	16,69	14,27	13,92	1,19	7,42	3,52
Típica	18,71	13,99	14,50	1,20	6,66	3,43
Robusta (cultivos experimentales)	15,52	11,42	15,66	2,10	8,08	3,96

Nota. Porcentaje en base seca

Fuente. Puerta (2013, p.3)

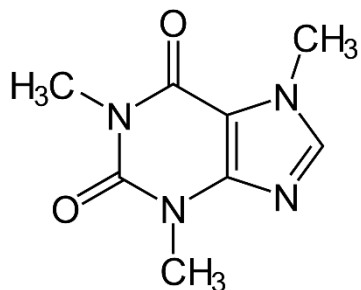
Compuestos Bioactivos

De los antioxidantes presentes en el café sobresalen los polifenoles, alcaloides, ácidos fenólicos, cafeicos, entre otros y según sea la especie cultivada arábica o canephora, así serán los

compuestos que se desarrollan, de su lugar de origen, el tiempo de fermentación, tipo de tueste y graduación de la molienda, a este producto se le confiere características anticancerígenas, anticarcinogénica y antimutagénica (Serna-Jiménez et al.,2018).

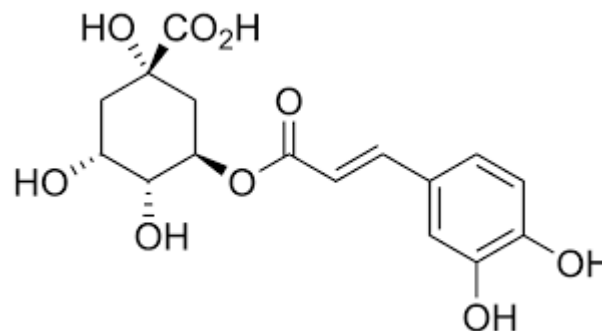
Figura 6

Estructura Química de los Compuestos Presentes en el Café.



Cafeína

1,3,7-Trimetil-1H-purina-2,6 (3H,7H)-diona



Ácido clorogénico

Ácido (E)-3-((3,4-dihidroxifenil) acriloxil) oxi-

1,4,5- trihidroxiciclohexanocarboxílico

Fuente. (López Tricas, 2015)

A continuación, en la Tabla 2, se da a conocer las sustancias que contiene el café y la actividad biológica que cumplen estas en el organismo humano.

Tabla 2*Sustancias Bioactivas Presentes en el Café*

Sustancias Bioactivas Presentes en el Café	
Sustancia	Actividad Biológica
Ácido cafenil quinico	Antioxidante
Acetaldehído	Inhibidor de la tiroxinaza
Adenina	Vasodilatador y diurético
<i>Alfa</i> -tocoferol	Antioxidante
Asparagina	Diurético
Ácido aspártico	Neuroexcitante
<i>Beta</i> -caroteno	Antioxidante
Ácido cafeico	Antidepresivo y antioxidante
Calcio	Vasodilatador
Colina	Hipoquinético
Ácido cítrico	Anticoagulante y antioxidante
Citrostadienol	Antirreumático
Cianidina	Antioxidante
Cisteina	Antioxidante
Cicloeucaleanol	Antibacterial
Eugenol	Antioxidante y vasodilatador
<i>Gamma</i> -tocoferol	Antioxidante
Guayacol	Anestésico
Hierro	Antihemorrágico
Ácido isoclorogenico	Antioxidante
Isoeugenol	Antioxidante
Lanosterol	Antioxidante
Metionina	Antioxidante
Niacina	Vasodilatador
Ácido oleico	Antiinflamatorio
Ácido oxálico	Hemostático
<i>Para</i> -cresol	Antioxidante
Melanoidinas	Antioxidante

Fuente. (Campos-reyes, 2018)

Compuestos Químicos del Café Tostado

Durante el proceso térmico de tueste son varios los cambios producidos en lo físico, químico y sensorial, se forman sustancias volátiles, se pierde masa, el contenido de agua disminuye de 11% a 4%, se producen aromas, aumenta la acidez del café y se resaltan otros atributos, hay disminución de los carbohidratos, atenúa la sacarosa casi en su totalidad, los azúcares reductores se elevan, aminoran las proteínas, la trigonelina y ácidos clorogénicos, en cambio otros ácidos aumentan, la cantidad de cenizas acrecientan y se desarrollan sustancias llamadas melanoidinas (Puerta,2013).

Carbohidratos: En el tueste un porcentaje entre 15 % y 20% de los polisacáridos del café verde se desnaturalizan, la sacarosa se carameliza lo cual produce el pigmento oscuro y amargo del café, los carbohidratos y las proteínas producen la reacción de Maillard.

Lípidos: A pesar del proceso térmico al que se somete el grano, no todos los lípidos se deterioran durante este, ciertos ácidos grasos aumentan, pocos lípidos disminuyen, otros lípidos se oxidan formando aldehídos y compuestos volátiles.

Proteínas: Dependiendo del grado de tuestión al que se somete el grano, es la disminución de las proteínas, por la reacción de los aminoácidos, se producen las melanoidinas y otros compuestos y se genera el olor característico a café tostado.

Ácidos: Clorogénico, cítrico, acético, málico, fórmico, fosfórico, láctico y otros más, algunos provienen del café verde y otros se generan a partir de la tuestión. El número de ácidos depende de la especie de café, el Arábico es más ácido que Robusta, el tipo de beneficio húmedo también incrementa la acidez del café.

Figura 7

Granos de Café Tostado



Fuente. (lovers, 2021)

Borra de Café o Posos de Café Gastado

Es el residuo orgánico que proviene del café, de los granos sometidos a tueste y moltura, cuyo único agente de extracción es agua a temperaturas entre 190°C y 210°C (Osorio,2019). También es conocido en algunos países como posos de café usados, sus siglas en inglés (Spent Coffee Grounds) SCG.

La borra o posos de café gastado es la parte o porción resultante del tueste del fruto seco del café después de trillado y tostado, asimismo de la preparación de la taza de café, se puede utilizar como medio para el desarrollo de cultivos para algunos hongos comestibles, además su composición es fuente de importantes cantidades compuestos grasos, proteicos, ácidos clorogénicos, polisacáridos y cafeicos entre otros (Narváez & Villota,2018).

Este residuo refiere alrededor del 10% del peso del fruto en su estado fresco (Rodríguez & Zambrano 2013). En una proporción de 1:2 en kilogramos de café producido respecto al generado por este residuo lo que representa, se generan en promedio un poco más de seis

millones de toneladas anualmente en la tierra. Sin contar que la borra de café también es generada en diversos sitios como, cafetines, restaurantes y en otros lugares donde ofrecen bebida de café, asumiendo las ventas a nivel mundial de más de cuatrocientos billones de tazas de café, se dificulta saber una cifra exacta de la generación de borra de café a nivel global (Osorio,2019).

La borra es el producto resultante de la preparación de la infusión de café, es decir el sedimento o residuo que se observa en el colador o filtro, esto depende del método de preparación de café por ejemplo filtrado por goteo, por infusión, infusión presurizada, filtrado al vacío, y el más empleado en todo el mundo, especialmente en los hogares, el método por cocción o también conocido como el café de olla.

Figura 8

Borra de Café o Posos de Café Gastado



Fuente. (Cleanipedia, 2019)

Contienen cantidades considerables de fibra insoluble, antioxidante, proteínas esenciales, azúcares de bajo índice glucémico, resistente al procesamiento térmico de alimentos y al proceso de digestión, y totalmente seguros (Martínez et al.,2017).

Osorio (2019) define a la borra o posos de café gastado, como una buena fuente de fibra dietética, porque contiene dentro de sus compuestos celulosa, hemicelulosa, lignina y galactomanano, compuestos que se encuentran asociados a la buena salud intestinal.

Entre los compuestos contenidos en la borra de café se encuentran lípidos, ácidos como palmítico, esteárico, oleico y linoleico entre otros, es conocido por los autores que la borra de café presenta cantidades considerables de cafeína, polifenoles y melanoidinas estos últimos se deben a los procesos de tueste a los que son sometidos los granos de café y se habla de sus aportes a la buena digestión (Osorio,2019).

La literatura menciona las propiedades benéficas que aportan los ácidos clorogénicos, entre ellos antivirales, antiinflamatorios, antimicrobianos, los polifenoles también presentan beneficios para la salud debido que son antioxidantes, ayudan a disminuir la inflamación, se ha llegado a mencionar la prevención la formación de tumores, y disminución de alergias y a reducir la posibilidad de padecer dolencias del corazón y arterias, anticáncer, hepatoprotector, entre otros (Osorio,2019).

Propiedades Fisicoquímicas de la Borra de Café

La borra de café posee calcio, potasio, fósforo, magnesio, azufre, entre otros nutrientes más, las especies Arábica y Robusta se diferencian porque la segunda, químicamente tiene mayor contenido de cafeína, aminoácidos, trigonelina, ácidos, lípidos, minerales, proteínas entre otros compuestos, que se degradan y otros se destruyen en el proceso del tueste, generando nuevos elementos en la taza de café (Narváez & Villota,2018).

La tabla a continuación ilustra la composición de las propiedades fisicoquímicas que contiene el residuo conocido como borra de café o posos de café.

Tabla 3*Análisis de la Borra de Café*

Componente	Cantidad %	Componente	Cantidad %	Componente	Cantidad %
Humedad	7-8	Acido glutámico	18,6	Aminoácidos	-
Proteína cruda	10-12	Acido tánico	0,9	Alamina	6,23
Fibra cruda	35-44	Ácido palmítico	43,2	Valina	9
Nitrógeno libre	13-18	Ácido palmitoleico	0,4	Metionina	2
Cenizas	0,25-1	Acido esteárico	9,7	Isoleucina	6,3
Calcio	0,08	Ácido oleico	14	Leucina	13,4
Magnesio	0,01	Ácido linoleico	37	Tirosina	4,2
Sodio	0,03	Ácidos arachidico	3,8	Fenilalanina	8,3
Fósforo	0,01	Ácido gadoleico	0,4	Lisina	2,9
Manganeso	26,8ppm	Ácido behenico	0,2	Histidina	2,2
Zinc	10ppm	Ácidos grasos libres	7,6	Arginina	Trazas
Cobre	35ppm	Valor de yodo	85-93	Hidroxiprolina	1
Cloruros	-	No saponificación	185-193	Glicina	7,6
Selenio	0,26 ppm	Valor de peróxido	11-17	Serina	1,9

Fuente. Angarita (2013).

Potencial Uso de la Borra de Café en la Industria de Alimentos

Sustrato para Cultivar Hongo Pleurotus Ostreatus

Los hongos o setas comestibles han sido cultivados por el ser humano desde tiempos ancestrales con el objetivo de aprovechar sus nutrientes, ya que proporcionan cantidades significativas de proteínas, aminoácidos, fibra y minerales esenciales para una dieta equilibrada.

Además, se les atribuyen propiedades medicinales. El cultivo y producción de hongos comestibles se encuentra en constante desarrollo, y actualmente se están aprovechando algunos desechos orgánicos, entre los cuales se encuentra el café. Este cultivo puede llevarse a cabo a bajo costo debido a la oportunidad de reutilizar estos residuos (Lechner & Mallerman, 2018).

En la producción a escala industrial de hongos, el *Pleurotus Ostreatus* se cultiva principalmente en paja de cereales, específicamente en la paja de trigo, que está cada vez menos disponible en muchas regiones del mundo, lo que limita la producción de estas setas. No obstante, los desechos de café generados por la industria cafetera son ricos en compuestos orgánicos y, recientemente, han sido considerados como una oportunidad viable para cosechar *Pleurotus ostreatus* (Alsanad et al., 2021).

Los hongos *Pleurotus* ocupan el segundo lugar en la producción total mundial de hongos. En la producción comercial, son valorados por sus cualidades gastronómicas y su valor nutricional. *Pleurotus ostreatus* es especialmente apreciado por su contenido de carbohidratos, vitaminas y minerales. Se trata de un hongo bajo en grasas y calorías, con un contenido reducido de sodio. Además de sus atributos nutricionales, posee diversas propiedades medicinales y contribuye a la reducción de diversos riesgos para la salud (Alsanad et al., 2021).

Según los estudios de Job (2004), se llevó a cabo un experimento con los posos de café para evaluar la posibilidad de cultivar el hongo *Pleurotus Ostreatus*. En este estudio, se logró

demostrar que el sustrato que contenía una mayor concentración de posos de café experimentó una disminución del contenido total de cafeína en casi un 60%. Esto evidencia que el micelio del hongo metaboliza la cafeína y no se encontraron trazas de esta sustancia, lo que sugiere que no se acumula en las fructificaciones.

Este tipo de estudios permite visualizar un panorama alentador para emplear la borra o posos de café gastado como medio para el cultivo de setas comestibles como *P. Ostreatus* y lograr el aprovechamiento de los residuos dejados por el café, especialmente la borra de café, que en pocos escenarios se emplea con el objetivo de reducir la generación de contaminación y representar una alternativa económica de producción (Job, 2004).

La borra de café puede convertirse, a través del cultivo de hongos, en productos de alto valor añadido, como cuerpos fructíferos y enzimas. Hasta ahora, se han realizado pocos estudios sobre la explotación de los restos de café utilizados, para el cultivo de setas alimenticias y medicinales (Kourmentza et al., 2018).

Figura 9

Proceso de Cultivo del Hongo Pleurotus Ostreatus Cultivado en Borra de Café

Inoculación**Fructificación****Incubación****Cosecha**

Fuente. (Nieto-Juárez et al., 2021)

Caro Miranda (2021) llevó a cabo un estudio sobre los tipos de microorganismos que se asocian con los posos de café gastados, en el cual este residuo se empleó como sustrato. Se determinó que el proceso de esterilización de los posos de café puede influir en el crecimiento de microorganismos. Si la esterilización no es completa, microorganismos como *Penicillium* sp.

pueden crecer y afectar negativamente a *Pleurotus ostreatus*. El autor menciona que en el futuro es posible reducir el crecimiento de microorganismos contaminantes para continuar el cultivo de setas comestibles, empleando la borra de café como su principal sustrato.

Extracción de Antioxidantes

Los polifenoles son fitoquímicos presentes en varios alimentos de origen vegetal, como el vino, el té, las verduras, las frutas, el cacao y el café, entre otros. Varios estudios han informado que estos metabolitos secundarios pueden ejercer diversas bioactividades, como actividades antioxidantes, antivirales/antibacterianas, anticancerígenas y antiinflamatorias (Castaldo et al., 2021).

Aunque existen varios antioxidantes artificiales en el mercado, como el BHA (E-320) y el BHT (E-321), compuestos fenólicos capaces de estabilizar los radicales libres, su uso a largo plazo puede ser cancerígeno, y en algunos países como Australia, Japón y partes de Estados Unidos, está prohibido. El residuo de café molido obtenido después del proceso de elaboración, aún contiene varios elementos funcionales con alta capacidad antioxidante y beneficios para la salud. Sin embargo, no se ha intentado utilizarlo como recurso para producir ingredientes alimentarios de valor agregado (Kim et al., 2016).

En la investigación sobre alimentos realizada por Zainol et al. (2020), cuyo propósito fue identificar las propiedades fisicoquímicas y antioxidantes de tres tipos diferentes de restos de café molido (Robusta, Arábica y Liberica), se demostró que la extracción asistida por ultrasonidos y metanol, tenía una excelente capacidad para extraer compuestos bioactivos de los posos de café gastados, produciendo extractos con capacidades antioxidantes superiores a la mayoría de los informados anteriormente. Este estudio revela que los posos de café gastados son

una nueva y valiosa fuente de antioxidantes naturales, con miras a reducir el uso de antioxidantes sintéticos en la producción de alimentos, especialmente ingredientes para alimentos funcionales.

Kim et al. (2016) realizaron un estudio sobre el efecto antioxidante presente en la borra de café en carne cruda y cocida. Evaluaron la actividad antioxidante de los extractos de etanol y agua caliente de la borra de café, mediante varios métodos. Los resultados demostraron que los extractos de agua y etanol tenían efectos antioxidantes, similares al control positivo (BHA), pero los extractos HEE y CEE mostraron actividades antioxidantes más fuertes que el extracto WE. Estos resultados sugieren la viabilidad de extraer antioxidantes de la borra de café para utilizarlos como aditivos antioxidantes y conservantes naturales en la carne.

Se ha confirmado que la borra de café o posos de café gastado contiene notables moléculas inhibitoras de enzimas y sustancias conservantes que pueden utilizarse de manera natural y económica como aditivos alimentarios, como alternativa a los aditivos sintéticos. No obstante, es ampliamente conocido que el uso de disolventes orgánicos en la industria alimentaria está sujeto a regulaciones estrictas. En este sentido, aunque los extractos obtenidos con metanol (MeOH) han demostrado propiedades sobresalientes en algunas aplicaciones biológicas, su uso está sujeto a restricciones y limitaciones. Por lo tanto, en lo que respecta a la seguridad alimentaria, se recomienda preferentemente el uso de disolventes como etanol (EtOH) en mezcla con agua, que exhiben una excelente actividad antioxidante. Este tipo de disolvente resulta más adecuado para su utilización en el proceso de producción de ingredientes alimentarios (Zengin et al., 2020).

Colorante o Pigmentos para Alimentos Extraídos de Borra de Café

La borra es una buena fuente de colorantes de origen vegetal que se pueden emplear en la industria alimentaria. Además de proporcionar coloración, estos pigmentos también aportan

nutrientes que pueden favorecer la salud. Los pigmentos extraídos de la borra conservan una buena cantidad de compuestos con capacidad de tinturar y propiedades antioxidantes, lo que los convierte en pigmentos bioactivos. Estos pigmentos aportan color y sabor a los alimentos o preparaciones alimenticias, lo que permite que se consideren alimentos funcionales (Campos-Reyes, 2018).

Campos-Reyes (2018) informa que la sustancia colorante obtenida de los residuos del café, especialmente de la borra de café gastado, constituye una alternativa natural de compuestos bioactivos, con capacidad antioxidante que se pueden extraer de este subproducto derivado de la preparación de la taza de café y emplear como colorante en la industria de alimentos.

Cevallos y Guerrero (2017) llevaron a cabo un estudio sobre la remoción del pigmento natural utilizando borra de café gastado. Se extrajo utilizando dos tipos de solventes, etanol y cloroformo. Alrededor del 10% del pigmento se empleó en espectrofotometría UV para caracterizar el colorante y cromatografía de capa fina para determinar las características del colorante, que se asemeja al caramelo.

Borra en la Industria de Panificación

Son pocos los estudios que han realizado la incorporación de borra o posos de café gastado a sus formulaciones de alimentos, se han conocido las propiedades antioxidantes, la cantidad de fibra dietética, manosa, galactosa y demás nutrientes presentes en este subproducto resultante de la preparación de una taza de café, que se pueden emplear en la industria de la panificación debido que estas propiedades presentes en la borra representan una oportunidad de sustituir ingredientes que se empleaban anteriormente, como lo son los colorantes artificiales, los azúcares y demás componentes de las diversas preparaciones de industria de los alimentos, puntualmente en la industria de la panificación.

Por lo tanto, se relacionan a continuación autores que han desarrollado sus estudios en la elaboración de diferentes galletas, muffin, pan integral y otros productos alimenticios.

Elaboración de Galletas

La borra de café por su alto contenido de fibra promete ser una alternativa saludable para implementar en la alimentación, se pueden elaborar galletas enriquecidas con fibra obtenida de los posos de café gastado, como también se le conoce a la borra, así lo demuestra el informe realizado por Aguilar et al.(2019) algunas características texturales y proximales de las galletas adicionadas con SCG, así como su contenido en compuestos fenólicos, actividad antioxidante y su descripción sensorial, según la presentan los informes de los consumidores. La inclusión de 17.5-25% de la harina de SCG en galletas proporciona un alimento que podría ser considerado como fuente de fibra dietética y un producto agradable que se puede comercializar, representa disminución de costos en producción y contribuye a desacelerar el impacto ambiental que representa este subproducto.

La fibra dietética (DF) promueve el bienestar intestinal y estomacal, reduce el riesgo de afecciones cardíacas y sobrepeso, con la proporción de fracción recomendada de 1:2 fibra dietéticas soluble/insoluble, la DF incluye una variedad de polisacáridos no amiláceos como celulosa, hemicelulosa y lignina (Janissen & Huynh,2018).

Figura 10

Galleta Elaborada con Posos de Café



Fuente. (Castillo & Oriendo,2022)

Mayorga (2019) realizó un estudio en el cual modificó la formulación de galletas al agregar borra de café en diferentes porcentajes. Sustituyó la harina de trigo por este ingrediente y realizó pruebas elaborando galletas con adiciones de 1%, 4% y 7% de borra de café, además de un grupo de control. Con el objetivo de evaluar la aceptación, llevó a cabo una prueba sensorial de las galletas dulces a través de un panel de degustación. También realizó análisis para evaluar la actividad antioxidante de las mismas, debido a la presencia de melanoidinas y cómo esta actividad podría variar en las galletas dulces. Los porcentajes de adición del 7% y 4% de extracto de borra alcanzados en las galletas mostraron una mayor actividad antioxidante, ya que presentaron valores de IC50 inferiores o similares en comparación con otros productos, como los cítricos. El autor menciona la posibilidad de extraer los antioxidantes mediante el uso de solventes como el etanol y utilizarlos como sustitutos de la harina en preparaciones que requieran coloración marrón o sabor a caramelo.

Mayorga (2019) concluye que el reemplazo de una cierta cantidad de harina de trigo, por posos de café gastados en la formulación de galletas, condicionó la coloración y aumentó el contenido de antioxidantes en más del 63% en la reformulación que contenía un 7% de borra. Según el análisis sensorial, las galletas con un 4% de borra de café fueron las más aceptadas en términos de atributos.

Koay et al. (2023) evaluaron el impacto de diferentes concentraciones de posos de café gastados en galletas de mantequilla. Encontraron que la incorporación de borra de café potenció las cualidades del producto final, incluyendo un mayor contenido de fibra, proteínas y humedad, con menos azúcar y calorías, así como propiedades antioxidantes mejoradas. Prepararon diferentes mezclas, variando la cantidad de borra de café desde un 2% hasta un 10%. La muestra con un 10% de borra de café mostró una menor dureza, un aroma más profundo y propiedades antioxidantes prometedoras. La evaluación sensorial indicó que la muestra sin borra fue la más preferida, seguida por las galletas con un 10% y un 8% de borra de café. Esto sugiere que las galletas de mantequilla con borra de café podrían ser un buen sustituto de las grasas y un antioxidante natural, lo que podría beneficiar tanto a los productos alimenticios, como a la salud humana. La utilización de la borra de café como fibra dietética antioxidante tiene el potencial de mejorar la composición nutricional y la calidad sensorial de diversos productos alimenticios y aprovechar un subproducto alimenticio funcional de valor agregado.

Del Castillo Bilbao et al. (2014) patentaron una formulación alimentaria que incluye borra de café o posos de café gastado como fuente de fibra dietética insoluble, conservantes y aminoácidos, además de otros nutrientes. Esta formulación se utiliza en la industria de la panificación y la fabricación de golosinas, incluyendo productos como panes, galletas, alimentos

para el desayuno y bocadillos destinados a personas de todas las edades, incluyendo aquellas que tienen necesidades dietéticas específicas.

La industria de los alimentos con propiedades saludables ha experimentado un desarrollo notable en los últimos años y ha demostrado ser económicamente rentable. Entre las líneas de productos se incluyen alimentos para lactantes, fórmulas infantiles, alimentos dietéticos sin gluten ni lactosa, productos para el control de peso y alimentos adaptados a las necesidades de los deportistas, entre otros. En este contexto, los subproductos alimentarios, como la borra de café, han generado interés como ingredientes funcionales. Es importante destacar que la composición nutricional de la borra puede modificar según la variedad de café y su origen geográfico.

En los últimos años, se han enriquecido muchos productos horneados con ingredientes funcionales derivados de subproductos alimentarios seleccionados. Aunque se ha informado sobre el uso de borra de café o posos de café gastados, para aumentar las propiedades biológicas de los alimentos horneados, apenas se ha investigado el destino metabólico de los polifenoles liberados por los alimentos a base de posos de café, durante una digestión gastrointestinal in vitro (Castaldo et al., 2021).

Elaboración de Muffins

Para Benincá et al. (2023), el procesamiento de alimentos utilizando borra de café y otros residuos que representan un problema de eliminación para la industria, puede ser una forma muy prometedora de desarrollar formulaciones de alimentos con sustancias de valor agregado. Esto quedó demostrado en su estudio, cuyo objetivo fue evaluar los diferentes grados de tostado de la borra de café para incorporarla en la preparación de muffins. En este estudio, se utilizaron granos de café de la variedad Coffea Arabica Catuai adquiridos en Brasil. La tostación se llevó a cabo a

una temperatura de entrada de 170°C y una temperatura de salida de 190°C, y se realizó una segunda tostación más oscura con una temperatura de salida de 216°C. Después de este proceso térmico, se realizó la molienda para obtener la borra de café o posos de café. Para conseguir la bebida de café, se realizó una extracción y luego se secó en un secador de bandeja a una temperatura de 56°C.

Se llevaron a cabo análisis físicos y de compuestos de la borra de café o posos de café, incluyendo la determinación de lípidos totales y fibra cruda. Los carbohidratos se calcularon por diferencia hasta alcanzar el 100%. Además, se realizaron análisis para determinar los compuestos fenólicos, la actividad conservante, la cafeína, la trigonelina y el ácido clorogénico utilizando métodos adaptados. También se realizaron análisis microbiológicos del extracto de borra, incluyendo la detección de mohos y levaduras. Las placas se incubaron durante siete (7) días a temperatura ambiente y se realizó un recuento de microorganismos aeróbicos. Para el estudio, se preparó una muestra de muffin control y muestras de estímulo con porcentajes de 1%, 16%, 31%, 46% y 61% de borra de café o posos de café.

Figura 11

Muffins Incorporados con Concentraciones Crecientes de Borra de Café



Fuente. (Benincá et al., 2023). Imágenes de muffins: Control: 0% SCG; 1-61%: en concentraciones crecientes de borra.

En el estudio de Benincá et al. (2023), también se realizó un análisis sensorial de los muffins para evaluar su sabor y gusto. Se observó que la apariencia de los muffins variaba en las diferentes preparaciones con 1%, 16%, 31%, 46% y 61% de borra de café o posos de café. La preparación que contenía un 1% de borra fue la más aceptada, lo que demuestra que la adición de borra de café o posos de café gastados, no afectó negativamente la aceptación del producto. Esto sugiere la viabilidad de utilizar este subproducto en productos alimenticios. Teniendo en cuenta que se generan aproximadamente seis millones de toneladas de borra de café o posos de café gastados en todo el mundo cada año, el uso del 1% de este residuo equivaldría a alrededor de 100,000 toneladas de residuos aprovechables. Esto representa un impacto significativo en la preservación del medio ambiente y también reduce los costos de producción de alimentos con mayor contenido nutricional.

Benincá et al. (2023) concluye mencionando que los resultados sugieren que el tostado ligero y oscuro tienen una mayor aplicabilidad en la industria de alimentos.

MartínezSáez et al. (2017) mencionan que la borra de café o posos de café gastados se puede utilizar como ingrediente alimentario en preparaciones sólidas, como galletas sin afectar la formulación inicial de los alimentos, ni la calidad sensorial del producto. Estas formulaciones de alimentos podrían ser adecuadas para personas que necesitan reducir su aporte energético y tienen requisitos dietéticos específicos. La aplicación de la borra de café o posos de café gastados propuesta en el estudio, representa una oportunidad de agregar valor a la utilización de subproductos del café a un costo muy bajo.

Trà et al. (2021) describen el proceso de formulación de galletas con alto contenido de antioxidantes y fibra, así como la calidad nutricional y las propiedades fisicoquímicas del producto. Las galletas obtenidas se consideran alimentos ricos en fibra y fueron aceptables en términos de calidad sensorial. El polvo de borra se considera adecuado debido a sus nutrientes y conservantes de origen natural para su uso en la industria de la panificación.

Elaboración de Pan Integral

En el estudio de Rwubatse et al. (2021), se propone una formulación de pan que utiliza borra de café o posos de café gastados. Con la creciente concienciación sobre el consumo de alimentos funcionales, se ha impulsado a las panaderías a producir pan a partir de granos de trigo integral, además del pan blanco. Para este estudio, se preparó una masa compuesta por 200 g de harina de trigo integral, 2% de levadura seca instantánea, 2% de cloruro de sodio, 4% de borra de café, 1% de zumo de limón y 1% de zumo de hojas de romero. La mezcla se fermentó a 34°C con 60% de humedad relativa durante 1 hora y luego a 39°C con 85% de humedad relativa durante hora y media.

Después del horneado, se evaluó el perfil de color y textura del pan, así como sus características sensoriales a través de un panel de degustación que evaluó atributos como el color, sabor, textura, aroma y aspecto. Los valores de dureza del pan variaron, siendo el pan 100% de harina de trigo fermentado, durante 60 minutos el más duro. En cuanto a los ingredientes, el pan de control era más duro que el pan que contenía borra de café, limón y romero. El reemplazo de harina de trigo integral, que es una alta fuente de fibra dietética de salvado, redujo el contenido de fibra dietética del pan resultante en diferenciación del pan de control.

En resumen, el estudio de Rwubitse et al. (2021) concluye que las variedades de trigo, la duración de la fermentación de la masa y la incorporación de posos de café usados, zumo de limón y zumo de hojas de romero en la masa, afectaron significativamente el perfil de textura, el color, las características físicas y los atributos sensoriales del pan integral. Los panes de control provenientes de masas fermentadas durante 60 minutos eran más duros que los panes suplementados con el mismo tiempo de fermentación. La larga fermentación y la inclusión de posos de café, zumo de limón y zumo de romero en las masas, influyeron en la alta aceptabilidad general del pan resultante en comparación con el pan de control. El pan integral obtenido satisfizo las preferencias de los consumidores en cuanto al perfil de textura, el color y los atributos sensoriales. Por lo tanto, la aplicación de borra, zumo de limón y hojas de romero en la elaboración de pan, representa una buena oportunidad a bajo costo.

Elaboración de Bebidas Fermentadas y Destiladas

El estudio realizado por Machado et al. (2018) es interesante debido a que demuestra una forma innovadora de aprovechar los posos de café para la elaboración de bebidas fermentadas y destiladas, y su eficiente conversión de azúcares a etanol. En las muestras fermentadas, se logró

una conversión eficiente gracias a la acción de la levadura. Esto resultó en un porcentaje volumétrico de alrededor del 10% de etanol en las bebidas fermentadas.

Elevado contenido de etanol en bebidas destiladas: las bebidas destiladas alcanzaron un porcentaje volumétrico de etanol aún mayor, en el rango del 38 al 40%. Esto indica que el proceso de destilación fue efectivo para concentrar el alcohol.

Contribución de compuestos al aroma y sabor: se identificaron varios compuestos que contribuyen al aroma y sabor de las bebidas. En las bebidas fermentadas, los alcoholes superiores como el iso-butanol y el isoamílico, así como los ésteres, desempeñaron un papel positivo en el aroma.

Composición de compuestos en bebidas destiladas: las bebidas destiladas contenían alcoholes como compuestos principales, así como ácidos volátiles y ésteres como compuestos secundarios. Estos componentes contribuyeron al agradable sabor afrutado y al aroma floral de las bebidas destiladas.

Aceptabilidad sensorial: Las bebidas fermentadas y destiladas obtuvieron una alta puntuación en las pruebas sensoriales. La calidad y la intensidad del aroma fueron especialmente destacadas, lo que sugiere que estas bebidas tienen cualidades organolépticas aceptables para el consumo humano.

Valorización de la borra de café: Este trabajo demuestra que es posible agregar valor a los posos de café, un subproducto común, mediante la producción de bebidas fermentadas y destiladas con cualidades sensoriales satisfactorias.

En conjunto, estos resultados respaldan la viabilidad de utilizar los posos de café para producir bebidas con propiedades organolépticas atractivas, lo que abre la puerta a una forma innovadora de aprovechar este recurso y reducir el desperdicio.

Conservante de Alimentos Natural

Los compuestos fenólicos presentes en la borra de café son realmente fascinantes debido a sus atributos favorables para la salud y su potencial aplicación en la industria alimentaria. En cuanto a la composición química por parte de los diferentes derivados fenólicos y antioxidantes, se les atribuye su actividad antioxidante y su capacidad para contrarrestar el estrés oxidativo. Estos compuestos son abundantes en la borra de café, lo que la convierte en una fuente natural de antioxidantes beneficiosos para la salud.

En los estudios realizados por Badr et al. (2022) se contempla que este subproducto puede actuar como:

Agente antifúngico natural: en un contexto donde la resistencia a los agentes antifúngicos tradicionales es un problema creciente, los compuestos fenólicos presentes en la borra de café representan una alternativa prometedora para combatir infecciones por hongos toxigénicos. Estos compuestos fenólicos han demostrado tener propiedades antimicóticas y anti-ocratoxigénicas.

Protección contra micotoxinas: las investigaciones sugieren que los extractos de borra pueden desintoxicar aflatoxinas y ocratoxina A, en medios líquidos. Esto es relevante en la industria alimentaria, donde la presencia de micotoxinas en los alimentos puede ser perjudicial para la salud humana. La aplicación de extractos de borra en productos alimenticios podría ayudar a reducir la contaminación por micotoxinas a niveles seguros.

Melanoidinas y propiedades antioxidantes: las melanoidinas son compuestos nitrogenados de color marrón formados durante la reacción de Maillard en el café, exhiben propiedades antioxidantes. Esto significa que pueden proteger los alimentos de la oxidación y la peroxidación lipídica, lo que es importante para la excelencia y la seguridad de los abastecimientos alimentarios.

Actividad citotóxica y antibacteriana: los extractos de borra de café han mostrado actividad citotóxica moderada contra células y presentan buenas propiedades antibacterianas. Esto sugiere un potencial uso en alimentos nutraceuticos, es decir, alimentos con beneficios para la salud.

Resumiendo, los estudios resaltan la versatilidad y el valor potencial de la borra de café en la industria alimentaria y farmacéutica. Sus compuestos fenólicos y otras moléculas bioactivas pueden desempeñar un rol significativo en la protección de los alimentos contra micotoxinas, así como en la creación de alimentos funcionales más saludables y seguros. La investigación en este campo está contribuyendo a encontrar nuevas formas de aprovechar este subproducto del café y reducir su desperdicio, al mismo tiempo que se beneficia la salud humana y se mejora la calidad de los alimentos.

Extracción de Celulosa

El estudio realizado por Kanai et al. (2020) se centró en valorizar los residuos de café, específicamente la borra de café o posos de café, para obtener celulosa a partir de este subproducto. Dentro de la preparación del residuo, se empleó café tostado de las variedades robusta de Indonesia y arábica de Tanzania. La borra de café se sometió a un proceso de molienda para obtener partículas más pequeñas.

Para la obtención se realizó una extracción de la celulosa de la borra de café moliendo el material y luego añadiendo agua caliente. La mezcla resultante se dejó secar sobre papel filtro a temperatura ambiente durante un día.

Oxidación de celulosa: los residuos sólidos de celulosa obtenidos se trataron con una solución de agua destilada que contenía TEMPO (2,2,6,6-tetrametilpiperidina-1-oxilo) y NaClO (hipoclorito de sodio) a un pH de 10-10,5 y temperatura ambiente. Esta oxidación se realizó

durante 3 horas con agitación continua. También se añadió NaOH (hidróxido de sodio) 0,5M durante el proceso.

Filtración y lavado: Tras la oxidación, se añadió etanol y se filtró la celulosa oxidada. Se realizó un enjuague repetido con agua destilada para eliminar los reactivos y productos de reacción.

Liofilización: Una alícuota de la pasta de celulosa obtenida se liofilizó durante 2 días para determinar su masa seca. La liofilización es un proceso que implica la congelación y eliminación del agua de la muestra sin calentamiento, lo que permite conservar la estructura y las propiedades de la celulosa.

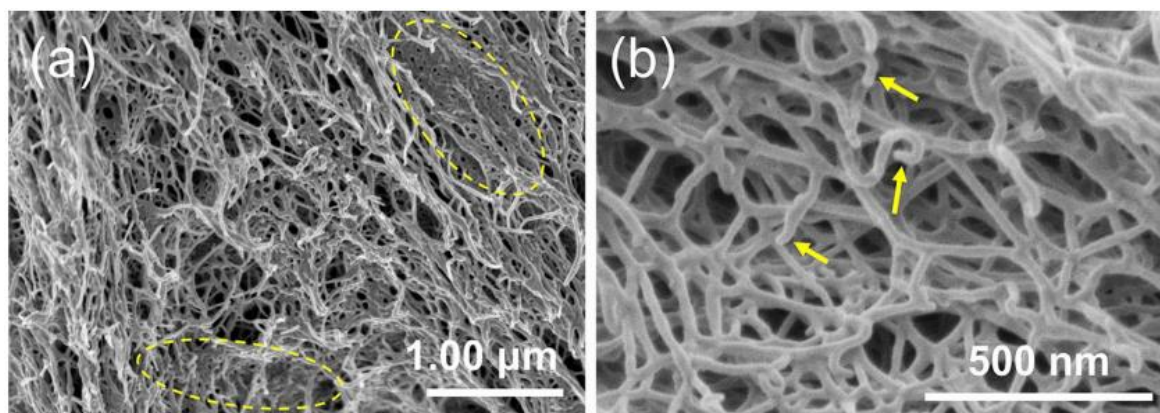
Dispersión en agua y lavado con terc-butanol: La pasta de celulosa liofilizada se dispersó en agua destilada para obtener una dispersión similar a un gel. Luego, se realizó un lavado con terc-butanol para eliminar impurezas y productos no deseados.

Secado final: La celulosa obtenida se convirtió en un polvo completamente seco, lo que la hace adecuada para su uso en diversas aplicaciones.

Este proceso permitió obtener celulosa del subproducto del café, lo que representa una forma eficiente de valorizar este subproducto y convertirlo en un material útil en diversas aplicaciones industriales. La celulosa así obtenida puede tener potencial en campos como la industria de alimentos, farmacéutica, y más, dependiendo de sus propiedades específicas.

Figura 12

Imágenes en Microscopio de Películas Compuesta Derivadas de la Borra de Café



Fuente. (Kanai et al.,2020)

Kanai et al. (2020) llevaron a cabo un estudio detallado sobre las nanofibras de celulosa derivadas de la borra de café, demostrando que esta puede ser una nueva y prometedora fuente de celulosa que no proviene de la madera. Esta alternativa presenta similitudes en sus propiedades con la celulosa tradicional.

La cantidad de fibra presente en la borra de café es considerable, estimada en un rango del 50 al 70%. Esta celulosa extraída de la borra de café puede tener múltiples aplicaciones en productos que requieren este material, como la producción de papelería.

García y Riaño (1999) llevaron a cabo un estudio para investigar los procesos de extracción, purificación y caracterización de la celulosa contenida en el residuo de café.

Otros autores también han considerado la producción de papel a partir de la borra de café después de la preparación de la bebida. Dado que estos materiales contienen cantidades significativas de celulosa y hemicelulosa, se presentan como una opción interesante para la fabricación de papel y otros productos (Campos-Reyes, 2018).

Efectos de Mananoligosacáridos Presentes en la Borra de Café o Posos de Café Gastado

El estudio realizado por Takao et al. (2006) investigó los efectos de los manooligosacáridos (MOS), derivados de los posos de café, en la acumulación y excreción de grasa en roedores que consumieron una dieta alta en grasas. Los MOS son oligosacáridos no digeribles compuestos principalmente de manosa, que se obtienen a partir de la hidrólisis del manano presente en los posos de café a altas temperaturas y presión.

Los resultados del estudio indicaron que la ingesta de MOS tuvo varios efectos provechosos como lo son la promoción de bacterias beneficiosas, donde se observó un aumento significativo de estos microorganismos en el intestino, como resultado de la ingesta de MOS. Esto sugiere que los MOS pueden actuar como prebióticos y promover el crecimiento de bifidobacterias, lo que contribuye a la salud intestinal. Por otro lado, la reducción respecto a la absorción de grasa, esto sugirió que los MOS tienen el potencial de reducir la absorción de grasa en el intestino, debido a que la presencia de MOS podría disminuir el tiempo de tránsito gastrointestinal, lo que a su vez podría limitar la absorción de grasas dietéticas. Por último, la prevención del almacenamiento de grasa, donde se demostró que la administración de MOS redujo la acumulación de grasa en la zona parametrial y en el hígado. Además, aumentó la cantidad de grasa que se excretó. Estos resultados sugieren que los MOS pueden ayudar a prevenir el almacenamiento de grasa y fomentar su excreción (Takao et al., 2006).

El estudio de Takao et al. (2006) sugiere que los MOS derivados de los posos de café, tienen el potencial de influir en el metabolismo de las grasas y promover una reducción en la acumulación de grasa en el cuerpo, especialmente en una dieta rica en grasas. Esto podría tener implicaciones para la salud y la gestión del peso.

Borra de Café como Material para Elaboración de Envases y Utensilios para Alimentos

En la Universidad Politécnica de Valencia, específicamente en el Instituto Tecnológico de Materiales y el Instituto de Investigación en Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo, se llevó a cabo una práctica basada en el concepto de bioeconomía circular. El objetivo era darles valor a los residuos de café provenientes de la industria de bebidas de café, con la idea de desarrollar piezas o materiales sostenibles y rentables, que pudieran ser optimizados en la industria alimentaria (López et al., 2021).

Dado el elevado contenido de lípidos presentes en la borra de café, se consideró su aprovechamiento para incrementar la ductilidad de las piezas a fabricar. Los materiales empleados en este estudio fueron la polilactida (PLA), un biopoliéster obtenido a partir de almidón, y la borra, que contiene oligómeros de ácido láctico (OLAs) que favorecen la plastificación de la matriz de biopoliéster. Los gránulos de PLA, OLAs y borra se secaron durante 48 horas en un deshumidificador, para eliminar la humedad antes de procesarlos. Luego, se homogeneizó este material y se sometió al proceso de extrusión a una velocidad de 25 bares por minuto. Posteriormente, se moldearon las muestras a temperaturas de 185°C, 190°C y 200°C, con un grosor de 4 mm (López et al., 2021).

Se realizaron diversas pruebas, incluyendo caracterización mecánica, análisis térmico, caracterización termo-mecánica, prueba de absorción de agua y prueba de biodesintegración. Según Terroba et al. (2022), se puede concluir que el uso de residuos de café derivados de la industria licorera es muy prometedor para desarrollar compostas verdes rentables (López et al., 2021).

Estos innovadores composites verdes se destacan por mostrar una resistencia a la tracción y ductilidad moderadas, estabilidad térmica, renovabilidad y bajo costo, ya que se basan en

biomasa derivada de residuos alimentarios. Además, son biodegradables en instalaciones industriales de compostaje. Todas estas características abren la puerta a su uso en utensilios desechables para servir alimentos y en vajillas, como platos, bandejas, cucharas, tenedores, cuchillos, vasos y mezcladores. Además, se vislumbra un futuro brillante para su incorporación en envoltorios de alimentos respetuosos con el medio ambiente (López et al., 2021).

Figura 13

Bioplásticos Obtenidos por la Adición de Subproductos de Mango, Jamaica y Café



Fuente. (López et al., 2021)

Las películas o recubrimientos de base biológica se consideran alternativas prometedoras para reemplazar los materiales sintéticos utilizados en la industria del envasado de alimentos, por ejemplo. El uso de polímeros naturales como polisacáridos, proteínas y lípidos en recubrimientos y películas comestibles, se ha estudiado como una variante en el mantenimiento de la frescura y textura de los alimentos. Estos polímeros naturales actúan como barreras semipermeables a los

vapores, gases y líquidos, por lo tanto, pueden utilizarse como materiales de embalaje (Ballesteros et al., 2018).

Figura 14

Película Plástica a Partir de Borra de Café



Fuente. (Scarpeta, 2022)

El alcohol polivinílico es un polímero sintético biodegradable, biocompatible, soluble en agua e hidrófilo que se utiliza en varios campos, como el envasado biomédico y de alimentos. En diferentes estudios, se han reportado compuestos de PVA totalmente biodegradables, rellenos con borra de café o posos de café gastados, principalmente por sus propiedades absorbentes. Las partículas de borra también se pueden incluir en diferentes matrices poliméricas, como PP, PE, PU, PLA, epoxi y cauchos, para producir compuestos con propiedades adecuadas para numerosas aplicaciones, como envases de alimentos, piezas de automóviles, impresión 3D y protección UV. Además, la borra se puede utilizar como plastificante (Bomfim et al., 2022).

Según Ballesteros et al. (2018), la extracción de materiales funcionales a partir de residuos agrícolas se ha estudiado durante los últimos años. En su publicación, se prestó atención a los residuos de café o borra de café, los polisacáridos presentes en estos son principalmente los galactomananos, que no son tóxicos y por lo tanto se han utilizado como estabilizadores y endurecedores de emulsiones en diferentes áreas, incluida la alimentación y los arabinogalactanos que también se utilizan en los alimentos debido a su capacidad para retener agua, formando emulsiones de baja viscosidad. Algunos estudios informan sobre la incorporación de polisacáridos extraídos de fuentes naturales en películas comestibles o recubrimientos para aplicaciones alimentarias, siendo tales películas basadas en polisacáridos capaces de mantener la calidad y seguridad de diferentes productos alimenticios. Sin embargo, hasta donde sabemos no hay ningún estudio sobre la utilización de extractos ricos en polisacáridos obtenidos de SCG mezclados con CMC para producir películas.

La intención primaria de este estudio fue desarrollar películas basadas en CMC enriquecidas con extractos de SCG que contienen polisacáridos, obtenidos mediante métodos diferentes (tratamiento previo alcalino y autohidrólisis), y evaluar las películas producidas. Este estudio demostró que el añadido de SCG ricos en polisacáridos a la película a base de CMC, afectó la matriz de la película y cambió sus propiedades, mejorando o al menos preservando sus propiedades fisicoquímicas. El color y la opacidad fueron las principales propiedades afectadas por la incorporación de los polisacáridos, mejorando significativamente la barrera a la luz de las películas enriquecidas. Además, dado que los polisacáridos SCG presentan propiedades antioxidantes y antimicrobianas, su incorporación a la película a base de CMC, es capaz de proporcionar importantes propiedades funcionales a la película, aumentando aún más la posibilidad de su aplicación en el área de alimentos (Ballesteros et al., 2018).

Moustafa et al. (2017), en su estudio sobre la utilización de borra de café o posos de café gastado como agente reforzante para producir compuestos de PBAT biodegradables de alta calidad, en la aplicación de envases para alimentos, demostraron que la borra utilizada como agente de refuerzo tuvo éxito al presentar una mejor afinidad con PBAT en comparación con otros agentes, sin necesidad de utilizar compatibilizador. La borra de café o posos de café gastado exhibió una buena dispersión del relleno y una coalescencia entre el relleno y la matriz polimérica en comparación con otros compuestos.

Las matrices de polímeros sintéticos más comunes rellenas con borra de café o posos de café gastado, son el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), debido a sus amplias aplicaciones en envases, sus bajos costos y sus buenas propiedades generales. El PE se puede clasificar en varios tipos, pero el polietileno de alta densidad (HDPE) y el polietileno de baja densidad (LDPE) son los principales comercializados. A nivel mundial, el PE es una de las poliolefinas termoplásticas más utilizadas para moldeo por soplado e inyección.

Debido a su alta tenacidad, facilidad de procesamiento, baja conductividad eléctrica e inercia química, el PE se utiliza en diferentes aplicaciones, como tuberías, láminas, contenedores y otros productos similares. Como matriz termoplástica para compuestos, el HDPE se encuentra en envases y piezas de automóviles, así como en aplicaciones biomédicas y espaciales (Bomfim et al., 2022).

Potencial Uso de la Borra de Café en la Conservación del Medio Ambiente

La borra de café contiene sustancias que se pueden aprovechar de manera positiva en la conservación y preservación del medio y ecosistemas. A continuación, se detallan las posibles aplicaciones de la borra de café como una opción para reducir o minimizar la producción y la consiguiente contaminación ambiental causada por los posos de café.

Borra de Café Empleado como Fertilizante

Se ha demostrado el potencial de la borra de café en diversos procesos en los que se emplea para la extracción de sustancias, especialmente debido a sus características de biocarbonizado. También se utiliza para la adsorción de colorantes y metales, y puede ayudar a disminuir la pérdida de fertilizantes al evitar la lixiviación de los nutrientes. La borra de café, al ser un compuesto rico en lignocelulosa, se integra en el suelo con el tiempo, aumentando el contenido de carbono orgánico. Una buena opción es peletizar la borra de café para aprovechar su capacidad de retención y calidad como fertilizante de liberación controlada (Cogua, 2019).

Según el autor Rodríguez (2021), en su estudio se presentan resultados que destacan la variabilidad en la adaptación de la borra de café según el cultivo intervenido y la concentración aplicada. Algunos autores, como Chrysargyris et al. (2021), han estudiado el comportamiento de las semillas de algunas coles y han encontrado que la concentración más favorable varía en un máximo del 5% de borra de café para promover el crecimiento y el buen desarrollo de las plantas.

Para Urribarri et al. (2014), la borra de café representa una viabilidad económica y de fácil obtención de triglicéridos. Este residuo puede contribuir a la producción de metabolitos secundarios y también puede utilizarse como biocombustible sólido o como fertilizante en cultivos, ya que es rico en nutrientes.

Por su parte, Barbosa et al. (2020) señalan que el objetivo de su trabajo fue producir fertilizantes organominerales peletizados de liberación lenta a partir de borra de café impregnada con pasta de superfosfato triple. Esta formulación se sometió a pirólisis a diferentes temperaturas y tiempos para desarrollar un fertilizante de liberación lenta que mostró resistencia a la transferencia de masa, permaneciendo en el agua durante más de 29 días. Esto indica que cumple

el objetivo de liberación lenta y que los fertilizantes organominerales pueden ser una alternativa efectiva y de bajo costo sin comprometer el desarrollo de las plantas ni el medio ambiente.

Cruz et al. (2015), en su trabajo sobre la revalorización de residuos de café mediante un enfoque agronómico directo, llevaron a cabo un experimento de campo en invernadero. Cultivaron lechuga Batavia con diferentes concentraciones de borra de café directamente en el suelo (5%, 10%, 15%, 20% y 30% v/v) y evaluaron el desempeño global a través de la calidad física y nutricional de las hortalizas, incluyendo rendimiento, color, pigmentos, vitaminas, fenoles totales y minerales.

En la siguiente imagen se muestra el resultado de la experimentación con lechuga Batavia y borra de café.

Figura 15

Ejemplo de Plantas Recolectadas en el Momento de la Cosecha



Fuente. (Cruz et al.,2015)

La configuración experimental para este estudio se llevó a cabo en un invernadero aleatorio ubicado en la Escuela de Agricultura del Instituto Politécnico de Braganza, Portugal.

Las condiciones del invernadero se mantuvieron controladas con un régimen térmico día/noche de $23/18\pm 2^{\circ}\text{C}$, una humedad relativa del $70\pm 10\%$, y luz solar natural (Cruz et al., 2015).

En el estudio se utilizaron 125 plantas de lechuga, que se cosecharon después de 5 semanas de cultivo. Se realizaron análisis de muestras de suelo para determinar sus características fisicoquímicas, como el pH del suelo, la conductividad eléctrica y el contenido de carbono orgánico. También se evaluó el color de las hojas de lechuga utilizando un colorímetro, se realizaron análisis de clorofilas y carotenoides, y se determinó el contenido total de fenoles mediante el método Folin-Ciocalteau (Cruz et al., 2015).

El estudio de Cruz et al. (2015) confirma el impacto positivo de la borra de café en el crecimiento de las plantas. En particular, se observó que porcentajes más altos de borra de café o posos de café gastados (en el rango del 20% al 30%) condujeron a una mejora en la intensidad del color de las hojas de lechuga, lo cual es un factor atractivo para los consumidores. Además, se registró un aumento en la presencia de antioxidantes en el suelo. En conjunto, este experimento demuestra que la reutilización de la borra de café como fertilizante es un método respetuoso con el medio ambiente y rentable para producir vegetales con un mayor valor nutricional.

Borra de Café con Propiedades Absorbentes

Debido al proceso térmico de tostión, molienda y extracción de sólidos solubles que sufre el café, este experimenta una transformación estructural que le confiere propiedades adsorbentes (Cogua, 2019). Gracias a su estructura microporosa, la borra de café o posos y su capacidad quelante han sido utilizados en la absorción de contaminantes presentes en el agua, lo que les permite eliminar metales pesados y tóxicos (McNutt, 2019).

Dávila et al. (2013) informaron que la borra de café tiene la capacidad de atraer y retener el cobre tres veces más eficazmente que el carbón activado (Kovalcik et al., 2018).

Banu et al. (2020), en su revisión bibliográfica, mencionan que la borra tiene la capacidad de ser utilizada como antibiótico, para eliminar colorantes y metales pesados en la depuración de aguas residuales. Este autor también hace referencia a estudios en los que se emplea la borra de café o posos de café gastados como cápsula para actuar como adsorbente de CO₂ en condiciones óptimas. Se utilizaron dos métodos de activación: el método físico con CO₂ y el químico con KOH. Se observó una menor contaminación en los métodos físicos en comparación con los métodos químicos, lo que sugiere que puede ser utilizada como adsorbente para la captura de CO₂ después de la combustión.

Recuperación de Taninos Presentes en la Borra de Café

Los taninos se han evaluado ampliamente como alternativas naturales a los antibióticos en los piensos, algunos autores como Zabaniotou & Kamaterou (2019), investigaron la influencia de las referencias de sustracción en la recuperación de compuestos fenólicos en la borra de café.

Los taninos también son biopolímeros naturales de bajo costo y excelentes candidatos para producir bioabsorbentes. Se pueden producir productos de bajo costo y ecológicos como adhesivos, plásticos y poliformos utilizando los taninos extraídos de la borra de café, las películas con taninos añadidos se pueden utilizar como materiales de embalaje ecológicos y no tóxicos para productos alimentarios y farmacéuticos (Zabaniotou & Kamaterou, 2019).

En la siguiente imagen se ilustra los derivados que se pueden obtener de la extracción de compuestos presentes en la borra de café y que a su vez contribuyen a la preservación del medio ambiente a través de la reutilización de sus componentes que se desechan en su primer uso.

Figura 16

Tazas Elaboradas con Borra de Café



Fuente. (Gómez, 2023)

Biocombustibles a Partir de Borra

Los biocombustibles son aquellos que se obtienen a partir de los residuos generados en la agricultura, ganadería, tala de árboles, entre otros. Representan la materia orgánica cuyo proceso biológico genera desechos. Estos desechos comprenden materiales de origen vegetal y animal.

Este concepto se conoce como biomasa, y a partir de él se habla de biocombustibles. Es importante aclarar que los combustibles de origen fósil o sus derivados no se consideran dentro de esta denominación, aunque su origen sea biológico. Actualmente, este concepto se acepta para describir productos energéticos y materias primas renovables originados a partir de la materia orgánica por vía biológica (Callejas & Quezada, 2009).

Los biocombustibles de primera generación son aquellos que se obtienen a partir de aceites o azúcares procedentes de cultivos como el maíz, el girasol o la soja. Dependiendo del tipo de cultivo de origen, se determina si se convierte en alcohol mediante fermentación, como es

el caso del etanol, o si, por otro lado, el cultivo es rico en aceites y grasas, se utiliza para producir biodiesel mediante la mezcla de los aceites con alcohol (Ramos et al., 2016).

En la siguiente, se muestra una tabla con los diferentes tipos de biomasa y una descripción de sus características en términos de origen y composición de los elementos o nutrientes que permiten la generación de la biomasa.

Tabla 4

Tipos de Biomasa y sus Características

Tipo de biomasa	Componente
Biomasa primaria	Recurso natural constituido directamente de plantas, algas, bacterias.
Biomasa secundaria	Materia prima resultante de las actividades de los seres que no son capaces de autosustentarse de la materia orgánica del medio y deben consumir materia orgánica de otros seres vivos, aquí se encuentra los desechos fecales y la carne.
Biomasa natural	Generada en la naturaleza, sin intervención del hombre.
Biomasa residual	Son los residuos originarios de la actividad de los seres humanos, sólidos, líquidos etc.
Cultivos energéticos	También llamados biomasa producida, son los cultivos que tienen el propósito de producir insumos para los biocombustibles.

Fuente. (Callejas & Quezada,2009).

Como se mencionó anteriormente, la biomasa para la obtención de biocombustibles puede generarse a partir de residuos de la industria, en este caso, del café y su residuo objeto de estudio, la borra de café o posos de café gastados. Este tema está siendo estudiado por diversos

autores, como Limón-Hernández et al. (2021), quienes mencionan en su proyecto la viabilidad del uso de la borra de café en la obtención de biocombustibles de valor comercial, como el biodiesel y el biogás. Para lograrlo, llevaron a cabo la extracción del aceite de café mediante el método Soxhlet, utilizando hexano como disolvente. La temperatura de extracción se mantuvo a 70°C durante 90 minutos. Luego, se recuperó el solvente por evaporación y el producto que resultó se secó en una estufa a 105°C durante 1 hora. Se evaluó el rendimiento del aceite mediante la siguiente ecuación:

$$\%R = 100 \times \frac{\text{aceite obtenido}(gr)}{\text{café utilizado}(gr)}$$

Este aceite se sometió a un proceso de transesterificación utilizando metanol en una relación de 6:1 (metanol: aceite) y catalizador KOH durante una hora a 60°C. Para la producción de biogás, se empleó una concentración de excreta bovina y borra de café o posos de café gastado. Los resultados de este estudio para la obtención de biodiesel a partir de la borra de café sugieren la posibilidad de utilizar este subproducto en la obtención de biodiesel, ya que el compuesto extraído mostró un rendimiento superior al 11%, lo que indica que puede ser empleado en este proceso (Limón-Hernández et al., 2021).

Los restos o desechos generados por el café son objeto de estudio por autores como Aiello-Mazzarri et al. (2019), quienes, de acuerdo a sus resultados, encuentran que la borra de café o posos de café posee propiedades que la hacen adecuada para la obtención de biodiesel,

Esto se debe a la presencia de grasas que pueden ser extraídas y a su índice de acidez, ya que es rica en ácidos grasos como el linoleico, el palmítico, el esteárico y el oleico. Estos ácidos grasos se convierten en ésteres metílicos que favorecen la producción de combustibles respetuosos con el medio ambiente.

Borra de Café como Sustrato de Microbiota Humana

De Cosío-Barrón et al. (2020) llevaron a cabo un estudio para investigar la actividad microbiana en el colon utilizando borra de café o posos de café gastados. Para ello, se procedió a la extracción de la borra, que fue desecada a 60°C durante 24 horas hasta alcanzar una humedad inferior al 10% con el fin de minimizar la actividad microbiana y prevenir el deterioro.

Posteriormente, se almacenó a una temperatura de 4°C. Se realizaron análisis de composición química, que incluyeron la determinación del contenido de cenizas, humedad, nitrógeno, contenido de proteínas y valores de carbohidratos.

El proceso experimental que llevaron a cabo consistió en preparar una composición nutracéutica que incluía fibra y fracciones de componentes solubles e insolubles. Luego, se añadió fosfato a las diferentes muestras y se les agregó amilasa. Estas muestras se sometieron a un baño de agua a 100°C y se incubaron durante media hora con agitación manual cada 5 minutos. Después, se ajustaron las muestras a un pH de 7.5 y se les añadió 0.1 ml de proteasa. Una vez más, se colocaron en un baño de María a 60°C durante media hora.

Las muestras se ajustaron a un pH de 4 y se mantuvieron en un baño de María a 60°C durante media hora. Luego, se agregaron 0.3 ml de amiloglucosidasa y se incubaron durante 30 minutos con agitación constante. Posteriormente, se añadieron 95 ml por cada 100 ml de etanol y la mezcla se dejó reposar durante 24 horas. Después de este período, las muestras se filtraron hasta alcanzar un peso constante, y los residuos se lavaron tres veces con agua destilada. Finalmente, estos residuos se colocaron en una estufa a 90°C durante 2 horas y se pesaron.

Los posos de café gastados se han relacionado con cambios en la flora intestinal, lo que incluye un aumento en la presencia de *Bifidobacterium* y una disminución en la de *Clostridium* y *Escherichia coli*. Estos cambios en la flora intestinal son beneficiosos y pueden contribuir a

mejorar el perfil de ácidos grasos de cadena corta producidos por la flora intestinal (Bevilacqua et al., 2023).

De acuerdo con el estudio realizado por de Cosío-Barrón et al. (2020), se concluye que la borra de café o posos de café gastados son una fuente rica en fitoquímicos que, cuando son digeridos, absorbidos y fermentados en el colon, presentan beneficios para la salud. Además, se observó que la borra de café de tuestión media es más efectiva en la modulación de la actividad de las enzimas fecales en comparación con la borra de café de tuestión oscura. Estos hallazgos sugieren que la borra de café tiene un potencial funcional para ejercer un efecto positivo en la salud del colon humano, al influir en la actividad metabólica del microbiota intestinal, lo que respalda su uso como ingrediente en la industria de alimentos.

Los estudios mencionados por Bevilacqua et al. (2023) sugieren que el consumo de los restos generados por el café, como la borra de café o posos de café gastados, puede tener beneficios para la salud y parece ser seguro. Estos beneficios incluyen la modulación del microbiota intestinal, lo que puede conducir a la reducción del peso corporal, la grasa abdominal, la presión arterial sistólica y los niveles de grasas en sangre. También se observaron mejoras en la tolerancia a los azúcares y la estructura de órganos como el corazón y el hígado en estudios con ratones. Además, en estudios con humanos, se encontró que el consumo de galletas fortificadas con borra de café promovía la saciedad a corto plazo y reducía el consumo total de energía, incluso sin cambios en la dieta.

Estos hallazgos sugieren un potencial beneficioso para la salud al incorporar la borra de café en la dieta, aunque es importante destacar que se necesitan más investigaciones para comprender completamente sus efectos y beneficios en la salud humana.

Conclusiones

Teniendo en cuenta lo consultado con respecto al cultivo del hongo *Pleurotus*, para lograr un desarrollo adecuado de sus nutrientes, el porcentaje apropiado en los sustratos debe estar entre el 17-55% de borra de café.

En el caso de los fertilizantes a los cuales se les ha incorporado borra de café y que han demostrado que las verduras mejoran su coloración se les deben aplicar máximo el 5% de borra.

En la industria de la panificación que ha implementado o ha experimentado el uso de la borra de café en sus preparaciones de pan integral, sensorialmente aceptado de acuerdo a paneles de degustación, el porcentaje ideal de borra de café es de 4% para emplear en su elaboración y en cuanto a los muffins el porcentaje de mayor aceptación en su preparación es de 1% de borra de café.

Es cierto que la borra de café es un subproducto que ha sido subestimado durante mucho tiempo, pero como se ha visto a lo largo de esta revisión bibliográfica, presenta un potencial significativo en diversos ámbitos, desde la industria de alimentos hasta la agricultura y la energía. Su composición rica en compuestos como polisacáridos, lípidos, taninos y otros fitoquímicos le otorgan diversas aplicaciones beneficiosas.

La reutilización de la borra de café no solo puede reducir la contaminación, sino que también puede contribuir a la sostenibilidad y la economía circular al convertir un residuo en un recurso valioso. Sin embargo, es importante continuar investigando y desarrollando formas efectivas de aprovechar este subproducto de manera responsable y beneficiosa para diversas industrias y para el medio ambiente.

La valorización de los residuos agrícolas como la borra de café es esencial para reducir el desperdicio y promover prácticas sostenibles, este enfoque no solo beneficia a la industria alimentaria, sino que también tiene un impacto positivo en la conservación del medio ambiente y la promoción de una economía circular y sostenible.

Es cierto que la borra de café o posos de café gastado representa un recurso valioso que puede aprovecharse de manera más efectiva. Su contenido en antioxidantes, ácidos grasos y cafeína ofrece oportunidades para diversas aplicaciones industriales, incluyendo la formulación de alimentos y productos para mejorar la salud humana. Además, dado el aumento en la demanda de café a nivel nacional e internacional, la gestión adecuada de los subproductos, como la borra de café, se vuelve esencial para reducir la contaminación y promover prácticas más ecológicas.

La investigación continúa en esta área es crucial para identificar y desarrollar aún más las aplicaciones potenciales de la borra de café y para comprender completamente su valor nutricional y beneficios para la salud. Esto podría conducir a la creación de nuevos productos y fuentes de ingresos, al tiempo que se contribuye a la gestión más eficiente de los residuos y a la promoción de la sostenibilidad en la industria del café.

Es importante que las universidades en Colombia se interesen más por explotar esta clase de residuos y en se amplíen estas investigaciones que benefician al medio ambiente y a la vez, se genere conocimiento a partir de elementos que a primera vista no se aprovecha. También es necesario socializar estos usos de la borra del café, para empezar a implementarlos en la industria colombiana.

Referencias

- Aguilar-Raymundo, V. G., Sánchez-Páez, R., Gutiérrez-Salomón, A. L., & Barajas-Ramírez, J. A. (2019). Spent coffee grounds cookies: Sensory and texture characteristics, proximate composition, antioxidant activity, and total phenolic content. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12), e14223.
- Aiello-Mazzarri, C., Salazar, Y., Urribarrí, A., Arenas-Dávila, E., Sánchez-Fuentes, J., & Ysambertt, F. (2019). Producción de biodiésel a partir de las grasas extraídas de la borra de café: esterificación con H₂SO₄ y transesterificación con KOH. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 29(1), 53-66.
- Alsanad, M., Sassine, Y. N., El Sebaaly, Z., & Abou Fayssal, S. (2021). Spent coffee grounds influence on *Pleurotus ostreatus* production, composition, fatty acid profile, and lignocellulose biodegradation capacity. *CyTA-Journal of Food*, 19(1), 11-20.
- Angarita Daza, F. A. (2013). Borra de café como material adsorbente para la remoción de cromo (III).
- Arana Rengifo, V. (2015). Autenticación del origen botánico y geográfico del café colombiano por metabolómica basada en RMN.
- Arcila, J., Farfán, F. F., Moreno, A. M., Salazar, L. F., & Hincapié, E. (2007). Sistemas de producción de café en Colombia.
- Badr, A. N., El-Attar, M. M., Ali, H. S., Elkhadragy, M. F., Yehia, H. M., & Farouk, A. (2022). Spent Coffee Grounds Valorization as Bioactive Phenolic Source Acquired Antifungal, Anti-Mycotoxigenic, and Anti-Cytotoxic Activities. *Toxins*, 14(2), 109.

- Ballesteros, H. B., & Aristizábal, G. L. (2007). Información técnica sobre gases de efecto invernadero y el cambio climático. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. Subdirección de Meteorología (Bogotá, Colombia). 96p.
- Ballesteros, L. F., Cerqueira, M. A., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2018). Production and physicochemical properties of carboxymethyl cellulose films enriched with spent coffee grounds polysaccharides. *International journal of biological macromolecules*, 106, 647-655.
- Banu, J. R., Kavitha, S., Kannah, R. Y., Kumar, M. D., Atabani, A. E., & Kumar, G. (2020). Biorefinery of spent coffee grounds waste: Viable pathway towards circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 302, 122821.
- Barbosa, N. S., Grande, J. G., Da Luz, M. S., Sousa, N. G., & Dos Santos, K. G. (2020). Desenvolvimento de fertilizante organomineral fosfatado peletizado a base de borra de café para fins de liberação lenta (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado Multicêntrico em Química de Minas Gerais)-Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Uberaba, MG).
- Benincá, D. B., do Carmo, L. B., Grancieri, M., Aguiar, L. L., Lima Filho, T., Costa, A. G. V., ... & Silva, P. I. (2023). Incorporation of spent coffee grounds in muffins: A promising industrial application. *Food Chemistry Advances*, 3, 100329.
- Bevilacqua, E., Cruzat, V., Singh, I., Rose'Meyer, R. B., Panchal, S. K., & Brown, L. (2023). The Potential of Spent Coffee Grounds in Functional Food Development. *Nutrients*, 15(4), 994
- Bioexploradores_farallones. *Coffea arabica* (Café arábigo, Cafeto) – Biodiversidad Farallones del Citará. Biodiversidad Farallones del Citará.

- Bomfim, A. S. C. D., Oliveira, D. M. D., Voorwald, H. J. C., Benini, K. C. C. D. C., Dumont, M. J., & Rodrigue, D. (2022). Valorization of spent coffee grounds as precursors for biopolymers and composite production. *Polymers*, 14(3), 437.
- Callejas, E. S., & Quezada, V. G. (2009). Los combustibles. *El cotidiano*, (157), 75-82.
- Campos Reyes, L. (2018) Caracterización de un pigmento bioactivo obtenidos a partir de residuos de café y evaluación de su aplicación en productos alimenticios.
- Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Oomah, B. D. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends in Food Science & Technology*, 45(1), 24-36.
- Caro Miranda, V. (2021). Antagonismo de microorganismos aislados a partir de la borra de café, generada en la Universidad EAFIT, sobre el crecimiento del hongo *Pleurotus* sp (Bachelor's thesis, Universidad EAFIT).
- Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Rubino, M., Izzo, L., & Narváez, A. (2021). In vitro bioaccessibility and antioxidant activity of polyphenolic compounds from spent coffee grounds-enriched cookies. *Foods* 10.
- Castillo, M., & Iriondo-DeHond, A. (2022). Cómo aprovechar a lo grande los posos del café.
- Castillo, M., Martínez Sáez, N., & Ullate, M. (2014). Formulación alimentaria que comprende marros de café y sus aplicaciones.
- Cevallos Suárez, J. A., & Guerrero Carriel, J. Y. (2017). Extracción y caracterización de colorante natural a partir de la Borra de Café (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Química).
- Cogua Barrera, H. R. (2019). Estudio de la Borra de Café para su Uso en Formulaciones de Liberación Controlada de Nutrientes.

- Cómo usar el café como abono casero para las plantas. (2019, November 29). Cleanipedia.
<https://www.cleanipedia.com/ar/sustentabilidad/como-utilizar-los-posos-de-cafe-en-nuestro-jardin.html>
- Cruz, R., Mendes, E., Torrinha, Á., Morais, S., Pereira, J. A., Baptista, P., & Casal, S. (2015). Revalorization of spent coffee residues by a direct agronomic approach. *Food Research International*, 73, 190-196.
- De Cosío-Barrón, A. C. G., Hernández-Arriaga, A. M., & Campos-Vega, R. (2020). Spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds positively modulate indicators of colonic microbial activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 60, 102286.
- Especies y variedades del Café. (2019, May 23). Cafe Rio Cofre.
<https://www.riocofre.com/blogs/news/especies-y-variedades-del-cafe>
- Federaciondecafeteros.org. (2023) <https://federaciondecafeteros.org/app/uploads/2023/11/IG-92-CNC-DIGITAL.pdf>
- García-Muñoz, A. F., & Riaño-Luna, C. E. (1999). Extracción de celulosa a partir de la borra de café. *Cenicafé*, 50(3), 205-214.
- Gómez, H. (2023). Tazas para el café hechas con café para reducir los residuos plásticos. *La Criatura Creativa*. <https://lacriaturacreativa.com/2018/07/20/tazas-para-el-cafe-hechas-con-cafe-para-reducir-los-residuos-plasticos/>
- Herrera, J. C., & Cortina, H. A. (2013). Taxonomía y clasificación del café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 117–121). Cenicafé.
- Janissen, B., & Huynh, T. (2018). Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. *Resources, Conservation and recycling*, 128, 110-117.

- Job, D. (2004). La utilización de la borra del café como sustrato de base para el cultivo de *Pleurotus ostreatus* (Jacq.: Fr.) Kummer. *Rev Iberoam Micol*, 21, 195-197.
- Kanai, N., Honda, T., Yoshihara, N., Oyama, T., Naito, A., Ueda, K., & Kawamura, I. (2020). Structural characterization of cellulose nanofibers isolated from spent coffee grounds and their composite films with poly (vinyl alcohol): a new non-wood source. *Cellulose*, 27, 5017-5028.
- Kim, J. H., Ahn, D. U., Eun, J. B., & Moon, S. H. (2016). Antioxidant effect of extracts from the coffee residue in raw and cooked meat. *Antioxidants*, 5(3), 21.
- Koay, H. Y., Azman, A. T., Zin, Z. M., Portman, K. L., Rusli, N. D., Hasmadi, M., ... & Zainol, M. K. (2023). Assessing the impact of spent coffee ground (SCG) concentrations on shortbread: A study of physicochemical attributes and sensory acceptance. *Future Foods*, 8, 100245
- Kourmentza, C., Economou, C. N., Tsafraikidou, P., & Kornaros, M. (2018). Spent coffee grounds make much more than waste: Exploring recent advances and future exploitation strategies for the valorization of an emerging food waste stream. *Journal of Cleaner Production*, 172, 980-992.
- Kovalcik, A., Obruca, S., & Marova, I. (2018). Valorization of spent coffee grounds: A review. *Food and Bioproducts Processing*, 110, 104-119.
- Lechner, B. E., Rugolo, M., & Mallerma, J. (2018). Hongos comestibles: el cultivo de *flammulina velutipes* (enokitake). Eudeba.
- Limón-Hernández, R. A., López-Hernández, V., Aguilar-Aguilar, F. A., & Hernández-Martínez, I. (2021). Evaluación del potencial bioenergético de la borra de café. *RINDERESU*, 5(1).

- López, R. S., Ponce, B. a. F., Silva, I. M. V., Maldonado-Astudillo, Y. I., Jiménez-Hernández, J., Casamayor, V. F., & Villa, G. A. (2021). Efecto de la adición de subproductos agroindustriales en las propiedades físicas de un biopolímero almidón-gelatina. *Biotecnia*, 23(1), 52–61. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i1.1324>
- López Tricas, J. M. (2015). *Café: Origen, Química Y Efectos*. *Café: Origen, QUÍMICA Y EFECTOS*. <http://www.info-farmacia.com/historia/el-cafe-origen-quimica-y-efectos>.
- Lovers, F. (2021). *Café tostado: ¿qué es y cuáles son sus características?* MdzOnline. <https://www.mdzol.com/food-lovers/2021/3/24/cafe-tostado-que-es-cuales-son-sus-caracteristicas-147385.html>
- Machado, E., Mussatto, S. I., Teixeira, J., Vilanova, M., & Oliveira, J. (2018). Increasing the sustainability of the coffee agro-industry spent coffee grounds as a source of new beverages. *Beverages*, 4(4), 105.
- Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., ... & Del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216, 114-122.
- Martinez-Saez, N., García, A. T., Pérez, I. D., Rebollo-Hernanz, M., Mesías, M., Morales, F. J., ... & Del Castillo, M. D. (2017). Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. *Food Chemistry*, 216, 114-122.
- Mayorga Yuntul, F. A. (2019). Efecto del porcentaje de sustitución de la harina de trigo por extracto de posos de café gastado (SCG) en la actividad antioxidante, características sensoriales y color de galletas dulces.
- McNutt, J. (2019). Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 71, 78-88.

Morales, L., & Pérez, D. (2020). Valorización de los residuos de café tostado y molido (borra de café), generados en el campus central de la universidad de El Salvador. Universidad de El Salvador.

Moustafa, H., Guizani, C., Dupont, C., Martin, V., Jeguirim, M., & Dufresne, A. (2017). Utilization of torrefied coffee grounds as reinforcing agent to produce high-quality biodegradable PBAT composites for food packaging applications. *Acs Sustainable Chemistry & Engineering*, 5(2), 1906-1916.

Narváez Mosquera, M. A., & Villota Erazo, L. M. (2018). Caracterización fisicoquímica del gránulo de la borra de café de la hacienda Supracafé en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca (Doctoral dissertation, Uniautónoma del Cauca. Facultad de Ciencias Ambientales y Desarrollo Sostenible. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria).

Nieto-Juárez, Jessica I., Cuzcano-Ruiz, Ángel D., & Reyes-López, Walter. (2021). Evaluación del cultivo del hongo *Pleurotus Ostreatus* y de su composición nutricional en Borra de Café. *Tecnia*, 31(2), 27-32. Epub 01 de junio de 2021

Osorio Arias, J. C. (2019). Obtención de un ingrediente alimentario a partir de suero lácteo y borra de café.

Ostos Pérez, D. M., & García de Hoyos, L. K. (2019). Evaluación de la extracción por disolventes de aceite crudo a partir de café (*Coffea arabica*) afectado por broca (*Hypothenemus hampei*).

Principales productores de café del mundo en 2023. (2024). Statista. Retrieved from <https://es.statista.com/estadisticas/600243/ranking-de-los-principales-productores-de-cafe-a-nivel-mundial/>

- Puerta, G. I. (2013). Composición química de una taza de café. Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Puertas-Mejía, Miguel A, Villegas-Guzmán, Paola, & Alberto Rojano, Benjamín. (2013). Borra De Café Colombiano (Coffea Arabica) Como Fuente Potencial De Sustancias Con Capacidad Antirradicales Libres In Vitro. *Revista Cubana De Plantas Medicinales*, 18(3), 469-478
- Ramos, F. D., Díaz, M. S., & Villar, M. A. (2016). Biocombustibles.
- Rodríguez Ramos, D. (2021). Estudio del aprovechamiento de los residuos del café como potencial producto fitosanitario, bioestimulante y/o fertilizante.
- Rodríguez, N., & Zambrano, D. A. (2013). Los Subproductos Del Café: Fuente De Energía Renovable. Centro Nacional De Investigaciones De Café (Cenicafé).
- Rwubatse, B., Okoth, M. W., Andago, A. A., Ngala, S., Kimonyo, A., & Bitwayiki, C. (2021). The effect of wheat variety, fermentation and incorporation of ingredients on the texture profile, colour and sensory attributes of whole wheat bread. *Croatian journal of food science and technology*, 13(2), 227-235.
- Scarpeta, E. (2022). Filme plástico a partir de borra de café usada. *Plástico News*.
<https://plasticonews.org/filme-plastico-a-partir-de-borra-de-cafe-usada/>
- Serna-Jiménez, J. A., Torres-Valenzuela, L. S., Martínez-Cortínez, K., & Hernández-Sandoval, M. C. (2018). Aprovechamiento de la pulpa de café como alternativa de valorización de subproductos. *Revista Ion*, 31(1), 37-42.
- Sicex. (2022). Productos líderes en exportación del sector agro. SICEX - Inteligencia De Mercados. <https://sicex.com/blog/principales-productos-agro-que-exporta-colombia/>

- Takao, I., Fujii, S., Ishii, A., Han, L. K., Kumao, T., Ozaki, K., & Asakawa, A. (2006). Effects of manooligosaccharides from coffee mannan on fat storage in mice fed a high fat diet. *Journal of health science*, 52(3), 333-337.
- Terroba-Delicado, E., Fiori, S., Gomez-Caturla, J., Montanes, N., Sanchez-Nacher, L., & Torres-Giner, S. (2022). Valorization of liquor waste derived spent coffee grains for the development of injection-molded polylactide pieces of interest as disposable food packaging and serving materials. *Foods*, 11(8), 1162.
- Trà, T. T. T., Yén, V. T. N., Thu, N. T. A., & Nguyệt, T. N. M. (2021, December). Use of wheat flour and spent coffee grounds in the production of cookies with high fiber and antioxidant content: Effects of spent coffee grounds ratio on the product quality. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 947, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.
- Urribarrí, A., Zabala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., ... & Mazzarri, C. A. (2014). Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel. *Multiciencias*, 14(2), 129-139.
- Vanegas, Fabián (2016), *Taxonomía del café, coffee media*
- Zabaniotou, A., & Kamaterou, P. (2019). Food waste valorization advocating Circular Bioeconomy-A critical review of potentialities and perspectives of spent coffee grounds biorefinery. *Journal of cleaner production*, 211, 1553-1566.
- Zainol, M. K., Mohd Subri, I., Zamri, A. I., Mohd Zin, Z., Fisal, A., & Mamat, H. (2020). Antioxidative properties and proximate analysis of spent coffee ground (SCG) extracted using ultrasonic-methanol assisted technique as a potential functional food ingredient. *Food Res*, 4(3), 636-644.

Zengin, G., Sinan, K. I., Mahomoodally, M. F., Angeloni, S., Mustafa, A. M., Vittori, S., ... & Caprioli, G. (2020). Chemical composition, antioxidant and enzyme inhibitory properties of different extracts obtained from spent coffee ground and coffee silverskin. *Foods*, 9(6), 713

Apéndices

Apéndice A

Infografía del Proceso Productivo del Café

