

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas

“Caracterización fisicoquímica de la borra del café tostado y molido con enfoque al aprovechamiento en el sector productivo”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Químico

Presentado por:

Clara Abigail Aguilar Arcentales

María Cristina Chamba Betancourt

Tutores:

Michael Rendón Morán, MSc.

Héctor Palacios Cabrera, PhD.

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2022

DEDICATORIA

El presente proyecto se lo dedicamos a nuestra familia, amigos más cercanos, a los profesores que tuvimos a lo largo de nuestra carrera y a todos los profesionales que aportaron con su conocimiento analítico y experimental para que este estudio sea finalizado.

(Particularmente, Yo, Ma. Cristina quiero dedicarle esto a mi pequeña Emilia, gracias por enseñarme a creer en mí.

¡Mamá lo logró!)

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros
agradecimientos van a Dios, a nuestras
familias que han sido el soporte para que
podamos culminar nuestra carrera, a los
amigos que nos han acompañado a lo largo
de este trayecto, a los profesores que nos
brindaron un apoyo moral e intelectual,
especialmente al CIBE de ESPOL y a
nosotras mismas por no permitirnos fracasar
y seguir adelante en todo momento.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Clara Abigail Aguilar Arcentales y María Cristina Chamba Betancourt damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Clara Abigail

Aguilar Arcentales



María Cristina

Chamba Betancourt

EVALUADORES



Firmado electrónicamente por:
**MICHAEL GUILLERMO
RENDON MORAN**

Nadia Flores Manrique, MSc.

PROFESOR DE LA MATERIA

Michael Rendón Morán, MSc.

PROFESOR TUTOR



Firmado electrónicamente por:
**HECTOR ABEL
PALACIOS CABRERA**

Héctor Palacios Cabrera, Ph.D.

PROFESOR COTUTOR

RESUMEN

El propósito de este estudio se basa en evaluar el residuo generado del café post-filtrado en las cafeterías y empresas industriales procesadoras de café. El proyecto se enfocó en estudiar a la borra de café desechada en el país, a través de un muestreo de dos cafeterías con numerosas franquicias por todo el país, un emprendimiento y una empresa industrial para la realización de una caracterización fisicoquímica. Esto permitió identificar y cuantificar compuestos de gran interés en la industria por sus propiedades, al igual que determinar la presencia de moléculas potencialmente dañinas para la salud humana según su concentración: Acrilamida y metales pesados (Pb, Cd y As). Los análisis mostraron una presencia de ácidos grasos de gran importancia como el ácido palmítico, linoleico, oleico y esteárico; al igual que antioxidantes. Se identificó que todas las muestras presentaron humedad alta, de más del 60% y que de manera general los compuestos bioactivos cuantificados se encontraban en menor proporción en la muestra proveniente de la industria, esto debido a mejores eficiencias en el proceso de café soluble y la mezcla de variedades de café. Respecto a acrilamida, las concentraciones estuvieron entre 12,8 µg/ kg y 34,6 µg/kg siendo estos niveles bastante bajos. En cuanto a los metales pesados, las muestras evaluadas mostraron niveles altos de plomo (entre 0,8 ppm y 1,6 ppm), sobrepasando los límites establecidos para el café tostado por la Unión Europea, Mercosur e INEN. Finalmente, se presentaron diversas propuestas de valor para este desecho abriendo paso a futuras investigaciones según el interés del mercado.

Palabras claves: Borra de café, caracterización, cafeterías e industria, ácidos grasos, acrilamida, metales pesados.

ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the residue generated from post-filtered coffee in cafeterias and industrial coffee processing companies. The project focused on the study of the disposed of spent coffee grounds in Ecuador through a sampling of two cafeterias with numerous franchises within the country, a start-up, and an industrial company to carry out a physicochemical characterization. This allowed the identification and quantification of compounds of great interest in the industry due to their properties and to determine the presence of potentially harmful molecules for human health according to their concentration: Acrylamide and heavy metals (Pb, Cd, and As). The analysis indicated the presence of fatty acids of great importance such as palmitic, linoleic, oleic, and stearic acids as well as antioxidants. It was identified high water content, of more than 60% in all the samples and that in general the quantified bioactive compounds were found in a lower proportion in the sample from the industry, this due to better efficiencies in the soluble coffee process and the mixture of coffee varieties. Regarding acrylamide, the concentrations were between 12,8 µg/kg and 34,6 µg/kg, these levels being quite low. With reference to heavy metals, the samples evaluated showed high levels of lead (between 0,8 ppm and 1,6 ppm) exceeding the limits established for roasted coffee by the European Union, Mercosur and INEN. Finally, several value propositions for this waste were presented, opening the way for future research according to market interest.

Keywords: *Spent coffee grounds, characterization, cafeterias and industry, fatty acids, acrylamide, heavy metals.*

ÍNDICE

RESUMEN.....V

I

ABSTRACT

.....**VI**

I

ABREVIATURAS..... XII

SIMBOLOGÍAS.....XIII

ÍNDICE DE FIGURAS.....XIV

ÍNDICE DE TABLAS.....XV

1. Introducción 1

1.1 Descripción del problema..... 1

1.2 Justificación del problema..... 2

1.3 Objetivos 3

1.3.1 Objetivo General 3

1.3.2 Objetivos Específicos..... 3

1.4 Marco teórico 4

1.4.1 Fruto de café..... 4

1.4.2 Compuestos bioactivos..... 16

1.5	Bioactivos de cuidado.....	20
1.5.1	Seguridad alimentaria.....	20
2.	Metodología	24
2.1	Diseño no experimental transversal descriptivo.....	24
2.2	Revisión bibliográfica	25
2.3	Selección y recolección de muestras.....	25
2.4	Caracterización.....	26
2.4.1	Proximal	26
2.4.2	Flavonoides	28
2.4.3	Cafeína	30
2.4.4	Ácidos grasos	31
2.4.5	Metales pesados y minerales.....	34
2.4.6	Acrilamida.....	35
3.	Análisis de resultados	37
3.1	Cafeína	39
3.2	Flavonoides	40
3.3	Proximal	42
3.4	Minerales.....	43

3.1	Contenido de ácidos grasos	44
3.2	Acrilamida.....	47
3.3	Metales pesados.....	50
3.4	Propuesta de producto	53
4.	Conclusiones y recomendaciones.....	57
4.1	Conclusiones	57
4.2	Recomendaciones.....	58
	BIBLIOGRAFÍA.....	60

ABREVIATURAS

PIB	Producto Interno Bruto
UE	Unión Europea
ANECAFÉ	La Asociación Nacional Ecuatoriana de Café
RAE	Real Academia Española
OPS	Organización Panamericana de la Salud
EPA	Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos

SIMBOLOGÍAS

m	Metro
nm	Nanómetro
mm	Milímetro
μm	Micrómetro
kg	Kilogramo
g	Gramo
mg	Miligramo
min	Minutos
h	Hora
L	Litro
mL	Mililitro
μL	Microlitro
ppm	Partes por millón
°C	Grados Celsius
hPa	Hectopascal
m / z	Relación masa-carga
RPM	Revoluciones por minuto
ND	No detectado
BS	Base seca
NA	No Aplica
FPS	Factor de Protección Solar

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Parte de la cereza del café	4
Figura 2 Producción de café en Ecuador	8
Figura 3 Residuos generados en las etapas del procesamiento del café	11
Figura 4 Clasificación de los compuestos bioactivos.	18
Figura 5 Reacción de Maillard.....	22
Figura 6: Flavonoides importantes en la borra de café.....	41
Figura 7: Porcentajes de ácidos grasos importantes en la borra de café.....	47
Figura 8: Comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidos con las regulaciones disponibles	51
Figura 9 Resultado de análisis de Cafeína a la muestra B (Activo y blanco respectivamente)...	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Componentes químicos en el grano de café.....	5
Tabla 2 Residuos generados en el procesamiento de 1 kg de cereza de café en Colombia	12
Tabla 3 Aplicación de los residuos generados en el procesamiento de café.....	13
Tabla 4 Niveles de referencia de acrilamida en alimentos.....	21
Tabla 5 Información de las muestras recolectadas.....	25
Tabla 6 Información de parámetros proximales evaluados.	26
Tabla 7 Condiciones cromatográficas del procedimiento realizado.	28
Tabla 8 Longitudes de onda para estándares.	29
Tabla 9 Condiciones cromatográficas del procedimiento realizado.	30
Tabla 10 Condiciones cromatográficas.....	33
Tabla 11 Condiciones de gradiente.....	33
Tabla 12 Condiciones cromatográficas.....	35
Tabla 13 Tabla de global de resultados de la caracterización.....	37
Tabla 14 Resultados de cafeína del presente proyecto en comparación a la literatura.	39
Tabla 15 Resultados de flavonoides del presente proyecto en comparación a la literatura.	40
Tabla 16 Resultados proximales del presente proyecto en comparación a la literatura.	42
Tabla 17 Resultados de minerales en borra de café en comparación con la literatura.	43

Tabla 18 Resultados de porcentaje ácidos grasos del presente proyecto en comparación a la literatura.....	44
Tabla 19 Resultados de acrilamida del presente proyecto en comparación a la literatura.....	47
Tabla 20 Resultados de metales pesados del presente proyecto en comparación a la literatura..	50

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción del problema

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, se estima que 1.3 billones de toneladas son desechadas mundialmente y el sector de procesamiento de frutas y vegetales contribuye en un 44% a esa generación (Anal, Panesar & Kaur, 2022). En particular con la industria del café, Echeverría & Nuti (2017) estiman que la producción global de café genera alrededor de 10 millones de toneladas de residuos (sólidos y líquidos) cada año.

Ecuador cultiva café en 23 de sus 24 provincias; según lo consultado en el Fórum Cafetero Ecuatoriano, se registraron 268.000 sacos de 60 kg cada uno entre 2018 y 2019. En el procesamiento de este, tan solo del 7 al 10% es utilizado para un producto final mientras que el resto es desechado y clasificado como bagazo. (Bobková et al., 2022).

Es por lo que ante lo expuesto y conociendo que la producción de café tiene un alto costo y se obtiene poco producto de valor se presenta la siguiente interrogante: ¿De qué modo se puede aprovechar el desecho obtenido en el post-filtrado de café previo a su disposición final en los vertederos?

1.2 Justificación del problema

La industria alimenticia es una de las más representativas a nivel mundial, de hecho, es la más importante en el Ecuador, alcanzando en 2016 el 4.67% del PIB total y el 38% de representación en el sector manufacturero según cifras del Banco Central del Ecuador.

Esta industria que a nivel mundial ha generado beneficios económicos, plazas de empleo e innovación de productos procesados de consumo masivo con su expansión, es también responsable de la gran cantidad de desechos y subproductos biodegradables que son un riesgo potencial al ambiente al no ser dispuestos correctamente. Según lo recopilado en la investigación de Calle (1977), la borra de café es el tercer residuo más abundante generado durante el procesamiento e industrialización de café.

Durante las últimas décadas ha aumentado la tendencia de valorizar los residuos agroindustriales a través del uso de la biotecnología, promoviendo una visión más sostenible del uso de los recursos en la cadena productiva (Anal, Panesar & Kaur, 2022). En las industrias de comercialización de bebidas de café la borra es dispuesta como un desecho común o, a elección de la empresa, la ofrecen como elemento para compostaje. Sin embargo, esta no es una práctica estándar que sigan todas las cafeterías.

La preparación de café soluble ocupa alrededor del 50% de la producción mundial de café y por cada tonelada de café verde se genera un aproximado de 650 kg de borra de café. Dicho desecho posee un potencial en la elaboración de productos por su contenido de compuestos importantes como azúcares monosacáridos, proteínas y fibra (Arya et al., 2021), por lo que se propone una alternativa que favorezca al sector productivo.

Este proyecto integrador beneficiará a la comunidad científica, generando conocimiento a partir de una caracterización amplia del desecho, sirviendo como base para futuras líneas de investigaciones. Así mismo, contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible como lo plantea el objetivo 2 de poner fin al hambre, conseguir la seguridad alimentaria, mejorar la nutrición, y promover la agricultura sostenible. Además, se aplica también para el objetivo 3 y 12 al garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos y garantizar las pautas de consumo y de producción sostenibles respectivamente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar los niveles de biomoléculas y contaminantes presentes en la borra de café obtenida del sector cafeterías e industria cafetera para su aprovechamiento industrial.

1.3.2 Objetivos Específicos

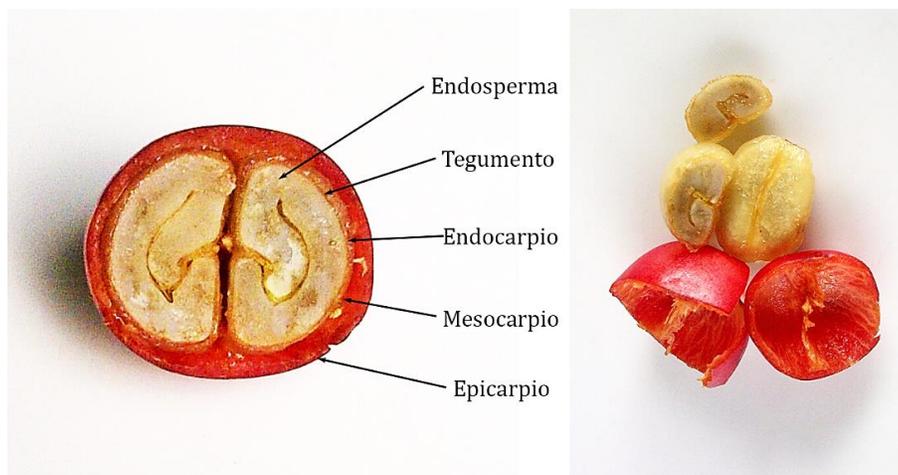
1. Evaluar las muestras de borra de café mediante técnicas analíticas espectroscópicas y cromatográficas para el establecimiento de moléculas de interés.
2. Determinar el porcentaje de acrilamida y metales pesados presentes en las muestras para su comparación con el Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión, de 20 de noviembre de 2017 y demás regulaciones pertinentes.
3. Analizar los resultados obtenidos para la elaboración de una propuesta basado en el aprovechamiento de la borra de café.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fruto de café

El árbol de café es proveniente del norte de Etiopía, al oriente de África. En el siglo XIII se empezó a utilizar como bebida estimulante dado que la religión islámica empezó a prohibir el consumo de bebidas alcohólicas. Luego alrededor del año 1650, se empezó a dar cultivo en la India, finalmente llega a América gracias a los colonos europeos. Este producto estimula el sistema nervioso y según estudios mejora la concentración por lo que se recomienda su consumo moderado (Dauster Sette, 2017).

Figura 1
Parte de la cereza del café



Nota: En la imagen se puede observar las partes de la cereza del café al realizar un corte transversal. Recopilado de: <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>

1.4.1.1 Caracterización física y bioquímica

El sabor del café proviene de la clase de grano que se tenga y de su postcosecha. Al someter al grano al secado se puede alterar características de este, como el color, olor y el sabor. Sin embargo, esto se nota cuando se almacena por largos períodos de tiempo (Fareez Edzuan et al, 2015). Si se habla de características químicas, según lo mencionado por Sharma (2019), la composición del grano de café se basa en cafeína 2-3%, un 3-5% de taninos, un 13% de proteínas y un 10-15% de aceites fijos. En las semillas, la cafeína está presente como sal del ácido clorogénico (CGA). En la tabla 1 se presentan los principales componentes químicos.

Tabla 1
Componentes químicos en el grano de café.

<i>Constituyente</i>	<i>Componente</i>	<i>Fuente</i>
Carbohidratos solubles	Monosacáridos, fructuosa, glucosa, galactosa, arabinosa (rastros)	
Oligosacáridos	Sacarosa, rafinosa, estaquirosa	(Puerta, 2011)
Polisacáridos	Polímeros de galactosa, manosa, arabinosa, glucosa, polisacáridos insolubles	
Hemicelulosas	Polímeros de galactosa, arabinosa, manosa, celulosa,	

	ácidos y fenoles, ácidos volátiles.	
Ácidos alifáticos no volátiles	Ácido cítrico, ácido málico, ácido quínico	(Sereshti & Samadi, 2014)
Ácidos clorogénicos	Ácido mono, dicafeoy feruloilquínico, lignina, lípidos y cera.	
Aceite	Principales ácidos grasos: N-componentes	
Aminoácidos libres	Principales aminoácidos: Glu, Asp, Asp-NH ₂ , Proteínas.	(Choi et al, 2013)
Cafeína	Trazas de teobromina, teofilina, trigonelina y minerales.	

1.4.1.2 Industria cafetera y cafeterías

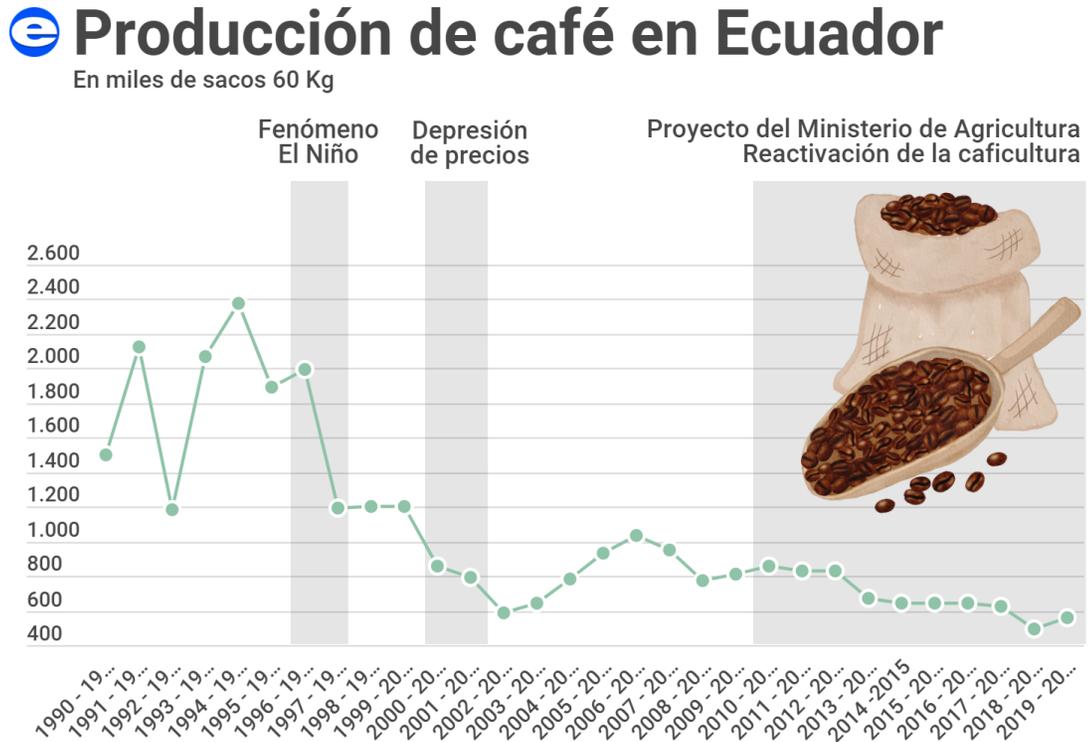
En Ecuador, el café es uno de los principales productos de exportación, posicionándose en el puesto 20 del ranking mundial (*Coffee Producing Countries 2023*, 2023).

Según lo consultado con la Internacional Coffee Organization, es uno de los pocos países que produce café de dos tipos, provenientes de la familia *Rubiaceae*, género *Coffea*, de tipo Arábigo (*Arábigo*) y Robusta (*Canephora*), el de tipo arábigo representa un 60% de la producción mundial. Se espera que para marzo de 2023 aumente el cultivo de granos de café en alrededor de 354000 sacos de 60 kg, incrementando así al menos un 36% del cultivo de 2021 (Espinosa Esteban, 2022)

Sin embargo, para abastecer la demanda nacional e internacional se requiere de importación del grano, generando un costo adicional con ganancias poco lucrativas. El 16,7% de la producción mundial de café le corresponde a América del sur, donde Ecuador cosecha café en casi todo su territorio por el suelo rico en nutrientes que posee (ForumCafé, 2019). Las regiones de la Amazonía y Costa son conocidas por sembrar café tipo robusta y en Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas se cosecha arábigo a baja altitud. De acuerdo con ANECAFE (2021), las exportaciones de los dos tipos de granos tuvieron un incremento en 2021, generando un total de \$78.148.951,73, al exportar 523.193,71 sacos. Todo esto gracias a la exportación de café soluble y liofilizado obteniendo una ganancia de \$53,6 millones y un récord de precio cerca de los \$100 por libra de café; pero hoy en día no se cumple con lo requerido debido al aumento de la mano de obra en el sector productivo el cual puede rondar en \$20 por día (El productor, 2022).

Por otra parte, en base al estudio de Caravela Coffee realizado en 2018, los productores de café siguen buscando ayuda del estado para financiarse, ya que Ecuador regionalmente tiene el costo de producción más alto por libra de café, con \$1,91 actualmente a comparación de países como Nicaragua y Colombia con \$1,05 y \$1,19 respectivamente. A continuación, se detalla la producción de café hasta el año 2020.

Figura 2
Producción de café en Ecuador



Nota: El gráfico representa los sacos de café producidos desde 1990 hasta el 2020.

Tomado de *El Expreso*, 2022

Al considerarse lo mencionado anteriormente sobre la producción y exportación de café, cabe recalcar que los ecuatorianos son consumidores activos del grano una vez procesado como bebida, teniendo cafeterías nacionales con más de 115 locales la más popular y otra con 45 años en el mercado con 28 locales a lo largo del país; por lo que se pretende generar un análisis estándar donde se obtenga compuestos bioactivos de la borra de café. Como tal, la franquicia ecuatoriana más popular, solo en 2018 tuvo una ganancia de USD 39,5 millones como el cappuccino entre sus productos estrella con ventas mensuales de entre 4 a 8 millones de especies (Alvarado, Revista Líderes 2020). Por lo que se parte de la iniciativa planteada sobre el

compromiso de cuidar la seguridad alimentaria de su producto desde las caficultoras hasta el reducir las emisiones de carbono al medio ambiente con su producto final. Por ello, se pretende darle otro valor agregado al desecho que forma y no se utilice solo para futuro compost brindando oportunidad de ingresos a los pequeños emprendimientos de distribución de café en grano y filtrado.

Para muestra de mayor y menor escala que ayudará con fines investigativos de este proyecto se contará con la ayuda de la compañía cafetera con procesamiento industrial con de grano 70% de robusta y 30% arábigo con más de 62 años en el mercado, y con un emprendimiento con dos años en el mercado cafetero ofreciendo productos de calidad y origen 100% ecuatoriano. Los desechos mencionados, entran en la clasificación de residuos no peligrosos, según el Reglamento interministerial de gestión de desechos sanitarios (2014), forman parte de los residuos biodegradables que están sujetos al control, ya que provienen de industrias alimenticias y se debe asegurar que, en el almacenamiento y despojo de estos, no se ve comprometida el agua de los efluentes provocando algún tipo de contaminación.

1.4.1.3 Residuos no biodegradables

Este tipo de residuos requieren períodos prolongados para lograr descomponerse llegando a necesitar cientos de años para esto. Entre estos productos se incluyen plásticos, que toma de 100 a 1000 años en descomponerse (Emaseo, 2017), vidrios, metales, sustancias peligrosas, pesticidas, residuos electrónicos, caucho artificial, polímeros artificiales, etc. Dentro de esta clasificación se encuentran los reciclables y los no reciclables, su diferencia radica en que los últimos no tienen un valor económico de recuperación. Bharadwaj, et al. (2015) menciona que

los métodos seguros de disposición de residuos no biodegradables son: reciclaje, incineración con recuperación de energía, vertedero, tratamientos biológicos.

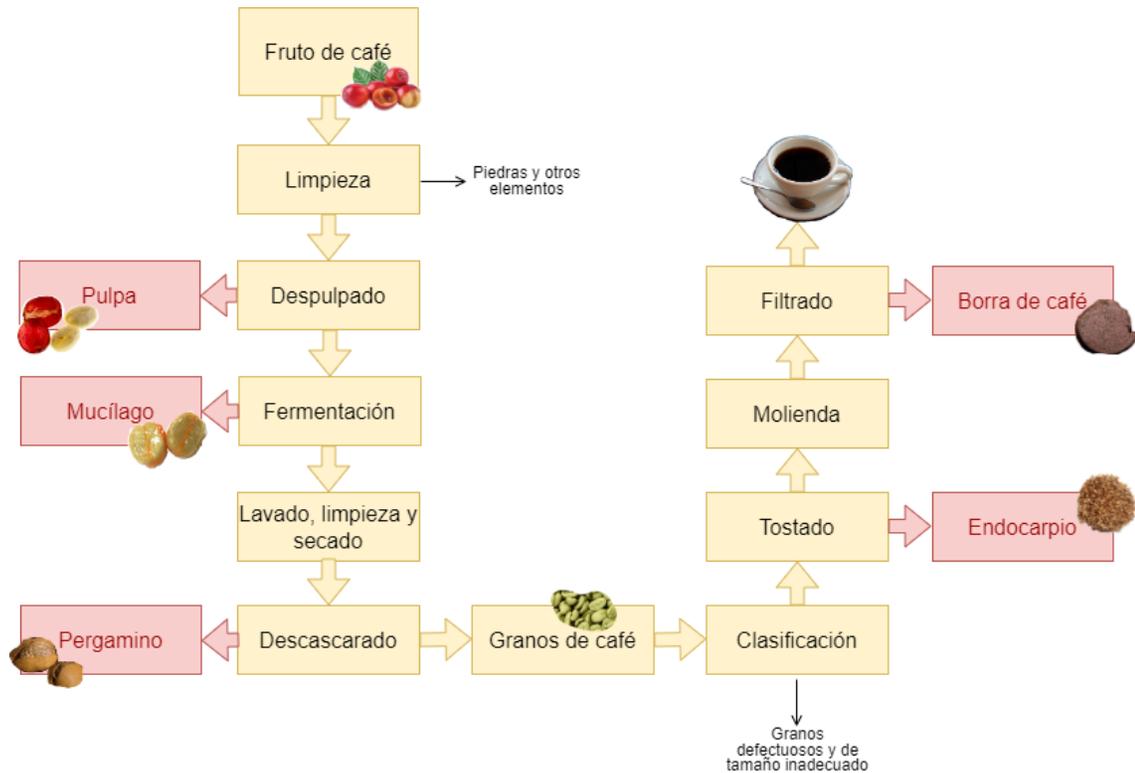
1.4.1.4 Residuos biodegradables

Cualquier residuo que sea capaz de descomponerse biológicamente en condiciones aerobias o anaerobias se define como biodegradable de acuerdo con la RAE. Es decir, se pueden descomponer gracias a otros organismos vivos. Este tipo de residuo suele encontrarse en residuos sólidos urbanos, residuos de papel, algunos plásticos y residuos de alimentos (Raj et al., 2020) La mayoría de estos desechos son utilizados para la generación de energía al mezclarse con otros residuos o producción de combustibles, además están los utilizados para compost (Ramírez N. et al., 2017) . Dentro de estos se ubican los correspondientes a vegetales y frutos como es el caso de los residuos del café.

1.4.1.4.1 Residuos generados del procesamiento de café

El café genera residuos partiendo desde su cosecha: hojas, pergamino y madera. A lo largo del procesamiento de la cereza o fruto de café se generan más residuos que representan aproximadamente un 95% de la materia prima.

Figura 3
Residuos generados en las etapas del procesamiento del café



Nota. Elaboración propia

Si su procesamiento es seco, se emplean métodos de secado ya sea artificiales o naturales donde posteriormente el grano se separa de la piel, pulpa y pergamino (este conjunto de residuos se llama comúnmente “cáscara de café”). Cuando es un procesamiento húmedo, proceso común en Costa Rica, Guatemala, Colombia, Perú, Bolivia y Ecuador de acuerdo con Echeverría y Nuti (2017), la piel y pulpa son removidas generando un desecho conocido como pulpa de café. Posteriormente se fermentan para remover el mucílago restante y se seca para quitarles el pergamino. Luego de esto el grano es tostado, una etapa crítica pues influye en las propiedades organolépticas del producto afectando su calidad, en este punto se genera otro desecho, el endocarpio. Finalmente ocurren la molienda y filtrado donde se obtiene el producto final de

bebida de café y se genera el desecho de borra. En la Figura 3 Se presenta el proceso húmedo resumido y esquematizado. Adicional, en las tablas 2 y 3 se muestran la pérdida de masa del fruto por la generación de residuos y aplicaciones según diversas fuentes, respectivamente.

Tabla 2
Residuos generados en el procesamiento de 1 kg de cereza de café en Colombia

<i>Residuo</i>	<i>Pérdida (gramos)</i>	<i>Proceso</i>
Pulpa fresca	436	Despulpado
Mucílago	149	Fermentación
Agua	171	Secado
Pergamino	42	Trilla/Tostado
Película plateada		
Volátiles	22	Torrefacción
Borra	104	Preparación de bebida
Pérdida acumulada	924	

Nota. Adaptado de *Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café.* (Vol. 3, pp. 111–136). Por Rodríguez-Valencia, et al., 2013, En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Cenicafé.

Tabla 3*Aplicación de los residuos generados en el procesamiento de café.*

<i>Residuo</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Fuente</i>
	Biogás	(Corro, et al., 2014)
	Bioabsorbente en tratamiento de agua para eliminación de Cr (VI)	(Gómez-Aguilar, Rodríguez-Miranda, Esteban, et al., 2019)
Pulpa fresca	Bioabsorbente en tratamiento de agua para eliminación de Pb (II)	(Gómez-Aguilar, Rodríguez-Miranda, Baracaldo-Guzmán, et al., 2021)
		(Ludolph, 2015)
	Harina de café	(Trademarket, 2015)
		(Justia Patents, n.d)
		(Yadira, et al., 2014)
Mucílago	Bioetanol	(Orrego, et al., 2018)
	Producción de hidrógeno	(Hernández, et al., 2014)

		(Cárdenas, et al., 2018)
	Películas de pectina electropulverizadas biodegradables	(Valdespino-León, et al., 2021)
	Miel	(Ramirez Vélez & Jaramillo López, 2015)
	Carbón activado	(Figuroa Campos, et al., 2021)
Pergamino	Biocombustible	(Wondemagegnehu, et al., 2022)
	Aglomerado	(Scatolino, et al., 2017)
	Pan libre de gluten	(Littardi, et al., 2020)
	Biobutanol	(Hijosa-Valsero, et al., 2018)
Endocarpio	Bebida antioxidante	(Martinez-Saez, Ullate, et al., 2014)
	Bizcochos	(Garcia-Serna, et al., 2014)

	Ingrediente nutracéutico para yogurt	(Bertolino, et al., 2019)
		(Maztinez-Saez, García, et al., 2017)
	Ingrediente para productos horneados	(Del Castillo, et al., 2014)
		(Oseguera-Castro, et al., 2019)
Borra	Protector solar	(Martó, et al., 2016)
	Biocombustible	(Rocha, et al., 2014)
	Bioplásticos	(Williamson & Hatzakis, 2019)
	Carbón activado	(Jutakridsada, et al., 2016)

1.4.1.5 Borra de Café

La borra de café se obtiene durante la preparación de la bebida como subproducto del grano tostado al ser comercializado. Es decir, es el sedimento que resulta y queda en el filtro una vez es colado. Representa el 10 % del desecho total del café conteniendo cantidades considerables de agua, proteína, grasa, carbohidratos, cafeína, compuestos polifenólicos como

los ácidos clorogénicos y feruloilquínicos (Campos-Vega et al, 2015). Entre las generalidades de este residuo se considera que parte de un proceso de tratado del café con presiones de 14 a 16 bares y temperaturas entre 170 y 180°C. La recolección de este se da de manera eficiente en su mayoría debido a que dentro de la industria cafetera y cafeterías se tiene un procedimiento de almacenamiento ya que, al tener una demanda de oxígeno muy alta, y al no ser desechado o almacenado de manera correcta es altamente contaminante. Por ello, la borra se utiliza principalmente como materia prima de abono orgánico y rellenos sanitarios (Puertas-Mejía, Villegas-Guzmán & Alberto, 2013).

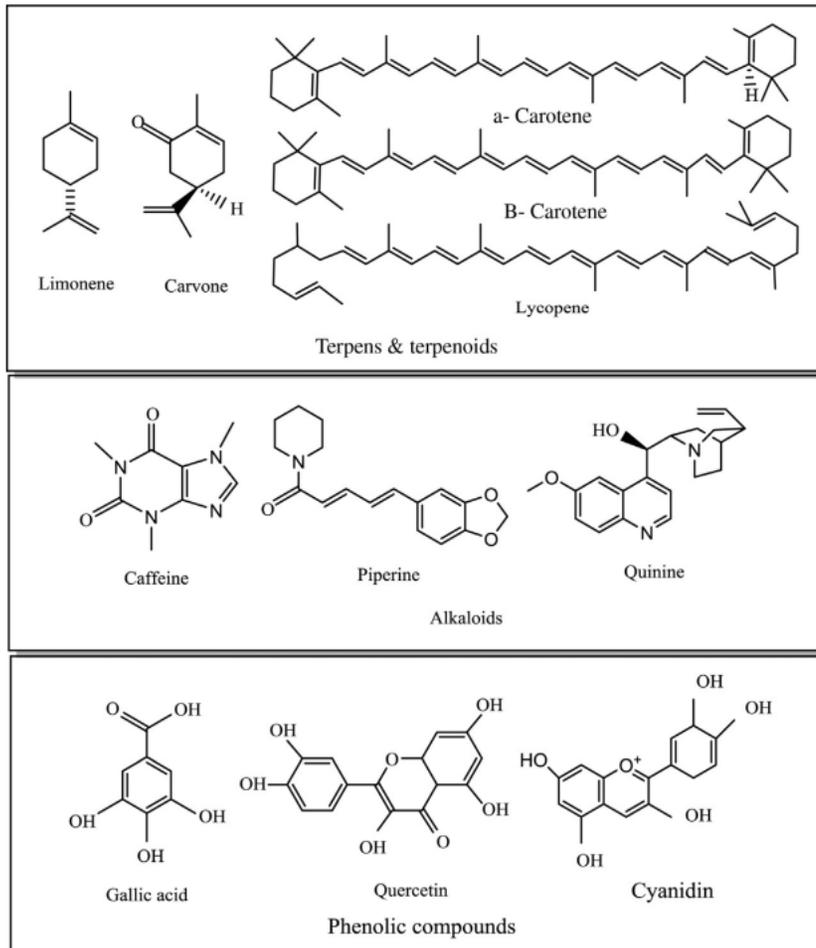
En la actualidad, normalmente es utilizado en pequeñas cantidades como exfoliante corporal. Considerando lo antes mencionado, debido al alto contenido de compuestos bioactivos reportados, este desecho capta el interés como el fin de obtener extractos útiles para posteriormente ser materia prima para el desarrollo de investigaciones o nuevos productos (Morales & Pérez, 2021).

1.4.2 Compuestos bioactivos

La salud es un tema que ha preocupado a la sociedad por décadas, lidiar con enfermedades crónicas, no transmisibles (ENT) las cuales son la principal causa de muerte y discapacidad en el mundo según la Organización Panamericana de la Salud (OPS). Las ENT son un tipo de condición que genera una consecuencia negativa para la salud a largo plazo requiriendo, en muchos casos, cuidados y tratamientos. Dentro de este grupo las enfermedades cardiovasculares lideran el número de muertes con 17.9 millones por año, seguidas por cáncer con 9 millones, enfermedades respiratorias que acumula 3.9 millones de muertes y diabetes con 1.6 millones, mundialmente.

En 1908, Ignatowski identificó la relación entre colesterol dietético y arterosclerosis en animales, con iguales implicaciones en humanos. Adicionalmente, otros estudios indicaron la posible fuerte correlación entre un alto colesterol sérico y el riesgo de una enfermedad coronaria. Debido a esto, se postuló la clásica dieta baja en grasas y mayor consumo de frutas y vegetales. Sin embargo, investigaciones subsecuentes no lograron fundamentar con evidencia el rol del colesterol dietético en el contundente desarrollo de una enfermedad coronaria. Soliman (2018) indicó que, el conocimiento existente acerca de la influencia de los ácidos grasos saturados (AGS) y las grasas trans (GT) en el desarrollo de enfermedades coronarias junto con el hecho de que el colesterol dietético se encuentre normalmente en alimentos altos en ACG contribuyeron a la hipótesis de ser aterogénico. Como resultado, “2020-2025 Dietary Guidelines for Americans”, la Asociación Americana del Corazón (AHA) y la Universidad Americana de Cardiología no incluyen una guía específica para ingesta de colesterol en la dieta.

Figura 4
Clasificación de los compuestos bioactivos.



Nota. Tomado de *Handbook of food nanotechnology* (pp. 520), por Khezerlou, A., & Jafari, S. M., 2020, Academic Press.

Diversas fuentes sugieren la importancia del consumo de frutas y vegetales para conservar un estilo de vida saludable. Entonces surge el cuestionamiento acerca de qué componentes en este grupo de alimentos tiene esa cualidad protectora. La respuesta se encuentra en los comúnmente conocidos como “compuestos bioactivos”, estos son compuestos derivados de plantas que, si bien no poseen cualidades nutricionales tienen amplios beneficios positivos para la salud. (Patil, et al., 2009). De manera amplia se clasifican en tres grandes grupos:

terpenos y terpenoides, compuestos fenólicos y alcanoides (Zepta, Nascimento & Jacob-Lopes, 2021), cuyas estructuras químicas de sus compuestos característicos se muestran en la Figura 4. Son empleados en la actualidad en diversos sectores comerciales como la industria química, farmacéutica y de alimentos.

1.4.2.1 Ácidos grasos

Los ácidos grasos son los componentes con mayor porcentaje de contenido en el grano de café, ya que son los que le dan el aroma y calidad a este producto, de acuerdo con Tsegay, et al. (2020), los ácidos grasos se encuentran en forma de lípidos debido a que pertenecen a la familia de los ubicuos, estos aceites son los triglicéridos, esteroides, tocoferoles y los diterpenos. Al extraer este aceite de café se obtiene mayor cantidad de ácidos linoleico y palmítico, propios del *C. arábica*, y en su minoría ácidos mirístico, palmitoleico, eicosenoico, behénico, linoleico y araquídico. Dentro de la clasificación de los ácidos grasos se tiene los ácidos saturados (49,4 - 59,2%), monoinsaturados (4,30-9,69%) y los poliinsaturados (29,5-39,2%) (Hurtado-Benavides, Dorado & del Pilar, 2016).

1.4.2.2 Compuestos fenólicos

Se conoce como compuestos fenólicos aquellos que poseen hidroxibenceno como grupo funcional, en conjunto con compuestos aromáticos o también alifáticos (Chaves-Ulate et al, 2019). A pesar de que existen más de 7000 estructuras diferentes según los anillos fenólicos que posean los principales son taninos, lignanos y flavonoides.

Según Tfouni et al (2014), los granos de café contienen cantidades considerables de este tipo de ácidos conocidos también como clorogénicos, los cuales caracterizan al café por el

aroma. Natella y Scaccini (2012) estiman que se puede obtener entre 200 y 550 mg de estos compuestos en una taza de café y que al menos en el grano verde y café tostado, se encuentra hasta un 10 y 14 % respectivamente y no solo en el producto como tal sino también en el residuo de este. (Somporn et al., 2012).

Este tipo de ácidos poseen acción antioxidante, lo cual ayuda a detener o prevenir enfermedades de carácter degenerativo, por lo que el consumo de productos que contienen antioxidantes es recomendado en la dieta diaria. Químicamente estos compuestos no permiten la generación de radicales libres, anulando la oxidación y la degradación de productos que surgen de la oxidación de lípidos. Este tipo de reacciones se llaman óxido-Reducción (Cho et al, 2014)

1.5 Bioactivos de cuidado.

1.5.1 Seguridad alimentaria

En la industria alimentaria existen parámetros para evaluar la calidad del alimento, el cual certifica que el producto está apto para el consumo y no será causante de algún problema a corto o largo plazo como intoxicación el cual suele ser el más común (FAO,2019). En la actualidad, se está prestando más atención en la presencia de monómeros sintéticos como la acrilamida y metales pesados en los alimentos.

La acrilamida es utilizada en el tratamiento de aguas, sin embargo, a partir del 2002 se encontró que algunos productos sometidos a tratamientos térmicos con temperaturas mayores a 120°C presentaban niveles considerables de este monómero que podrían tener efectos cancerígenos y neurotóxicos (Calderón, 2015) . Estos tratamientos incluyen el horneado, tostado y la fritura, provocando la reacción química de Maillard (Figura 5), esto ocurre ya que la

acrilamida se encuentra formada de aminoácidos como la asparagina y azúcares los cuales se encuentran naturalmente en los alimentos. Según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (2015), este monómero se ve con mayor frecuencia en productos que contienen almidones, frituras y el café. Además, se encuentra presente en el humo del tabaco y estudios en animales de laboratorio demuestran que la dieta que se siga tiene mucho que ver con las mutaciones genéticas y el riesgo de desarrollar tumores en los órganos, además según estadísticas, el grupo vulnerable a este tipo de riesgos por función de peso corporal son los niños. Los niveles de referencia de acrilamida se detallan a continuación:

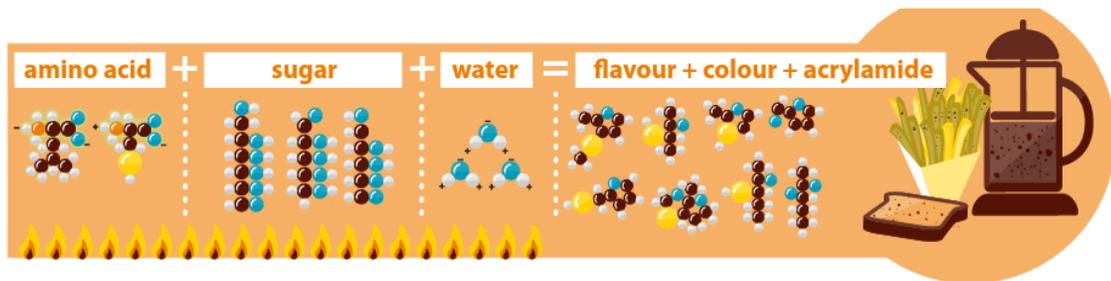
Tabla 4
Niveles de referencia de acrilamida en alimentos.

Alimento	Referencia (ug/kg)
Papas fritas	500
Chips (a base de papas)	700
Galletas y barquillos	350
Galletas saladas	400
Pan de especias	800
Pan a base de trigo	50
Productos de categoría similar	300

Café tostado	400
Café soluble	850
Alimentos elaborados a base de cereales para niños de corta edad	40
Galletas para lactantes y niños de corta edad.	150

Nota. Adaptado de *Acrilamida en los alimentos*, Gonzáles et al, 2021

Figura 5
Reacción de Maillard.



Nota. Adaptado de *Niveles de acrilamida permitidos en los alimentos*, Autoridad Europea de Seguridad alimentaria, 2015

2.3.2. Metales pesados

Los metales pesados son aquellos cuyo peso atómico es alto, por lo que se los considera tóxicos, es decir, a pesar de encontrarse en bajas concentraciones pueden ser peligrosos para la salud. Estos se dividen en alcalinos y alcalinotérreos y son muy utilizados en procesos industriales (Rodríguez, 2017). Entre metales de este tipo tenemos cadmio, arsénico, plomo y mercurio, los cuales están presente en suelos, agua y en la atmósfera. Por esta razón, los alimentos cultivados en este tipo de suelos también contienen cierta cantidad de estos metales (EFSA, 2020). El riesgo de salud al ser consumidos existe cuando dichos metales presentan densidades en un rango mayor a 4,5 g/mL hasta 7 g/mL.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

2.1 Diseño no experimental transversal descriptivo

Se define como diseño no experimental transversal descriptivo cuando el investigador no manipula las variables de interés (Álvarez, 2020), además son medidas una sola vez para realizar los análisis y no evalúa tiempos en específicos, de esta manera se recolectan cifras, conceptos, y se reportan los datos obtenidos (Dzul, 2015).

El principal objetivo del presente trabajo investigativo es determinar los niveles de biomoléculas y contaminantes de la borra de café generada y desechada proveniente de cafeterías, emprendimiento e industria de café dentro del país.

A partir de una revisión bibliográfica se procedió a establecer las características y aplicaciones de sus residuos de las especies de café en territorio ecuatoriano. Posteriormente, se recolectaron muestras de dos cafeterías: A y B; de un emprendimiento: C; y de una empresa industrial procesadora de café: D. Estas fueron identificadas y almacenadas antes de realizar la etapa descriptiva, la cual consistió en 3 partes: caracterización fisicoquímica de las muestras incluyendo la identificación y cuantificación de compuestos bioactivos, cumplimiento de la INEN 2679 y INEN 1116 para la determinación de cenizas y caféina respectivamente, así como, el REGLAMENTO 2017/2158 de la Unión Europea que indica los valores de acrilamida permitidos en alimentos y propuesta de productos empleando la borra como materia prima.

2.2 Revisión bibliográfica

Se realizó la revisión de aproximadamente 90 fuentes de información en los que se incluyen artículos científicos, tesis, bibliotecas virtuales y foros dedicados netamente al área del café, acerca de la caracterización de la borra del café a partir de las especies mencionadas anteriormente.

Se tomó en consideración el porcentaje de grano en la borra de cada muestra, así como parámetros del proceso hasta obtener la materia prima de interés. Adicional se tomó en cuenta que la única muestra con diferente tipo de grano es la de carácter industrial.

Se verificaron las técnicas de extracción, cenizas, humedad, metales pesados con relación a los reactivos y el tipo de borra que se tenía para obtener los valores deseados en cuanto a sus bioactivos.

2.3 Selección y recolección de muestras

La selección de fuentes del residuo se basó en la presencia de estas en el mercado ecuatoriano para que sean muestras representativas. Se buscó colaborar con 3 sectores cafeteros como que representen los principales generadores del residuo en el país. Cada muestra, debido a su origen, cuenta con una proporción diferente de robusta – arábigo, así como condiciones de tostado y filtrados diferentes. A continuación, se detalla la información de las muestras recolectadas:

Tabla 5
Información de las muestras recolectadas

Muestra	Origen de grano	Fuente	Proporción %Robusta/%arábigo	Tostado	Proceso de obtención
---------	-----------------	--------	---------------------------------	---------	----------------------

A	Loja	Cafetería A	0 / 100	Medio claro	Filtrado
B	Loja	Cafetería B	0 / 100	Medio claro	Filtrado
C	Loja	Emprendimiento	0 / 100	Claro	Filtrado
D	Nacional: Manabí y el oriente Importado: Brasil y Vietnam	Industria procesadora de café	70 / 30	Claro	Extracción S-L

2.4 Caracterización

2.4.1 Proximal

Tabla 6

Información de parámetros proximales evaluados.

Parámetro	Método	Procedimiento	Ecuación
Humedad	Termogravimetría	Se pesa la muestra inicial y realiza liofilización utilizando una cámara de vacío donde el agua se sublima y se convierte en vapor de agua donde el producto no pierde su calidad. Se llega	$\%H = \frac{\text{peso perdido}}{\text{peso de muestra}} * 100$

hasta los 100°C por un período de 3 horas, y se procese a pesar la muestra final.

Cenizas

Gravimetría

Pesar 3 g de muestra (S) en un crisol con tapa de peso constante conocido (W1). Colocar el crisol con la muestra en un horno eléctrico o mufla a 525 ± 10°C e incinerar la muestra calentando el crisol hasta que se formen cenizas de color blanco o blanco grisáceo brillante (W2). Dejar reposar el crisol de porcelana tapado con la muestra en un desecador, a temperatura ambiente durante 1 hora y pesarlo. Repetir hasta obtener un peso constante del crisol que contiene la muestra

$$\%C = \left[\frac{(W_2 - W_1)}{S} \right] * 100$$

Grasas

Soxhlet

Se homogenizó la muestra, se pesó 10 g de cada una y se la introdujo en un dedal donde se calentó a 100°C durante 2 horas y se la pesó de nuevo, luego el dedal se introdujo durante 16 horas en

el extractor soxhlet, se recirculó y se calentó durante una hora más donde el extracto se pesa finalmente.

Proteínas	Kjeldahl	Se realizó en un laboratorio externo el cual consistió en desmineralizar la muestra por vía húmeda con ácido sulfúrico concentrado y sales inorgánicas de sulfato de potasio y cobre, y todo el nitrógeno se transformó en sulfato de amonio, se procedió a calentar para obtener vapores de amoniaco los cuales se separaron de las muestras y se tituló.
-----------	----------	--

2.4.2 Flavonoides

Se pesó 1 g de la muestra en un tubo cónico diluyendo con 5ml de metanol y se llevó a sonificar durante 10 min. Se realizaron dos filtraciones consecutivas, una con papel filtro, seguido de un filtrado por membrana de 0.22 μm de poro, tomando 3mL con jeringa cada vez; se descarta la primera gota y se mide el resto en vial para HPLC

2.4.2.1 Condiciones cromatográficas

Tabla 7

Condiciones cromatográficas del procedimiento realizado.

Columna	C18, 5 μ m, 4.6x150mm
Flujo	1 mL/min
Fase Móvil	Metanol y 5mmol/L buffer de Dihidrógeno Fosfato de Potasio (20:80)
Volumen de inyección	20 μ L
°T Columna	38 °C
°T Muestra	20 °C

Tabla 8
Longitudes de onda para estándares.

Estándar	Tiempo de retención (min)	Longitud de onda (nm)
(+)-Catequina	8.217	280
(-) Epicatequina	9.623	280
Quercetina	14.943	365

2.4.3 Cafeína

2.4.3.1 Reactivos

2.4.3.1.1 Estándar de cafeína

Para la preparación de la solución stock se pesó cafeína en un rango de 0.1-20 mg en un matraz volumétrico de 200 mL, se añadieron 100 mL de agua de grado reactivo. Esta solución se llevó a sonificar y se enrasó. Se tomaron 10 mL de la solución stock y se introdujeron en un matraz volumétrico de 100 mL, posteriormente se enrasó para tener lista la solución de trabajo.

2.4.3.2 Procedimiento

Se pesó 1 g de la muestra en un tubo cónico diluyendo con 5mL de metanol y se llevó a sonificar durante 10 min. Se realizaron dos filtraciones consecutivas, una con papel filtro, seguido de un filtrado por membrana de 0.22 μm de poro, tomando 3 mL con jeringa cada vez; se descarta la primera gota y se mide el resto en vial para HPLC

2.4.3.3 Condiciones cromatográficas

Tabla 9

Condiciones cromatográficas del procedimiento realizado.

Columna	C18, 5 μm , 4.6x150mm
Flujo	1,2 mL/min
Fase Móvil	30% Metanol – 70% Agua
Volumen de inyección	10 μL
Longitud de onda	UV, 274 nm
°T Columna	35 °C

°T Muestra	20 °C
------------	-------

2.4.3.4 Cálculo

$$mg/Kg = \frac{A_m - a}{b} * \frac{FD}{m}$$

Donde,

A_m = Área del pico de cafeína en la solución muestra

a = Intercepto de la curva de calibrado

b = Pendiente de la curva de calibrado

FD = Factor de dilución

m = Peso de la muestra, en g

2.4.4 Ácidos grasos

2.4.4.1 Preparación de reactivos

a. **2,4'dibromofenacilo (6 mg/ml)**

Pesar 60 mg de 2,4'dibromofenacilo en un matraz de 10 ml para aforarlo con acetonitrilo.

b. **Carbonato de potasio (3,5mg/mL).**

Pesar 35 mg de Carbonato de potasio en un matraz de 10ml para luego diluirlo con 4 ml de agua grado HPLC y aforarlo con 6ml de acetonitrilo.

Se debe tomar en consideración que los pesos son valores que varían según la pureza del reactivo.

2.4.4.2 Preparación de la muestra.

Pesar $0,5 \pm 0,005$ g de muestra homogénea en un balón de 250 ml.

2.4.4.3 Procedimiento

Liberación y extracción de Ácidos grasos

- 1) En un reverbero- agitador calentar hasta llegar a punto de ebullición un tubo refrigerante con 50 ml de etanol y 2g de hidróxido de sodio. Alcanzada la ebullición se toma el tiempo y se procede a saponificar por media hora sin dejar de agitar de forma moderada.
- 2) Luego de los 30 min retirar el balón del equipo y con agua o hielo, enfriar rápidamente a temperatura ambiente. Añadir ácido clorhídrico concentrado hasta tener un pH ácido.
- 3) De manera moderada trasvasar a una ampolla de separación de 500 ml para transferir cuantitativamente a una ampolla de separación (500mL), con 50 ml de agua destilada enjuagar por duplicado el balón y adicionar 50 ml de éter de petróleo seguir agitando, luego de un tiempo considerado, dejar en reposo hasta que se dé la separación de las fases. .
- 4) Añadir 15 ml de agua destilada y agitar previo al descarte de la fase acuosa.
- 5) Repetir el lavado una vez más.
- 6) Filtrar la fase orgánica que contiene Sulfato de sodio anhidro.
- 7) A 50°C, en un baño maría, evaporar la fase orgánica. Reconstituir la muestra con acetona a un volumen final de 5ml.

Derivatización de ácidos grasos:

- 1) En tubos de tapa rosca, pipetear 0,05 ml de la solución de ácidos grasos en acetona; adicionar 0.5 ml de 2,4'dibromofenacilo y 0.2 ml de la solución de carbonato de potasio,

asegurarse que esté cerrado herméticamente y calentar a 60 °C por una hora en un baño maría termostático. Dejar enfriar y agregar 2 ml de acetonitrilo.

- 2) Tomar 2 ml de la muestra y posteriormente filtrarla a través de una membrana de 0,45 µm de poro. No considerar la primera gota y recolectar el resto en un vial para UPLC de 2ml.
- 3) Inyectar 0.001 ml en el sistema UPLC/PDA.

2.4.4.4 Condiciones

Tabla 10

Condiciones cromatográficas.

Columna	Acquity UPLC BEH C ₁₈ 1,7µm; 2,1x100mm (o equivalente)
Flujo	0,20mL/min
Duración	25,0 min.
Volumen de inyección	0.001 mL = 1 uL
Longitud de onda	255 nm
°T Horno	55 ±5°C
°T Muestra	35±2°C

Tabla 11

Condiciones de gradiente

Fase móvil A	Acetonitrilo
Fase Móvil B:	Agua
Fase Móvil C:	Metanol

2.4.4.5 Cálculos

El cálculo de las concentraciones se realiza mediante el software Empower 3 según lo indicado en los respectivos instructivos de manejo de los instrumentos usando el método de Normalización Interna de las áreas de los analitos analizados.

2.4.5 Metales pesados y minerales

Para la determinación de minerales y metales pesados, las muestras fueron previamente congeladas durante 24 horas a -80 °C y posteriormente liofilizadas por 7 días a condiciones de -57 °C y 0.79 hPa. Se digirió 5 g de cada muestra en 9 mL de HNO₃ de 67-70%, grado metales traza y 3 mL de HF de 34-37%, grado metales traza, se agitó y se dejó reposar por 15 minutos. Se procesaron en un microondas de digestión de acuerdo con las condiciones del método US EPA 3052. Por último, la muestra digerida fue filtrada, transferida a un balón volumétrico de 50 mL que posteriormente se aforó con agua ultrapura. Esta solución final se homogenizó y se transfirió a tubos de 10 mL (U.S. Environmental Protection Agency, 2021).

2.4.6 Acrilamida

Fue pesado 1 g de cada muestra en tubos de 15 mL con tapa rosca, luego se añadió 2 mL de hexano y 6 mL de metanol con el objetivo de eliminar las grasas de la muestra y extraer acrilamida, respectivamente. Los tubos se agitaron durante 3 minutos con ayuda de un vortex, seguido de centrifugación (4000 RPM, 10 min, T: 0 °C). Posterior al centrifugado se removió el sobrenadante de la fase de hexano y grasa empleando una pipeta pasteur. Tomando 1 ml de la solución se trasvasó a un tubo de 15 mL, se adicionó 1 mL de acetronitrilo. La solución se agitó nuevamente en el vórtex seguido de centrifugado a las mismas condiciones. Estas muestras fueron filtradas finalmente con filtros PVDF de 0.22 μm y se refrigeraron hasta su lectura en el equipo LC-MS/MS.

2.4.6.1 Condiciones cromatográficas

Tabla 12

Condiciones cromatográficas.

Columna	BEH C18 (1.7 μm , 2.1 x 50 mm)
Fase móvil	A: acetonitrilo; B: agua*
°T columna	25 °C
°T Muestra	10 °C

*Nota: el gradiente de elución está detallado en Jozinović et al. (2019)

2.4.6.2 Condiciones espectrofotométricas

Para el análisis espectrofotométrico de masas se empleó la técnica de ionización molecular por electro-aerosol en modo positivo. Los parámetros del desarrollo se basaron en el estudio de De Alwis et al. (2019). Su cuantificación se monitoreó considerando los iones de relación masa/carga: $^{13}\text{C}_3\text{-Acilamida}$ (m/z 75.01 > m/z 57.89) y Acilamida (m/z 72.01 > m/z 54.93)

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 13

Tabla de global de resultados de la caracterización.

Parámetros		A	B	C	D				
Cafeína (mg/kg de BS)		445,66	1712,01	1479,95	234,58				
Flavonoides (mg/kg de BS)	Quercetina	5,62	5,88	4,09	NA				
	Catequina	67,82	99,46	94,47	ND				
	Apigenina	2,02	1,89	1,49	3,41				
	Epicatequina	35,01	49,73	46,11	40,71				
Proximal (%)	Proteína	13,59	13,13	13,85	13,40				
	Grasa	14,90	14,73	12,27	16,17				
	Humedad	66,38	65,11	64,54	77,99				
	Ceniza	1,25	1,49	1,27	0,64				
Minerales (mg/kg)	Na	84,283	240,078	162,181	99,517				
	K	2408,443	1760,008	2084,226	163,085				
	Ca	420,925	657,123	539,024	424,065				
	Mg	503,534	443,427	473,481	78,747				
Ácidos Grasos (%; g/100, g de BS)	Ac. Mirístico	0,40	0,59	0,39	0,52	0,35	0,48	0,37	0,60
	Ac. Palmítico	38,92	58,00	38,67	56,14	38,11	47,22	37,87	61,08
	Ac. Estearico	6,19	9,22	6,11	9,68	6,57	7,46	5,87	9,47
	Ac. Margárico	0,20	0,30	0,17	0,35	0,24	0,21	0,18	0,29

	Ac. Oleico	6,79	10,11	6,82	9,65	6,55	8,33	7,11	11,47
	Ac. Linoleico	44,31	66,03	44,05	65,78	44,65	53,79	45,04	72,65
	Ac. Linolénico	1,80	2,68	1,75	2,52	1,71	2,14	1,75	2,82
	Ac. Araquídico	0,60	0,89	0,73	0,91	0,62	0,89	0,58	0,94
	Ac. Lignocérico	0,20	0,30	0,24	0,46	0,31	0,29	0,14	0,23
	Acrilamida (g/kg de muestra húmeda)	83,58		36,69		54,71		157,20	
Metales pesados (mg/kg)	Plomo	0,817		1,632		1,225		1,6	
	Arsénico	ND		0,166		0,083		0,042	
	Cadmio	0,038		0,057		0,048		0,067	

Nota: Se presentan en una tabla todos los datos obtenidos de los análisis realizados de las cuatro muestras en estudio.

3.1 Cafeína

Tabla 14

Resultados de cafeína del presente proyecto en comparación a la literatura.

	(Aguilar & Chamba, 2023)				(Cruz, et al., 2012)
	A	B	C	D	
Cafeína (mg/kg BS)	445,7	1712,0	1479,9	234,6	1940 - 7877

Nota: Se muestran los valores mínimo y máximo reportados en Cruz, et al. (2012)

De acuerdo con lo encontrado en la literatura para el grano verde, *C. arabica* L, presenta una composición entre 0,7 and 1,7 g/ 100 g, en tanto que para *C. canephora* varía entre 1,4 y 3,3 g/100 g (de Paula & Fahra, 2019); dichos valores se mantienen significativamente estables durante el tostado. Dentro de los datos analizados, en la Tabla 14 se visualiza una concentración de cafeína presente en la muestra de borra proveniente de la muestra de industria (D) de 234,6 mg/kg BS mientras que para las muestras provenientes de cafeterías (B, C, D), el valor reportado tuvo una media de 1212,54 mg/kg BS.

Es importante establecer que *C. arabica* tiene una composición más homogénea independientemente de su origen geográfico debido a una menor diversidad genética (Alonso-Salces et al., 2009). Por ello que dentro de las muestras analizadas A, B y C provenientes de cafeterías y emprendimiento la variable que marca la diferencia en cuanto a los resultados obtenidos es el método y las condiciones de filtración empleadas. A esto se debería la diferencia entre las concentraciones de cafeína de expresos del presente estudio y el realizado por Cruz et al. (2015), en donde, a pesar de evaluar el contenido de cafeína de muestras de cafeterías estas se trataban de mezclas de Arábigo y Robusta (este último contiene entre 40-70% más cafeína que el arábigo). Además, se sabe que el coeficiente de extracción de cafeína para expresos es 75-85% e

independientemente del proceso de preparación de café en cafeterías la eficiencia de extracción nunca será tan buena como la realizada a nivel industrial. Es por eso que la muestra D proveniente de industria presenta niveles mucho más bajos de cafeína remanente, lo cual favorece al producto final comercializado, pero disminuye las posibilidades de aplicación para el aprovechamiento del residuo en extracción de cafeína.

3.2 Flavonoides

Tabla 15

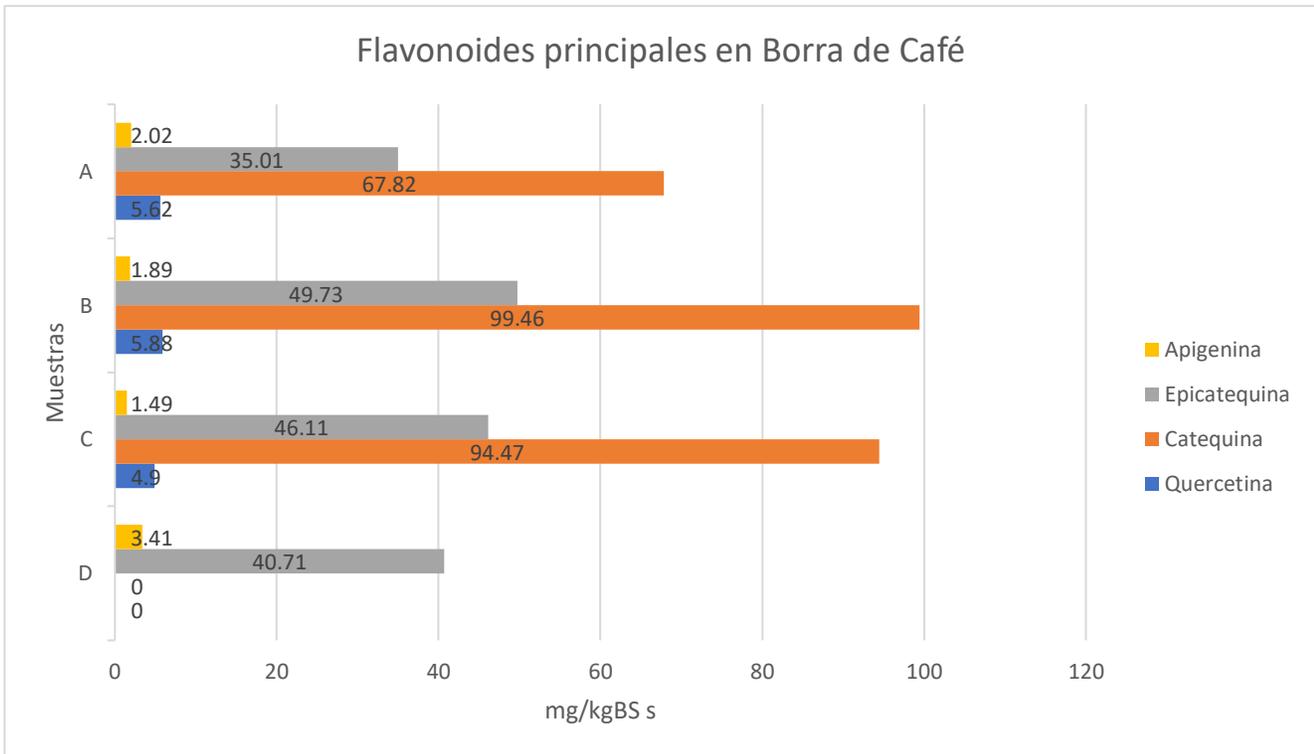
Resultados de flavonoides del presente proyecto en comparación a la literatura.

Flavonoides (mg/kg de BS)	(Aguilar & Chamba, 2023)				(Cortés Meza, 2017)
	A	B	C	D	
Quercetina	5,62	5,88	4,09	NA	
Catequina	67,82	99,46	94,47	ND	85,36
Apigenina	2,02	1,89	1,49	3,41	-
Epicatequina	35,01	49,73	46,11	40,71	0,89

Se utilizó la cromatografía de líquidos con detector de arreglo de diodos HPLC-DAD, cuyos resultados se muestran en la Tabla 15 donde la Apigenina, presenta una actividad antiinflamatoria en el cuerpo humano (Ortega et al., 2010), se encuentra en niveles bajos en el extracto de borra de café; 2,02 para la muestra A; 1,89 para la muestra B; 1,49 para la muestra C y 3,41 para la muestra D. Es común encontrar este tipo de flavonoides en vegetales y ciertas frutas (Escamilla,2020), por lo que no se tiene un estudio ni resultados que especifiquen un rango para lograr compararlo con respecto a la borra de café.

Por otro lado, la quercetina y catequina no fueron detectadas en la muestra D, lo cual podría deberse a la mezcla de granos de café, según Cortés Meza, 2017 el *C. arabica* posee más cantidad de antioxidantes que el robusta, lo que concuerda con los resultados obtenidos debido a que las muestras A, B y C son 100% de *C. arabica* mientras que la D es tan solo un 30%. El mayor valor de estos flavonoides se en la muestra B con 5,88 y 99,54 respectivamente. Así mismo, se detecta epicatequina con valores de 35,01; 49,73; 46,11; 40,71 para cada una de las muestras, representado en la Figura 6.

Figura 6:
Flavonoides importantes en la borra de café



3.3 Proximal

Tabla 16

Resultados proximales del presente proyecto en comparación a la literatura.

Proximal (%)	(Aguilar & Chamba, 2023)				Urribarí et al. (2014)
	A	B	C	D	
Proteína	13,59	13,13	13,85	13,40	10,71±0,23
Grasa	14,90	14,73	12,27	16,17	N/D
Humedad	66,38	65,11	64,54	77,99	95,8 ±1,93*
Ceniza	1,25	1,49	1,27	0,64	1,67±0,12

**Nota: En el estudio realizado por (Narváez & Villota, 2018) utiliza muestra de borra de café recolectada por 4 meses de cafeterías y con un pretratamiento de secado al sol, esto para poder obtener valores de humedad.*

Para las muestras de estudio en la parte proximal se obtuvieron proteínas, grasa, humedad y ceniza, como se muestra en la Tabla 16 y entre los resultados relevantes se pone énfasis en los niveles altos de humedad de cada muestra que van desde 64,54 a 77,99 % de agua. El valor más alto fue el de la muestra industrial ya que depende del tiempo de retención en el tanque de almacenamiento dentro del procesamiento del grano de café.

Para el caso de estudio de referencia no se tenía un porcentaje de humedad debido a que el enfoque del proyecto precisamente era el de quitar la presencia de agua, por lo que se decidió tomar el valor de Narváez & Villota, 2018, los cuales toman muestras de cafeterías durante un tiempo prolongado y realizan un pretratamiento de secado natural debido a la cantidad de muestras que poseen obteniendo un valor referencial de 95,8% de humedad, el cual se ve afectado ya que dependerá mucho de condiciones ambientales adecuadas. En el presente caso de estudio, los valores de humedad obtenidos fueron menores a la muestra de referencia y similares entre sí en cuando a cafeterías se refiere.

Por otro lado, Urribarí et al. (2014), indica que el contenido de grasa en el grano de café no varía significativamente cuando se prepara una bebida, es decir, cuando se filtra, por lo que el porcentaje de grasa en la borra de café estaría entre 10% a 14%. Sin embargo, este porcentaje depende de variedad y tipo de café, además se menciona que, si la muestra tiene alto contenido de antioxidantes, se esperaría que se obtenga estabilidad en las grasas extraídas disminuyendo así la descomposición del desecho. En el caso de estudio la muestra B fue la que mayor porcentaje de grasa extraída tuvo y en el apartado anterior contenía un mayor porcentaje de flavonoides dentro de su especie. Por tanto, se puede inferir que, según la bibliografía consultada, sería la que tardaría en descomponerse cuando se proceda a almacenar para su posterior uso.

3.4 Minerales

Tabla 17

Resultados de minerales en borra de café en comparación con la literatura.

Minerales (mg/kg BS)	(Aguilar & Chamba, 2023)				(Ballesteros, Teixeira & Mussatto, 2014)
	A	B	C	D	
Na	84,283	240,078	162,181	99,517	33,70 ± 8.75
K	2408,443	1760,008	2084,226	163,085	11700 ± 0,01
Ca	420,925	657,123	539,024	424,065	1200 ± 0,00
Mg	503,534	443,427	473,481	78,747	1900 ± 0,00

Los minerales son esenciales para la salud de los humanos, ya que juegan el papel de micronutrientes, en nuestro caso de estudio el Potasio en las muestras A y B correspondientes a cafeterías se encuentra más abundante seguido por magnesio, calcio y sodio, estos minerales regulan procesos como la digestión, circulación, respiración entre otros. Por otro lado, en la muestra de industria presenta un alto contenido en calcio el cual es de vital importancia para

mantener los huesos sanos y los niveles de plasma dentro de los rangos normales (Martínez de Victoria, 2016).

A pesar de que el potasio se encuentra en mayor cantidad como se observa en la Tabla 17, llama la atención la diferencia significativa de 71 veces menos entre la muestra D con respecto a Ballesteros, Teixeira & Mussatto, (2014), sin embargo, esto puede deberse a la mezcla de granos que posee dicha muestra, que en su mayoría tiene grano de clase robusta como ya se lo ha mencionado en párrafos anteriores. Así mismo, esta diferencia de cantidades depende mucho del tipo de suelo en donde se cultive el grano de café, el uso de fertilizantes y la pureza del agua con la que se riegue. El uso de fertilizantes potásicos, ayudan al incremento de vegetación y le dan más olor y sabor al grano de café debido a que elevan el nivel de actividad enzimática en el mismo (Calero,2021), por lo que se puede inferir que la muestra D tendrá menos sabor y olor que el resto.

Por otro lado, respecto al sabor, la dureza del agua es importante ya que los iones de magnesio presentes en ella traspasan la pared celular del gran, transportando mayores moléculas de oxígeno gracias a los puentes que se forman, esta mezcla de moléculas potencia el sabor del café (COFFEE VIETNAM, H, 2022). Por tanto, la muestra A, al tener 420, 925 mg/kg BS, tendría más sabor que el resto. Esto podría comprobarse con un análisis sensorial en futuras investigaciones.

3.1 Contenido de ácidos grasos

Tabla 18

Resultados de porcentaje ácidos grasos del presente proyecto en comparación a la literatura.

(Aguilar & Chamba, 2023)

Ácidos Grasos (%; g/100 g BS)	A	B	C	D	(Vu et al., 2021)
Ac. Mirístico C14:0 Saturado	0,40	0,39	0,35	0,37	N/D
Ac. Palmítico C16:0	38,92	38,67	38,11	37,87	33,4
Ac. Esteárico C18:0	6,19	6,11	6,57	5,87	7,2
Ac. Margárico C17:0	0,20	0,17	0,24	0,18	N/D
Ac. Oleico C18:1 Monoinsaturado	6,79	6,82	6,55	7,11	11,0
Ac. Linoleico C18:2	44,31	44,05	44,65	45,04	43,0
Ac. Linolénico C18:3	1,80	1,75	1,71	1,75	1,0
Ac. Araquídico C20:0	0,60	0,73	0,62	0,58	3,0
Ac. Lignocérico C24:0	0,20	0,24	0,31	0,14	0,3

Los resultados obtenidos para las muestras de café en la Tabla 18 fueron comparados con lo realizado por Vu et al., 2021, en donde resaltó los ácidos con mayor importancia, dejando a un lado el ácido mirístico y margárico debido a su bajo porcentaje en la borra de café considerándose no significativo para investigar.

En la Figura 7 se presenta de mejor manera que todas las muestras contienen altos porcentajes de ácido palmítico, linoleico, oleico y esteárico, que va de acuerdo con lo revisado en la literatura, el porcentaje de ácido palmítico fue mayor al 33,4% de referencia en todas las muestras de café debido a las diferencias del origen del grano ya que se consideró solo origen vietnamita mientras que el del presente proyecto es de origen nacional a excepción de la muestra D que es de importación. Lo mismo sucede con los valores de los demás ácidos encontrados.

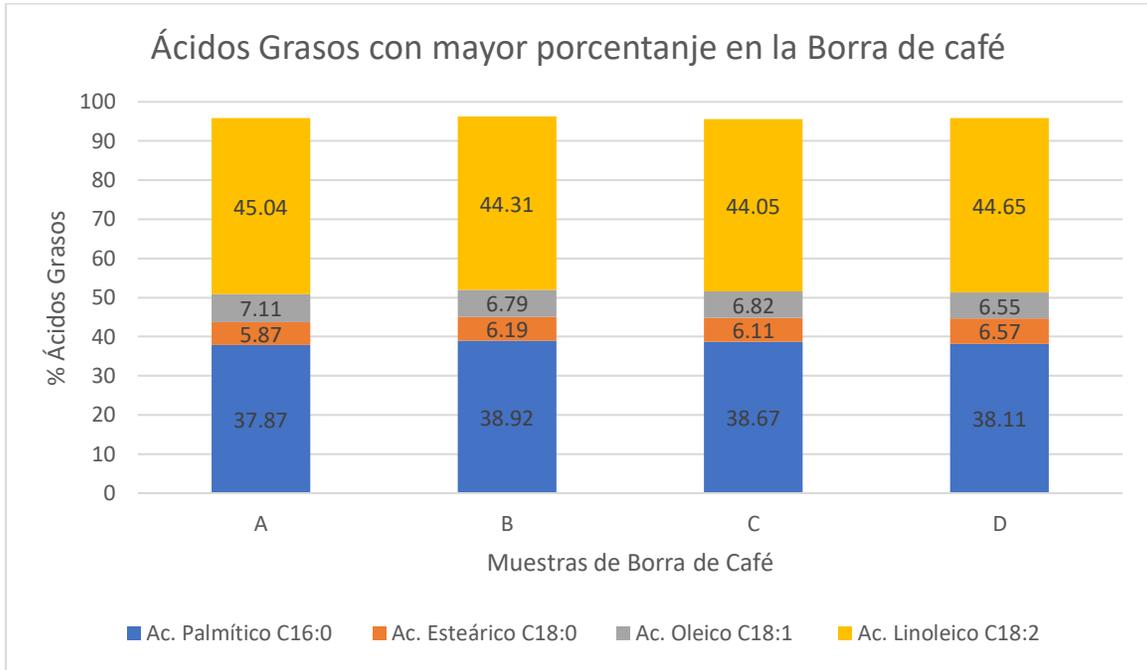
Además, sabiendo que la matriz es polar se esperaba que estos no sean transmitidos al producto final. Valores similares de estos ácidos están presentes en el aceite de palma y aceite de maíz (Dorni et al. 2018).

Adicional, los porcentajes pueden variar según el método de extracción y el solvente que se utilice. Urribarrí et al., 2014, comenta que el hecho de que la borra del café presente porcentajes altos en los ácidos mencionados da pie a considerarla como materia prima para generar biodiésel a través de transesterificaciones con KOH, ya que el biodiésel se obtiene por una mezcla de ésteres metílicos. También se menciona que los azúcares, minerales y nitrógeno presentes no serán afectados en la extracción de grasa (Couto et al., 2009).

La muestra A de forma general es la que presentó mayor cantidad de ácidos grasos, la cual sería la viable para utilizarle como materia prima de productos cosméticos ya que buscan retener la humedad de la piel y protección solar (Wagemaker et al, 2011).

Figura 7:

Porcentajes de ácidos grasos importantes en la borra de café.



3.2 Acrilamida

Tabla 19

Resultados de acrilamida del presente proyecto en comparación a la literatura

	(Aguilar & Chamba, 2023)				(Martínez-Saez, et al., 2017)
	A	B	C	D	
Acrilamida ($\mu\text{g}/\text{kg}$ BS)	83,58	36,69	54,71	157,20	$37,2 \pm 0,4 \mu\text{g}$

Con relación a los resultados obtenidos para acrilamida en la Tabla 19, el compuesto clasificado como potencial cancerígeno y genotóxico para el ser humano (grupo 2A) por la Agencia de investigación del Cáncer, estos muestran un mayor contenido restante en la borra de café para la muestra D proveniente de la industria: $157,20 \mu\text{g}/\text{kg}$ de muestra seca en comparación a las muestras provenientes de cafeterías. De acuerdo con la literatura, hay diversos

factores que influyen los niveles de acrilamida presentes en el producto final comercializado y, por consiguiente, en el residuo generado. Los métodos y condiciones de tostado y preparación, entre otros, determinan la concentración del compuesto en la bebida de café.

Estudios han encontrado una relación entre la variante de grano empleado y los niveles de acrilamida potenciales. Se han reportado niveles de acrilamida significativamente más altos en Robusta que en Arábica (Esposito et al., 2020), lo cual se ha explicado con un mayor contenido de asparagina, precursor limitante para la formación de acrilamida, en los granos de café verdes de la variante Robusta (Alves et al., 2010; Bagdonaite et al., 2008; Lantz et al., 2006). Además, se ha comentado también acerca de la influencia del origen del grano. En los resultados de Alves et al., (2010) se obtuvieron mayores niveles de acrilamida en muestras café de variedad Robusta provenientes regiones africanas en comparación con las muestras asiáticas. Sin embargo, dentro de los conocimientos de las autoras no hay investigaciones del impacto de las prácticas agrícolas en las cantidades de precursores de acrilamida presente, es un campo inexplorado. Estos datos son interesantes dado que la muestra D es la única que contiene *C. canephora*, por ende, se esperaría que la muestra de café tostado contenga mayores niveles de acrilamida que las restantes. Pero en cuanto al desecho en cuestión, para poder establecer diferencias hay que analizar los procesos de tostado y técnicas de preparación de los productos finales.

Normalmente, el contenido de acrilamida aumenta con el color o grado de tostado como producto de la reacción de Maillard, pero el café se comporta diferente a otros productos generadores de acrilamida, su contenido decrece de tostado claro a oscuro. El tiempo de tostado también influye en la concentración de acrilamida. Un estudio de Bagdonaite et al., (2008) mostró que aplicando diversos tiempos de tostado (5-15 min) y temperaturas (220-260) se encontró que a menor tiempo y temperatura se obtuvieron las concentraciones más altas de

acrilamida. Debido a que no se conocen los equipos empleados y condiciones específicas de tostado por lo cual no se puede comentar con seguridad acerca de su influencia en las muestras evaluadas.

El método de preparación de café también influye en el contenido final que será transferido al producto final y por consiguiente al desecho de borra. En este trabajo se tienen desechos de borra de café instantáneo y de café tipo expreso. Durante la preparación la extracción de acrilamida puede ser influenciada por la temperatura del agua, el tiempo que esta está en contacto con el café tostado y la presión que se aplique; indistintamente la extracción llega a una eficiencia de 92-99% (Giulia et al., 2022). A pesar de que la muestra D tiene niveles de acrilamida mayores, la compañía industrial controla estos niveles de acuerdo con el Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión, de 20 de noviembre de 2017 referentes al café soluble instantáneo (850 $\mu\text{g}/\text{kg}$). Por otro, para el café tostado el nivel de referencia es de 400 $\mu\text{g}/\text{kg}$; por ende, a pesar de que el proceso industrial sería más eficiente en la extracción de acrilamida los resultados obtenidos en el presente proyecto son congruentes. Respecto a la diferencia entre la concentración de acrilamida en la muestra A en comparación al resto de cafeterías esto se podría deber a la cantidad de agua a la que el café se pone en contacto para su preparación en concordancia a lo reportado con Alves et al., (2010).

Finalmente, los niveles de acrilamida en todas las muestras no serían un impedimento para la aplicación de la borra de café como materia prima para productos alimentarios considerando sus compuestos bioactivos. Como se puede visualizar en la Tabla 19, la concentración de acrilamida de las muestras es, en su mayoría, más alta que la reportada por Martinez-Saez et al. (2017). Hay que considerar que los resultados de acrilamida en dicho estudio son más comparables con la muestra D debido a que ambos desechos provienen del

proceso de producción de café instantáneo, sin embargo, no se pueden realizar mayores comparaciones debido a que en el estudio no se indican las condiciones del proceso productivo.

3.3 Metales pesados.

Tabla 20

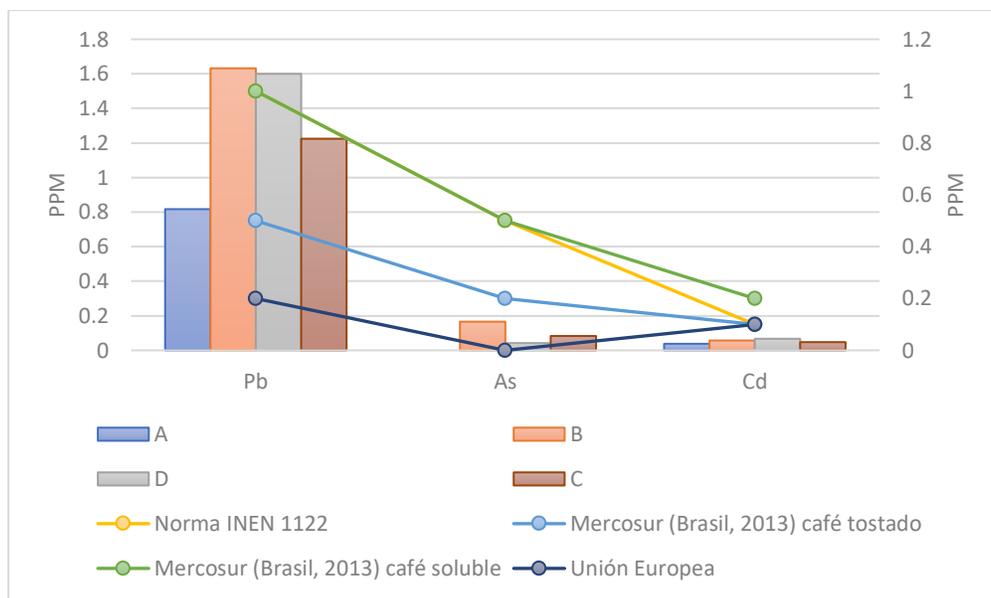
Resultados de metales pesados del presente proyecto en comparación a la literatura.

Metales pesados (ppm)	(Aguilar & Chamba, 2023)				(Rai et al., 2019).
	A	B	C	D	
Pb	0,817	1,632	1,225	1,6	<1,60
As	ND	0,166	0,083	0,042	-
Cd	0,038	0,057	0,048	0,067	<0,15

Se realizó la evaluación de la concentración de plomo, arsénico, y cadmio en las muestras de borra de café, tabulados en la Tabla 20. Estos compuestos son tres de los cuatro metales pesados más tóxicos (Rai et al., 2019). Los resultados obtenidos para la concentración de metales pesados están directamente relacionados con el origen del grano ya que estos compuestos se encuentran presentes en el suelo en que se cultivó el café. Se sabe que los granos de las muestras A, B, C provienen de diversas localidades de la provincia de Loja; en tanto que la empresa industrial de donde se obtuvo la muestra D utiliza grano nacional proveniente de Manabí y diversas provincial del oriente, al igual que grano importado proveniente de Vietnam y Brasil.

Figura 8:

Comparación de las concentraciones de metales pesados obtenidos con las regulaciones disponibles



Nota: No se encontró regulación de arsénico para café tostado en la Unión Europea.

Los resultados de Ballesteros, Teixeira & Mussatto (2014) de las muestras evaluadas provenientes de Portugal muestran valores similares de Pb y valores mayores de Cd en comparación a las muestras del presente proyecto. Ninguna de las muestras cumple con los límites de 0,5 para café tostado en granos y polvo y 1 para café soluble en la regulación de Mercosur (Brasil, 2013) así como 0,2 mg/kg de la Unión Europea (Reglamento de la Comisión Europea, 2008), < para el café tostado. Por otro lado, en Ecuador la norma INEN 1122 establece un límite máximo de 1 mg/kg de Pb en café soluble, normativa que no cumplen las muestras B, C y D.

Por su parte, los niveles de Cd de las muestras A, B, C y D mostraron cantidades considerablemente menores a las de la literatura comparada. Cumpliendo de igual forma con la

regulación de Mercosur (Brasil, 2013) que establece un máximo de 0.1 mg/kg y 0.2 mg/kg para café tostado en granos y polvo y para café soluble, respectivamente; para la Unión Europea (Reglamento de la Comisión Europea, 2008) y para la normativa ecuatoriana INEN 1122 de 0.1mg/kg. Por lo cual se puede asegurar que las muestras de borra no representan un peligro a la salud humana por su contenido de cadmio.

A diferencia de los dos metales pesados tratados en los párrafos pasados, no se encontraron en la literatura estudios que reportaran los niveles de arsénico en borra de café por lo cual sólo se puede establecer si cumple con las regulaciones existentes. En Mercosur (Brasil, 2013) se establecieron niveles máximos de 0.2 mg/kg y 0.5 mg/kg para café tostado en granos y polvo y para café soluble, en concordancia la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1122 indica un máximo de 0,5 mg/kg. Las muestras examinadas cumplen con las normativas por lo cual tampoco hay riesgo a la salud.

Se compararon con estas normativas y reglamentos debido a que no hay una regulación para el contenido de metales pesados en borra de café. Un estudio realizado por da Silva et al. (2017) en Portugal reportó el porcentaje de extracción de los metales estudiados en la preparación de café con 6g/50 mL de infusión. El plomo presentó un porcentaje de extracción de 46,85% y por su parte el cadmio se extrajo en 26%. El plomo tendría mayores porcentajes de lixiviación debido a su baja interacción con la matriz del café. Esto significaría que el café tostado y molido del cual se generó estos residuos poseía una cantidad de casi el doble.

En el trabajo de titulación de Viñán (2019) se evaluaron los niveles de plomo de grano y suelo de tres localidades en Loja. Se reportaron concentraciones de $18,46 \pm 7,28$ mg/kg; $13,97 \pm 3,62$ mg/kg y $13,14 \pm 2,34$ mg/kg para los cantones Paltas, Sozoranga y, Chaguarpamba respectivamente. Según el acuerdo Ministerial 097-A (2015) el límite de Pb permisible es 19

mg/kg y de acuerdo con EPA (1996) la concentración normal de este metal en el suelo es 10 mg/kg. En el proyecto dos de los tres cantones evaluados presentaron contaminación por plomo. Es posible que se haya presentado de igual manera en las localidades donde se cultivó el grano, para el caso de las muestras A, B y C, siendo una absorción del metal por parte de las plantas. Por ello se recomienda realizar controles más rigurosos y análisis en las tierras de sembrado las cuales podrían tener una contaminación con plomo. De utilizarse este material como materia prima para el sector alimenticio habría que cuidar las proporciones para no incumplir los reglamentos ni poner en riesgo la seguridad alimentaria.

3.4 Propuesta de producto

Incluso después de la preparación de bebida, el desecho de café tostado y molido sigue siendo un recurso de gran valor. Contiene considerables compuestos antioxidantes, cafeína, ácidos grasos, entre otros compuestos de gran interés para diversos sectores de las industrias. En esta sección se proponen potenciales aplicaciones de las muestras de borra analizadas para su aprovechamiento.

Los minerales encontrados en la borra de café son micronutrientes esenciales para la salud humana, cumpliendo un papel de regular funciones metabólicas y fisiológicas; por ello se podrían emplear para la producción de alimentos con nutrientes añadidos. Además, tendría potencial como producto para remediación de suelo. Se han realizado procesos para su transformación en biocarbón (Yang et al., 2017 & Lessa, Nunes, & Fajardo et al., 2018) aplicados al tratamiento de aguas y mitigación de los gases de efecto invernadero. Se ha encontrado que el biocarbón incrementa la capacidad de retención de agua del sustrato o suelo. Sin embargo, hay que tomar en cuenta el cumplimiento de ciertos criterios, por ello no se pueden realizar recomendaciones generales (Jeníček et al., 2022)

Como se presentó previamente en la Tabla 16, el contenido de grasa de las muestras se situó entre 12,27% y 16,17%. Al tratarse de una matriz hidrosoluble, la mayoría de la fracción lípida permanece en residuo después de la preparación de la bebida de café. En particular, los ácidos grasos predominantes en la borra, los ácidos linoleico, palmítico y oleico convierten a este residuo en un material de interés para el desarrollo de polihidroxialcanoatos (PHAs). Stanislav, et al. (2014) comparó la utilización del aceite extraído de la borra con otros desechos o aceites de bajo costo para la producción de poli 3-hidroxi butirato (PHB) con *Cupriavidus necator* H16. Se obtuvo una mayor eficiencia al emplear el aceite de borra de café. Se comentó además que podría mejorar el aspecto económico de la producción de PHB y que, debido a su alto valor calorífico, puede emplearse como combustible dentro del proceso fermentativo.

Un estudio realizado por Silva et al 2020 revela el potencial de la borra de café al realizar extracciones de aceite y utilizarlo como aditivos a los polímeros. Se utilizó el extracto para formar un plastificante a partir de la celulosa obtenida de los vasos de papel reciclado para tomar café. Los vasos fueron molidos y se añadió ácido láctico y se mezclaron con PLA (Poliácido láctico), dando como resultado un vaso más flexible y un polímero mejor procesado.

Así mismo para el residuo acuoso obtenido de la borra de café en conjunto con el ácido cítrico se añade a las películas de alcohol polivinílico obteniendo la mejora de liberación de antioxidantes y la actividad microbiana. Aunque la tracción perdió un poco de resistencia sin duda las películas producidas demostraron ser adecuadas para desarrollar nuevos materiales antimicrobianos para el envasado de alimentos (Ounkaew et al, 2018).

Adicional a las aplicaciones propuestas en base a los compuestos de interés encontrados en el café en la presente investigación, diversas fuentes como Ballesteros, Texeira & Mussatto, (2014) o Afolabii, et al., (2020), han realizado otros análisis complementarios, los cuáles

proporcionan más información acerca de sus potenciales usos. Karmee (2019) reporta un valor calorífico de 5960 kcal/kg en peso seco lo que convierte a este en un material atractivo para la generación de energía comparado con la madera, paja de trigo, fibra de coco, entre otros.

Debido a sus propiedades energéticas y su naturaleza porosa, se ha estudiado su reciclo en materiales de construcción como se recopila en la investigación de Mohammad, et al. (2021). Se ha investigado su aplicación como ladrillos, concluyendo que el contenido óptimo de borra en la mezcla para elaboración de los ladrillos era de 3% dado que la fuerza de compresión fue mayor que la muestra de control de arcilla. Como se mencionó, la borra de café posee una naturaleza porosa por ello se ha considerado como un material potencial para absorción de ruido. Yun et al. (2020) empleó el residuo para la construcción de paneles absorbentes de ruido, y se concluyó que con aumentar la frecuencia el coeficiente de absorción incrementó.

De igual forma, ha tenido buenos resultados aplicado en la construcción de materiales para aislamiento térmico. Lachheb et al. (2019) añadió borra de café en compuestos de yeso, hallando que incrementando la concentración del residuo hasta un 6% en la mezcla de yeso se redujo la conductividad térmica reduciendo de este modo, la demanda de calor en invierno y los requerimientos de enfriamiento para el verano. Con esta mezcla las emisiones de 1505.62 kgCO₂ se podrían reducir anualmente.

Respecto al tratamiento de aguas residuales, se ha experimentado con el carbón activado obtenido de la borra del café modificado químicamente con hidróxido de potasio consiguiendo una remoción de tintes como la anilina con efectividad entre el 75,01% y 95,52%. Demostrando ser una potencial materia prima de bajo costo para esta industria (Palagan Jr et al., 2020). Y como adsorbente, el residuo se ha presentado como una opción de bajo costo y efectiva para la remoción de plomo en agua con una eficiencia de adsorción del 85% (Lavecchia et al., 2016)

Al ser las muestras de estudio mayormente de tipo *C. arabica*, que es café más cultivado en todo el mundo, se podría pensar en el uso de este para productos cosméticos, como lo son los protectores solares, ya que, con valores similares a los obtenidos en este proyecto, Wagemaker et al., (2011) calcula un FPS de 1,50 bastante alto el cual aseguraría una protección de la piel y retención de humedad. Además, sugiere que, con una investigación más amplia con la genética de este tipo de grano, se podría llegar a pensar en protectores naturales 100% naturales a futuro.

En el sector alimenticio la borra de café también ha sido investigada como materia prima de alto valor nutricional por su contenido antioxidante y alto en fibra (Arya, et al., 2019). Entre las aplicaciones analizadas en la literatura Oseguera-Castro et al. (2019), extrajo la fibra dietética antioxidante para elaborar con ello bizcochos. Otras fuentes han empleado el desecho en las mismas líneas para dar valor agregado a los alimentos, en particular horneados o bebidas (Del Castillo et al., 2014; Machado et al., 2018 & Sampaio et al., 2013).

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

Con la finalidad de proponer diversas alternativas para la reincorporación del residuo generado del café post-filtrado en la cadena de valor en base a los compuestos de interés que posea, se realizó una caracterización de cuatro muestras: dos de cafeterías grandes con varias franquicias en el país, un emprendimiento y una empresa industrial procesadora de café; concluyendo qué:

En base a los resultados obtenidos, las muestras de borra de café presentan en su composición ácidos grasos de gran interés industrial, siendo los más abundantes los ácidos palmíticos, linoleicos, oleicos y esteáricos. La presencia de cafeína constituye también una molécula atractiva para la industria, pero la muestra de la industria procesadora de café (D) es la que menos potencial de aprovechamiento de cafeína tiene con 234,58 mg/kg disponibles lo que debería a una mayor eficiencia en su proceso productivo. Además, la humedad inevitablemente es un factor que considerar. Las muestras contienen entre 64.54% y 77.99% de humedad requiriendo, para su aprovechamiento, un proceso de secado que no degrade su contenido químico.

Ninguna de las muestras mostró niveles preocupantes de acrilamida en su composición con un mínimo de 36,69 $\mu\text{g}/\text{kg}$ y un máximo de 157,20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, las cuales fueron menores a los niveles reportados en según Reglamento (UE) 2017/2158 de la Comisión, de 20 de noviembre de 2017, por lo cual su aplicación en el sector alimenticio

no sería un problema. Por otro lado, se realizó un barrido empleando el ICP-OES para la identificación de Pb, Cd y As cuyas concentraciones se compararon para los niveles máximos permitidos del café tostado y café soluble por parte de la Unión Europea, Mercosur y la norma INEN1122. Todas las muestras contenían niveles preocupantes de Pb. La muestra A con 0,8 mg/kg superó los límites de las regulaciones de Mercosur y la Unión Europea, en tanto que las muestras B y D incumplieron las 3 regulaciones. Las concentraciones de los demás metales pesados estuvieron bajo los límites permitidos. Por lo que tal y como se menciona en el análisis de resultados esto podría deberse a la falta de control en los suelos, el uso de fertilizantes no apropiados lo que provocaría contaminación cruzada en el cultivo, es por eso por lo que no se puede definir la causa raíz del valor obtenido.

A partir de los resultados obtenidos y de la investigación bibliográfica acerca de sus beneficios para la salud humana y su utilidad en los procesos productivos se recopilaron potenciales aplicaciones de la borra de café de las cafeterías e industria procesadora evaluadas. Entre ellas se destacan su papel como materia prima en productos alimenticios de valor agregado debido a la considerable presencia de antioxidantes y fibra. Su uso en la industria de empaques ya sea en la generación de polímeros o en el aumento de la flexibilidad por su contenido de ácidos grasos. Y su aprovechamiento en la industria de construcción por su cualidad aislante y porosa.

4.2 Recomendaciones

Los estudios respecto a caracterización fisicoquímica de desechos como la borra del café conllevan un rango de tiempo extenso, dependiendo del tipo de bioactivo que se requiera estudiar, por lo que dependerá mucho de la investigación previa para determinar el tiempo

promedio de obtención de resultados y de esa manera no presentar valores faltantes en los proyectos.

Para un menor porcentaje de error en los valores obtenidos, las muestras deberían pasar por un pretratamiento de secado antes de ser utilizadas, en el presente proyecto, estuvieron en refrigeración hasta su uso, debido a que no se contaba con espacio suficiente de almacenamiento y área de secado para ofrecerle un secado natural. Esto puede ser un factor importante para considerar en cuanto a cantidad de muestra que se necesite, tiempo de retención de almacenamiento y parámetros estándar para evitar la contaminación de estas.

Por otro lado, se debería reducir el campo de estudio para poder obtener criterios más exactos respecto a la caracterización realizada y una proyección de capital de ingreso necesario para el proyecto en cuestión.

Además, se debe tener mucho cuidado en el tratado de las muestras y su manejo en su preparación para los diferentes análisis, debido a que estos son muy sensibles y algunos bastante complejos evitando errores de lectura y resultados injustificables.

Finalmente, se recomienda más estudios sobre este desecho con gran potencial de valor para poder tener más fuentes de información que nos brinden una mayor visibilidad permitiendo analizar correctamente los valores obtenidos y conclusiones más exactas.

BIBLIOGRAFÍA

Acuerdo Ministerial 097-A. (2015). *ANEXO 2 del Libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental del recurso suelo y criterios de remediación para suelos Contaminados.*

Obtenido de Ministerio del Ambiente:

[http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf)

[OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO%20OFICIAL%20387%20-%20AM%20140.pdf)

Acrylamide. *European Food Safety Authority*. (n.d.). Retrieved November 27, 2022, from

<https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/acrylamide>.

Afolabi, Oluwasola O.D.; Sohail, M.; Cheng, Yu-Ling (2020). *Optimization and*

characterization of hydrochar production from spent coffee grounds by hydrothermal

carbonization. *Renewable Energy*, 147(), 1380–1391. doi: 10.1016/j.renene.2019.09.098

Alonso-Salces, R.M.; Serra, F.; Reniero, F.; Rolyheberger, A. *Botanical and geographical*

characterization of green coffee (Coffea arabica and Coffea canephora): Chemometric

evaluation of phenolic and methylxanthine contents. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 4224–4235.

Alonso-Salces, R.M.; Serra, F.; Reniero, F.; Rolyheberger, A. *Botanical and geographical*

characterization of green coffee (Coffea arabica and Coffea canephora): Chemometric

evaluation of phenolic and methylxanthine contents. *J. Agric. Food Chem.* 2009, 57, 4224–4235.

- Alvarado, P. (Ed.). (2020, January 14). Revista Líderes. Líderes. Retrieved October 23, 2022, from <https://www.revistalideres.ec/lideres/innovacion-sweet-coffee-locales-estrategia.html>.
- Álvarez Risco, A. (2020). *Clasificación de las investigaciones*. Universidad de Lima, Facultad de Ciencias Empresariales y Económicas, Carrera de Negocios Internacionales.
- Alves, R. C., Soares, C., Casal, S., Fernandes, J. O., & Oliveira, M. B. P. (2010). *Acrylamide in espresso coffee: Influence of species, roast degree, and brew length*. Food Chemistry, 119(3), 929-934.
- Anal, A. K., Panesar, P., & Kaur, R. (2022). *Agro-Industrial Waste as Wealth: Principels, Biorefinery and Bioeconomy*. In Valorization of agro-industrial byproducts: Sustainable approaches for industrial transformation. essay, CRC PRESS.
- ANECAFÉ. (2021). *Reporte estadístico de las exportaciones de café*. <https://www.anecafe.org.ec/wp-content/uploads/ANALISIS-ANECAFE-2021.pdf>
- Arya, S. S., Venkatram, R., More, P. R., & Vijayan, P. (2021). *The wastes of coffee bean processing for utilization in food: A review*. Journal of Food Science and Technology, 1-16.
- Bagdonaite, K., Derler, K., & Murkovic, M. (2008). *Determination of acrylamide during roasting of coffee*. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 56(15), 6081–6086. <https://doi.org/10.1021/jf073051p>
- Ballesteros, L. F., Teixeira, J. A., & Mussatto, S. I. (2014). *Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin*. Food and bioprocess technology, 7, 3493-3503.

- Bertolino, M., Barbosa-Pereira, L., Ghirardello, D., Botta, C., Rolle, L., Guglielmetti, A., ... & Zeppa, G. (2019). *Coffee silverskin as nutraceutical ingredient in yogurt: Its effect on functional properties and its bioaccessibility*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(9), 4267-4275.
- Bharadwaj, A., Yadav, D., & Varshney, S. (2015). *Non-biodegradable waste—its impact & safe disposal*. *Int. J. Adv. Technol. Eng. Sci*, 3(1).
- Bobková, A., Poláková, K., Demianová, A., Belej, L., Bobko, M., Jurčaga, L., Gálik, B., Novotná, I., Iriando-dehond, A., & del Castillo, M. D. (2022). *Comparative Analysis of Selected Chemical Parameters of Coffea arabica, from Cascara to Silverskin*. *Foods*, 11(8). <https://doi.org/10.3390/FOODS11081082>
- Cafeto, E. M. (2018, May 23). *El Cafeto: Partes y Características de la Planta de Café. mundo cafeto*. Retrieved December 1, 2022, from <https://mundocafeto.com/planta/el-cafeto/>.
- Calderón Giraldo, J. (2015). *Aspectos sobre acrilamida: Formación, Cuantificación, mitigación y Futuras Consideraciones. Una Revisión*. *Producción + Limpia*, 10(1), 119–134. <https://doi.org/10.22507/pml.v10n1a10>
- Calero, A. (2021). *Efecto del potasio en la producción y calidad del fruto en el cultivo del café en la región litoral del Ecuador*. In Universidad Técnica de Babahoyo (pp. 10–14). UTB.
- Calle V., H. Subproductos del café. Chinchiná: Cenicafé, 1977. 84 p. (Boletín Técnico No. 6).
- Campos-Vega, R., Loarca-Pina, G., Vergara-Castaneda, 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.

- Cárdenas, E. L. M., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). *Hydrogen production from coffee mucilage in dark fermentation with organic wastes*. *Energies*, 12(1), 71.
- Chaves-Ulate, E., & Esquivel-Rodríguez, P. (2019). *Ácidos clorogénicos presentes en el café: capacidad antimicrobiana y antioxidante*. *Agronomía Mesoamericana*, 30(1), 299-311.
- Cho, A.R., K.W. Park, K.M. Kim, S.Y. Kim, and J. Han. 2013. *Influence of roasting conditions on the antioxidant characteristics of Colombian coffee (Coffea arabica L.) beans*. *J. Food Biochem.* 38:271-280. doi:10.1111/jfbc.12045
- Choi, E. J., Bae, S. H., Park, J. B., Kwon, M. J., Jang, S. M., Zheng, Y. F., ... & Bae, S. K. (2013). *Simultaneous quantification of caffeine and its three primary metabolites in rat plasma by liquid chromatography–tandem mass spectrometry*. *Food chemistry*, 141(3), 2735-2742.
- Coffee Producing Countries 2023. *World Population Review*. (2023). Retrieved January 20, 2023, from <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/coffee-producing-countries>
- Couto, R. M.; Fernades, J.; Da Silva, M. D. R.; Simões, P. C. (2009). *Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds*. *The Journal of SupercriticalFluids*,51(2):159-166.
- COFFEE VIETNAM, H. (2022, December 20). *The science of water to Brew Coffee*. *Helena Coffee Vietnam*. Retrieved January 29, 2023, from <https://helenacoffee.vn/the-science-of-water-to-brew-coffee/>.

- Corro, G., Pal, U., & Cebada, S. (2014). *Enhanced biogas production from coffee pulp through deligninocellulosic photocatalytic pretreatment*. *Energy Science & Engineering*, 2(4), 177-187.
- Cortés Meza, S. A. (2017, January 1). *Determinación de Antioxidante en subproductos de Café Producido y comercializado en risaralda (Colombia)*. Repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira. Retrieved January 20, 2023, from <https://repositorio.utp.edu.co/handle/11059/7597>
- Cruz, R., Cardoso, M. M., Fernandes, L., Oliveira, M., Mendes, E., Baptista, P., ... & Casal, S. (2012). *Espresso coffee residues: a valuable source of unextracted compounds*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 60(32), 7777-7784.
- Da Silva, S. A., Mendes, F. Q., Reis, M. R., Passos, F. R., de Carvalho, A. M. X., de Oliveira Rocha, K. R., & Pinto, F. G. (2017). *Determination of heavy metals in the roasted and ground coffee beans and brew*. *African Journal of Agricultural Research*, 12(4), 221-228.
- Dauster Sette, J. (2017). *History of Coffee*. International Coffee Organization - History. Retrieved October 21, 2022, from https://www.ico.org/icohistory_e.asp?section=About_Us.
- De Alwis Watuthanthrige, N., Allegranza, M. L., Dolan, M. T., Kloster, A. J., Kovaliov, M., Averick, S., & Konkolewicz, D. (2019). *In-situ Chemiluminescence-Driven Reversible Addition–Fragmentation Chain-Transfer Photopolymerization*. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(34), 11826-11829.
- Del Castillo, M. D., Martinez-Saez, N., & Ullate, M. (2014). *Healthy bakery products with high level of dietary antioxidant fibre*. International Patent WO2014/128320A1.

Department of Agriculture and U.S. Department of Health and Human Services. *Dietary Guidelines for Americans*, 2020-2025. 9th Edition. December 2020. Available at DietaryGuidelines.gov.

DePaula, J., & Farah, A. (2019). *Caffeine consumption through coffee: Content in the beverage, metabolism, health benefits and risks*. *Beverages*, 5(2), 37.

Dzul, M. (2015). *Aplicación de los métodos científicos*. In *Sistema de Universidad Virtual* (pp. 6–13). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Echeverria, M. C., & Nuti, M. (2017). *Valorisation of the residues of coffee agro-industry: perspectives and limitations*. *The Open Waste Management Journal*, 10(1).

Eckel RH, Jakicic JM, Ard JD, de Jesus JM, Houston Miller N, Hubbard VS, Lee IM, Lichtenstein AH, Loria CM, Millen BE, et al. *2013 AHA/ACC guideline on lifestyle management to reduce cardiovascular risk: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines* [published corrections appear in *Circulation*. 2014;129: S100–S101 and *Circulation*. 2015;131: e326]. *Circulation*. 2014; 129(suppl 2): S76–S99. doi: 10.1161/01.cir.0000437740.48606.d1

Edzuan, A. F., Aliah, A. N., & Bong, H. L. (2015). *Physical and chemical property changes of coffee beans during roasting*. *American Journal of Chemistry*, 5(3), 56-60.

EFSA (Ed.). (2022, May 5). *Acrylamide*. European Food Safety Authority. Retrieved October 28, 2022, from <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/acrylamide>.

El cafeto: *partes y características de la planta de café* | Mundo Cafeto

Emaseo EP. (2017, August 1). *El Plástico tarda 100 años en descomponerse, Reutilízalo.*

Emaseo EP. Retrieved December 8, 2022, from <https://www.emaseo.gob.ec/plastico-tarda-100-anos-descomponerse-reutilizalo/>.

Enfermedades no transmisibles. OPS/OMS | Organización Panamericana de la Salud. (n.d.).

Retrieved December 16, 2023, from <https://www.paho.org/es/temas/enfermedades-no-transmisibles>.

EPA. (1996). *Soil Screening Guidance: Technical Background*

Document.EPA/540/R95/128.Office of Solid Waste and Emergency Response Washington, DC 20460. Obtenido de United States Environmental Protection ental Protection: <file:///C:/Users/user/Downloads/755533.pdf>

Escamilla, A. (2020). *Obtención de extractos bioactivos a partir de un subproducto del café, empleando técnicas de extracción verdes* (Tesis). Facultad de Ciencias, Departamento de Química, Bogotá.

Espinosa Esteban. (2022). *Coffee Annual in Ecuador.*

https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Coffee%20Annual_Quito_Ecuador_EC2022-0008.pdf

Esposito, F., Fasano, E., De Vivo, A., Velotto, S., Sarghini, F., & Cirillo, T. (2020). *Processing effects on acrylamide content in roasted coffee production.* Food Chemistry, 319(February), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126550>

Dorni, C.; Sharma, P.; Saikia, G.; Longvah, T. *Fatty Acid Profile of Edible Oils and Fats*

Consumed in India. Food Chem. 2018, 238, 9–15. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.05.072

Figueroa Campos, G. A., Perez, J. P. H., Block, I., Sagu, S. T., Saravia Celis, P., Taubert, A., & Rawel, H. M. (2021). *Preparation of activated carbons from spent coffee grounds and coffee parchment and assessment of their adsorbent efficiency*. *Processes*, 9(8), 1396.

ForumCafé. (2019). *Revista Fórumcafé*. Retrieved 2022, from <https://www.revistaforumcafe.com/>. Revista Digital ISSN 2696-3043

Garcia-Serna, E., Martinez-Saez, N., Mesias, M., Morales, F. J., & del Castillo, M. D. (2014). *Use of coffee silverskin and stevia to improve the formulation of biscuits*. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 64(4).

Giulia, S., Patrizia, R., Chiara, C., Carlo, B., & Erica, L. (2022). *Acrylamide in coffee: what is known and what still needs to be explored*. A review. *Food Chemistry*, 133406.

Gómez-Aguilar, D. L., Rodríguez-Miranda, J. P., Baracaldo-Guzmán, D., Salcedo-Parra, O. J., & Esteban-Muñoz, J. A. (2021). *Biosorption of Pb (II) Using Coffee Pulp as a Sustainable Alternative for Wastewater Treatment*. *Applied Sciences*, 11(13), 6066.

González, V., Navarro, C., & Ronco, A. M. (2020). *Acrilamida en los alimentos: Valores de Referencia, recomendaciones y acciones de Mitigación*. *Revista Chilena De Nutrición*, 48(1), 109–117. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182021000100109>

Grundy SM, Stone NJ, Bailey AL, Beam C, Birtcher KK, Blumenthal RS, Braun LT, de Ferranti S, Faiella-Tommasino J, Forman DE, et al. (2018) *AHA/ACC/AACVPR/AAPA/ABC/ACPM/ADA/AGS/APhA/ASPC/NLA/PCNA guideline on the management of blood cholesterol: executive summary* [published correction appears in *Circulation*. 2019;139: e1178–e1181]. *Circulation*. 2019; 139: e1082–e1143. doi: CIR0000000000000624.

- Hernández, M. A., Susa, M. R., & Andres, Y. (2014). *Use of coffee mucilage as a new substrate for hydrogen production in anaerobic co-digestion with swine manure*. *Bioresource Technology*, 168, 112-118.
- Hijosa-Valsero, M., Garita-Cambronero, J., Paniagua-García, A. I., & Díez-Antolínez, R. (2018). *Biobutanol production from coffee silverskin*. *Microbial cell factories*, 17(1), 1-9.
- Hurtado-Benavides, A., Dorado, D., & del Pilar, A. (2016). *Study of the fatty acid profile and the aroma composition of oil obtained from roasted Colombian coffee beans by supercritical fluid extraction*. *The Journal of Supercritical Fluids*, 113, 44-52.
- Jeniček, L., Tunklová, B., Malat'ák, J., Neškudla, M., & Velebil, J. (2022). *Use of Spent Coffee Ground as an Alternative Fuel and Possible Soil Amendment*. *Materials*, 15(19), 6722.
- Justia Patents. (n.d.). *Coffee Flour, Winner—overall category*. Justia. Retrieved November 28, 2022, from <https://patents.justia.com/inventor/daniel-alderic-belliveau>.
- Jutakradsada, P., Prajaksud, C., Kuboonya-Aruk, L., Theerakulpisut, S., & Kamwilaisak, K. (2016). *Adsorption characteristics of activated carbon prepared from spent ground coffee*. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 18(3), 639-645.
- Karmee, S. K. (2018). *A spent coffee grounds based biorefinery for the production of biofuels, biopolymers, antioxidants and biocomposites*. *Waste management*, 72, 240-254.
- Khezerlou, A., & Jafari, S. M. (2020). *Nanoencapsulated bioactive components for active food packaging*. In *Handbook of food nanotechnology* (pp. 493-532). Academic Press.
- Lachheb, A., Allouhi, A., El Marhoune, M., Saadani, R., Kousksou, T., Jamil, A., & Oussouaddi, O. (2019). *Thermal insulation improvement in construction materials by adding spent*

coffee grounds: An experimental and simulation study. Journal of cleaner production, 209, 1411-1419.

Lantz, I., Ternit'e, R., Wilkens, J., Hoenicke, K., Guenther, H., & Van Der Stegen, G. H. D. (2006). *Studies on acrylamide levels in roasting, storage and brewing of coffee.* Molecular Nutrition and Food Research, 50(11), 1039–1046. <https://doi.org/10.1002/mnfr.200600069>

LAVECCHIA, Roberto, et al. *Lead removal from water by adsorption on spent coffee grounds.* Chemical Engineering Transactions, 2016, vol. 47, p. 295-300.

Lessa, E. F., Nunes, M. L., & Fajardo, A. R. (2018). *Chitosan/waste coffee-grounds composite: An efficient and eco-friendly adsorbent for removal of pharmaceutical contaminants from water.* Carbohydrate polymers, 189, 257-266.

Littardi, P., Rinaldi, M., Grimaldi, M., Cavazza, A., & Chiavaro, E. (2020). *Effect of addition of green coffee parchment on structural, qualitative and chemical properties of gluten-free bread.* Foods, 10(1), 5.

Ludolph, E. (2015, March 16). *What is coffee flour?* TED Blog. Retrieved November 28, 2022, from <https://blog.ted.com/what-is-coffee-flour/>.

Machado E, Mussatto SI, 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

Martínez de Victoria, E. (2016). *El Calcio, esencial para la salud.* Nutrición Hospitalaria. <https://doi.org/10.20960/nh.341>

- 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., Ullate, M., Martin-Cabrejas, M. A., Martorell, P., Genovés, S., Ramon, D., & del Castillo, M. D. (2014). *A novel antioxidant beverage for body weight control based on coffee silverskin*. Food chemistry, 150, 227-234.
- Marto, J., Gouveia, L. F., Chiari, B. G., Paiva, A., Isaac, V., Pinto, P., ... & Ribeiro, H. M. (2016). *The green generation of sunscreens: Using coffee industrial sub-products*. Industrial Crops and Products, 80, 93-100.
- Mohammad Saberian;Jie Li;Anita Donnoli;Ethan Bonderenko;Paolo Oliva;Bailey Gill;Simon Lockrey;Rafat Siddique; (2021). *Recycling of spent coffee grounds in construction materials: A review*. Journal of Cleaner Production, (), -. doi: 10.1016/j.jclepro.2021.125837
- Morales, L. M., & Pérez, D. O. (2020). *Valorización de los residuos de café tostado y molido (borra de café), generados en el Campus Central de la Universidad de El Salvador*. (thesis).
- Narváez, M., & Villota, L. (2018). *Caracterización Físicoquímica De La Borra De Café Proveniente De La Hacienda Supracafé En El Municipio De Cajibío, Departamento Del Cauca* (thesis). Repositorio U, Popayán.
- Natella, F., and C. Scaccini. 2012. Role of coffee in modulation of diabetes risk. Nutr. Rev. 70:207-217. doi:10.1111/j.1753- 4887.2012.00470.x

- Orrego, D., Zapata-Zapata, A. D., & Kim, D. (2018). Optimization and scale-up of coffee mucilage fermentation for ethanol production. *Energies*, 11(4), 786.
- Oseguera-Castro, K. Y., Madrid, J. A., Madrid, M. J. M., García, O. P., Del Castillo, M. D., & Campos-Vega, R. (2019). Antioxidant dietary fiber isolated from spent coffee (*Coffea arabica* L.) grounds improves chronotype and circadian locomotor activity in young adults. *Food & Function*, 10(8), 4546-455
- Ounkaew, A.; Kasemsiri, P.; Kamwilaisak, K.; Saengprachatanarug, K.; Mongkolthananuk, W.; Souvanh, M.; Pongsa, U.; Chindaprasirt, P. Polyvinyl alcohol (pva)/starch bioactive packaging film enriched with antioxidants from spent coffee ground and citric acid. *J. Polym. Environ.* 2018, 26, 3762–3772.
- Pagalan Jr, E., Sebron, M., Gomez, S., Salva, S. J., Ampusta, R., Macarayo, A. J., Joyno, C., Ido, A., & Arazo, R. (2020). Activated carbon from spent coffee grounds as an adsorbent for treatment of water contaminated by Aniline Yellow Dye. *Industrial Crops and Products*, 145, 111953. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111953>
- Patil, B. S., Jayaprakasha, G. K., Chidambara Murthy, K. N., & Vikram, A. (2009). Bioactive compounds: historical perspectives, opportunities, and challenges. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(18), 8142-8160.
- Puerta, G. I. (2011). Composición química de una taza de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 414, 1–12. <http://hdl.handle.net/10778/340>
- Puertas-Mejía, M. A., Villegas-Guzmán, P., & Alberto Rojano, B. (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.

- Rai, P. K., Lee, S. S., Zhang, M., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2019). Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management. *Environment international*, 125, 365-385.
- Raj, J. R., Rajula, B. I. P., Tamilbharathi, R., & Srinivasulu, S. (2020). *An IOT based waste segregator for recycling biodegradable and non-biodegradable waste*. 2020 6th International Conference on Advanced Computing and Communication Systems (ICACCS). <https://doi.org/10.1109/icaccs48705.2020.9074251>
- Ramírez N., V. M., Peñuela S., L. M., & Pérez R., M. D. (2017). *Los Residuos orgánicos Como Alternativa para la Alimentación en porcinos*. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 34(2). <https://doi.org/10.22267/rcia.173402.76>
- Ramirez Velez, A., & Jaramillo Lopez, J. C. (2015). *Process for Obtaining Honey and/or Flour of Coffee from the Pulp or Husk and the Mucilage of the Coffee Bean*. US patent publication no. 20150017270, 15.
- Rocha, M. V. P., de Matos, L. J. B. L., de Lima, L. P., da Silva Figueiredo, P. M., Lucena, I. L., Fernandes, F. A. N., & Gonçalves, L. R. B. (2014). *Ultrasound-assisted production of biodiesel and ethanol from spent coffee grounds*. *Bioresource technology*, 167, 343-348.
- Rodríguez, C. V. (2022, January 13). *2021, Un buen año para el café ecuatoriano, se espera más apoyo en el 2022 para áreas de siembra*. *El Productor*.
- Rodríguez, D. (2017). *Intoxicación ocupacional por metales pesados*. *MEDISAN*, 21(12), 3372–3385.
- Rodríguez-Valencia, N., Zambrano Franco, D. A., & Ramírez, C. A. (2013). *Manejo y disposición de los subproductos y de las aguas residuales del beneficio del café*. En

Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, Manual del cafetero colombiano:
Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura (Vol. 3, pp. 111–136).
Cenicafé. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_31

Sampaio A, Dragone G, Vilanova M, Oliveira JM, Teixeira JA, Mussatto SI. (2013). *Production, chemical characterization, and sensory profile of a novel spirit elaborated from spent coffee ground*. LWT-Food Sci Technol 54(2):557–563

Scatolino, M. V., Costa, A. D. O., Guimarães, J. B., Protásio, T. D. P., Mendes, R. F., & Mendes, L. M. (2017). *Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: Physical and mechanical properties*. Ciência e Agrotecnologia, 41, 139-146.

Sereshti, H., & Samadi, S. (2014). *A rapid and simple determination of caffeine in teas, coffees and eight beverages*. Food Chemistry, 158, 8-13.

Sharma, H. (2020). *A detail chemistry of coffee and its analysis*. Coffee-production and research, 79.

Silva, A.P.; de Paula Pereira, M.; Passador, F.R.; Montagna, L.S. *PLA/coffee grounds composites: A study of photodegradation and biodegradation in soil*. In Macromolecular Symposia; Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 2020; Volume 394, p. 2000091

Soliman, G. A. (2018). *Dietary cholesterol and the lack of evidence in cardiovascular disease*. Nutrients, 10(6), 780.

Somporn, C., Kamtuo, A., Theerakulpisut, P., & Siriamornpun, S. (2012). *Effect of shading on yield, sugar content, phenolic acids, and antioxidant property of coffee beans (Coffea Arabica L. cv. Catimor) harvested from north-eastern Thailand*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 92(9), 1956-1963.

- Tfouni, S. A., Carreiro, L. B., Teles, C. R., Furlani, R. P., Cipolli, K. M., & Camargo, M. C. (2014). *Caffeine and chlorogenic acids intake from coffee brew: Influence of roasting degree and brewing procedure*. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(3), 747-752.
- Trademark. (2015). *Coffee flour trademark information*. Retrieved November 28, 2022, from <https://trademark.trademarkia.com/coffee-flour-86245457.html>.
- Tsegay, G., Redi-Abshiro, M., Chandravanshi, B. S., Ele, E., Mohammed, A. M., & Mamo, H. (2020). *Effect of altitude of coffee plants on the composition of fatty acids of green coffee beans*. *BMC chemistry*, 14(1), 1-11.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2021). *Method 3052. Microwave Assisted Digestion of Siliceous and Organically Based Matrices Revision 0* (December 1996). In *Hazardous Waste Test Methods / SW-846* (pp. 3052–1–3052–20). <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-3052-microwave-assisted-acid-digestion-siliceous-and-organically-based>
- UNICEF. (2019). *Los Efectos del Clima en la Seguridad Alimentaria y la nutrición*. *El Estado De La Seguridad Alimentaria y La Nutrición En El Mundo*, 38–125. <https://doi.org/10.18356/70f2fc9d-es>
- Urribarrí, A., Zavala, A., Sánchez, J., Arenas, E., Chandler, C., Rincón, M., González, E., & Aiello Mazzari, C. (2014). *Evaluación del potencial de la borra de café como materia prima para la producción de biodiesel*. *Multiciencias*, (1317-2255), 130-138.
- Valdespino-León, M., Calderón-Domínguez, G., De La Paz Salgado-Cruz, M., Rentería-Ortega, M., Farrera-Rebollo, R. R., Morales-Sánchez, E., ... & Terrazas-Valencia, F. (2021).

Biodegradable electrosprayed pectin films: An alternative to valorize coffee mucilage. Waste and Biomass Valorization, 12(5), 2477-2494.

Viñan Guamán, J. S. (2019). *Determinación de plomo en café industrial y artesanal comercializados en la provincia de Loja.* [Tesis de grado, Universidad de Guayaquil]. Recuperado a partir de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/39737>

Vu, D. C., Vu, Q. T., Huynh, L., Lin, C.-H., Alvarez, S., Vo, X. T., & Nguyen, T. H. (2021). *Evaluation of fatty acids, phenolics and bioactivities of spent coffee grounds prepared from Vietnamese coffee.* International Journal of Food Properties, 24(1), 1548–1558. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1977657>

Williamson, K., & Hatzakis, E. (2019). *NMR analysis of roasted coffee lipids and development of a spent ground coffee application for the production of bioplastic precursors.* Food Research International, 119, 683-692.

Wondemagegnehu, E. B., Gupta, N. K., & Habtu, E. (2022). *Coffee parchment as potential biofuel for cement industries of Ethiopia.* Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 44(2), 5004-5015.

Yadira, P. S. B., Sergio, S. T., Fernando, S. E. L., Sebastian, P. J., & Eapen, D. (2014). *Bioethanol production from coffee mucilage.* Energy Procedia, 57, 950-956.

Yang, L., Havard, P., Corscadden, K., Xu, C. C., & Wang, X. (2017). *Co-liquefaction of spent coffee grounds and lignocellulosic feedstocks.* Bioresource technology, 237, 108-121

Yun, B. Y., Cho, H. M., Kim, Y. U., Lee, S. C., Berardi, U., & Kim, S. (2020). *Circular reutilization of coffee waste for sound absorbing panels: A perspective on material recycling.* Environmental research, 184, 109281.

Zepka, L. Q., & Nascimento, T. C. d. , & Jacob-Lopes, E. , (Eds.). (2021). *Bioactive Compounds*
- *Biosynthesis, Characterization and Applications*. IntechOpen.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.91131>

ANEXOS

Figura 9

Resultado de análisis de Cafeína a la muestra B (Activo y blanco respectivamente)

