



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

TESIS

**Evaluación del contenido de fibra, fenoles y digestibilidad *in vitro* en
galletas adicionadas con cascarilla de café**

Para obtener el grado de
Ingeniera Agroindustrial

PRESENTA

Andrea Cornejo Esquivel

Directora

Dra. Elizabeth Pérez Soto

Co-Director

Dr. Roberto González Tenorio

Comité tutorial

Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez

M. en A. Melitón Jesús Franco Fernández

Tulancingo de Bravo, Hgo., México, noviembre de 2025.



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Institute of Agricultural Sciences

Área Académica de Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos

Academic Area of Agroindustrial Engineering and Food Engineering

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 21 de noviembre de 2025.

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado

Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el comité que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Agroindustrial, **Andrea Cornejo Esquivel**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**Evaluación del contenido de fibra, fenoles y digestibilidad in vitro en galletas adicionadas con cascarrilla de café**", que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los revisores:

Dra. Elizabeth Pérez Soto

Dr. Roberto González Tenorio

Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez

Mtro. Melitón Jesús Franco Fernández

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"

Dr. Yair Ovaldo Santiago Saenz
Coordinador de la Licenciatura en
Ingeniería Agroindustrial



Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775
Teléfono: 7717172000 Ext. 42021
ricardo_navarro@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"

WORLD UNIVERSITY RANKINGS 2025

2025

Times Higher Education



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Es un honor reconocer a quienes formaron parte de este proyecto y me acompañaron con su guía, apoyo y confianza en cada paso del camino.

Gracias a Dios, por ser tan bueno y sabio, por cada prueba y bendición recibida.

Gracias a mi mamá por todas sus oraciones y apoyo incondicional, a mis hermanos Marisol, Jorge y Alonso por impulsarme a seguir adelante, a mi tía Tere por todo su amor, a Vicky y Chivete por siempre creer en mí y a toda mi familia por sostenerme cuando más lo necesito.

Gracias a Ximena Panes por ser luz en mis días, por su amor incondicional y por las risas que se volvieron refugio en los momentos más difíciles.

Gracias a mis amigos, por haber decidido cambiar de equipo y volverse mis cómplices en todo lo que logramos.

Gracias a quien me ama con locura y motiva mi corazón, por recordarme siempre de lo que soy capaz y por impulsarme a seguir.

Gracias a la Dra. Elizabeth Pérez Soto por todas las enseñanzas y por la paciencia. A mis asesores Dr. Roberto González Tenorio, Dra. Rosa Hayde Alfaro Rodríguez, Mtro. Melitón Jesús Franco Fernández y a todos quienes, con su guía, dedicación y ejemplo, contribuyeron a mi formación.

Gracias a los productores de la Sierra Cafetalera La Sombra por permitirme conocerlos, por su hospitalidad y por compartir conmigo su trabajo, su historia y la pasión que ponen para lograr cada grano de café.

DEDICATORIA

Esta dedicatoria es para mi papá Moisés Mario Cornejo Huesca, quien en vida me impulsó a luchar por mis sueños. Sé que hoy estarías tan orgulloso de mí que todo el mundo sabría que soy Ingeniera. Te amo y agradezco infinitamente todo lo que me diste. También me reconozco a mí misma, porque sé que estoy lista para seguir enfrentando batallas, y porque tú, desde donde me cuidas, querrías que siguiera adelante con la misma valentía.

Y con el mismo amor, dedico estas páginas a mi mamá María Antonieta Esquivel Barrios, por tu amor incansable, por tu fortaleza que siempre me sostiene y porque todo lo que soy lleva un pedacito de ti, porque has sido mi ejemplo, mi refugio y mi mayor inspiración. Te amo.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad de galletas adicionadas con cascarilla de café como fuente de fibra, antioxidantes y el contenido nutricional. Para su formulación y proceso se utilizó una masa friable, los tratamientos se identificaron de la siguiente manera: el testigo (0%), T1 (5.56% cascarilla del morteado), T2 (6.48% cascarilla del morteado), T3 (5.56% cascarilla tostado), T4 (6.48% cascarilla tostado).

Se llevó a cabo un análisis bromatológico, un análisis de perfil de textura (TPA) en las masas para evaluar los parámetros de dureza, adhesividad, resiliencia, cohesividad, índice de elasticidad e índice de masticabilidad. Para la textura de las galletas formuladas con cascarilla de café del morteado y del tostado se hizo una prueba de compresión donde se midieron los parámetros de dureza y trabajo de dureza. Se realizó un análisis sensorial de nivel de agrado en los consumidores a fin de conocer el efecto de la cascarilla en el sabor, aroma y textura de las galletas, los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico MINITAB versión 2019 mediante un ANOVA. En la prueba de contenido de fenoles se determinó la biodisponibilidad de estos compuestos a través del método Folin-Ciocalteu y se hizo un comparativo entre las cascarillas, las masas y las galletas presentando los resultados en mg EAG/g muestra y la prueba de digestibilidad in vitro se desarrolló de acuerdo a Minekus 2014 aplicándose a cascarillas, masas y galletas en las fases de extracto, gástrica, intestinal y ebullición.

Estos resultados permiten contribuir al desarrollo y aplicación de nuevos productos, técnicas o formulaciones para generar conocimiento científico y tecnológico en diversos sistemas alimentarios.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the quality of cookies with added coffee husks as a source of fiber, antioxidants, and nutritional content. A crumbly dough was used for its formulation and processing, and the treatments were identified as follows: control (0%), T1 (5.56% ground coffee husks), T2 (6.48% ground coffee husks), T3 (5.56% roasted coffee husks), and T4 (6.48% roasted coffee husks).

A bromatological analysis and a texture profile analysis (TPA) were carried out on the dough to evaluate the parameters of hardness, adhesiveness, resilience, cohesiveness, elasticity index, and chewability index. For the texture of the cookies formulated with ground and roasted coffee husks, a compression test was performed to measure the parameters of hardness and hardness work. A sensory analysis of the level of acceptance was carried out in order to determine the effect of the husk on the taste, aroma, and texture of the cookies and the level of acceptance among consumers. The results obtained were analyzed with the MINITAB statistical package version 2019 using ANOVA. In the phenol content test, the bioavailability of these compounds was determined using the Folin-Ciocalteu method, and a comparison was made between the husks, the dough, and the cookies, presenting the results in mg EAG/g sample. The in vitro digestibility test was developed according to Minekus 2014, applying it to the husks, dough, and cookies in the extract, gastric, intestinal, and boiling phases.

These results contribute to the development and application of new products, techniques, or formulations to generate scientific and technological knowledge in various food systems.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	II
DEDICATORIA	III
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE GENERAL	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
GLOSARIO	8
UNIDADES INTERNACIONALES DE MEDIDA.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	9
1. INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
2.1 JUSTIFICACIÓN	11
2.2 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	11
2.3 OBJETIVOS.....	12
2.3.1 <i>Objetivo general</i>	12
2.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	12
2.4 HIPÓTESIS	12
CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA	13
3.0 ANTECEDENTES.....	13
3.1 <i>Localización geográfica de la Sombra</i>	13
3.2 <i>Manejo agronómico</i>	14
3.3 <i>Beneficiado del café</i>	15
3.3.1 Beneficio húmedo.....	15
3.3.2 Beneficio seco.....	15
3.4 <i>Subproductos del café</i>	16
3.5 <i>Composición de la cascarilla</i>	17
3.6 <i>Compuestos bioactivos</i>	18
3.7 <i>Beneficios a la salud</i>	20
3.8 <i>Usos de la cascarilla</i>	21

3.9 Consumo nacional de galletas en México	22
3.10 Galleta	22
3.11 Formulación de la galleta.....	22
3.11.1 Ingredientes	23
3.11.1.1 Harina de trigo.....	23
3.11.1.2 Mantequilla	24
3.11.1.3 Azúcar mascabado.....	24
3.11.1.4 Cascarilla de café	24
3.11.1.5 Extracto de café.....	24
3.12 Técnica de Análisis de Perfil de Textura (TPA)	25
3.13 Análisis sensorial.....	27
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA	29
4.1 INTRODUCCIÓN.....	29
4.2 LOCALIZACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	29
4.3 FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE GALLETAS.....	29
4.3.1 Materias primas	29
4.3.2 Tratamientos	30
4.3.3 Acondicionamiento de la cascarilla	30
4.3.4 Proceso de elaboración de galletas.....	31
4.4 Metodología de análisis bromatológicos.....	33
4.4.1 Determinación de humedad.....	33
4.4.2 Determinación de cenizas	33
4.4.3 Determinación de proteína.....	34
4.4.4 Determinación de grasa	34
4.4.5 Determinación de fibra	34
4.5 Digestibilidad in vitro	35
4.6 Determinación de compuestos fenólicos	36
4.7 Análisis del Perfil de Textura para las masas y galletas	36
4.7.1 Prueba TPA para textura de masas.....	37
4.7.2 Prueba de compresión para textura de galletas.....	37
4.8 Análisis de resultados.....	37
4.9 Análisis sensorial	37
CAPÍTULO V RESULTADOS	39
5.1 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA CASCARILLA DE CAFÉ	39
5.2 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA GALLETA ADICIONADA CON CASCARILLA DE CAFÉ.....	40
5.3 DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES	41

5.4 DIGESTIBILIDAD <i>IN VITRO</i>	42
5.5 RESULTADOS DE PRUEBAS DE TEXTURA.....	44
5.5.1 <i>Textura en masas</i>	44
5.5.2 <i>Textura en galletas</i>	46
7.2 RESULTADOS PRUEBA SENSORIAL.....	47
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES	49
CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA	50
CAPÍTULO VII ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE CAFÉ (MORTEADO)	18
TABLA 2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA CASCARILLA DE CAFÉ (TOSTADO)	18
TABLA 3 ESTRUCTURA QUÍMICA DE LOS PRINCIPALES POLIFENOLES	19
TABLA 4 PARÁMETROS CONVENCIONALES DE TEXTURA	25
TABLA 5 ATRIBUTOS SENSORIALES EVALUADOS EN GALLETAS	28
TABLA 6 FORMULACIÓN Y TRATAMIENTOS PARA ELABORAR GALLETAS CON CB Y CC	30
TABLA 7 CÓDIGOS PARA LAS MUESTRAS DEL ANÁLISIS SENSORIAL	38
TABLA 8 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LA CASCARILLA DE CAFÉ	39
TABLA 9 COMPOSICIÓN QUÍMICO PROXIMAL DE LAS GALLETAS.....	40
TABLA 10 CONTENIDO DE FENOLES.....	41
TABLA 11 DIGESTIBILIDAD IN VITRO CON CASCARILLA BLANCA.....	42
TABLA 12 DIGESTIBILIDAD IN VITRO CON CASCARILLA CAFÉ	43
TABLA 13 DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE TEXTURA EN MASA	45
TABLA 14 DETERMINACIÓN DE DUREZA Y TRABAJO DE DUREZA EN GALLETAS.....	46
TABLA 15 RESULTADOS PRUEBA SENSORIAL	47

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE BENEFICIADO DEL CAFÉ.....	17
ILUSTRACIÓN 2 ACONDICIONAMIENTO DE LA CASCARILLA DE CAFÉ (ELABORACIÓN PROPIA).....	31
ILUSTRACIÓN 3 PROCESO DE ELABORACIÓN DE GALLETAS CON CASCARILLA DE CAFÉ	32
ILUSTRACIÓN 4 DIAGRAMA DE PROCESO GALLETAS	33
ILUSTRACIÓN 5 PRESENTACIÓN DE PRUEBA SENSORIAL	38

Glosario

Descriptor	Siglas y/o acrónimos
Cámara Nacional de la Industria Panificadora y Similares de México	CANAINPA
Ciencias de la Alimentación y del Departamento de Ciencias de la Alimentación	CIAL
Comisión Internacional de la Iluminación	CIELAB
Federación de Asociaciones de Celiacos de España	FACE
Instituto de Ciencias Agropecuarias	ICAP
Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural	SADER
Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica	SNIEG
Tratado de Libre Comercio de América del Norte	TLCAN
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	UAEH

Unidades internacionales de medida

Unidad	
Mg	Miligramos
G	Gramos
Kg	Kilogramos
ml	Militros
L	Litros
N	Newton
J	Joules

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1. Introducción

México es el 11° productor de café en el mundo, representa el 0.66% de producto interno bruto (PIB) y el 1.34% de la producción de bienes agroindustriales más importantes a nivel nacional. En los últimos años se produjeron 899 mil toneladas de café cereza, que de manera simultánea generan residuos y subproductos que constituyen una fuente de contaminación y problemas ambientales. El día de hoy pensar en residuos agroindustriales pasa de ser un problema a generar áreas de oportunidad, donde, además de contribuir con el medio ambiente, puedes generar alimentos funcionales, como las galletas adicionadas con cascarilla de café.

La Sociedad de Producción Rural Sierra Cafetalera la Sombra surge como un proyecto de quienes, durante toda su vida, se han dedicado al manejo agronómico del café, por lo tanto, conocen sus bondades y necesidades, pero lo más importante, están dispuestos a mejorar en bien de su producción y comunidad, combinando conocimientos empíricos y científicos. Es por esto que la cascarilla de café pasó de ser un residuo a un ingrediente clave en la innovación de productos.

Este trabajo se conforma por cinco capítulos:

El Capítulo I Introducción incluye el marco introductorio explicando de manera general el contexto del café en México, los avances de la Sierra Cafetalera la Sombra y algunos beneficios de la cascarilla de café.

El Capítulo II Planteamiento de la investigación presenta la justificación, pregunta de investigación, objetivo general y objetivos específicos e hipótesis.

El Capítulo III Revisión de literatura desarrolla el marco teórico, describiendo los antecedentes, conceptos y estudios previos que sustentan el tema desarrollado.

El Capítulo IV Metodología describe el enfoque de la investigación, su localización, formulaciones, análisis y pruebas aplicadas.

El Capítulo V Resultados expone y discute los datos obtenidos organizados de acuerdo a las variables evaluadas.

El Capítulo VI Conclusiones integra las reflexiones finales y los aprendizajes derivados de este trabajo.

El Capítulo VII Bibliografía muestra la compilación de fuentes consultadas que respaldan la investigación.

CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Justificación

Como parte de las actividades establecidas en el convenio específico entre la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo y la Sociedad de Producción Rural Sierra Cafetalera La Sombra del municipio de Chiconquiaco, Veracruz, se planteó como proyecto de investigación una alternativa para aprovechar la cascarilla de café que se obtiene durante el proceso del morteado y tostado de café, este subproducto agroindustrial representa el 12% del grano de café en base seca, tiene un alto contenido de fibra y compuestos bioactivos que pueden ser utilizados para incrementar el contenido nutricional en galletas. E incluso puede ser un excelente sustituyente de las grasas en los productos de horneado los cuales son muy consumidos por la población (Barrera López & Sánchez Velandia, 2020).

Además de beneficiar a los productores, pues los resultados obtenidos contribuirán al desarrollo sostenible de la región y del proceso de investigación del café.

2.2 Pregunta de investigación

¿La adición de cascarilla de café obtenida en el proceso de morteado y tostado aporta beneficios nutrimentales y sensoriales a las galletas?

2.3 Objetivos

2.3.1 Objetivo general

Evaluar la calidad fisicoquímica, sensorial y nutrimental de galletas elaboradas con cascarilla de café como fuente de fibra, empleada como alternativa sustentable para el aprovechamiento del residuo generado en el proceso de beneficio del café en La Sombra, municipio de Chiconquiaco, Veracruz.

2.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar proximal y funcionalmente la cascarilla de café que se obtiene durante el proceso de morteado y del tostado del grano de café, que permitan generar valor agregado a nivel nutricional y funcional para el consumo humano.
- Estandarizar una formulación de galletas adicionadas con cascarilla de café obtenida en diferentes etapas del procesamiento.
- Realizar una caracterización nutrimental, sensorial, de perfil de textura, de cuantificación de fenoles y digestibilidad in vitro en galletas adicionadas con cascarilla de café.

2.4 Hipótesis

La adición de cascarilla de café en diferentes porcentajes mejorará la calidad nutritiva y el perfil de textura en galletas.

X variables dependientes: color, sabor, aroma y textura.

Y variables independientes: tipo de cascarilla, tiempo de amasado, temperatura de enfriamiento, temperatura de horneado.

CAPÍTULO III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.0 Antecedentes

3.1 Localización geográfica de la Sombra

El municipio de Chiconquiaco Veracruz se localiza geográficamente a 19° 42' y 19° 49' latitud norte; 96° 39' y 96° 52' longitud oeste, tiene una superficie aproximada de 133.9 km² y representa 0.2% del territorio estatal. En esta comunidad, las características agroecológicas son idóneas para el cultivo de café, la altitud promedio es de 1240 metros sobre el nivel del mar (msnm), la temperatura oscila de 14° a 24°C durante el año y un rango de precipitación de 1500 a 2000 mm anuales (INEGI, 2017). En esa región, una de las comunidades cafetaleras con mayor producción de café es la Sombra, en menor cantidad el Capulín y el Escalanar (Aboites Montoya, 2020). En la Sombra interactúan cafeticultores e investigadores que, desde el 2014, han realizado actividades de gestión de la información, gestión de conocimiento y transferencia de tecnología de la producción y comercialización, así como eventos sociales propios de su sistema de organización comunitaria.

La Sombra tiene como referencia la cuenca del Río Juchique, zona rica en la captura de agua, que beneficia a los municipios que se encuentran río abajo como Chiconquiaco, Alto Lucero, Juchique de Ferrer y Vega de Alatorre, así mismo, se localiza cerca de la capital del estado y de la costa, el acceso es mayoritariamente por terracería, por lo que llegar a la localidad implica por lo menos tres horas desde Xalapa y dos horas y media aproximadamente desde la playa Palma Sola (Aboites Montoya, 2020). Las fincas cafetaleras de la Sombra se ubican en las zonas más altas de la cuenca del Río Juchique, a una altura promedio de los 1240 a 1400 msnm (SEFIPLAN, 2018).

3.2 Manejo agronómico

En febrero de 2015, productores e investigadores iniciaron actividades para la caracterización agroecológica o estrategias agrícolas que mantenían los productores de la Sombra, se realizaron recorridos en quince parcelas, en los que se destaca el manejo agronómico en estas. Predominan cafetos de la variedad Típica o “criollo” con edades que van entre los 30 hasta los 60 años, además, mantienen variedades de porte alto, como Bourbon, Mundo Novo y algunas de porte bajo, como Caturra, Garnica, Costa Rica; los cultivos se encuentran bajo sombra, en un sistema de montaña de niebla, caracterizado como un policultivo tradicional, que alguna vez tendió a ser policultivo comercial, por la introducción de especies arbóreas con un arreglo entre árboles de sombra, plantas de plátano y cafetos, la cantidad de otros productos que se extraen del cafetal se ha diversificado, incluyendo planta de naranjales de distintas especies, aguacate y una diversidad de otras plantas. El café bajo sombra reduce la necesidad de usar agroquímicos para la planta y favorece la fertilidad del suelo, además de disminuir la temperatura ambiental promedio, lo que hace un llenado lento del grano e incrementa su densidad lo cual ayuda a mejorar las características sensoriales (Aboites Montoya, 2020).

La densidad de plantación es diversa, van desde 800 hasta 2000 cafetos por hectárea según la variedad del café, inclinación del suelo o total de árboles de sombra, esto es, “según consideran si pueden o no poner la planta en los espacios con que cuentan”, por lo que no tienen un arreglo o distribución homogénea en el cafetal (Aboites Montoya, 2020).

3.3 Beneficiado del café

La transformación del café es el cambio de forma, de café cereza a pergámido y de pergámido a café oro. Esta transformación en la primera fase se denomina beneficio húmedo; en la segunda, beneficio seco (Aboites Montoya, 2020).

3.3.1 Beneficio húmedo

La operación del beneficio húmedo da inicio con la cosecha de la cereza, que puede conservarse hasta doce horas y debe ser despulpado antes de que la cereza fermente, el proceso de despulpado dura de dos a diez horas, dependiendo del volumen. El proceso continúa con la remoción del mucílago, en el caso de cafés lavados, en esta fase del beneficio el grano se fermenta a temperatura de entre 21° a 27°C, en tanques o recipientes con agua limpia; la tecnología en este proceso ha avanzado con el fin de minimizar el uso de agua o reutilizarla en procesos de compostaje.

El proceso de café no lavado es el que se despulpa y se manda directamente a escurrir y secar, una vez que se ha secado se lleva a la obtención de café pergámido. Un café pergámido debe mantener entre el 11 o 12% de humedad, de esta forma el embrión del grano sigue vivo, con lo que se evalúa como un buen pergámido (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010).

3.3.2 Beneficio seco

Inicia quitando al grano las dos últimas capas, el pergámido (pajilla o endocarpio) y la película plateada que cubre el grano verde. El café verde, denominado también café oro, es ahora

clasificado por color y tamaño, resultando grano seleccionado y clasificado en distintos niveles: nacional, gourmet y café de exportación (Aboites Montoya, 2020).

3.4 Subproductos del café

En los países productores de café, los residuos y subproductos representan una de las principales fuentes de contaminación y problemas ambientales, generando preocupación e interés por su reutilización, por lo que se han inventado métodos para que puedan ser utilizados como materia prima en la producción de piensos, bebidas, vinagre, biogás, cafeína, pectina, enzimas pépticos, proteína, y abono (Rathinavelu & Graziosi, 2005). Dependiendo del método de procesamiento del grano de café, se generan varios tipos de residuos sólidos, entre ellos destacan la pulpa y la cascarilla, los cuales representan más del 45% del peso de la cereza del café. La pulpa de café es el primer subproducto que se obtiene durante el procesamiento de las bayas y representa el 43,58% del peso húmedo total del fruto fresco. En contraste, la cascarilla del café, que representa el 4.2% del peso fresco del fruto con una capacidad calórica de 17.9 MJ/kg, es considerada otro subproducto del grano de café (Jiménez & Esquivel, 2012).

Durante el proceso de secado del grano verde y el proceso de tostado, se genera la cascarilla de café, donde esta se seca y se rompe al expandirse el grano de café, por lo que se desprende con facilidad si se agita un poco. La cascarilla de café (silver skim o coffee chaff en inglés) es el tegumento del grano de café y es el único subproducto del café que se produce durante el tostado del grano del café (Borrelli, Esposito, Napolitano, Retieni, & Fogliano, 2004).

En la ilustración 1 se muestra el proceso de la obtención de café a través de beneficio seco o beneficio húmedo, de acuerdo a los procedimientos de la Sierra Cafetalera la Sombra.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE BENEFICIADO DEL CAFÉ

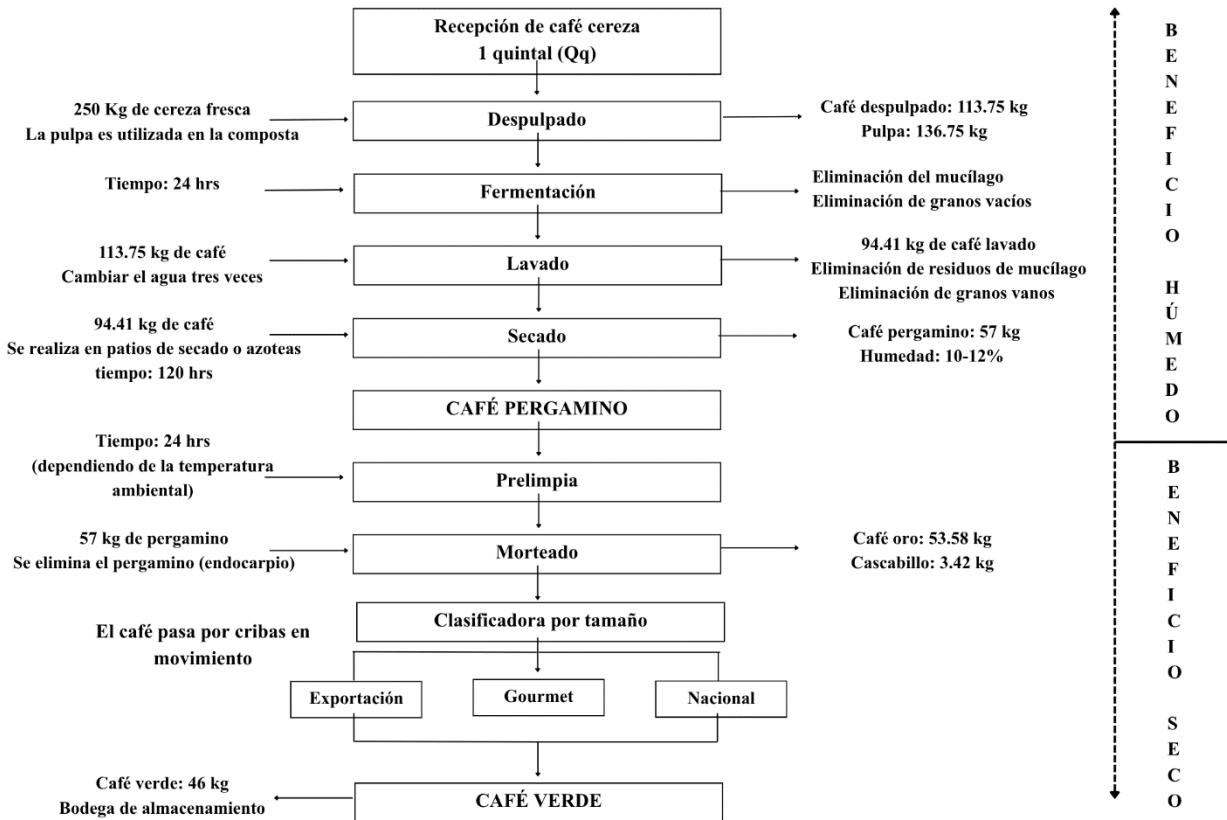


Ilustración 1 Diagrama de flujo del proceso de beneficiado del café

Fuente: Aboites Montoya (2020)

3.5 Composición de la cascarilla

Existen investigaciones previas que reconocen el uso de la cascarilla del café como un alimento funcional debido a su alto contenido de fibra, bajo contenido en grasas, azúcares reductores y marcada actividad antioxidante relacionada con las melanoidinas, las cuales se forman durante el proceso de tostado (Jiménez & Esquivel, 2012).

En la tabla 1 se describe la composición general de la cascarilla de café que se obtiene en el proceso del morteado.

Tabla 1 Composición química de la cascarilla de café (morteado)

Composición química cascarilla de café %	
Proteína	5.10
Grasa	2.20
Cenizas	2.60
Humedad	12.0
Carbohidratos	26.10
Fibra cruda	52.00

Fuente: (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010)

En la tabla 2 se describe la composición general de la cascarilla de café que se obtiene en el proceso del tostado.

Tabla 2 Composición química de la cascarilla de café (tostado)

Composición química cascarilla de café %	
Proteína	5.11
Grasa	2.11
Cenizas	2.80
Humedad	6.16
Carbohidratos	29.77
Fibra insoluble	54.05

Fuente: (Rodríguez Valencia & Zambrano Franco, 2010)

3.6 Compuestos bioactivos

Los componentes de los compuestos bioactivos se encuentran principalmente en los subproductos del sector agroindustrial, generando un gran volumen de residuos agroindustriales a lo largo de la cadena de suministro de alimentos, y si no se gestionan adecuadamente, pueden representar una amenaza para el medio ambiente, la rentabilidad y la adecuada distribución

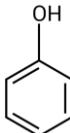
nutricional de alimentos a los consumidores. Además, los residuos como cáscaras, semillas, orujo y bagazo que son producidos diariamente, representan una oportunidad para la búsqueda de compuestos bioactivos (Soto T, Caballero P, & Abril F, 2025).

Los polifenoles son un grupo de sustancias químicas que se caracterizan por presentar más de un grupo fenol por molécula. Se encuentran principalmente en alimentos como: bayas, té, cacao, uvas y vino, café, entre otros.

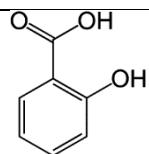
La capacidad de los polifenoles para modular la actividad de diferentes enzimas, y para interferir consecuentemente en mecanismos de señalización y en distintos procesos celulares, puede deberse, al menos en parte, a las características fisicoquímicas de estos compuestos, que les permiten participar en distintas reacciones metabólicas celulares de óxido-reducción. Sus propiedades antioxidantes justifican muchos de sus efectos beneficiosos (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012).

Existen varias clases y subclases de polifenoles que se definen en función del número de anillos fenólicos que poseen y de los elementos estructurales que presentan estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son: ácidos fenólicos (derivados del ácido hidroxicibenzoico o del ácido hidroxicinámico), estilbenos, lignanos, alcoholes fenólicos y flavonoides. En la tabla 3 se identifican las estructuras químicas.

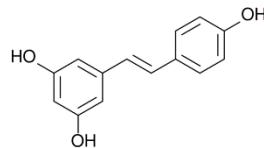
Tabla 3 Estructura química de los principales polifenoles

Grupos de polifenoles	Estructura química
Fenol simple	

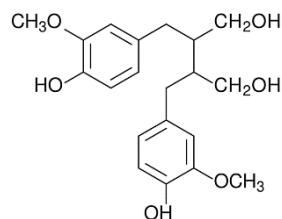
Ácidos fenólicos



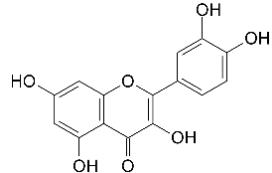
Estilbenos



Lignanos



Flavonoides



Fuente: basado en (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012)

3.7 Beneficios a la salud

La capacidad de los polifenoles para regular la actividad enzimática y para intervenir en distintos procesos celulares, se debe a las características fisicoquímicas de estos compuestos, que participan en distintas reacciones metabólicas de óxido-reducción, lo cual justifica sus efectos beneficiosos, en los últimos años se ha demostrado que una dieta rica en polifenoles vegetales puede mejorar la salud y disminuir la incidencia de enfermedades cardiovasculares (Quiñones, Miguel, & Aleixandre, 2012).

La presencia de compuestos fenólicos en la cascarilla de café presenta efectos en la reducción de las especies reactivas de oxígeno y radicales libres que son moléculas inestables que surgen como resultado de la utilización de oxígeno por las células, forman una especie de oxígeno,

que cuando se encuentran en exceso, pueden reaccionar en las proteínas, grasas y ADN de las células saludables, causando estrés oxidativo y daños en estas células, pudiendo acelerar el proceso de envejecimiento del cuerpo y contribuir en el desarrollo de enfermedades, como cáncer, alzheimer, parkinson, diabetes y artritis, por lo que pueden conferir actividad anti mutagénica, anti carcinogénica, anti glucémica y antioxidante (Dueñas Martín, Iriondo DeHond, & Del Castillo Bilbao, 2018).

Barrera López & Sánchez Velandia, mencionan que una de las características de este residuo es la gran cantidad de fibra dietaria que contiene (FDT), así como la significativa cantidad de fibra dietaria insoluble (FDI) que se puede definir como la biomasa vegetal que resiste la hidrolisis por las enzimas y el tracto intestinal. Se dice que es capaz de prevenir el cáncer de colon gracias a la mejora de la movilidad intestinal. La fibra dietaria soluble (FDS) es aquella parte de la matriz vegetal que es asimilada por el tracto intestinal disminuyendo los niveles de glucosa y colesterol en la sangre, y aumenta la absorción de calcio en el tracto intestinal.

Las pectinas del café también elevan el nivel de las lipoproteínas de alta densidad, por lo que son benéficas. La acción de las pectinas es encerrar los ácidos de la bilis (de donde procede el colesterol) y los llevan a través del intestino delgado hasta el intestino grueso o el colon, donde algunos de ellos se convierten en alimento para las bacterias, que a su vez protegen contra el cáncer de colon (Rathinavelu & Graziosi, 2005).

3.8 Usos de la cascarilla

En los países donde se produce café, los subproductos son una fuente de contaminación y de problemas ambientales graves. Investigaciones previas, como la de (Rathinavelu & Graziosi, 2005), indican que desde mediados del siglo pasado se ha tratado de inventar métodos para

aprovechar estos desechos, de forma general por el contenido de lignocelulosa es utilizada para la producción de biocombustibles, la idea propuesta es quemar la cascarilla en un generador de gas para después accionar un motor sobre ese gas y producir electricidad, además, el calor residual que procede del generador y del motor podría usarse para calentar una corriente de aire limpio, y eso puede usarse para secar más café.

3.9 Consumo nacional de galletas en México

El Laboratorio de Datos contra la Obesidad (LabDO) informó que las galletas son la séptima categoría con mayor número de compradores en México, donde cada hogar adquiere 12 kilos por año, aproximadamente, la investigación afirma también que este producto se compró, en promedio, 41 veces en un año, generando un gasto aproximado, por hogar mexicano, de más de 750 pesos en galletas (Revista Fortuna, 2023).

3.10 Galleta

Según la NMX-F-006-1983, la galleta es el producto elaborado con harinas de trigo, avena, centeno, harinas integrales, azúcares, grasa vegetal y/o aceites vegetales comestibles, agentes leudantes, sal yodatada; adicionados o no de otros ingredientes y aditivos alimenticios permitidos los que se someten a un proceso de amasado, moldeado y horneado.

3.11 Formulación de la galleta

La formulación propuesta requiere de harina que proviene de trigo blando con baja cantidad de proteína para que el gluten no desarrolle redes fuertes y que el almidón no esté dañado, que sea

de rápida formación de masa extensible pero no muy resistente y con buena capacidad de absorción de agua. El proceso de esta galleta se denomina masa friable, una de sus características es desarrollar poco gluten que permite incorporar la cascarilla de café finamente molida y tamizada sin alterar la textura y el sabor (Pérez Soto & Islas Pelcastre, 2023).

3.11.1 Ingredientes

El conocimiento de los ingredientes que componen la galleta es de gran interés en la industria galletera, ya que, ante posibles variaciones no deseadas o innovaciones en la formulación, se podrá actuar de forma rápida y eficaz (Cabeza Rodríguez, 2009).

3.11.1.1 Harina de trigo

La harina debe ser de trigo blando para obtener una masa menos elástica y baja resistencia al estiramiento, su contenido proteico es inferior al 10%, las proteínas del gluten son las gliadinas, que constituyen aproximadamente la tercera parte del grano y favorecen a la cohesión y elasticidad de la masa, las dos terceras partes restantes son las gluteninas que contribuyen a la extensibilidad, masa más fuerte y firme.

Si las galletas se hacen con una harina muy dura, resultan duras, más que crujientes y tienden a encogerse de forma irregular tras el moldeo. Para la obtención de la masa, también se necesita un trabajo mecánico (amasado). Una masa óptima es aquella que puede incorporar una gran cantidad de gas y retenerlo, conforme la proteína se acomoda durante la cocción de la galleta (Cabeza Rodríguez, 2009).

3.11.1.2 Mantequilla

Las grasas desempeñan una misión anti aglutinante en las masas, contribuyen a su plasticidad y su adición suaviza la masa y actúa como lubricante. La grasa evita la formación de la red de gluten y produce una masa menos elástica, lo que es deseable para la producción de galletas porque encoje menos tras el laminado, pero la textura es distinta (Cabeza Rodríguez, 2009).

3.11.1.3 Azúcar mascabado

Los azúcares contribuyen sobre el aspecto y la textura de las galletas, reducen la viscosidad de la masa y el tiempo de relajación. Las galletas ricas en azúcar se caracterizan por una estructura altamente cohesiva y una textura crujiente (Cabeza Rodríguez, 2009).

3.11.1.4 Cascarilla de café

La cascarilla de café es útil como fuente de fibra para elaborar alimentos funcionales que presentan componentes activos con beneficios para la salud, en las galletas ayuda a reducir la elasticidad de la masa y retiene agua (Barrera López & Sánchez Velandia, 2020).

3.11.1.5 Extracto de café

El extracto de café es un producto concentrado que se obtiene a partir de la selección de granos de alta calidad, que luego se muelen y se someten a una extracción con agua caliente para disolver los compuestos solubles. El líquido resultante se somete a un proceso de concentración, eliminando el agua hasta obtener un extracto altamente concentrado (Yaselga G., 2013).

El extracto de café es utilizado como un potencializador de sabor en productos horneados (Pérez Soto & Islas Pelcastre, 2023).

3.11.1.6 Sal

La sal común (cloruro sódico), se utiliza en todas las recetas de galletas por su potencializador de sabor, además ayuda a mantener la red de gluten y produce masas menos adherentes (Cabeza Rodríguez, 2009).

3.12 Técnica de Análisis de Perfil de Textura (TPA)

En los sistemas alimentarios se han realizado estudios de sus propiedades mecánicas para definir los parámetros de textura, la cual se puede definir como el conjunto de propiedades mecánicas, geométricas y de superficie de un producto que son detectables por los receptores mecánicos y táctiles y, eventualmente, por los receptores visuales y auditivos (Ribeiro de Souza, 2017). La prueba de Análisis de Perfil de Textura, consiste en realizar una doble compresión en las cuales se someten muestras del producto a una compresión del 80 a 90% de su altura inicial. Es una simulación de la masticación de una muestra por medio de un equipo analizador de textura. Consiste en comprimir un alimento del tamaño de un mordisco para imitar la acción de los dientes e incluye el análisis de diferentes características de textura de una muestra (González, Alvis, & Arrázola, 2015).

En la tabla 4 se describen parámetros convencionales de textura, divididos en primarios, secundarios, geométricos, superficiales y de textura visual.

Tabla 4 Parámetros convencionales de textura

Parámetros primarios	Unidades
Dureza	Fuerza necesaria para una deformación dada. En alimentos de consumo se describe como la compresión del producto entre los molares Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son “blando”, “duro”, “suave”

Trabajo de dureza	Cantidad de energía que se requiere para deformar un material, hasta un cierto punto de compresión	
Cohesividad	Representa la resistencia de un material a una segunda deformación con relación a como este se comportó en un primer ciclo de deformación	Relación A ₂ /A ₁
Viscosidad	Es la fuerza que se requiere para aspirar un líquido de una cuchara para posicionarlo en la lengua o expandirlo en un sustrato. Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son “fluido”, “viscoso”, “delgado”	cP (centipoises) o Pa·s)
Elasticidad	El tiempo o rapidez en el que el alimento o producto se recupera luego de haberle aplicado una fuerza de deformación, es el grado en el que algo es deformado y retoma su condición inicial al no aplicar la fuerza que lo deformó. Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son “elástico”, “maleable”	Adimensional
Masticabilidad	Propiedad mecánica que se relaciona con la cohesividad, involucra el tiempo que se necesita para que el producto sólido esté descompuesto en pequeñas porciones para ser tragado y el número de masticaciones utilizadas para ese mismo punto. Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son “blando”, “masticable”, “correoso”.	Newton (N)
Índice de masticabilidad	Fuerza necesaria para masticar un alimento sólido hasta un estado tal que permita su ingesta	
Parámetros secundarios		
Fracturabilidad	Atributo que relaciona la fuerza requerida para romper un alimento en pequeñas porciones o migajas. Se puede evaluar al apretar un alimento entre los dientes frontales (incisivos) y también entre los dedos. Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son “crocante”, “crujiente”, “desmenuzable”, “quebradizo”	Newton (N)
Gomosidad	Atributo que relaciona el esfuerzo necesario para desintegrar un alimento para su deglución, además de relacionarse con la cohesividad de productos blandos. Los adjetivos que se relacionan con este parámetro son niveles de “gomoso”, “pastoso”	Newton (N)
Adhesividad	Trabajo necesario para vencer la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie	Joule (J)
Densidad	Masa por unidad de volumen. Se relaciona con textura cuando hay aireado o no	g/cm ³ o kg/m ³
Geométricas	Estas tienen dos divisiones, la primera se relaciona con tamaño y forma de partículas, la segunda se relaciona con forma y orientación nuevamente de las partículas. Los adjetivos que se relacionan con esta característica son “granuloso”, “grumoso”, “arenoso”, “perlado”, “áspero”, “cristalino”, “fibroso”, “celular”, “esponjoso”	No tienen, se determinan sensorial o visualmente
Superficiales	Atributos que se relacionan con el contenido de grasa y humedad de un alimento.	No tienen, se determinan sensorial o

	Los adjetivos que se relacionan con esta característica son “seco”, “reseco”, “jugoso”, “húmedo”, “aceitoso”, “oleoso”, “acuoso”, “grasiento”, “magro”, “sebos”, etc.	instrumentalmente
Textura visual	Tiene superposición muchas veces con características de apariencia como el brillo, reflejo o luminosidad	No tiene, es sensorial

Fuente: (Torres González, González Morelos, & Acevedo Correa, 2014)

3.13 Análisis sensorial

El análisis sensorial es el examen de las propiedades organolépticas de un producto realizable con los sentidos humanos. Dicho de otro modo, es la evaluación de la apariencia, olor, aroma, textura y sabor de un alimento o materia prima. Su desarrollo histórico ha permitido que en la actualidad la aplicación de este análisis en la industria alimentaria sea reconocida como una de las formas más importantes de asegurar la aceptación del producto por parte del consumidor (García Ahued, 2018).

La evaluación sensorial comprende un conjunto de técnicas para una medición precisa de las respuestas humanas a los alimentos y minimiza los efectos potencialmente sesgados de la identidad de marca y otra información que pueda tener influencia en percepción del consumidor. Como tal, intenta aislar las propiedades sensoriales de los alimentos en sí mismos y proporciona información importante y útil sobre las características sensoriales de sus productos. Las pruebas afectivas trabajan con consumidores que serán seleccionados en función del objetivo de la prueba y estos pueden ser consumidores habituales, es decir, personas que consumen de manera regular el producto o no habituales, que lo consumen de forma esporádica o estarán definidos en función de sus características sociodemográficas (edad, género, escolaridad, nivel socioeconómico, etc.) (Severiano Pérez, 2021).

Las pruebas afectivas o hedónicas se refieren al grado de preferencia y aceptabilidad de un producto. Este tipo de pruebas nos permiten no solo estandarizar si hay diferencias entre muestras, sino el sentido o magnitud de la misma. Esto nos permite mantener o modificar las características diferenciales.

Para la aplicación de pruebas afectivas se utilizan escalas hedónicas, que son aquellas donde el consumidor expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, puede ser de cinco, siete o nueve puntos.

Los atributos sensoriales más utilizados para evaluar galletas se encuentran descritos en la tabla 5.

Tabla 5 Atributos sensoriales evaluados en galletas

Categoría	Atributo	Definición
Apariencia	Color	Característica visual determinada por el grado de horneado, intensidad y uniformidad del tono
	Superficie	Aspecto externo: lisa, rugosa, granulada o con grietas, evaluada por inspección visual
	Forma y tamaño	Regularidad, simetría y dimensiones generales del producto
Aroma	Intensidad aromática	Fuerza perceptible de los aromas característicos del producto (vainilla, cocoa, mantequilla, café, cereal)
	Aromas propios	Notas aromáticas que permiten identificar el tipo de galleta: tostado, dulce, mantequilloso, cereal
Textura	Dureza	Fuerza necesaria para morder o comprimir la galleta
	Crocancia / Crujencia	Sensación y sonido generados por la fractura del alimento durante la mordida
	Fracturabilidad	Facilidad con la que la galleta se rompe al aplicar una fuerza inicial
	Friabilidad	Tendencia a desmoronarse en partículas finas al manipularla o morderla
	Granulosidad	Sensación táctil de partículas perceptibles durante la masticación
	Cohesividad	Grado en que la galleta mantiene su estructura durante la masticación
	Adherencia	Nivel en que el alimento se pega a los dientes o al paladar
Sabor	Masticabilidad	Esfuerzo requerido para desintegrar el alimento hasta deglutiirlo
	Dulzor	Intensidad del sabor dulce percibido
	Notas de sabor	Características específicas del sabor (cacao, vainilla, café, mantequilla, cereal)

	Persistencia	Duración del sabor después de la deglución
Aceptabilidad	Agrado del sabor	Preferencia o gusto general por el sabor del producto
	Agrado de la textura	Evaluación hedónica de cualidades como dureza y crocancia
	Aceptación global	Juicio total del consumidor sobre el producto

Fuente: (Meilgaard, Civille, & Carr, 2015)

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA

4.1 Introducción

El diseño de la investigación es con enfoque cuantitativo (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista, 2014), en la búsqueda de responder a una necesidad práctica y de demanda social mediante un nuevo conocimiento teórico o empírico.

4.2 Localización del trabajo de investigación

La investigación se realizó en el Taller de Granos y Semillas, en el Laboratorio Multidisciplinario, el Laboratorio de Análisis Especiales y el Laboratorio de Aprovechamiento Agroalimentario del Instituto de Ciencias Agropecuarias (ICAp) de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (UAEH), así como, en las instalaciones de los productores de La Sociedad de Producción Rural “Sierra Cafetalera de La Sombra”, en el municipio de Chiconquiaco, Veracruz.

4.3 Formulación y elaboración de galletas

4.3.1 Materias primas

Se utilizaron ingredientes comerciales: harina de trigo marca tres estrellas, mantequilla Chipilo, azúcar mascabado y sal. La cascarilla del morteado y del tostado de café de la cosecha 2024, así como extracto de café de la Sociedad de Producción Rural Sierra Cafetalera de la Sombra.

4.3.2 Tratamientos

La decisión de tomar estos tratamientos base, fue de acuerdo a lo establecido en el dictamen técnico aprovechamiento sustentable y valor agregado de café por (Pérez Soto & Islas Pelcastre, 2023) donde las mujeres de la Sierra Cafetalera La Sombra SPR de R.L., definieron la formulación inicial, utilizando 5.56% de cascarilla de café molido fino.

Se diseñaron cinco tratamientos de galletas, un testigo (T) y dos porcentajes de cascarilla de café obtenida del proceso de morteado (CB) y dos del proceso de tostado (CC), la formulación utilizada para la elaboración de las galletas se describe en la tabla 6.

Tabla 6 Formulación y tratamientos para elaborar galletas con CB y CC

Ingrediente	T0 con 0% de cascarilla	T1 5.56% de CB y CC	T2 6.48% de CB y CC
	%	%	%
Harina de trigo	47.26	41.7	40.78
Mantequilla	37.07	37.07	37.07
Azúcar mascabado	12.97	12.97	12.97
Sal	0.2	0.2	0.2
Cascarilla de café (CB/CC)	0	5.56	6.48
Extracto de café	2.5	2.5	2.5

4.3.3 Acondicionamiento de la cascarilla

Para acondicionar la cascarilla del morteado y la cascarilla del tostado se llevó a cabo el proceso de pulverización en un molino de alta velocidad marca Easier Life 150-G, durante dos minutos, para posteriormente ser cernidos en una malla de 70mm como se muestra en la ilustración 2.

OBTENCIÓN DE LA CASCARILLA



*Ilustración 2 Acondicionamiento de la cascarilla de café
(elaboración propia)*

4.3.4 Proceso de elaboración de galletas

1. Recepción de la materia prima
 - La materia prima fue recibida y verificada antes del inicio del proceso
 - 2. Pesado de ingredientes
 - Los ingredientes fueron pesados de acuerdo con la formulación establecida
 - 3. Mezclado
 - Los ingredientes secos y húmedos fueron preparados para su incorporación en la masa
 - 4. Amasado
 - La harina fue cernida tres veces para evitar presencia de grumos y posteriormente fue mezclada manualmente con la mantequilla, la cual debía estar a $\pm 5^{\circ}\text{C}$
 - Se adicionaron la azúcar molida, la sal, la cascarilla y el extracto de café
 - La mezcla fue amasada suavemente durante 6 minutos hasta lograr una masa con textura acremada

5. Refrigerado

- La masa fue almacenada en refrigeración durante una hora, hasta alcanzar una temperatura de 11°C. Se cubrió con una película plástica libre de nitrógeno para evitar su deshidratación

6. Formado

- La masa fue estirada en secciones y enrollada hasta obtener un diámetro de 3cm, para posteriormente cortarse en piezas de $\pm 25\text{g}$
- Las galletas fueron colocadas sobre una charola forrada de papel encerado para evitar que se adhirieran

7. Horneado

- Las galletas fueron horneadas a una temperatura de 180°C durante 15 minutos

8. Oreado

- Finalmente, las galletas fueron oreadas para permitir su enfriamiento y estabilización

El proceso de elaboración de las galletas se presenta de manera más clara en la ilustración 3 y 4.



Ilustración 3 Proceso de elaboración de galletas con cascarilla de café



Ilustración 4 Diagrama de proceso galletas

4.4 Metodología de análisis bromatológicos

Para determinar el contenido nutricional se realizó un análisis bromatológico de la cascarilla blanca y de la cascarilla café, así como en las galletas adicionadas con los dos tipos de cascarilla.

4.4.1 Determinación de humedad

Se realizó de acuerdo al método 964.22 (AOAC, 1990), se pesaron 3 g de muestra en una cápsula de aluminio y se colocó en la estufa durante 4 horas a 105°C hasta peso constante.

4.4.2 Determinación de cenizas

Se utilizó el método 923.03 (AOAC, 1997), se pesaron 2 g de muestra y se carbonizaron lentamente, posteriormente se colocan en una mufla a 500°C durante 4 horas hasta que estuvieran libres de carbono cuando obtuvieron un color grisáceo.

4.4.3 Determinación de proteína

La determinación de proteína se llevó a cabo en un equipo marca BUCHI, mediante el método Kjeldahl 955.04 de la (AOAC, 1995) que consiste en tres etapas; digestión, destilación y titulación. Se pesaron 0.5 g de muestra en un papel libre de nitrógeno que se depositó en un matraz Kjeldahl al cual se le añadieron 5 g de mezcla digestora y 15 ml de ácido sulfúrico concentrado, se dejó en digestión hasta que las muestras obtuvieron un color verde claro, después de una hora al finalizar la digestión se procedió a la destilación de las muestras las cuales se dejaron enfriar y se les añadió 20 ml de agua destilada, en el tubo terminal del equipo se sitúa un matraz Erlenmeyer con una solución de ácido bórico al 2% y 2-3 gotas de rojo de metilo. Después de la destilación se procedió a titular la muestra con una solución de 0.1 N de ácido sulfúrico hasta el vire de la solución que es el cambio de tonalidad.

4.4.4 Determinación de grasa

Se realizó con el método 920.39C (AOAC, 1990), se pesaron 3 g de muestra en los cartuchos de celulosa y se colocaron dentro del extractor de grasa durante 4 horas, después se dejó evaporar el hexano restante en un desecador y se pesó el residuo de grasa de los vasos.

4.4.5 Determinación de fibra

De acuerdo con la NOM-F-90-S-1978, se pesaron 3 g de muestra desengrasada y se colocaron en un vaso Berzelius al cual se le agregaron 200ml de ácido sulfúrico hirviendo (120°) al 0.255 N, se calentaron los vasos en el determinador de fibra y se contaron 30 minutos a partir de que comenzaron a hervir, se filtró y se lavó hasta pH neutro, se le adicionan 200 ml de NaOH al 0.313 N y se hirvió (120°C) por 30 min, el residuo se filtró con 25 ml de ácido sulfúrico, 150

ml de agua y 50 ml de alcohol, se dejó secar en la estufa marca Craft a 130°C durante 2 horas y finalmente se calcinó en una mufla marca Felisa a 600°C por 30 minutos (Diario Oficial de la Federación, 1978).

4.5 Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad *in vitro* se realizó de acuerdo con (Minekus, y otros, 2014), con algunas modificaciones. Se dividió en dos etapas:

Fase gástrica: se preparó una solución de 20 mg/ml extracto seco en etanol al 80 %, posteriormente esta solución fue diluida (1:5 v/v) con agua destilada, a esta solución se le ajustó el pH a 2 con HCl 6 M, se adicionó 20 mL de líquido gástrico (40,000 unidades de pepsina porcina en CaCl₂ 0.3 M en HCl 0.1 M), la mezcla fue incubada en baño María a 37°C, con agitación durante 120 min.

Fase intestinal: El pH fue ajustado a 7 con bicarbonato de sodio 0.5 M, posteriormente se le adicionó 10% de líquido pancreático (0.4 g de pancreatina y 2.5 g de sales biliares en 100 mL de NaHCO₃ 0.1 M), la mezcla fue incubada en baño María a 37 °C, con agitación durante 120 min. Por último, la mezcla fue calentada a ebullición durante 4 min, con la finalidad de inactivar las enzimas.

Se tomaron 4 muestras durante la digestión: a) extracto; b) al final de la fase gástrica; c) al final de la fase intestinal; y) después de la ebullición. Todas las muestras fueron centrifugadas durante 10 min a 4 °C, y fueron guardadas en refrigeración por 12h para cuantificar fenoles totales.

4.6 Determinación de compuestos fenólicos

Para la determinación de compuestos fenólicos en la cascarilla de café se utilizó el método de Folin-Ciocalteu (AOAC, 2017) con algunas variaciones, primero se estableció una curva de calibración de ácido gálico para cuantificación de fenoles totales. Para la preparación de soluciones se utilizó carbonato de sodio al 20%, se disolvieron 10 g de carbonato de sodio anhidro en 35 ml de agua caliente, se dejó enfriar y se aforó a 50 ml con agua destilada.

Para la preparación de las muestras se colocaron 100 mg de la cascarilla en 50ml de etanol: agua 1:1, se colocaron en un baño ultrasónico (40-45 Hertz) durante 15 minutos y se centrifugaron a 10000 rpm durante 10 m, el sobrenadante obtenido se diluyó 4 veces, (100 µL de sobrenadante: 400 µL de agua destilada). Se tomaron 100 µL de la disolución de la muestra, y se adicionó 100 µL de reactivo de Folin, se agitó en vortex incubándose a oscuridad por 8 minutos, y se adicionaron 300 µL de carbonato de sodio, con el vortex fue homogenizado y se incubó a baño María a 50°C durante 15 minutos, se realizó la lectura en el espectrofotómetro a 730nm para obtener el valor de la absorbancia (A). Este procedimiento se realizó por triplicado a cada muestra. Posteriormente, se calcularon los polifenoles totales como equivalentes de ácido gálico.

4.7 Análisis del Perfil de Textura para las masas y galletas

El Análisis de Perfil de Textura se efectuó con un Texturómetro marca Brookfield modelo CT3 donde se midió la adhesividad, cohesividad, masticabilidad, resiliencia, dureza y elasticidad. Para ello se tomó una muestra representativa de cada tratamiento, es decir de cada masa y para las galletas se tomó una muestra en el centro para que fuera más exacta la determinación evitando los bordes y extremos cortada en cubos de 1 cm x 1 cm. Se hicieron en total 10 repeticiones por cada tratamiento.

4.7.1 Prueba TPA para textura de masas

Las muestras se sometieron a doble compresión del 80 a 90% de su altura inicial. Los parámetros analizados fueron la adhesividad, la resiliencia, la cohesividad, el índice de elasticidad e índice de masticabilidad.

4.7.2 Prueba de compresión para textura de galletas

Para la textura en galletas se hizo una prueba de compresión donde se determinó dureza y trabajo de dureza.

4.8 Análisis de resultados

El análisis de resultados se realizó con el programa Minitab V.19, los datos de las masas y galletas fueron analizados por análisis de varianza y posteriormente se realizó una comparación de medias de Tukey.

4.9 Análisis sensorial

El análisis sensorial se llevó a cabo en el taller de granos y semillas del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Se realizó mediante una prueba de nivel de agrado para consumidores, utilizando una escala hedónica de 5 puntos, donde el objetivo fue determinar si existen diferencias entre los productos en la aceptación del consumidor, midiendo los parámetros sabor, aroma y harinosidad. Se utilizó un panel de 110 personas a las cuales se les pidió evaluar muestras de galletas codificadas, indicando cuánto les agrada cada muestra, marcando una sola categoría de la escala.

En la tabla 7 se muestran los códigos utilizados para cada tratamiento en la prueba sensorial.

Tabla 7 Códigos para las muestras del análisis sensorial

Tratamiento	Código
Testigo	461
T1 CB 5.56%	157
T2 CB 6.48%	523
T3 CC 5.56%	839
T4 CC 6.48%	976

La edad promedio de los jueces fue de 23 años, oscilando en un rango de 19 a 64 años de edad, con una participación de 75 mujeres y 35 hombres. Las muestras fueron presentadas como se indica en la ilustración 5, colocando las muestras en una charola blanca codificada, con un vaso de agua, una servilleta, un lápiz y el formato. Los resultados obtenidos se analizaron con el paquete estadístico MINITAB versión 2019 mediante un ANOVA.

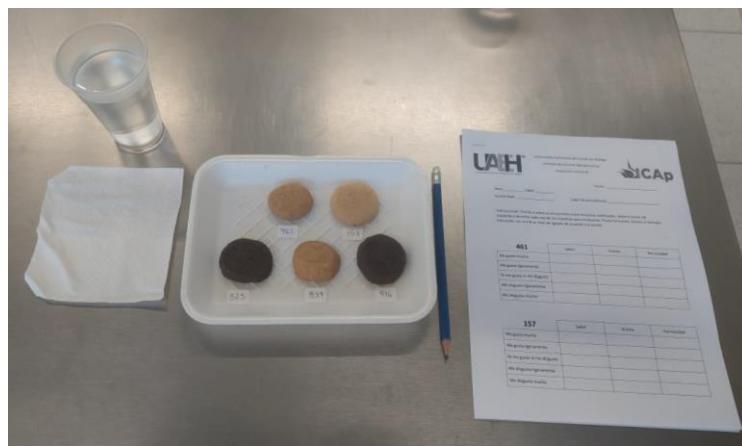


Ilustración 5 Presentación de prueba sensorial

Se invitó a alumnos, docentes y población en general a realizar la prueba, antes de iniciar se explicó en qué consistía y cómo se debían determinar los parámetros, así como el llenado correcto de los formatos los cuales se presentan en el anexo 1.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Composición químico proximal de la cascarilla de café

En la tabla 8 se expone la comparación en la composición química proximal de las cascarillas de café obtenidas durante el proceso de morteado y de tostado.

Tabla 8 Composición químico proximal de la cascarilla de café

Parámetro (%)	Tipo de cascarilla	
	Morteado	Tostado
Humedad	9.02	8.36
Cenizas	0.42	4.38
Proteína	1.15	6.69
Lípidos	1.93	5.89
Fibra	61.32	52.13
Carbohidratos	26.16	22.55

Los valores se presentan en porcentaje con respecto al total

De los resultados obtenidos se refleja un aumento en el porcentaje en cuanto a cenizas, proteína, y lípidos de la cascarilla tostada con respecto a la morteada, sin embargo, en cuanto a humedad, fibra y carbohidratos la cascarilla morteada tiene mayor porcentaje. Lo cual, coincide con los datos reportados por (Arias Ortiz & Meneses Cruz, 2016) quienes tuvieron un contenido de humedad de 8.60% el cual resulta entre la media de ambos resultados. En cuanto al contenido de fibra, haciendo una comparación de resultados con los reportados por (Barrera López & Sánchez Velandia, 2020) y (Fernández Gómez, 2016), hay una diferencia con valores de 35.86% y 28.69%, respectivamente, en cambio comparándolo con (Toschi, Cardenia, Bonaga, Mandrioli, & Rodriguez Estrada, 2014) y (Cinzia Borrelli, Esposito, Napolitano, Ritieni, & Fogliano, 2004) hay similitud con 74.15% y 62.4% respectivamente. De acuerdo con la información presentada por (Osorio Pérez & Pabón Usaquén, 2022), durante el tostado se representa un proceso crítico pues en este se logra o se inhibe

la interacción de los compuestos químicos, por lo tanto, se presentan diferencias entre un tipo de cascarilla y otro.

5.2 Composición químico proximal de la galleta adicionada con cascarilla de café

En la tabla 9 se expone la comparación en la composición química proximal de las galletas, con incremento en fibra por la adición de cascarilla de café, así como una reducción de lípidos.

Tabla 9 Composición químico proximal de las galletas

Parámetro	Tratamiento [%]				
	Testigo	T1	T2	T3	T4
Humedad	5.74	6.02	6.06	6.07	6.09
Cenizas	0.63	0.65	0.66	2.23	2.34
Proteína	7.23	6.91	6.64	12.25	12.81
Lípidos	36.54	35.05	34.80	32.43	32.74
Fibra	1.52	3.41	3.42	3.49	3.57
Carbohidratos	48.37	48.22	47.42	43.53	42.45

Los valores se presentan en porcentaje con respecto al total.

Los resultados muestran que agregar cascarilla de café a las galletas mejora su aporte nutricional. Al incorporar más cascarilla, aumenta de forma clara la cantidad de fibra, sin embargo, en los datos reportados por (Sevillano Fuel, 2021) donde ocuparon porcentajes de 10 y 15% de sustitución con respecto al testigo, la fibra que reportaron fue de 1.50 % y 0.63 % respectivamente, indicando datos inferiores a los obtenidos en el presente trabajo. En esta misma comparación, los porcentajes de humedad reportados son de 2.75 % y 1.74%, indicando que entre más sustitución haya de cascarilla de café, menor será la humedad. Al mismo tiempo, la presencia de cascarilla hace que disminuyan las grasas y los carbohidratos totales, lo que da como resultado una galleta con un perfil nutricional más equilibrado.

5.3 Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales en la cascarilla morteada (blanca), cascarilla tostada (café), masa con cascarilla morteada, masa con cascarilla tostada, galleta con cascarilla morteada y galleta con cascarilla tostada se expone en la tabla 10.

Tabla 10 Contenido de fenoles

Muestra	Mg EAG/100 g muestra	Muestra	Mg EAG/100 g muestra
Cascarilla blanca	0.811	Cascarilla café	0.643
Masa blanca	0.210	Masa café	1.47
Galleta blanca	0.281	Galleta café	1.94

Mg EAG/ g: Miligramos equivalentes de ácido gálico/ gramo de muestra

Existieron diferencias entre las muestras de cascarilla, masa y galletas de ambos tipos. Los estudios realizados hasta la fecha indican que los compuestos fenólicos que naturalmente componen el grano del café, ácido clorogénico, se encuentran en baja concentración en la cascarilla, en particular el mencionado estudio de (Borrelli, Esposito, Napolitano, Retieni, & Fogliano) y (España Patente nº ES 2 577 889 B1) describe que la cantidad de compuestos fenólicos presentes en la cascarilla es de 1.1 mg/100 g de producto, expresado como ácido clorogénico, cuando se extrae en metanol/agua 60:40, por lo tanto, los datos reportados se encuentran dentro de lo establecido, haciendo notar una disminución en los valores de la masa blanca con respecto a la cascarilla blanca y un ligero aumento en la galleta blanca con respecto a la masa blanca. En los tratamientos de la galleta café se presentó un aumento en el valor de la galleta café con respecto a la masa y cascarilla. Las variaciones reportadas en cuanto al aumento o disminución de fenoles después de pasar por un proceso de amasado y/u horneado se deben a que se liberan fenoles que estaban ligados a fibras, proteínas o polisacáridos, por lo que antes no eran detectados.

5.4 Digestibilidad *in vitro*

Para poder interpretar los resultados obtenidos es importante considerar la estructura física y química de cada muestra, mejor conocida como matriz alimentaria, la cual se forma por la interacción entre proteínas, almidón, lípidos y fibra, quienes modulan la liberación, estabilidad y absorción de compuestos bioactivos durante cada etapa de la digestión *in vitro* (Aguilera, 2019). En la fase del extracto se observa una biodisponibilidad inmediata, caracterizada por valores bajos porque la cascarilla es fibrosa y se libera poco sin la intervención de ácidos o enzimas; en la fase gástrica se registra una liberación moderada de compuestos atrapados que son sensibles al ácido, aunque la matriz sigue presentando resistencia a la fibra; la fase intestinal representa el punto de máxima liberación de fenoles, antioxidantes y compuestos solubles, pues estos se convierten en estructuras más simples y se desprenden de la fibra, indicando la biodisponibilidad real de los compuestos fenólicos, finalmente, aunque en la digestión *in vitro* no existe una fase de ebullición como parte del protocolo fisiológico, sin embargo, este paso se incorpora cuando es necesario inactivar enzimas para aplicar análisis posteriores, es decir, marca el fin del proceso digestivo (Abreu, Silva, Ferreira, Pereira, & Batista, 2023).

Tabla 11 Digestibilidad in vitro con cascarilla blanca

Fase	Mg EAG/ g		
	Cascarilla blanca	Masa blanca	Galleta blanca
Extracto	0,932	0.277	0.118
Fase gástrica	1,006	3.380	3.240
Fase intestinal	1,446	1.902	1.572
Ebullición	0,392	1.894	1.558

Mg EAG/ g: Miligramos equivalentes de ácido gálico/ gramo de muestra

En la tabla 11 se presentan los resultados obtenidos en cada fase de la digestibilidad *in vitro* de los productos del morteado, mostrando comportamientos diferentes entre la cascarilla, la masa

y las galletas, lo cual refleja la influencia de la matriz alimentaria, es decir, la masa y galletas son blandas y ricas en fibra y carbohidratos por lo que liberan la mayor parte de sus compuestos durante la fase gástrica, sin embargo, la cascarilla que es estructuralmente más fibrosa y resistente libera sus compuestos en la fase intestinal. Estos datos coinciden con lo reportado por (Rubio Uribe, 1973) en su tesis sobre pulpa de café donde el alto contenido de lignina y celulosa dificulta la liberación de compuestos en medios ácidos y favorece en condiciones alcalinas, propias del intestino.

Tabla 12 Digestibilidad in vitro con cascarilla café

Fase	Mg EAG/ g		
	Cascarilla café	Masa café	Galleta café
Extracto	1,098	0.135	0.111
Fase gástrica	0,912	3.47	3.31
Fase intestinal	1,069	0.993	1.810
Ebullición	0,237	1.756	2.080

Mg EAG/ g: Miligramos equivalentes de ácido gálico/ gramo de muestra

En la tabla 12 se presentan los resultados obtenidos en cada fase de la digestibilidad *in vitro* de los productos del tostado, donde desde el extracto la cascarilla confirma su elevado contenido fenólico, caso contrario a la masa y las galletas que los mantienen retenidos dentro de su estructura y es hasta la fase gástrica que presentan una elevada liberación de fenoles, lo cual indica que la acidez del estómago favorece este proceso, y tomando en cuenta lo determinado por (España Patente nº ES 2 577 889 B1, 2017), la cascarilla del tostado y sus productos pueden utilizarse directamente como fuente natural de antioxidantes, ya que estos sobreviven al proceso de digestión gastrointestinal quedando biodisponibles, comentando además que fue hasta 2011 que surgió la inquietud por investigar estos compuestos, obteniendo como resultados que tanto la cascarilla intacta como sus productos de digestión presentan capacidad antioxidant.

Al comparar ambas tablas, se confirma que la disponibilidad de compuestos bioactivos depende directamente del tipo de cascarilla y de la matriz alimentaria. En la fase del extracto, ambos tipos de cascarilla destacan por presentar los valores más altos, lo cual confirma su elevado contenido fenólico natural. No obstante, la ligera disminución de la cascarilla del morteado indica que la biodisponibilidad es más abundante en la cascarilla del tostado ya que ha sido sometida a oxidación y estabilidad térmica como lo menciona (Bravo, Monente, Juániz, De Peña, & Cid, 2013). La fase gástrica presenta las liberaciones más altas para masa y galletas de ambas cascarillas y durante la fase intestinal la cascarilla y masa del morteado indican incrementos significativos frente a la cascarilla y masa del tostado, lo cual representa que los compuestos bioactivos se liberan más fácilmente sin presencia de afectaciones térmicas, en cambio en las galletas, las del morteado tienen valores menores, que pueden relacionarse con la poca presencia de productos de Maillard y melanoidinas, que son compuestos que reaccionan positivamente con el reactivo de Folin-Ciocalteu (Delgado Andrade, 2014).

5.5 Resultados de pruebas de textura

De manera general, los resultados obtenidos indican que no hay diferencias significativas entre los testigos y los tratamientos, lo cual permite destacar que las características de textura necesarias en una galleta no se ven afectadas por la adición de cascarilla de café.

5.5.1 Textura en masas

En la tabla 13 se presentan los parámetros de textura en la masa para todos los tratamientos, con el fin de comparar su comportamiento previo al horneado.

Tabla 13 Determinación de parámetros de textura en masa

Tratamiento	Dureza (N)	Adhesividad (J)	Resiliencia	Cohesividad	Índice de elasticidad	Índice de masticabilidad
Testigo	1.02±0.000 ^a	0.00068±0.00000 ^a	0.020±0.0000 ^b	0.240±0.000 ^a	0.410±0.000 ^a	0.099±0.000 ^a
T1 CB	1.44±0.079 ^a	0.00047±0.00006 ^a	0.030±0.00000 ^{ab}	0.240±0.014 ^a	0.390±0.014 ^{ab}	0.136±0.018 ^a
T2 CB	2.19±0.867 ^a	0.00161±0.00165 ^a	0.025±0.00707 ^b	0.160±0.070 ^a	0.360±0.014 ^b	0.113±0.003 ^a
T3 CC	1.41±0.044 ^a	0.00054±0.00002 ^a	0.040±0.00000 ^a	0.255±0.021 ^a	0.400±0.014 ^{ab}	0.144±0.021 ^a
T4 CC	1.46±0.056 ^a	0.00038±0.00004 ^a	0.034±0.00000 ^a	0.237±0.034 ^a	0.320±0.014 ^b	0.127±0.004 ^a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar.

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p<0.05$).

Se midieron los parámetros determinados en la prueba TPA como lo son dureza, adhesividad, resiliencia, cohesividad, índice de elasticidad e índice de masticabilidad.

Se puede observar que no existen diferencias significativas con respecto al testigo. Con respecto a la resiliencia los tratamientos 3 y 4 si fueron significativamente diferentes cuando se utilizó cascarilla tostada, también se encontraron diferencias en el índice de elasticidad en los tratamientos 2 y 4 donde el uso de mayor porcentaje de cascarilla pudo haber incidido en ese parámetro al ser más duras, aunque no hay diferencia en la dureza sin embargo fueron menos elásticas las muestras y en este parámetro si hubo diferencias significativas. se puede observar que no existen diferencias significativas con respecto al testigo. Con respecto a la resiliencia los tratamientos 3 y 4 si fueron significativamente diferentes cuando se utilizó cascarilla tostada, también se encontraron diferencias en el índice de elasticidad en los tratamientos 2 y 4 donde el uso de mayor porcentaje de cascarilla pudo haber incidido en ese parámetro al ser más duras, aunque no hay diferencia en la dureza sin embargo fueron menos elásticas las muestras y en este parámetro si hubo diferencias significativas.

Los resultados obtenidos en la Prueba TPA de análisis de perfil de textura nos indican que la cascarilla de café adicionada en diferentes porcentajes a las masas para hacer galletas, no afecta las características que debe tener la masa, con respecto a la masa testigo. Dichos resultados coinciden con lo reportado por (Barrera López & Sánchez Velandia, 2020) donde mencionan que la masa de Brownies no presentó cambios en sus propiedades, por lo que la adición de fibra no afecta el mezclado.

5.5.2 Textura en galletas

Se realizó una prueba de perfil de textura en galletas, determinando dureza y trabajo de dureza.

Tabla 14 Determinación de dureza y trabajo de dureza en galletas

Tratamiento	Dureza	Trabajo de dureza
Testigo	15.90±3.18 ^b	0.0099±0.0013 ^a
T1 CB 5.56%	20.35±3.01 ^{ab}	0.0170±0.0041 ^a
T2 CB 6.48%	23.24±2.47 ^a	0.2379±0.0046 ^a
T3 CC 5.56%	19.55±5.68 ^a	0.0253±0.0254 ^a
T4 CC 6.48%	26.563±1.524 ^a	0.0337±0.0270 ^a

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p<0.05$).

En la tabla 14 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de perfil de textura aplicada a los cinco tratamientos, en esta prueba de compresión, la dureza y el trabajo de dureza están directamente relacionados, ya que entre más dura sea una galleta, tendrá mayor trabajo de dureza, pues se necesita más energía para masticarla. La dureza de la galleta testigo es menor que la de los otros tratamientos, por lo que la cascarilla de café sí afecta esta característica con relación a su aumento en la formulación y con el tipo de cascarilla que se usa, pues, aunque son las mismas formulaciones, los resultados entre la cascarilla del morteado y la del tostado sí son diferentes, siendo más duras las de la cascarilla del tostado (T3 y T4). Los resultados aquí obtenidos, contrastan con los (Velázquez García, 2010) donde los tratamientos a los que se les adicionó harina de semilla de guayaba presentaron menor dureza que el testigo.

7.2 Resultados prueba sensorial

Para el análisis de los datos, los puntajes numéricos para cada muestra, se tabulan y analizan utilizando análisis de varianza (ANOVA) con la prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$), para determinar si existen diferencias significativas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras. Siendo 1 “me disgusta mucho” y 5 “me gusta mucho”.

En la tabla 15 se presentan los resultados de la prueba sensorial, donde se obtuvo que con respecto al sabor los tratamientos 2, 3 y 4 fueron significativamente diferentes al testigo y esto se debe a las concentraciones utilizadas en estos tratamientos, sin embargo, el tratamiento 1 y el testigo no son diferentes significativamente con respecto al sabor.

Tabla 15 Resultados prueba sensorial

	Tratamiento	Sabor	Aroma	Textura
CB	Testigo	4.3273±0.8140 ^a	4.2364±0.7773 ^a	3.9000±1.0132 ^{ab}
	T1	4.3636±0.7003 ^a	4.1545±0.7803 ^{ab}	4.0364±0.9378 ^a
	T2	3.436±1.154 ^c	4.2182±0.8282 ^a	3.8818±0.9929 ^{ab}
CC	T3	3.8818±1.0203 ^b	3.9455±0.9369 ^{ab}	3.600±1.094 ^{bc}
	T4	3.545±1.194 ^{b,c}	3.8818±1.0292 ^b	3.482±1.115 ^c

Los datos se reportan como las medias ± desviaciones estándar. Medias con la misma letra no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey ($p<0.05$).

En cuanto al aroma, sólo el tratamiento 4 fue diferente al testigo y es debido a que la cascarilla tostada presenta mayor intensidad de sabor ya que al pasar por este proceso sufre reacciones químicas, como la pirolisis, que se encarga de potencializar los sabores y aromas de la cascarilla (Giner, 2012). Con respecto a la textura también el tratamiento 4 fue diferente significativamente al testigo y esto es debido a la concentración utilizada en este tratamiento.

En general, el tratamiento T1 destacó como la formulación con mayor aceptación sensorial, al presentar las calificaciones más altas y estadísticamente superiores en sabor y textura, manteniendo además un aroma comparable al del testigo. Por otro lado, los tratamientos T3 y T4 del grupo CC, aunque registraron valores sensoriales menores, conservaron niveles de aceptación, mostrando estabilidad en aroma y buena percepción en la textura. Ambos tratamientos evidencian cualidades sensoriales favorables, especialmente considerando que pueden estar asociados a formulaciones con un mayor aporte de fibra u otros compuestos funcionales. Estos resultados indican que la adición de cascarilla de café en distintos porcentajes puede ser aprovechada dependiendo del perfil nutricional o funcional deseado del producto final.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES

En el presente trabajo se lograron abordar los objetivos planteados al inicio. A través de la caracterización proximal y funcional de la cascarilla de café se confirmó que este subproducto posee un contenido considerable de fibra y compuestos bioactivos, lo que sustenta su uso como ingrediente con valor agregado. Asimismo, se logró estandarizar una formulación de galletas adicionadas con cascarilla, identificando que la adición del 6.48% fue la más adecuada, al incrementar la fibra y reducir la grasa sin afectar la textura ni la aceptabilidad sensorial. En este sentido, la cascarilla proveniente del morteado presentó un mejor comportamiento, ya que su sabor y textura se integraron de manera más equilibrada en la galleta.

En relación con la caracterización nutrimental, sensorial y funcional de las galletas, se comprobó que la incorporación de cascarilla no solo es viable, sino también beneficiosa. La presencia de compuestos fenólicos se mantuvo después del horneado y las galletas presentaron mayor liberación de estos compuestos durante la digestibilidad *in vitro*, especialmente en la fase gástrica. Además, se observó que la digestión favorece la liberación de compuestos bioactivos tanto en la cascarilla como en la masa, particularmente en la fase intestinal.

Estos resultados demuestran que la cascarilla de café puede utilizarse exitosamente para elaborar productos innovadores con mejores propiedades nutrimentales, cumpliendo con el objetivo general de evaluar su potencial como ingrediente funcional y sustentable. Su aprovechamiento representa una alternativa económica para los productores y contribuye a disminuir el impacto ambiental asociado al manejo de este residuo agroindustrial.

CAPÍTULO VI BIBLIOGRAFÍA

- Aboites Montoya, M. (2020). *Producción y comercialización de café en el libre mercado: los pequeños productores en la Sombra municipio de Chiconquiaco, Veracruz* (Tesis de doctorado). Estado de México: Colegio de postgraduados.
- Abreu, T. L., Silva, E. M., Ferreira, A. C., Pereira, R., & Batista, A. G. (2023). Unveiling the bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from organic coffee husks using an in vitro digestion model. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. DOI: 10.1002/jsfa.13078.
- Aguilera, J. M. (2019). The food matrix: implications in processing, nutrition and health. *Food Sci Nutr*, 3612-3629. DOI: 10.1080/10408398.2018.1502743.
- AOAC. (1990). *Official Method of the Association Analytical Chemist International*. Method 920.39C. Association Of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOAC. (1990). *Official Method of the Association Analytical Chemist International*. Method 964.22. Association Of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOAC. (1995). *Official Method of the Association Analytical Chemist International*. Method 955.04. Association Of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOAC. (1997). *Official Method of the Association Analytical Chemist International*. Method 923.03. Association Of Official Analytical Chemists, Inc.
- AOAC. (2017). *Official Method of the Association Analytical Chemist International*. Method 2017.13 Total Phenolic Content in Extracts: Folin-C (Folin and Ciocalteu) Colorimetric Method. Association Of Official Analytical Chemists, Inc.
- Arias Ortiz, R. A., & Meneses Cruz, J. D. (2016). *Caracterización físico-química de residuos agroindustriales (cascarilla de arroz y cascarilla de café), como materia prima potencial para la obtención de bioetanol*, Laboratorios de Química UNAN-Managua I-II semestre 2016 (Tesis de Licenciatura). Managua.

Barrera López, J., & Sánchez Velandia, P. (2020). *Evaluación de la cascarilla de café como sustituto a las grasas utilizadas en la elaboración de brownies*. Universidad de los Andes. <https://hdl.handle.net/1992/44612>.

Borrelli, R. C., Esposito, F., Napolitano, A., Retieni, A., & Fogliano, V. (2004). Characterization of a New Potential Functional Ingredient: Coffee Silverskin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1338-1343. DOI: 10.1021/jf034974x.

Bravo, J., Monente, C., Juániz, I., De Peña, M., & Cid, C. (2013). Influence of extraction process on antioxidant capacity of spent coffee. *Food Research International*, 610-616. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.04.026>.

Cabeza Rodríguez, S. (2009). *Funcionalidad de las materias primas en la elaboración de galletas* (Tesis de Master europeo en Seguridad y Biotecnología Alimentarias). Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos, Universidad de Burgos. España. <https://agris.fao.org/search/en/providers/125115/records/674893397625988a371dd184?utm>.

Cinzia Borrelli, R., Esposito, F., Napolitano, A., Ritieni, A., & Fogliano, V. (2004). Characterization of a New Potential Functional Ingredient: Coffee silverskin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(5), 1338–1343. DOI: 10.1021/jf034974x.

De la Garza, V. (2024). Cascarilla de Café. Valdemar de la Garza. <https://delagarzamateriasprimas.com/cascarilla-de-cafe/?utm>.

Del Castillo Bilbao, M. D., Fernández Gómez, B., Ullate Artiz, M., & Mesa García, M. D. (2017). *Uso de productos de la cascarilla de café para la prevención y tratamiento de las patologías que conforman el síndrome metabólico y de sus factores de riesgo*. Oficina Española de Patentes y Marcas. España Patente nº ES 2 577 889 B1.

Delgado Andrade, C. (2014). Caramelización y productos de Maillard: implicaciones en alimentos procesados. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 87-98.

Diario Oficial de la Federación. (1978). NOM-F-90-S-1978. Determinación de Fibra Cruda en Alimentos. <https://ro.scribd.com/document/771386874/NOM-F-90-S-1978?utm>.

Dueñas Martín, M., Iriondo DeHond, A., & Del Castillo Bilbao, M. (2018). Efecto de los compuestos fenólicos en el metabolismo de los carbohidratos. *Revista española de nutrición comunitaria = Spanish journal of community nutrition*, 1135-3074.

Fernández Gómez, B. (2016). *Sustainable use of coffee silverskin as a natural source of bioactive compounds for diabetes* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Madrid.

García Ahued, M. (2018). *Análisis sensorial de alimentos*. Pádi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería (ICBI), 2(3). <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/icbi/n3SI/m1.html#refe1>.

Giner, J. (2012). El tueste de café. *Fórum Café*, 6-15. https://drupal.azuritetechs.com/sites/default/files/biblioteca/f-37_tueste_de_cafe.pdf?utm.

González, A., Alvis, A., & Arrázola, G. (2015). Efecto del recubrimiento comestible en las propiedades de trozos de batata (*Ipomoea Batatas Lam*) Fritos por Inmersión. Parte I: Textura. *Información tecnológica*, 26(1), 95-102. DOI: 10.4067/S0718-07642015000100011.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill.

INEGI. (2017). Anuario estadístico y geográfico de Veracruz de Ignacio de la Llave 2017. México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://ceieg.veracruz.gob.mx/wp-content/uploads/sites/21/2018/04/AEGEV-2017.pdf>.

Jiménez, V. M., & Esquivel, P. (2012). Functional properties of coffee and coffee by-products. *Food Research International*, 46(2), 488-495.

Meilgaard, M., Civille, G. V., & Carr, B. T. (2015). *Sensory Evaluation Techniques* (5.^aed.). CRC Press. ISBN: 978-1-4822-1690-5.

- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., . . . Brodkorb, A. (2014). A standardised static in vitro digestion method suitable for food - an international consensus. *Food Funct*, 5(6), 1113-1124. <https://doi.org/10.1039/C3FO60702J>.
- Osorio Pérez, V., & Pabón Usaquén, J. (2022). Efecto de las temperaturas y tiempos de tueste en la calidad sensorial del café. *Cenicafé Journal*. 74(1), 1-14.
- Pérez Soto, E., & Islas Pelcastre, M. (2023). *Dictámen técnico Aprovechamiento sustentable y valor agregado de café*. Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH.
- Quiñones, M., Miguel, M., & Aleixandre, A. (2012). Los polifenoles, compuestos de origen natural con efectos saludables sobre el sistema cardiovascular. *Nutrición hospitalaria*, 76-89.
- Rathinavelu, R., & Graziosi, G. (2005). Posibles usos alternativos de los residuos . *Organización Internacional del Café*, 1-5.
- Revista Fortuna. (2023). *En México cada hogar adquiere 12 kilos de galletas por año*. <https://revistafortuna.com.mx/2023/10/04/en-mexico-cada-hogar-adquiere-12-kilos-de-galletas-por-ano/>.
- Ribeiro de Souza, G. (2017). Análise Sensorial: Perfil de Textura. ABNT NBR ISO 11036. Brasil: Norma Brasileira. <https://pt.scribd.com/document/726622690/ABNT-NBR-ISO-11036-2017-Perfil-de-Textura-1>.
- Rodríguez Valencia, N., & Zambrano Franco, D. A. (2010). Los Subproductos del Café: fuente de energía renovable. *CENICAFÉ- Centro Nacional de Investigaciones del Café*.
- Rubio Uribe, J. (1973). *Composición química y digestibilidad in vitro de la pulpa de café*. Biblioteca Digital Agropecuaria de Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- SEFIPLAN. (2018). Sistema de Información Municipal. Cuadernos Municipales. Chiconquiaco, Veracruz: Subsecretaría de Planeación.

Severiano Pérez, P. (2021). What is and how is the sensory evaluation used? *Inter disciplina*. 7(19), 47-68. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2019.19.70287>.

Sevillano Fuei, J. C. (2021). Sustitución parcial de la harina de trigo por harina de cáscara de café en la elaboración de galletas (Tesis de licenciatura). Tulcán: Universidad Politécnica Estatal del Carchi.

Soto T, E. P., Caballero P, L. A., & Abril F, J. L. (2025). Obtención de Compuestos Bioactivos a partir de residuos agroindustriales: una revisión. *Revista ambiental agua, aire y suelo*. 16(1), 1-30. DOI:10.24054/raaas.v16i1.3666.

Torres González, J., González Morelos, K. J., & Acevedo Correa, D. (2014). Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *ReCiTeIA*. 14(2),63-75. ISSN 2027-6850.

Toschi, T. G., Cardenia, V., Bonaga, G., Mandrioli, M., & Rodriguez Estrada, M. T. (2014). Coffee Silverskin: Characterization, Possible Uses, and Safety Aspects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 62(44). DOI: 10.1021/jf503200z.

Velázquez García, E. (2010). *Estudio del efecto de harinas desgrasadas y con grasa de semilla de guayaba sobre las características de galletas* (Tesis de licenciatura). Instituto de Ciencias Agropecuarias UAEH. Tulancingo, Hgo.

Yaselga G., V. C. (2013). Estudio de factibilidad para la creación de una microempresa productora y comercializadora de café de frejol canario-injerto mejorado con cobertura en el cantón bolívar provincia del carchi (Tesis de licenciatura). Facultad de Ciencias Administrativas y económicas. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

CAPÍTULO VII ANEXOS



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Evaluación sensorial



Fecha: _____

Sexo: _____

Edad:

Escolaridad:

Lugar de procedencia: _____

Instrucciones: Frente a usted se encuentran cinco muestras codificadas, deberá tomar de izquierda a derecha cada una de las muestras para analizarlas. Posteriormente, llenará el formato marcando con una X su nivel de agrado de acuerdo a la escala.

461

	Sabor	Aroma	Harinosidad
Megusta mucho			
Megusta ligeramente			
Nime gusta ni me disgusta			
Medisgusta ligeramente			
Medisgusta mucho			

157

	Sabor	Aroma	Harinosidad
Me gusta mucho			
Me gusta ligeramente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta ligeramente			
Me disgusta mucho			

523

	Sabor	Aroma	Harinosidad
Me gusta mucho			
Me gusta ligeramente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta ligeramente			
Me disgusta mucho			

839

	Sabor	Aroma	Harinosidad
Me gusta mucho			
Me gusta ligeramente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta ligeramente			
Me disgusta mucho			

976

	Sabor	Aroma	Harinosidad
Me gusta mucho			
Me gusta ligeramente			
Ni me gusta ni me disgusta			
Me disgusta ligeramente			
Me disgusta mucho			

¿Por qué? / Sugerencias: _____

¡Gracias!