



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
AREA ACADEMICA DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL E INGENIERIA EN
ALIMENTOS

TESIS

Diseño y caracterización de helado elaborado a partir de subproductos de la industria alimentaria.

Para obtener el título de:
Licenciado en Alimentación Sustentable

PRESENTA

Ana Laura Ortiz Acosta

Director

M. C. A. Denis de Jesús Dimas López

Co Director

Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo

Asesores

Dr. Uriel González Lemus

Dr. Rubén Alvarado Jiménez

Tulancingo de Bravo Hgo., México., junio 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

Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hgo., a 16 de junio 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 jurado que le fue asignado al pasante de **Licenciatura en Alimentación Sustentable, Ana Laura Ortiz Acosta**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado **“Diseño y caracterización de helado elaborado a partir de subproductos de la industria alimentaria”**, 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 miembros del jurado:

PRESIDENTE Dr. Rubén Jiménez Alvarado
SECRETARIO Mtra. Denis de Jesús Dimas López
VOCAL 1 Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo
VOCAL 2 Dr. Uriel González Lemus

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

Atentamente
“Amor, Orden y Progreso”

Dra. Gabriela Medina Pérez
Coordinadora de la Licenciatura en
Alimentación Sustentable

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”



2025



uaeh.edu.mx

Dedicatoria

Este proceso sin duda es un reto contra uno mismo, que quienes lo han vivido comprenden el sentimiento de finalizarlo, donde no solo es necesario el conocimiento si no también el sentido de responsabilidad, de compromiso, de aprecio hacia la carrera y todo lo aprendido a lo largo de casi cinco años.

Primeramente, este trabajo va dedicado a Dios, la vida y a todo lo que me permitió llegar hasta este punto; igualmente este trabajo va dedicado a mí, por toda la dedicación y entrega puesta en este trabajo para lograr plasmar todo lo que yo esperaba.

Pero sobre todo va dedicado a mi familia, a mis padres quienes son mi ejemplo a seguir y que me han apoyado incondicionalmente en cada una de mis ideas; a mis hermanas, mis compañeras de vida que hacen que la vida se sienta más feliz y plena; con todo mi aprecio este trabajo es dedicado a ustedes.

Agradecimientos

Resulta difícil resumir el agradecimiento a tantas personas que formaron parte de este proceso. En primer lugar, gracias a mi directora de tesis la Mtra. Denis de Jesús Dimas López porque en todo momento fue un apoyo a este trabajo, su compromiso y dedicación por la investigación son unas de sus tantas cualidades de admirar, gracias por los aprendizajes, las correcciones y la paciencia, porque por más ocupada que estuviera siempre fue una fuente de sabias respuestas.

De igual manera gracias a mi codirector el Dr. Antonio de Jesús Cenobio Galindo, por su apoyo durante la realización de la presente tesis, me resulta muy gratificante todo lo aprendido, de una persona con un gran sentido de pertenencia por la carrera, gracias por el respaldo brindado a lo largo de la realización de este proyecto.

A mis asesores el Dr. Uriel González Lemus y el Dr. Rubén Alvarado Jiménez, gracias por el apoyo, por hacerme un espacio en su tiempo y lugar para llevar a cabo mis experimentos, en cada prueba conté con su retroalimentación y sus sugerencias, permitiéndome reforzar los conocimientos que adquirí en la carrera.

Gracias a Lucia y Alejandra mis compañeras y amigas, por su apoyo y compañía a lo largo de la licenciatura, fue toda una experiencia hacer la tesis a la par de ustedes, comparar dudas, metodologías y uno que otro dato curioso.

A la Licenciatura en Alimentación Sustentable un profundo agradecimiento primeramente por existir y segundo por ser una fuente de conocimiento para mí y todos mis compañeros colegas, gracias por las experiencias formadas.

Y de manera más breve pero no por eso menos importante gracias al Instituto de Ciencias Agropecuarias por todos los conocimientos adquiridos en sus aulas, por los espacios de trabajo, las prácticas, los docentes y las experiencias que permiten la formación profesional de sus alumnos.

Contenido

1	INTRODUCCIÓN.....	14
2	ANTECEDENTES	16
2.1	La generación de residuos en la industria alimentaria	16
2.1.1	Huella hídrica del desperdicio en México	18
2.1.2	Emisiones contaminantes por el desecho de alimentos	18
3	MARCO TEÓRICO.....	19
3.1	Del café a la Borra de café	19
3.1.1	Compuestos de interés.....	20
3.1.1.1	Fibra Dietética.....	20
3.1.1.2	Minerales.....	21
3.1.1.3	Cafeína.....	22
3.1.1.4	Acido clorogénico	23
3.1.1.5	Melanoidinas	23
3.1.1.6	Lípidos.....	24
3.2	Lactosuero	24
3.2.1	Composición.....	25
3.2.1.1	Minerales.....	27
3.2.1.2	Proteínas y aminoácidos esenciales	27
3.3	Plátano.....	28
3.3.1	Proceso de maduración.....	28
3.3.2	Compuestos de interés.....	29
3.3.2.1	Ácidos orgánicos.....	29
3.3.2.2	Fenoles.....	30
3.4	Helado.....	30
3.4.1	Clasificación.....	31
3.4.2	Proceso.....	32
3.4.3	Tendencias en la elaboración de helados.....	35
3.4.3.1	Helados funcionales	35
3.4.3.2	Crio repostería	36
4	JUSTIFICACIÓN	37
5	OBJETIVOS.....	39

5.1	Objetivo General.....	39
5.2	Objetivos específicos	39
6	HIPÓTESIS.....	39
7	MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
7.1	Establecimiento del experimento.....	39
7.2	Elaboración de la harina de SCG.....	40
7.3	Elaboración de la infusión de SCG	40
7.4	Elaboración del helado	40
7.5	Análisis químico proximal	41
7.5.1	Humedad.....	41
7.5.2	Ceniza	42
7.5.3	Proteína	42
7.5.4	Grasa	42
7.5.5	Fibra.....	43
7.6	Color	43
7.7	Grados Brix	44
7.8	Cuantificación de fitoquímicos	44
7.8.1	Fenoles Totales	44
7.8.2	Flavonoides	44
7.8.3	Método DPPH.....	44
7.8.4	ABTS.....	45
7.9	Prueba sensorial	45
7.10	Análisis estadístico.....	46
8	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
8.1	Análisis químico proximal	46
8.1.1	Humedad en SCG y helado.....	46
8.1.2	Ceniza en SCG y helado	47
8.1.3	Proteína en SCG y helado	48
8.1.4	Grasa en SCG y helado	49
8.1.5	Fibra en SCG y helado.....	49
8.1.6	Carbohidratos en SCG y helado	50
8.2	Color	50
8.3	Grados Brix	52

8.4	Cuantificación de fitoquímicos	53
8.4.1	Fenoles Totales	53
8.4.2	Flavonoides	55
8.4.3	DPPH.....	56
8.4.4	ABTS.....	57
8.4.5	Análisis Sensorial	58
9	CONCLUSIÓN.....	60
10	BIBLIOGRAFÍA.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alimentos con mayor desperdicio en México.....	17
Tabla 2. Composición mineral de SCG.....	22
Tabla 3. Etiquetado nutricional de helados comerciales de chocolate.....	32
Tabla 4. Formulación estándar del helado	41
Tabla 5. Composición químico proximal	48
Tabla 6. Colorimetría del helado	51
Tabla 7. Determinación de Grados Brix.....	53
Tabla 8. Composición antioxidante	55
Tabla 9. Prueba de aceptación del helado	58

INDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Diagrama de flujo de la elaboración de helado.....	33
Ilustración 2. Formato de análisis sensorial	46
Ilustración 3. Determinación de color del helado	52

ABREVIATURAS

°C: Grados centígrados

a.C.: Antes de Cristo

BALs: Bacterias Acido Lácticas

Ca: Calcio

Cl: Cloro

Co: Cobalto

CO₂: Dióxido de carbono

CO₂e: Equivalentes de Dióxido de Carbono

Coneval: Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social

Cu: Cobre

ENSANUT: Encuesta Nacional de Salud y Nutrición

F: Flúor

FAO: Food and Agriculture Organization - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación

Fe: Hierro

GEI: Gases de Efecto Invernadero

g: gramos

g/L: Gramos sobre litro

I: Yodo

K: Potasio

Km: Kilómetros

L: Litros

Mg: Magnesio

mg: miligramos

Mn: Manganeseo

Mo: Molibdeno

N: Nitrógeno

Na: Sodio

ONU: Organización de las Naciones Unidas

P: Fósforo

pH: potencial de Hidrogeno, medida que indica acidez o alcalinidad de un producto.

S: Azufre

s/n: Sin numero

SCG: Spent Coffee Grounds

Zn: Zinc

RESUMEN

Bajo la premisa de contribuir a la reducción del desperdicio de alimentos y enfrentar el desabasto alimentario, se desarrolló un helado elaborado a partir de borra de café, lactosuero y plátano maduro; ingredientes considerados residuos dentro de la industria alimentaria que suelen no ser aprovechados. Esta formulación más allá de ser una estrategia de valorización de subproductos, también ofrece beneficios nutricionales relevantes para los consumidores.

Posterior al análisis de la composición del producto se demostró que el producto presenta un contenido de $4.54 \pm 5.71\%$ en fibra y $5.67 \pm 0.35\%$ en proteína, cifras que resultan superiores a las de muchos helados comerciales; además de no contener azúcares añadidos contando con 32.73 ± 2.75 °Bx, siendo un número menor al presente en otros productos. Así mismo, posee un contenido de 16.26 ± 0.14 mg EAG/g en fenoles y 2.48 ± 0.02 mg QE/g en flavonoides los cuales otorgaron una capacidad de inhibición de $40.55 \pm 3.93\%$ frente al radical DPPH y de $34.80 \pm 6.16\%$ al radical ABTS, demostrando así la presencia de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante que favorecen la estabilidad del producto frente a la oxidación de lípidos.

En conjunto, este producto no solo es sustentable, si no también representa una solución funcional ante problemáticas alimentarias al transformar residuos en un alimento innovador, nutritivo y con valor agregado.

Palabras clave: Borra de café, lactosuero, helado, funcional, antioxidante, sustentable.

ABSTRACT

Under the premise of contributing to the reduction of food waste and addressing food shortages, an ice cream was developed from coffee grounds, whey, and ripe bananas. ingredients considered waste in the food industry and often unused. This formulation, beyond being a strategy for valorizing by products, also offers significant nutritional benefits for consumers.

After analyzing the product's composition, it was found to have a fiber content of $4.54 \pm 5.71\%$ and a protein content of $5.67 \pm 0.35\%$, figures higher than those of many commercial ice creams. It also contains no added sugars, with a $32.73 \pm 2.75\%$ protein content, a lower number than that found in other products. Likewise, it has a phenol content of 16.26 ± 0.14 mg EAG/g and 2.48 ± 0.02 mg QE/g of flavonoids, which provided an inhibition capacity of $40.55 \pm 3.93\%$ against the DPPH radical and $34.80 \pm 6.16\%$ against the ABTS radical, thus demonstrating the presence of bioactive compounds with antioxidant capacity that promote the product's stability against lipid oxidation.

Overall, this product is not only sustainable but also represents a functional solution to food problems by transforming waste into an innovative, nutritious, and value-added food.

Keywords: Spent Coffee Grounds, whey, ice cream, functional, antioxidant, sustainable.

1 INTRODUCCIÓN

El desabasto de alimentos y la inseguridad alimentaria se consideran una problemática actual a combatir, tan crítica es la situación que es una de las prioridades dentro de los 17 objetivos de la Agenda 2030 presentada por la ONU en 2015. El objetivo “Fin a la pobreza”, “Hambre cero” así como “Producción y consumo responsable”, enfocan el problema de distribución desigual de alimentos y como actualmente en algunas zonas padecen hambre mientras que en otras existe un desaprovechamiento de los alimentos producidos; por lo que a cada nación le corresponde proponer acciones que combatan los dilemas mencionados (ONU, 2015).

En México la situación es compleja porque de un lado se observa la hambruna que padece 22 millones 738 mil personas con inseguridad alimentaria leve y 8 millones 189 mil personas con inseguridad alimentaria severa, del otro lado vemos problemas de salud como el sobrepeso y la obesidad relacionados a la ingesta excesiva de calorías, de manera que el 70% de los adultos junto con el 35% de los niños y adolescentes padecen una de estas afecciones (Campos-Nonato et al., 2023; Coneval, 2023). Por lo que en materia de nutrición la nación debe buscar la manera de proveer alimentos para reducir dicha hambruna, pero a la vez debe promover alimentos saludables, que cubran las necesidades energéticas básicas y que no terminen orillando a la población al extremo del sobrepeso y la obesidad.

En cuanto a la producción de alimentos hay 2 principales desafíos uno es la fabricación de productos con baja calidad nutricional que promueve los problemas de salud a la población y otro es el desperdicio de alimentos, responsable de la pérdida de valiosos recursos y que no va con los principios del consumo responsable, por lo que actualmente las industrias deben tomar en cuenta el desarrollar alimentos que promuevan una alimentación saludable pero que a la vez sean conscientes de producir eficientemente bajo el modelo de economía circular (Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020).

La presente investigación tiene como propósito elaborar un producto helado utilizando algunos de los residuos más comunes dentro de la industria agroalimentaria como lo es la borra de café, el lactosuero junto con el plátano para posteriormente ser evaluado por análisis químico proximales, fisicoquímicos, sensoriales y antioxidantes; con la finalidad de comprobar que dicho

producto puede considerarse un producto saludable, funcional y que es capaz de ser del agrado del consumidor para una producción a futuro.

De manera que los resultados obtenidos concluyan que este producto promueve la seguridad alimentaria, promoviendo soluciones creativas que logren integrar la sustentabilidad y la nutrición mediante la mejora de productos ya existentes, pero con reformulaciones que mejoren la calidad nutricional y aprovechen los recursos que ya existen.

2 ANTECEDENTES

2.1 La generación de residuos en la industria alimentaria

La producción de alimentos, es una de las actividades más importantes en el mundo, de ella depende el abastecer a la población con alimentos que completen sus necesidades; sin embargo, conforme la población aumenta, la necesidad de producir incrementa proporcionalmente, de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), en 2050 la producción mundial de alimentos debería incrementarse en un 70% para satisfacer a la población (Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020). Sin embargo, una situación a contemplar es que cada vez hay menos espacio para la producción de alimentos, la FAO (2009) estima que para 2050 el suelo destinado para la agricultura será reducido a la mitad, esto como consecuencia de factores como el aumento de la demanda de espacios para vivienda e infraestructura; así mismo el cambio climático y la explotación del suelo han hecho que los suelos se vuelvan imposibles de trabajar.

Aunado a esto la sociedad no es consciente de la importancia de la preservación de los comestibles, muestra de esto es el alto índice en desperdicio de alimentos, al año se estima una pérdida de 1.3 millones de toneladas de alimentos en todo mundo, lo que implicó un tercio de la producción (Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020). Las cifras sobre el desperdicio hacen cuestionarse cómo es posible que exista tanto despilfarro, dónde sucede y qué se hace por evitarlo; sin embargo, no solo sucede en una sola área o sector sucede en cada etapa de la producción, transformación o distribución de alimentos, las causas pueden variar según el alimento, el proceso que conlleve, transporte, almacenamiento, hábitos y falta de conciencia por parte de los consumidores (Castro-Muñoz et al., 2022; Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020).

Actualmente algunos autores ven el desperdicio de alimentos, como una oportunidad para alimentar a la creciente población mundial, de manera que se aproveche la materia prima restante y se transforme para una mayor duración que permita transportarlo o almacenarlo, para ser distribuido a la población; esta propuesta ha tomado la fuerza suficiente para ser parte de la idea central del nuevo modelo de negocio conocido como economía circular que propone aprovechar al máximo las materias dentro de la producción, (Hidalgo & Martín-Marroquín, 2020; Preciado-Saldaña et al., 2022).

La situación en México no es indiferente a las cifras globales, de hecho, se estima que el 34% de los alimentos producidos no llegan a ser consumidos, las principales razones con las que se asocian este fenómeno son la carente tecnología en el campo, dificultad de transporte, así mismo como la falta de pagos justos y equitativos (Vega, 2024). Mariana Jiménez, Directora de Alianzas estratégicas e inversión social de la Red de Bancos de Alimentos de México, declaró en The Food Tech Summit & Expo 2023 que al año aproximadamente 30 millones de toneladas de alimentos aptos para consumo humano se están desperdiciando, mientras que alrededor de 24 millones de personas en México viven con inseguridad alimentaria, de manera que si se lograra prevenir y tratar ese desperdicio se tendría suficientes alimentos para satisfacer al 100% de la población (Jiménez, 2023; Vega, 2024). En 2017, el Banco Mundial recabo datos en colaboración con el banco de alimentos en México para conocer los principales alimentos que se desperdicia, como se observa en la Tabla 1 unos de los principales fueron la carne, la leche, el pan, así mismo frutas como el mango, la papaya y el plátano. Dentro de esa investigación se analizaron productos pertenecientes a la canasta básica, estableciendo datos sobre cuanto se produce en un año, cuanto se desperdicia y de qué manera impacta el desaprovechamiento al ambiente por medio del agua y los gases presentes en la atmosfera (Banco Mundial, 2017).

Tabla 1. Alimentos con mayor desperdicio en México				
<i>Alimento</i>	<i>Toneladas de desperdicio anual</i>	<i>Porcentaje de desperdicio</i>	<i>Litros de agua desperdiciada</i>	<i>CO₂e emitidos totales</i>
Arroz	249,372	37.20	847,864,945,978	673,304,516
Carne de Puerco	41,391	40.19	198,676,057,166	336,507,572
Huevo	1,320,862	37.98	4,763,030,011,358	6,340,139,782
Jitomate	925,968	39.30	166,674,259,102	-
Leche	4,590,189	43.12	4,590,189,422,531	8,721,359,903
Mango	468,570	39.83	749,711,280,473	515,426,505
Manzana y perón	218,170	38.93	152,718,969,854	239,986,953

<i>Pan Blanco</i>	2,633,392	43.10	14,334,082,031,063	-
<i>Papa</i>	788,057	37.89	220,655,906,260	2,285,364,743
<i>Papaya</i>	171,458	39.83	-	188,603,979
<i>Plátano</i>	281,336	38.30	241,949,342,558	309,470,089

Fuente: Banco Mundial (2017)

2.1.1 Huella hídrica del desperdicio en México

El derroche de alimentos no es tan simple como parece, considerando que este trae consigo ciertos problemas que en la actualidad no son gestionados por lo que promueven consecuencias negativas al ambiente; dentro de sus efectos colaterales encontramos la huella hídrica, es decir, la cantidad de agua que se utilizó para producir los insumos que no fueron aprovechados; anualmente la cantidad de agua que se destina para producir alimentos que al final no son consumidos, equivale a abastecer al 100% de la población mexicana de agua durante 2.4 años; así que no solo se pierde alimentos que bien pudieron ser consumidos, también se reduce la disponibilidad de agua para la nación, fomentando la problemática del desabasto de este líquido indispensable (Vega, 2024). De manera ejemplificada la Tabla 1 muestra la estimación en litros que se pierden anualmente por el desecho en algunos alimentos, entre los productos con mayor desperdicio de agua son el pan blanco con 14,334,082,031,063 litros, la leche con 4,590,189,422,531 L., el huevo con 4,763,030,011,358 litros y el plátano con 241,949,342,558 L (Banco Mundial, 2017; Jiménez, 2023; Vega, 2024).

2.1.2 Emisiones contaminantes por el desecho de alimentos

Otro aspecto que afecta la pérdida de alimentos es la emisión de gases de efecto invernadero específicamente del dióxido de carbono (CO₂), considerando que la producción de alimentos genera emisiones de estos gases a lo largo de todo el proceso, de manera que si se desperdician insumos se generan emisiones innecesarias que fomentan el daño a la atmosfera promoviendo el calentamiento global (Banco Mundial, 2017). El Banco de alimento en México estima que el derroche de alimentos genera aproximadamente 36 millones de toneladas de CO₂ anualmente, equivalente a lo que generan 15.7 millones de automóviles (flota vehicular de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara), durante un año, entre los alimentos que más generan emisiones prescindibles de CO₂ está el huevo, la leche y la papa con cifras que superan los billones

de equivalentes de dióxido de carbono (Banco Mundial, 2017; Preciado-Saldaña et al., 2022; Vega, 2024).

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Del café a la Borra de café

Inicialmente el café es una bebida obtenida a partir de la extracción de compuestos solubles de los granos tostados y molidos de la planta de café mediante agua caliente (Ebermann, 2011); como tal, su origen es incierto, pero existen teorías históricas que lo vinculan incluso a textos bíblicos y a relatos antiguos como la Odisea donde se utilizaba para bebidas combinado con vino (Bartra, 2011). En México, el café llegó en 1790 con la colonización de la Nueva España cultivándose principalmente en estados como Veracruz, Oaxaca, Chiapas y Michoacán, y desarrollándose durante el porfiriato gracias a la participación de empresas extranjeras que se apropiaron de tierras nacionales (Figueroa-Hernández & Godínez-Montoya, 2015). A nivel mundial, en 2022 México ocupó el lugar 11 como productor con 899 mil toneladas, destacando Chiapas, Veracruz y Puebla (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2022). El estado de Hidalgo posee el sexto lugar a nivel nacional en producir café con una aproximado de 29 mil toneladas producidas, empleando a 35 mil productores (Alcalde, 2023) En 2020 el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), señaló que la producción de café se distribuye en 24 municipios de la entidad, establecidos en las zonas de la Sierra Otomí-Tepehua, la sierra Gorda, la sierra alta de Tlanchinol y la Huasteca Hidalguense (SENASICA, 2022)

Ahora bien, la borra de café (SCG) por sus siglas en inglés Spent Coffee Grounds también conocidos como posos, broza o ripio de café es el residuo sólido que se obtiene después de la preparación de las bebidas instantáneas de café, de acuerdo a Forcina et al. (2023) cada año en el mundo se producen 6 millones de toneladas, considerando que por cada kilogramo de café instantáneo se produce dos kilogramos de peso húmedo de SCG, siendo un problema de gestión de residuos debido a que gran parte de este termina desechado en las tuberías. Considerando la importancia de aprovecharlo para disminuir su impacto aparece McNiven et al. (1976) como precursores para el tratamiento de la borra de café, su trabajo consistió en utilizar este material como pienso para ovejas para ello tuvieron que caracterizarlo obteniendo los primeros datos de composición de los

posos de café estableciendo un contenido de 10% de proteína, 44% de fibra total, 26% de extracto etéreo, 0.75% de ceniza y un 8% de humedad. A partir de ahí comienza su investigación preparando su auge que iniciaría en 2011 donde se empieza a estudiar sus compuestos polifenólicos y sus posibles efectos al organismo, además del posible uso para extracción de biodiésel y remediación de suelos (Bravo & Arbillaga, 2012; Forcina et al., 2023). Actualmente el residuo del café ha sido más estudiado en diversas áreas del conocimiento, la que en este caso se destaca es la alimentación y salud, esto apoyado de las propiedades presentes en el producto.

3.1.1 Compuestos de interés

La investigación sobre la borra de café ha permitido que hoy en día se conozca algunos de los componentes que poseen y así teorizar algunas de las propiedades que puede tener. Algunos investigadores destacan el contenido de fibra dietética, aminoácidos esenciales, lípidos, así como considerables concentraciones de algunas sustancias de carácter funcional como la cafeína, el ácido clorogénico, entre otros polifenoles. Los componentes que se mencionan anteriormente de interés son principalmente productos de carácter funcional que pueden ayudar al enriquecimiento de matrices alimentarias (Alanís-García et al., 2021; Ballesteros et al., 2014; Murthy & Naidu, 2012). Cada uno de estos compuestos confiere un beneficio al consumidor, por lo que resulta ideal considerar agregar SCG a diversas preparaciones que complementen el contenido nutricional y nutraceutico del producto, ejemplo de esto son la implementación de borra de café en bebidas fermentadas logrando mayor contenido de ácidos volátiles y ésteres que mejoraron el aroma, además su uso en galletas y bizcochos reduce el grado de pardeamiento además puede mejorar el volumen del bizcocho (Franca & Oliveira, 2022).

3.1.1.1 Fibra Dietética

La fibra corresponde a compuestos presentes en la pared celular de los productos derivados de las plantas como lo es el grano de café, este compuesto ayuda a darle una estructura más rígida al producto; de manera general se puede clasificar a la fibra dietética por su solubilidad en agua dividiendo las fibras en soluble e insoluble. Las fibras solubles al entrar en contacto con agua atrapan el líquido, aumentando la viscosidad, mientras que las insolubles o poco solubles retienen el agua en su matriz estructural por lo que se obtendría una viscosidad baja (Alanís-García et al., 2021; Murthy & Naidu, 2012).

Actualmente la fibra dietética es considerada un compuesto de interés debido a sus propiedades tecnológicas y nutraceuticas relacionadas con su composición, tecnológicamente hablando la fibra permite en los alimentos el aumento de viscosidad, la formación de geles, así como la capacidad de hidratación; en el área de los nutraceuticos la fibra es importante por su capacidad de resistir a la hidrólisis de las enzimas digestivas de los seres humanos, por lo que pasa intacta al intestino en donde funciona como alimento prebiótico a las bacterias que componen la microbiota intestinal, promoviendo diversos beneficios al consumidor mismos que han sido ampliamente estudiados como el reforzamiento del sistema inmunitario, así como la prevención y tratamiento de diversas patologías en las que se engloba estreñimiento, obesidad, diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial e inclusive cáncer; ha sido tan visto su beneficio que en la actualidad se recomienda como un suplemento dietético (Murthy & Naidu, 2012; Mussatto et al., 2011).

3.1.1.2 *Minerales*

La palabra *minerales* comúnmente se utiliza para referirse a los diversos elementos químicos que se identifican en los alimentos; aunque el termino adecuado es *nutrimentos inorgánicos*; dichos compuestos son descritos como nutrientes indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano, además se describe que su deficiencia puede provocar serios problemas de salud por lo que recomiendan ampliamente su consumo basado en los requerimientos diarios de cada individuo (Badui-Dergal, 2006; Santos et al., 2018).

Se consideran indispensables debido a que participan en muchas de las funciones del organismo, por ejemplo, pueden ayudar en la formación de tejidos rígidos del cuerpo (Ca, P, F, Mg), como cofactor de enzimas (Mn, Zn, Cu, Mo, Na), como integrante de vitaminas, hormonas, mioglobina y hemoglobina (Co, I, Fe), para controlar la presión osmótica de fluidos celulares y del pH (Na, K, Cl) y como parte constitutiva de algunas macromoléculas (S, P, Fe) (Badui-Dergal, 2006).

En el desarrollo de alimentos también se debe considerar que aunque estos estén contenidos en el alimento no significa que se absorban en su totalidad esto se debe a la distinta biodisponibilidad entre ellos; ejemplo de lo antes mencionado es el sodio, potasio y cloro los cuales forman compuestos sencillos que existen en disolución, por lo que forman iones libres

fácilmente absorbibles, mientras que compuestos como el calcio, hierro, fósforo y magnesio, que son compuestos insolubles, son más difíciles de asimilar (Badui-Dergal, 2006).

Tabla 2. Composición mineral de SCG

<i>Elemento mineral</i>	<i>SCG</i> <i>Composición (mg/kg de materia seca)</i>
<i>Potasio</i>	11,700 ± 0.01
<i>Magnesio</i>	1,900 ± 0.00
<i>Fósforo</i>	1,800 ± 0.00
<i>Azufre</i>	1,600 ± 0.00
<i>Calcio</i>	1,200 ± 0.00
<i>Hierro</i>	52.00 ± 0.50

n=3, ± representa desviación estándar

Fuente: (Ballesteros et al., 2014)

En la Tabla 2 se rescata la investigación de Ballesteros donde identifiqué los principales minerales presentes en la borra de café destacando la presencia de potasio con 11,700 mg/kg de materia seca; en la tabla también se puede observar que este material también posee cantidades relevantes de magnesio, fósforo y azufre.

3.1.1.3 *Cafeína*

La cafeína o por su nombre en la denominación IUPAC “1,3,7-trimetil-xantina”, es un alcaloide derivado de la purina y es el componente más conocido del café (Campos-Vega et al., 2015). Esta sustancia se caracteriza por ser termoestable por lo que se conserva intacta a las altas temperaturas a las que se somete el grano.

Durante muchos años ha sido un compuesto de interés debido a sus propiedades, entre las que destacan la alteración al sistema nervioso central produciendo efectos en el estado de ánimo, el rendimiento mental, la disminución de cansancio y aumento en el estado de alerta; sin embargo, no se debe abusar en grandes cantidades porque a largo plazo puede provocar afecciones como insomnio, dolor de cabeza, fatiga, y dependencia física (Cavanagh et al., 2023).

De acuerdo a Murthy & Naidu (2012) cuando el café aún contiene su pulpa natural posee un valor de cafeína de 1.5%, pero posterior al tratamiento y manipulación del grano de café la borra termina con un valor de 0.02 % de cafeína. El contenido de cafeína puede variar en cada café por diversos factores como el tipo de grano, el modo de preparación de la bebida e inclusive la calidad del agua con la que se prepara la infusión (Mussatto et al., 2011).

3.1.1.4 Ácido clorogénico

El grupo de los ácidos clorogénicos se caracteriza por ser esteres del ácido quínico unidos a una o dos fracciones de ácido cafeico, siendo el más común el ácido 5-cafeoilquinico (Bravo et al., 2012; Solis & Herrera, 2005). Se caracterizan por ser precursores de sabor y pigmentos del café tostado, además de ser compuestos solubles en agua, la concentración presente depende del grado de maduración y la calidad del grano de café (Bravo et al., 2012; Solis & Herrera, 2005).

Los ácidos clorogénicos actualmente son investigados por su relación en la prevención de enfermedades oxidativas como el cáncer, esto debido a su capacidad antioxidante otorgada por el grupo fenol que posee en su estructura, también se asocia en la prevención de enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Bravo et al., 2012; Solis & Herrera, 2005).

Este grupo de compuestos es muy estudiado en el café debido a que es el principal compuesto fenólico del grano, por lo que es una ideal fuente de extracción, de hecho, algunos estudios han reportado un contenido del 7 al 12% en el café, siendo un mayor contenido que la cafeína (Cavanagh et al., 2023; Mussatto et al., 2011).

3.1.1.5 Melanoidinas

Las melanoidinas son sustancias producto de la reacción de Maillard, por la glicación de azúcares reductores que reaccionan con aminoácidos libres (principalmente ácido glutámico y glicina), este compuesto otorga al café su pigmento marrón, así como el amargor de el mismo, recalando que con mayor grado de tostado del café mayor contenido de melanoidinas están presentes en el café (Campos-Vega et al., 2015; Puerta Quintero, 2013).

Las melanoidinas son consideradas un ingrediente alimentario funcional debido a la presencia de compuestos fenólicos en su estructura, los cuales pueden producir beneficios para la salud, diversas investigaciones han demostrado que las melanoidinas poseen actividades antioxidantes,

antimicrobianas, anticancerígenas y desintoxicantes por lo que puede ayudar a prevenir o tratar enfermedades siendo el caso de cáncer o de enfermedades producidas por microorganismos nocivos; sin embargo, uno de los principales inconvenientes del compuesto es su asociación con la disminución del valor nutricional de los alimentos, considerando que a mayor cantidad de melanoidinas disminuirá el contenido de aminoácidos (Bravo et al., 2012; Cavanagh et al., 2023).

Jiménez-Zamora et al. (2015) establecen una aproximación entre el contenido de melanoidinas del café y de la borra del café específicamente en el café del tipo arábica, definiendo un contenido de 22 g en el café y 15 g en la borra esto por cada 100 gramos de materia seca, por lo que se considera una pérdida de 7 gramos, pero para esta teoría los autores también explican que gran parte de las melanoidinas perdidas se convierten en fibra dietética soluble.

3.1.1.6 Lípidos

Los lípidos al ser un compuesto hidrofílico no se disuelven en agua por lo que al preparar una infusión de café el contenido lipídico del café no es aprovechado, lo cual resulta un compuesto de interés para el aprovechamiento de SCG. Campos-Vega et al. (2015) apoyan la hipótesis describiendo que el 90.2% de los lípidos permanecen en los residuos del café molido, con una composición de 84.4% de triacilglicerol, 12.3% de ésteres de alcohol diterpénico, 1.9% de esterol, 1.3% de material polar y 0.1% de ésteres de esterol los cuales son bien conocidos por su efecto reductor del colesterol sérico al reducir la absorción intestinal de colesterol.

De acuerdo al análisis de Cavanagh et al. (2023) el contenido de lípidos en SCG varía entre el 10% y el 29% del peso seco de la borra de café, a su vez el perfil de ácidos grasos propone un contenido aproximado de 44.2% de ácido linoleico, 32.8% de ácido palmítico, 10.3% de ácido esteárico y 7.1% de ácido oleico.

3.2 Lactosuero

El lactosuero es un subproducto de la leche derivado de la elaboración del queso, a partir de la separación de la caseína por coagulación ácida o enzimática (Alais, 2018). Este líquido translúcido entre verdoso y amarillo es el principal residuo de la industria láctea, de acuerdo a Asas et al. (2021) por cada 10 kg de leche se produce entre 1 y 2 kg de queso, dejando entre 8 y 9 kg de lactosuero siendo mayor volumen de residuo que del producto final.

Inicialmente en México la producción de leche se estima en 450 millones de litros anualmente, destacando la producción estatal de Jalisco, Coahuila, Durango y Chihuahua; estados que representan más de la mitad de la producción nacional (Gallegos-Daniel et al., 2023). Parte de esta leche va dirigida a la industria quesera la cual ofrece en promedio 448,000 toneladas anuales de queso en el país, donde su principal producción se enfoca en los estados de Jalisco, Chihuahua, Querétaro, San Luis Potosí, Michoacán, Durango, Coahuila, Guanajuato y Chiapas; dentro de la industria quesera sucede el proceso de transformación de la leche en queso, aunado a esto, la industria también obtiene lactosuero, un subproducto que aun posee compuestos valiosos como proteínas y vitaminas.

En México la producción de lactosuero se estima en más de un millón de toneladas por día, del cual al menos el 47% se desecha en ríos y suelos, lo que resulta en contaminación ambiental, esto se debe en gran parte a que muchas de estas empresas son pequeñas y con procesos aun artesanales, por lo que no tienen estructurado un sistema de desecho, además que durante años se desconoció los efectos nocivos que tenía el lactosuero en el ambiente (Valencia & Ramírez, 2009).

Dentro del Estado de Hidalgo se puede observar esta problemática en la zona del valle de Tulancingo, específicamente en el municipio de Acatlán el cual es reconocido por ser área quesera, Jaimes (2024) en un reportaje para el periódico local describe la situación como una crisis ambiental la cual produce diariamente hasta 225 mil litros de lactosuero tan solo en las 50 plantas queseras autorizadas; las soluciones temporales para evitar que se tire en ríos o suelos es la producción de biogás a partir del lactosuero y el uso para alimento de ganado, pero esto no es suficiente considerando que el desecho es demasiado, por lo que se debe proponer alternativas donde se aprovechen las propiedades que aun posee.

3.2.1 Composición

En base a los datos recabados por Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández (2019) en promedio el suero de leche puede contener un 55% de los componentes originales de la leche, tan solo de lactosa se conserva el 96% en el suero, con un valor de 46 a 52 g/L, también contiene entre 6 y

10 g/L de proteína lo que equivale al 25% de la proteína de la leche y en materia grasa retienen 8%, es decir un aproximado de 5 g/L.

Estos datos pueden variar de acuerdo a la ubicación geográfica, la raza de la vaca, entre otros factores independientes; sin embargo, otro factor puede ser el tipo de queso que se elabora, debido a que a partir de estos se puede obtener un suero dulce o uno ácido.

El suero dulce proviene de la elaboración de queso fresco, panela o Chihuahua, por lo que la coagulación de las enzimas de las caseínas se hace con el pH normal de la leche (6.5 a 6.8), es decir sin alteraciones de este, por lo que se utiliza cuajo comercial (como la quimosina o enzimas proteasas similares); este proceso da como resultado un alto contenido de lactosa (entre 45 y 65 g/L) y de proteína (de 6 a 12 g/L), pero un bajo contenido graso (entre 3 y 5 g/L) junto con una baja acidez dando como valor máximo 2 g/L de ácido láctico (Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019).

En cambio, el suero ácido no solo va a hacer uso del cuajo, si no también acidificará la leche para así obtener quesos con sabores, aromas y texturas más intensos, la leche suele acidificarse con ácidos orgánicos como el ácido cítrico o por medio de la producción de ácido láctico a partir de la adición de bacterias ácido lácticas (BALs), ejemplo de quesos donde se utiliza este proceso son el queso Oaxaca, Cotija y cocido; como resultado el suero obtenido se caracteriza por tener menos compuestos originarios de la leche, la proteína se encuentra entre 6 y 8 g/L, la materia grasa entre 3 y 4 g/L y entre 38 a 45 g/L de lactosa, esto de manera general se debe a la fermentación, debido a que las bacterias se alimentan de estos compuestos y en respuesta producen el ácido láctico que acidifica el suero teniendo un valor de 6.4 g/L (Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019).

Considerando la composición diversa del lactosuero, varios autores han utilizado el lactosuero para implementarse en matrices alimentarias por ejemplo como base en bebidas fermentadas, debido a que es una buena fuente de carbono y de energía para los microorganismos, también se utiliza para sustituir una parte de la leche o de agua en recetas de panificación y repostería, esto para aumentar el contenido de proteína de la formulación y obtener mejores resultados del producto (Asas et al., 2021).

3.2.1.1 *Minerales*

De acuerdo a Ramírez-Navas (2009) la leche posee entre 7 y 9 g/L de minerales, siendo el más mencionado el calcio, que junto con los fosfatos ayuda a la formación y estabilidad de las micelas de caseína. Los minerales con mayor presencia en el lactosuero son el calcio (0.6 g/L), fósforo (0.7 g/L), sodio (0.3 g/L), magnesio (0.17 g/L) y potasio (0.1 g/L), además posee zinc, hierro y cobre que varían de manera significativa en el tipo de leche y de lactosuero que se utilice (Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019).

De acuerdo a Martínez-Puga & Lendorio (2005) la ingesta diaria recomendada para hombre y mujeres de 15 a 24 años de edad son los siguientes para calcio 400 mg, fosforo 800 mg, magnesio de 100 a 500 mg.

3.2.1.2 *Proteínas y aminoácidos esenciales*

El lactosuero se considera una excelente fuente de proteínas, que poseen propiedades tecnológicas y funcionales, el complejo proteico está compuesto principalmente por β -lactoglobulina (β -LG) con un porcentaje del 40 a 50%, de igual manera posee α -lactoalbúmina (α -LA) con un valor del 12 a 15%, inmunoglobulinas (IGs) con 8%, albumina de suero bovino (BSA) con 5%, lactoferrina (Lf) con un valor de 1%, lactoperoxidasa con el 0.5%, también fracción proteasapeptona con 12% y glicomacropéptido (GMP) igualmente con el 12% (Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019; Smithers, 2008; Yadav et al., 2015).

La β -lactoglobulina se caracteriza por ser una proteína globular con propiedades gelificantes y emulsificantes por lo que suele utilizarse en la formulación de alimentos; a su vez la α -LA también posee propiedades emulsificantes y espumantes, de igual forma puede ligar iones de calcio y es soluble en un amplio rango de pH (Chatterton et al., 2006; Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019).

Funcionalmente la proteína β -LG se le ha atribuido la capacidad de estimular la absorción del retinol y de ácidos grasos, también de propiedades anticarcinogénicas atribuida por la síntesis de glutatión y de modulación de la respuesta inmune; además ciertos fragmentos tienen un efecto antimicrobiano que inhiben bacterias gran-positivas (Chacón et al., 2017; Chatterton et al., 2006; Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019).

A su vez la α -LA se le ha demostrado diversos efectos como el ayudar al tratamiento de la colitis ulcerosa, propiedades insulínótropas que ayudan a reducir la azúcar en sangre, de igual forma colabora a mejorar el sueño gracias a su contenido de triptófano que estimula la producción de serotonina y reduce los niveles de estrés, pero uno de los más interesantes es la citotoxicidad contra células tumorales, esto mediante la formación de complejos no covalentes con el ácido oleico (Chacón et al., 2017; Mazorra-Manzano & Moreno-Hernández, 2019; Rammer et al., 2010).

3.3 Plátano

El plátano *Musa paradisiaca* es una fruta tropical de la familia de las Musáceas, también es considerado uno de los principales frutos de consumo, en base a datos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2022b) México posee un consumo anual de plátano de 15 kilos por persona.

De acuerdo al Censo Agropecuario, en 2022 México produjo 2,652,188 toneladas de plátano en una superficie de 164,057.5 hectáreas, de las cuales 1,330 ha eran de Hidalgo con una producción aproximada de 11,315 toneladas (INEGI, 2022).

Cabe aclarar que el plátano se denomina como un fruto climatérico, es decir que puede seguir madurándose a pesar de haber sido cortado de la planta, esto debido a la presencia de etileno en el fruto; es por esta razón que se cosechan verdes para que durante el trayecto puedan ir madurándose y llegar con la madurez comercial requerida (Barrera et al., 2010).

3.3.1 Proceso de maduración

A medida que el plátano va madurando, es posible observar diversos cambios en el fruto como cambio en la coloración, la producción de aromas y sabores, o pérdida de firmeza; esto se debe a que el etileno es una sustancia encargada de regular la maduración y senescencia del producto a niveles moleculares, bioquímicos y fisiológicos, de manera que controla la expresión de las enzimas que promueven la maduración del fruto (Balaguera-López et al., 2014; Barrera et al., 2010).

Entre los cambios físicos se observa mayor permeabilidad del fruto debido al paso de solutos por simple difusión, de igual forma se presenta una reducción de la firmeza por acción de la hidrólisis

del almidón y la pectina que degrada las estructuras complejas de la pared celular a azúcares simples; igualmente existe un aumento en la humedad de la pulpa esto producido por la metabolización de azúcares la cual es responsable de liberar agua.

Bioquímicamente los cambios que presenta el fruto son mayor contenido de azúcares, esto a causa de la degradación enzimática del almidón, de manera que si el fruto verde tenía entre 1 y 2% de azúcares para cuando está maduro aumenta entre el 15 y 20%; algunas de las enzimas responsables de este efecto son α -amilasas, β -amilasas y fosforilasas (Hernández, 1986).

A diferencia del fruto verde, el plátano madurado posee un menor pH, esto en parte se debe en parte a la degradación de la clorofila y a la presencia de pigmentos como betacarotenos, carotenos oxigenados y xantofilas, otra posible razón es el proceso de respiración en el cual el almidón es degradado en azúcares reductores o convertido en ácido pirúvico lo cual acidifica el fruto (Barrera et al., 2010).

3.3.2 Compuestos de interés

El plátano maduro a diferencia de uno verde, posee mayores compuestos volátiles por lo que posee mas aromas, igualmente posee azúcares en lugar del almidón que posee un plátano verde; aunque el plátano ya maduro no suele ser escogido para uso industrial debido a lo complicado de su manipulación, algunos usos registrados son bebidas alcohólicas, jarabes para obtener azúcares y uso en repostería por sus aromas y sabores (Camacho et al., 2018; Menéndez Ventura et al., 2021; Valdés-Duque et al., 2002).

3.3.2.1 Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos son compuestos abundantes en los frutos maduros, siendo responsable de la acidez del fruto, además de contribuir al sabor. En el plátano se pueden encontrar el ácido málico, cítrico y oxálico, los 2 primeros ácidos usualmente tienden a aumentar conforme aumenta la maduración mientras que el ácido oxálico se metaboliza por consiguiente irá disminuyendo (Barrera et al., 2010; Famiani et al., 2015).

La presencia de estos ácidos se debe a la de azúcares en la pulpa que durante la maduración ayudaran a distintos procesos como lo son la respiración celular, gluconeogénesis, fermentación, síntesis de aminoácidos o de productos secundarios como pigmentos, sabores o aromas. Por

ejemplo, el ácido cítrico, isocítrico y málico son precursores de citrato, isocitrato y malato respectivamente, dichos compuestos participan en el ciclo de Krebs (Famiani et al., 2015).

3.3.2.2 *Fenoles*

Los compuestos fenólicos en los plátanos son responsables del color y la astringencia, por lo que se encuentran principalmente cuando el fruto aun es joven y a medida que este va madurando hay una disminución, cuando el fruto aún se considera inmaduro posee un contenido fenólico de 25.6 mg/g del peso seco, pero al madurar se pierde casi en su totalidad obteniendo valores cercanos al 1.5 mg/g del peso seco. Los principales fenoles presentes en el plátano son la dopamina (3,4-dihidroxifenil etilamina), serotonina (5-hidroxitriptamina), norepinefrina, salsolinol y delfinidina (Barrera et al., 2010).

3.4 Helado

De acuerdo a la NOM-243-SSA1-2010 se denomina “helado” a los alimentos que son producidos mediante la congelación con o sin agitación de una mezcla pasteurizada compuesta por una combinación de productos lácteos incluyendo grasas vegetales, frutas, huevos y derivados, saborizantes, edulcorantes, entre otros aditivos (Secretaría de Salud, 2010).

De acuerdo al análisis de Innova Market Insights de 2019 hasta 2024 a nivel mundial hubo crecimiento del 7% en ventas y un 3% en innovación de nuevos productos, entre los países con mayor consumo per cápita se encuentra Nueva Zelanda en primer lugar (26.3 L/per cápita), seguido de Estados Unidos (24.5 L/per cápita), Australia (17.8 L/per cápita), España y Filipinas. En cuestión de lanzamiento de nuevos helados Asia domina con el 43%, seguido de países como Australia, Europa del Este y América latina.

Siguiendo con el tema de los nuevos productos helados encontramos tendencia hacia productos no lácteos con principal mercado entre los jóvenes en Norteamérica, además de productos con etiquetas limpias libres de aditivos, ni conservadores, gluten o lactosa; socialmente buscan productos con envases sostenibles, ética humana, que su impacto ambiental sea nulo o bajo además de importancia a los alérgenos y responsabilidad social con declaraciones halal. De igual manera Innova Market Insights (2024) señala que las próximas tendencias en helados son los

productos reducidos o sin azúcar, helados a base de plantas, así como la adición de compuestos nutraceuticos, minerales, vitaminas, fibras o proteínas para hacer helados funcionales.

El consumo de helados en México fue un proceso muy lento que se vio retrasado por diversos factores, primeramente la técnica de preparación de helados llegó después del proceso de colonización por medio del heladero español Leonardo Leños, sin embargo, no fue posible comercializar la receta hasta 1822 debido a la proclamación de estancos que privatizaban el hielo, una vez obsoleto dicho mandato se comenzó con la elaboración de productos fríos como las nieves de garrafa; hasta que en 1865 se construye la primera fábrica de hielo y con ello vendría la primera nevería en 1914 de nombre "La Primavera" (Granados, 2023).

De acuerdo al diario El Economista en 2022 México tenía un consumo anual de 2.5 L por persona, además que se contabilizó cerca de 450,000 establecimientos de paletterías o heladerías de las que el 80% pertenecen a micro, pequeñas y medianas empresas ubicadas principalmente en centro, bajo y oriente de la república (Romo, 2022).

3.4.1 Clasificación

De acuerdo a lo establecido en la NMX-F-714-COFOCALEC-2012 algunos de los tipos de helados que más se comercializan son los helados de crema de leche, los cuales deben tener como mínimo 7% de grasa de leche y 2.5% de proteína. Otro tipo es el helado de leche el cual debe tener un valor mínimo de 2% de grasa de leche y 1.5% de proteína. El helado con o de grasa vegetal igual es uno de los más comunes y para entrar en esta clasificación debe contener mínimo 2% de grasa vegetal.

En la Tabla 3 se observan el contenido nutricional de los helados más consumidos de acuerdo a la investigación realizada por PROFECO (2024), de manera que se puede inferir que la mayoría de helados sin importar el tipo poseen un elevado contenido de azúcares añadidos que exceden lo recomendado en la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 sobre las especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados, en cuanto al contenido proteico los helados abarcan un rango de 1.3 a 4.6 gramos por cada 100 gramos del producto, el contenido graso en los helados podemos ver cifras mayores que el contenido de proteína esto a razón de la

necesidad de la materia grasa para la formación de la suave textura del helado encontrando valores desde 4.3 g hasta 16.1 g esto por cada 100 gramos del producto.

Tabla 3. Etiquetado nutricional de helados comerciales de chocolate

<i>Marca</i>	<i>Azúcares Totales (g/100g)</i>	<i>Azúcares añadidos (g/100g)</i>	<i>Proteína (g/100g)</i>	<i>Grasa (g/100g)</i>	<i>Carbohidratos (g/100g)</i>	<i>Contenido energético (kcal/100g)</i>
<i>El Edén 1926</i>	21.5	15.3	3.1	6.4	25.9	174
<i>Holanda</i>	7.9	0	3.9	4.3	8.2	108
<i>Ice Top</i>	18.9	13.2	2.6	4.4	23.1	142
<i>Nestlé</i>	22.1	16.4	1.3	5	28.5	164
<i>Precissimo</i>	14.9	11.5	1.4	6.9	15.3	129
<i>Helado de crema</i>						
<i>Dass</i>	18.7	14.8	2	9	19.7	167
<i>Häagen-Dazs</i>	20.3	14.7	4.6	16.1	20.6	245
<i>Santa clara</i>	19.8	14.1	4.3	11.1	20	197
<i>Alimento vegetal</i>						
<i>Holanda vegano</i>	17.8	17.8	2.1	7.9	22.6	170

Fuente: Elaborado propio con datos de (PROFECO, 2024)

3.4.2 Proceso

Inicialmente el proceso del helado comenzó siendo un tipo de raspado al cual solo se agregaba jarabes, frutas o miel; para su elaboración se utilizaba hielo traído de las montañas aledañas, conforme el proceso se fue popularizando se fue desarrollando alternativas para lograr movilizar y almacenar hielo cerca de las aldeas (Juri-Morales & Ramírez-Navas, 2015).

Actualmente en la producción de alimentos cada empresa tiene su propia forma de elaborar sus productos, por lo que el proceso de fabricación va a tener algunas variables, pero el principio va a ser el mismo; para el caso del helado, Romero Del Castillo & Lagarriga (2004) estandarizan el

proceso de elaboración de forma gráfica como se observa en la Ilustración 1, además de describir en que consiste cada una de las etapas, lo que resulta un referente para la elaboración de helados.

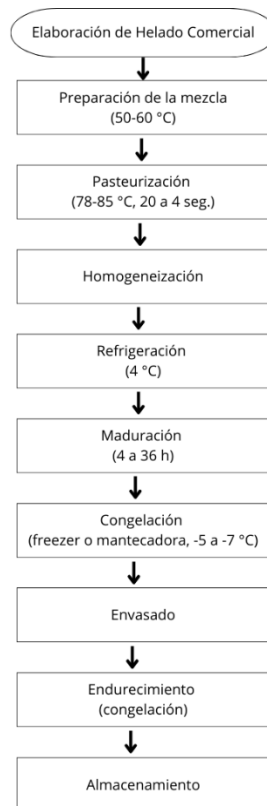


Ilustración 1. Diagrama de flujo de la elaboración de helado

Fuente: Elaborado propio con datos de (Romero Del Castillo & Lagarriga, 2004)

Como primera etapa se encuentra el mezclado de los ingredientes (lácteos, jarabe, azúcares, emulsionantes u otros aditivos) aquí se realizará el pesado de cada ingrediente para irse incorporando en el recipiente mientras es sometido a una temperatura promedio de 50-60 °C, esto va a variar de acuerdo a cada ingrediente, primeramente se agregan líquidos, seguido de sólidos y por últimos las grasas, de esta manera se asegura la correcta incorporación de los insumos sin perder las propiedades tecnológicas que poseen.

Una vez que se ha integrado los ingredientes, la temperatura se eleva entre 78-85°C para el siguiente paso que es la pasteurización, esta etapa tiene como propósito eliminar los posibles agentes patógenos presentes en los insumos o adquiridos por la manipulación previa, la mezcla será sometida durante 20 o 40 segundos para evitar la degradación de compuestos.

La siguiente etapa es la homogeneización, esta es más común en grandes empresas debido a que para ello es necesario una máquina homogeneizadora la cual se encargará de emulsionar la mezcla bajo presión, esta maquinaria lo que hace es romper la estructura de los glóbulos grasos haciendo que se emulsionen y formen una coalescencia, retardando la separación de fases hidrofílica e hidrofóbica.

La etapa de refrigeración lo que busca es evitar la contaminación de la mezcla estéril y también evitar la separación de fases, por lo que se lleva a enfriar a temperaturas que oscilan entre 0 y -5°C, esta etapa se realiza por maquinas enfriadoras, cámaras de frio o refrigeradores.

Enseguida que la mezcla llego a las temperaturas de refrigeración empieza el proceso de maduración en el cual el helado estará en reposo entre 4 y 36 horas para obtener propiedades que son necesarias para su formación, entre estas características destacan la cristalización externa de las moléculas lipídicas, absorción de agua por parte de proteínas y estabilizantes para aumenta la viscosidad, y el desarrollo uniforme de aromas, por lo que Romero Del Castillo & Lagarriga (2004) recomienda agregar en este punto la fruta, aromas y sabores.

La siguiente fase es la congelación o formación del helado en este proceso se mete la mezcla a la freezer o mantecadora la cual inyecta aire helado de manera que, si el producto entro con una temperatura de 0 o 5 °C, la temperatura final con la que sale es de -3 a -7 °C aproximadamente, la maquina freezer consta de un eje rotatorio la cual bate la mezcla y al mismo tiempo le adiciona aire haciendo rupturas en la película que cubre los glóbulos grasos que previamente fueron fracturados en la homogeneización; de esta manera obtenemos un helado con una mucho más tersa y suave sin la presencia de grandes cristales de hielo.

Por último, se lleva a envasar en recipientes previamente esterilizados para seguir preservando la textura del helado en la etapa de endurecimiento, donde se lleva a refrigeración a -40 °C una vez

que la temperatura interna del helado se encuentra entre los -15 y -5 °C se deja almacenar a una temperatura de -30 °C hasta su traslado.

3.4.3 Tendencias en la elaboración de helados

3.4.3.1 *Helados funcionales*

De forma convencional los helados se consideran productos no saludables debido a su elevado contenido calórico a causa de las altas cantidades de grasa y azúcar presente, lo que puede aumentar la predisposición a padecer sobrepeso u obesidad; estas preocupaciones por mejorar la salud han hecho que la población busque alternativas más saludables y funcionales. Por alimentos funcionales se entiende a aquellos productos que confieren un efecto benéfico a la salud y ayuda a reducir el riesgo de padecer enfermedades (Juri-Morales & Ramírez-Navas, 2015).

En el caso de los helados para que se considere funcional se debe reducir el contenido de grasa y/o azúcares, además de la adición de ingredientes que otorguen un beneficio al consumidor; los ingredientes más comunes que se utilizan son fibras dietéticas, probióticos, prebióticos, edulcorantes (Stevia, sucralosa), productos con cantidades notables en compuestos antioxidantes (fenoles, flavonoides, carotenos), omega 3, péptidos bioactivos, entre otros (Genovese et al., 2022).

Entre las ventajas que presenta este tipo de productos es el cuidado a la salud el consumidor, la diversidad de ingredientes, así como la innovación de nuevos sabores o de combinaciones de los mismos, pero a la vez enfrenta varios retos como la variación de costos de las materias primas, además una vez elaborado el helado puede haber conflicto con los aspectos sensoriales que puede hacer que no sea del agrado de los consumidores (Genovese et al., 2022).

Como ejemplo de esta tendencia se encuentra la empresa estadounidense Ben & Jerry's que lanzó en 2016 una línea de helados no lácteos elaborados a partir de proteínas vegetales, además de ser enriquecidos con probióticos; otra empresa que ha incursionado en los helados funcionales son Halo Top proponiendo productos reducidos en azúcar sustituido por edulcorantes como la Stevia, además de un alto contenido proteico de 5 g por cada 85 g de producto helado (The Food Tech, 2024).

3.4.3.2 Crio repostería

A manera de descripción el nitrógeno es un gas incoloro e inodoro que por sí solo es un elemento químico de presencia abundante en el planeta, se puede encontrar en combinaciones nitrogenadas orgánicas, vegetales o animales, además constituye el 78% de los gases de la atmosfera. Para obtener el nitrógeno en su estado líquido es necesario captar el aire para proceder a licuarlo a altas presiones, seguido de esto es llevado a -200 °C para hacer una destilación fraccionaria y así obtener únicamente el nitrógeno aislado, finalmente se almacena y expende en cilindros de acero (Caguana, 2009).

El trabajo con nitrógeno líquido es considerado parte de la cocina de vanguardia la cual busca redefinir y modernizar lo que ya se conoce en la cocina tradicional, su historia comienza en 1901 con Agnes Bertha Marshall (1855-1905) inglesa dedicada a la escritura, la cocina y la invención, ella creía que se podía utilizar el gas en su estado líquido para congelar alimentos al instante. Sin embargo, este principio no fue utilizado en alimentos hasta 1976 por André Daguin, francés que había oído hablar de Agnes y decidió probar dicha teoría en su restaurante, de manera que en 1981 en su libro o 'Le nouveau cuisinier gascon' publica la primera receta usando nitrógeno líquido para la elaboración de un sorbeto de armagnac (armañac) (Caguana, 2009).

Entre las ventajas que posee es un gas inocuo libre de contaminación física, química o microbiológica, permite la congelación de alimentos frescos, congelados o procesados, en el caso de los helados la congelación instantánea favorece texturas más cremosas debido a que impide la formación de cristales que afecten la estructura, mantiene el sabor, color y olor al retardar la degradación enzimática (Caguana, 2009).

Entre los negativo o efectos no deseables son el peligro por mala manipulación, a consideración que este producto debe ser manipulado con mucho cuidado y con la indumentaria adecuada, de ser mal manejado puede ocasionar asfixia por el desplazamiento del oxígeno, quemaduras por la baja temperatura (-196 °C) que posee. En cuestión de producción los contras del nitrógeno son lo fácil que se evapora a temperatura ambiente, por lo que no puede ser reutilizado (Caguana, 2009).

4 JUSTIFICACIÓN

La actual preocupación por el desperdicio de alimentos y la inseguridad alimentaria ha llevado a la necesidad de buscar soluciones innovadoras para la industria de los alimentos. Bajo este contexto, la reformulación de productos como el helado a partir del aprovechamiento de residuos se presenta como una estrategia viable; dicha propuesta se respalda de tres fundamentos: reducir el desperdicio de alimentos, mejorar la calidad nutricional de los productos e igualmente crear alimentos con propiedades superiores a los existentes en el mercado.

En primer lugar, el desperdicio de alimentos es una problemática mundial que impacta económica y ambientalmente, de acuerdo a datos de la FAO un tercio de los alimentos se desperdician (FAO, 2009). Esto se traduce en pérdidas económicas y efectos ambientales negativos a causa del desgastamiento de suelo, el consumo hídrico y la generación de GEI que conlleva el producir esos insumos que no fueron aprovechados (Banco Mundial, 2017).

Otra de las problemáticas que se busca abordar es la inseguridad alimentaria, considerando que en México cerca de 24 millones de personas la padecen, por lo mismo se deben proponer alternativas para reducir este número, tomando en cuenta que cualquier producto que se proponga debe ser saludable y que no promueva malos hábitos alimenticios o el consumo de productos que a largo plazo generen algún daño a la salud del consumidor (Coneval, 2023; Jiménez, 2023).

Por su parte, la elaboración de alimentos a partir de residuos industriales resulta como una alternativa en la producción de alimentos para conseguir un mejor contenido nutricional. La evidencia científica respalda que la gran mayoría de los residuos de la industria alimentaria contiene valiosos nutrientes, compuestos bioactivos o antioxidantes que, de ser incorporados a matrices alimentarias, pueden mejorar notablemente el perfil nutricional (Díaz-Montes, 2022). Ejemplo de esto es la incorporación de fibras y compuestos antioxidantes presentes en materia

vegetal, que pueden contribuir a la prevención de enfermedades crónicas, de esta forma se fomenta hábitos más saludables hacia los consumidores (Alanís-García et al., 2021).

En síntesis, la presente investigación busca demostrar como la elaboración de productos a partir de residuos como la borra de café, el lactosuero y el plátano maduro; es una solución efectiva para combatir el desperdicio de alimentos, y al mismo tiempo contribuye a reducir la inseguridad alimentaria proponiendo productos saludables con mejores propiedades a comparación de los productos ya existentes en el mercado. Con el desarrollo de este trabajo se espera generar un impacto positivo que promueva un enfoque más sostenible concientizando la producción y consumo de alimentos.

5 OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

- Diseñar un helado a partir del aprovechamiento del lactosuero dulce, borra de café y plátano para la mejora de las propiedades nutricionales.

5.2 Objetivos específicos

- Caracterizar el producto por medio de análisis químico proximal (humedad, ceniza, proteína, grasa, fibra) y fisicoquímicos (°Brix y Color) para conocer su aproximación nutricional y a la vez establecer rangos que permitan replicar el producto asegurando la eficacia del proceso.
- Cuantificar el contenido de fenoles y flavonoides por espectrofotometría para saber la concentración de compuestos de interés en SCG y el helado.
- Determinar la capacidad antioxidante por método DPPH y ABTS para comprender la capacidad de estabilización de los radicales en SCG y helado.
- Realizar un análisis sensorial mediante una prueba hedónica con jueces consumidores para saber el nivel de aceptación del producto final.

6 HIPÓTESIS

H1: Elaborar un helado a base de borra de café, lactosuero y plátano maduro permite obtener un producto con mejores propiedades nutricionales y nutraceuticas que los helados comerciales, conservando los compuestos bioactivos de los ingredientes, incrementando el contenido de fibra y propiedades antioxidantes; además de eso fomenta la economía circular al utilizar subproductos de la industria alimentaria.

7 MATERIALES Y MÉTODOS

7.1 Establecimiento del experimento

La realización de la fase experimental del presente trabajo se ubicó en el Instituto de Ciencias Agropecuarias perteneciente a la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo ubicado en Avenida Universidad Km. 1 s/n Exhacienda Aquetzalpa, municipio de Tulancingo, Hgo. Dentro del

instituto se hicieron uso de las siguientes áreas: Laboratorios multidisciplinarios A y B, Laboratorio de Aprovechamiento Agroalimentario y Laboratorio de Nutrición Animal.

Las materias principales que se utilizaron se obtuvieron de diferentes sitios, pero en su mayoría fueron recolectadas dentro del municipio de Tulancingo, por ejemplo, la borra de café se recolectó en cafeterías pertenecientes al municipio, el lactosuero fue obtenido de la empresa Productora Universitaria de Lácteos PROUNILAC ubicada dentro de las instalaciones del instituto, el plátano maduro se obtuvo en el mercado municipal ubicado en la calle Benito Juárez en el centro de Tulancingo.

7.2 Elaboración de la harina de SCG

Una vez recolectado el SCG se sometió a un secado en una estufa de secado (Biomedical, BOV-T70C) a una temperatura de 45°C durante 48 horas, una vez seco se prosiguió a moler el café en un molino eléctrico (INSELY, JB/T20075-2005) y se pasó por un tamiz (Tuler No. 50 mm) para homogeneizar el tamaño de la partícula. Por último, para su almacenamiento se guardó en bolsas especiales para sellarlo al vacío con ayuda de una empacadora (Sangkee, K10142).

7.3 Elaboración de la infusión de SCG

La infusión se realizó en una concentración del 40% p/v diluida en lactosuero previamente, por lo que a cada litro de suero se le agregó 40 g de harina de SCG y se dejó infusionar durante 24 horas a 4°C, posteriormente con ayuda de un embudo y papel filtro para café se separó el lactosuero infusionado del SCG hidratado, ambos productos se almacenaron en refrigeración a una temperatura de 4°C para su futuro uso.

7.4 Elaboración del helado

La preparación del helado comenzó con el pesaje de los ingredientes en una báscula (Torrey, serie L-EQ) basado en las proporciones asignadas en la Tabla 4, posteriormente se llevó a mezclar durante 3 minutos en un procesador de alimentos (Black & Decker, FP4200B-LA), posteriormente se llevó a una máquina para helados (Cuisinart, ICM100T), donde se mezcló por 35 minutos hasta que se obtuvo una mezcla cremada; seguido a esto se pesó y almacenó en congelación a -20°C.

Tabla 4. Formulación estándar del helado

<i>Ingredientes</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>Cantidad (g/1kg)</i>
<i>Lactosuero</i>	40.62	472.5
<i>Plátano maduro</i>	32.82	381.7
<i>Crema para batir</i>	17.19	200
<i>Leche en polvo</i>	4.69	54.5
<i>SCG hidratado</i>	4.69	54.5
<i>Total</i>	100.0	1163.25*

**peso aproximado considerando la perdida por batido y congelación*

7.5 Análisis químico proximal

La composición químico proximal de la harina de la borra de café y el helado, se realizó a partir de las metodologías propuesta por la Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 2003) para los siguientes componentes.

7.5.1 Humedad

Para la determinación de humedad se efectuó el pesaje de la muestra en charolas de aluminio previamente llevadas a peso constante, enseguida se pesaron 3 g de harina de SCG y 10 g de helado respectivamente para pesarlos en la balanza analítica (OHAUS, s/m), enseguida se llevó a un horno de secado de secado (Biomedical, BOV- T70C) a 100°C durante 6 horas; una vez que se cumplió el tiempo se pasó a un desecador para su enfriamiento y así poder tomar la medición del peso, determinando el porcentaje de humedad con la fórmula (1) AOAC (2003).

$$(1) \quad \% \text{ Humedad} = \frac{W^1 - W^2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W₁: Peso de la charola más muestra húmeda (g)

W₂: Peso de la charola con la muestra seca(g)

7.5.2 Ceniza

En la determinación de ceniza se siguió la metodología presente en A.O.A.C. 923.03 (2003), en la cual describe el pesado de la muestra (2 g) en crisoles a peso contante en una balanza analítica (OHAUS, s/m), enseguida con ayuda de un mechero se carbonizó la muestra hasta que ya no presento humo, posteriormente la muestra se llevó a calcinar a la mufla (Craft, S/M) a 550°C durante 4 horas obteniendo cenizas de coloración gris/blanca, por último se llevó a enfriar en desecadores y se prosiguió al pesaje de los crisoles, para el cálculo de ceniza bajo la fórmula (2).

$$(2) \quad \% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso del crisol con ceniza (g)} - \text{Peso del crisol (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

7.5.3 Proteína

De acuerdo a la metodología 955.04 de la AOAC (2003) la determinación de proteína por método Kjeldahl está constituida por 3 fases; primeramente, la muestra se sometió a un proceso de digestión, enseguida se llevó al destilador Kjeldahl y por último se llevó a titulación con ácido hasta que el vire cambio de amarillo a rosa. Una vez con los datos obtenidos se siguió las fórmulas (3) y (4) para conocer el porcentaje de nitrógeno y a partir de este conocer el porcentaje de proteína presente en la muestra.

$$(3) \quad \% \text{ de N} = \frac{(\text{ml muestra} - \text{ml blanco})(\text{mEq N})(\text{normalidad ácido})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

$$(4) \quad \% \text{ Proteina} = (\% \text{ de N})(\text{Factor 6.25}) \times 100$$

7.5.4 Grasa

Con el fin de conocer el contenido de grasa en la harina de SCG se llevó a cabo la metodología Soxhlet (920.39), de manera que la muestra se manipuló en un sistema de extracción de grasa (BUCHI, E816-HE), donde se mantuvo en un proceso de calentamiento seguido de una extracción

y continuamente una destilación. Finalmente se siguió la fórmula (5) para obtener el valor porcentual de la grasa cruda (AOAC, 2003).

$$(5) \quad \% \text{ Grasa cruda} = \frac{\text{Peso del vaso con grasa} - \text{Peso del vaso}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Para la determinación de grasa en el helado se siguió el método Gerber (989.05), para ello se tomaron 5g de la muestra y se colocaron en un butirómetro, ahí mismo se agregó 10 ml de ácido sulfúrico y 1 ml de alcohol isoamílico, enseguida se sometió a agitación para su total incorporación; por último, se llevó a centrifugar durante 5 minutos y se tomó lectura del contenido de grasa marcado en el butirómetro (AOAC, 2003).

7.5.5 Fibra

El contenido de fibra se determinó bajo la metodología (962.09) de la AOAC (2003), para ello fue necesario tener la muestra previamente desgrasada, la cual se pesó y se sometió a dos tipos de hidrólisis, la primera del tipo ácida y la siguiente de tipo alcalina, posteriormente se llevó a secar para finalmente calcinarla y de esta manera obtener los valores de la fibra cruda del producto, siguiendo la fórmula (6).

$$(6) \quad \% \text{ Fibra Cruda} = \frac{W^1 - W^2}{W} \times 100$$

Donde:

W: Peso de la muestra (g)

W₁: Peso del crisol con muestra seca (g)

W₂: Peso del crisol con muestra calcinada (g)

7.6 Color

La determinación de color al helado se realizó por cuadruplicado con 5 repeticiones cada uno, haciendo uso de un colorímetro (Kingwell, JZ-300), siguiendo la escala CIEL*a*b* se registraron

los datos de luminosidad (L^*), coordenadas de coloración entre rojo al verde (a^*) y coordenadas de coloración entre amarillo al azul (b^*) (Valdes Restrepo et al., 2023).

7.7 Grados Brix

La valoración de sólidos solubles totales se realizó por medio de un refractómetro (Yctze, s/m), donde se evaluó el contenido del helado, el lactosuero infundido y del plátano maduro (AOAC, 2003).

7.8 Cuantificación de fitoquímicos

7.8.1 Fenoles Totales

La metodología de cuantificación se realizó por el método Folin-Ciocalteu descrito por Murcia Artunduaga & Castañeda (2022), por medio de espectrofotometría utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (SIGMA, F9252), el cual consiste en una mezcla de ácido fosfotungstico y fosfomolibdico que en exceso junto con fenoles reducen a los ácidos anteriores a óxidos de tungsteno y molibdeno otorgando una tonalidad azul. Para la valoración de la harina de SCG, el lactosuero infundido y el helado se utilizaron 1580 μL de la muestra diluida respectivamente, enseguida se agregaron 100 μL de Folin-Ciocalteu y 300 μL de Na_2CO_3 al 20%. Se dejó reposar media hora y se determinó la absorbancia a 765nm. Se realizó una curva de ácido gálico y los resultados se expresaron como equivalentes de ácido gálico (mg EAG/g).

7.8.2 Flavonoides

La cuantificación de flavonoides se realizó mediante las metodologías descritas por Maksimović et al. (2005) y Montané Ojeda et al. (2021), utilizando quercetina como patrón, reportando como equivalentes de quercetina por gramo (mg QE/g). Se tomaron 1000 μL de disolución de SCG, lactosuero y helado respectivamente a las cuales se adicionaron 1000 μL de la solución Tricloruro de Aluminio (AlCl_3) al 10% en 20 mL de metanol. Después de 30 min a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 415 nm (Maksimović et al., 2005; Montané Ojeda et al., 2021).

7.8.3 Método DPPH

En esta metodología se utilizó el radical DPPH $\cdot$ (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) radical estable que en una disolución metanólica presenta tonalidad violeta intenso con fuerte absorción a 517 nm. El

fundamento de este método es que la muestra sea capaz de atrapar los radicales disponibles, promoviendo la pérdida de color llegando a un amarillo pálido (Molyneux, 2004). Para ello se tomaron 0.05 ml de las muestras con 1.95 ml de la solución DPPH diluido con metanol al 80%, se dejaron reposar por media hora y se tomó lecturas de la absorbancia especificada. Los resultados fueron reportados por % de inhibición (Xiao et al., 2020).

7.8.4 ABTS

En esta determinación se hizo uso del radical ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) debido a que combinado con sulfato cúprico es capaz de reaccionar ante la mayoría de antioxidantes, haciendo un cambio de tonalidad en la muestra de azul hasta llegar a neutra. De manera que para la determinación de ABTS en la harina de SCG, del lactosuero y del helado se adicionaron 1450µl del radical más 50µl de la muestra diluida en agua destilada, seguido de esto, se dejó reposar durante 30 minutos y se tomó lectura en el espectrofotómetro a una absorbancia de 700nm (Xiao et al., 2020).

7.9 Prueba sensorial

Se realizó una prueba de aceptabilidad con 100 jueces consumidores para conocer la aprobación del producto final del helado, a cada evaluador se le entregó una muestra del producto junto con una boleta como la que se observa en la Ilustración 2, la cual contaba con 3 parámetros (sabor, olor y textura), en cada parámetro se encontraba una escala hedónica de 5 puntos siendo 1 “me desagrada mucho” y 5 “me agrada mucho”.

Sexo: F ☐ M ☐ Edad: _____ Frecuencia de consumo de helado: _____

Instrucciones: Frente a usted se encuentra una muestra de helado, la cual deberá probar, para posteriormente subrayar en este formato el nivel de agrado en relación con el sabor, olor y textura del producto, Recordando que si ingirió alimentos o bebidas previos a esta prueba deberá limpiar su paladar con el agua proporcionada. Si existe alguna observación relacionada al producto, favor de anotarlo en observaciones.

Sabor

Me desagrada mucho	Me desagrada	No me agrada ni me desagrada	Me agrada	Me agrada mucho
--------------------	--------------	------------------------------	-----------	-----------------

Olor

Me desagrada mucho	Me desagrada	No me agrada ni me desagrada	Me agrada	Me agrada mucho
--------------------	--------------	------------------------------	-----------	-----------------

Textura

Me desagrada mucho	Me desagrada	No me agrada ni me desagrada	Me agrada	Me agrada mucho
--------------------	--------------	------------------------------	-----------	-----------------

Observaciones: _____
Gracias por su participación!!

Ilustración 2. Formato de análisis sensorial

7.10 Análisis estadístico

En la presente investigación se realizó un análisis descriptivo, en el cual las pruebas se llevaron a cabo por triplicado y los datos fueron expresados como medias.

8 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1 Análisis químico proximal

Los resultados obtenidos del análisis bromatológico a la harina de SCG y al helado, se pueden observar en la Tabla 5.

8.1.1 Humedad en SCG y helado

En primer lugar, se observa el parámetro de humedad el cual resulta relevante para conocer el contenido de agua presente en el producto, siendo un dato importante para considerar la estabilidad y vida útil del producto evaluado. Primeramente la harina de borra de café obtuvo un porcentaje de 11.71 ± 1.04 , valor que indica el bajo contenido de agua presente, lo cual resulta relevante debido al proceso de secado que se le dio a la borra de café para reducir la humedad después de su tratamiento térmico para la obtención de la bebida de café, por lo que se asume eficiente el tratamiento de secado previo a la molienda para la obtención de la harina de borra de café; no obstante la cifra permanece dentro del rango propuesto por Cavanagh et al. (2023)

quien en su artículo señaló que la borra de café puede tener un porcentaje de humedad de 7.5 a 11.7, variando por el tipo de pretratamiento que se le de al ripio del café, además de eso la temperatura es importante considerando que si se sometió a elevadas temperaturas durante el tostado o el secado de la borra de café en consecuencia esta tendrá menor contenido de humedad pero mayor presencia de aromas que pueden ir desde ligeramente tostado a un tostado muy intenso (Campos-Vega et al., 2015; Mussatto et al., 2011).

En el caso del helado el valor obtenido fue de $71.09 \pm 1.99\%$, esta cifra se considera mayor a la estimada por López (2022) refiriendo como su rango de valores 61.21–66.88% para bases de helados convencionales; de manera, que el helado previamente elaborado puede ser más susceptible a la cristalización y esto a su vez promueve la textura arenosa o quebradiza del helado. A pesar de resultar un valor mayor, esto se excusa por la adición de lactosuero debido a que por sí solo el lactosuero posee aproximadamente un 95% de humedad, por lo mismo algunos autores recomiendan no exceder el 25% de adición de lactosuero a los helados artesanales (Arteaga Muñoz et al., 2017; Callejas Hernández et al., 2012).

8.1.2 Ceniza en SCG y helado

El siguiente parámetro observado es el contenido de ceniza, el cual permite tener una aproximación del contenido mineral basado en la descomposición de la materia orgánica por medio de la calcinación dejando así el contenido inorgánico del producto; en el caso de la borra de café se obtuvo un contenido de $1.91 \pm 0.03\%$ cifra que resulta afín al rango propuesto por Cavanagh et al. (2023), dichos autores consideraron que el contenido de ceniza podía variar de 1.3 a 2.77% detallando la presencia de minerales como el magnesio, sodio, potasio y calcio. La muestra correspondiente al helado obtuvo un porcentaje de 1.00 ± 0.03 respecto al contenido de ceniza, cifra que se contempla similar a la propuesta por López (2022) quien sugiere un rango de 0.93 a 1.16% en el contenido de ceniza en base de helado convencionales, igualmente considerando su alto porcentaje en lactosuero se compara el contenido de ceniza con el de helados elaborados con lactosuero, siguiendo el trabajo de Salazar Cerda et al. (2024) quienes se encargaron de caracterizar un helado con un contenido porcentual de 71.72 de lactosuero tanto líquido como sólido dando como resultado un porcentaje de ceniza de 1.5%, siendo un valor

mayor al que se obtuvo en este trabajo por lo que se puede concluir que el contenido de lactosuero no aumento ni disminuyo el contenido de cenizas en el helado.

Tabla 5. Composición químico proximal

	<i>Harina de SCG</i>	<i>Helado</i>
<i>Humedad (%)</i>	11.71 ± 1.04	71.09 ± 1.99
<i>Ceniza (%)</i>	1.91 ± 0.03	1.00 ± 0.03
<i>Proteína (%)</i>	11.18 ± 0.25	5.67 ± 0.35
<i>Grasa (%)</i>	9.64 ± 0.66	16
<i>Fibra (%)</i>	35.38 ± 0.31	1.24 ± 0.18
<i>Carbohidratos (%)</i>	30.18 ± 1.95	5.94 ± 2.55

n=3, $\pm$ representa desviación estándar

Fuente: Autoría propia

8.1.3 Proteína en SCG y helado

El tercer parámetro presente en la Tabla 5 es el contenido de proteína, el cual se determinó por método Kjeldahl uno de los más preciso para determinar el contenido de nitrógeno, compuesto principal de los aminoácidos que componen las proteínas, por lo que ayuda a tener una cifra más exacta. En relación a la borra de café se obtuvo una cifra de $11.18 \pm 0.25\%$ valor que al ser comparado con otros resultados en la literatura resulta ser menor; a manera de comparación en el trabajo realizado por Cavanagh et al. se propuso un rango de 13.6 a 17.4 en porcentaje de proteína; no obstante esto se puede explicar con el trabajo de Gómez-Merino et al. quienes mencionan que la especie de café Robusta en México posee un contenido proteico de 10.1% a comparación del café Robusta proveniente de Brasil el cual contiene 10.3% de proteína, esto variando por los aminoácidos libres presentes en los compuestos aromáticos que posee cada café (Cavanagh et al., 2023; Gómez-Merino et al., 2018).

El helado obtuvo un porcentaje de proteína de 5.67 ± 0.35 , valor que resulta favorecedor si se compara con el contenido de proteína presente en los diferentes tipos de helados comerciales comparados en la Tabla 3, donde se puede observar que el contenido de proteína abarca desde

1.3 g hasta 4.6 g por cada 100 gramos del producto. El resultado obtenido en el helado se puede justificar con los materiales agregados, contemplando que la borra de café y el lactosuero poseen un contenido considerable de proteína; en el caso del lactosuero, por si solo puede poseer un contenido proteico de 7 a 12 g/Kg, y en el caso de la borra de café se retoma el valor obtenido de 11.18%, por lo que resultan la fuente más viable de donde se obtuvo la proteína (Callejas Hernández et al., 2012).

8.1.4 Grasa en SCG y helado

El siguiente criterio que se evaluó fue el contenido de grasa, haciendo uso del método Soxhlet, debido a que su ciclo de extracción basado en la solubilidad selectiva de los lípidos, permite una cuantificación más exacta. En relación a la Harina de SCG se encontró que su contenido de grasa es de 9.64%, cifra que se sitúa ligeramente por debajo del rango propuesto por Cavanagh et al. (2023), quienes establecen valores entre 10% y 29%. Esta diferencia de valores se puede atribuir a la proporción de café especie Robusta y Arábica contenida en la borra, además de variaciones por el lugar de origen; para respaldar esta teoría se apoya el trabajo de Gómez-Merino et al. (2018) quienes indican que hay cafés con contenido lipídico desde 6.7%, lo que sugiere que el valor obtenido en este estudio incluso podría considerarse superior al recomendado por ellos. Esta cantidad resulta relevante, ya que fomenta la incorporación de lípidos indispensable en la matriz del helado.

En el caso de la determinación de grasa del helado se optó por el método Gerber siguiendo la recomendación de la NOM-243-SSA1-2010 debido a que este método resulta más apropiado por la composición del producto. El resultado obtenido fue de 16% siendo una cifra similar a la encontrada en helados comerciales por PROFECO quien propone un rango de 4.3 a 16.1 g por cada 100 g del producto; en este caso se considera la crema de batir y la borra de café las principales fuentes de la materia grasa, tomando en cuenta que la crema para batir utilizada posee 30.1 g por cada 100 g, y la borra de café posee 9.64%.

8.1.5 Fibra en SCG y helado

El contenido de fibra se calculó a partir de la obtención del contenido de residuos celulósicos que quedan después de digestión en medio ácido y alcalino. En esta investigación, el resultado obtenido fue de $35.38 \pm 0.31\%$, en comparación Cavanagh et al. (2023) obtuvieron un rango

entre 24.1 y 60.5% de fibra dietética total, de ese 24.1% de la fibra se divide en 17.8% como soluble y 6.31% insoluble; por lo que se puede asegurar que el valor obtenido es semejante a los resultados previamente obtenidos, y con ello se considera la borra de café como una buena fuente de fibra que puede ser adicionada a formulaciones como helados que por si solo tienen un contenido nulo o muy bajo de fibra.

El helado obtuvo un valor de $4.54 \pm 5.71\%$ cifra que resulta mayor a la existente en helados, de acuerdo a la USDA Food Data en promedio los helados poseen 0.7 g de fibra, la razón de que este producto posea esta cifra se debe principalmente a la adición de la borra de café siendo el ingrediente con mayor contenido de fibra (USDA, 2019). De acuerdo a la National Academy of Medicine, mujeres y hombres adultos menores a los 50 años diariamente deben consumir 25 y 38 g de fibra respectivamente, por lo que si las personas consumen el helado obtienen una cantidad de 18.16% y 11.94% de fibra dietética lo que resulta beneficioso para el consumidor debido a los amplios beneficios estudiados de la fibra entre los que destacan la reducción de estreñimiento, mejora en la microbiota intestinal, así mismo, la mejora de niveles de colesterol y glucosa sanguínea; de manera que ofrece beneficios mas amplios que los helados convencionales siendo un producto más atractivo para la salud del público consumidor (Alanís-García et al., 2021).

8.1.6 Carbohidratos en SCG y helado

El contenido de carbohidratos es la diferencia de valor que existe al sumar todos los parámetros anteriores para llegar al 100%, en el caso de la borra de café se obtuvo $30.18 \pm 1.95\%$ lo cual resulta menor a 66.9 y 82% cifras del rango que proponen Cavanagh et al. (2023). En el helado el valor que se obtuvo fue $3.45 \pm 2.55\%$ lo cual resulta menor a los valores de otros helados comerciales, comúnmente los helados poseen un contenido de 8.2 a 28.5 g/100g; la razón por la que el producto obtuvo una cifra menor es el contenido de azúcares presente, eso a razón de que en este producto no contiene azúcares añadidos, lo cual disminuye notablemente el porcentaje de carbohidratos (PROFECO, 2024).

8.2 Color

El sistema CIELAB, es una metodología utilizada para evaluar el color de alimentos de manera objetiva estandarizando el color del producto, por lo cual se este sistema se considera un

importante parámetro de calidad en alimentos. Su fundamento se basa principalmente en tres coordenadas: L^* , a^* y b^* , facilitando comparaciones precisas entre muestras, el rango L^* representa la luminosidad, con valores de 0 (negro) a 100 (blanco), indicando cuán claro u oscuro es un objeto; el rango a^* expresa la posición en la escala de verde (-) a rojo (+); y el b^* indica la posición en la escala de azul (-) a amarillo (+) (Valdes Restrepo et al., 2023).

Tabla 6. Colorimetría del helado

<i>Muestra</i>	L^*	a^*	b^*
<i>Helado</i>	20.05 ± 3.13	4.69 ± 3.75	1.87 ± 1.66

El resultado de las coordenadas permiten describir el color de forma tridimensional y reproducible, siendo útiles para evaluar el impacto de ingredientes, procesos o almacenamiento en el color final de un producto alimenticio, en el caso del helado esta prueba es clave para garantizar la uniformidad visual y comprender cómo los ingredientes influyen en su apariencia; en la Tabla 6 se puede observar los valores obtenidos; primeramente el parámetro de L^* obtuvo un valor de 20.05 ± 3.13 lo cual indica su cercanía tonos más oscuros cercanos al negro, lo que se explica por la adición de SCG en el producto, por si solo el grano de café tostado posee valores de 19.47 en luminosidad, valor que resulta mínimamente más oscuro al obtenido en el helado, esto se debe al uso de ingredientes con totalidades claras como el lactosuero y la crema para batir que al tener tonos amarillos y blancos respectivamente influyen en la luminosidad (Valerio-Cubillo et al., 2016).

Ejemplo de lo mencionado es el resultado de Osorio-Arias et al. (2020) quienes crearon un biopolímero de lactosuero con 10% de SCG obteniendo un valor de luminosidad de 58.97 ± 3.75 estando en un nivel intermedio debido a la concentración predominante de lactosuero y aditivos espesantes que poseen tonalidades claras o cercanas al blanco. En el caso del parámetro a^* este helado posee un valor de 4.69 ± 3.75 cifra que indica mayor predisposición a tonos rojizos, pero al ser un valor bajo se presume similitud a tonos grisáceos, esto en parte se debe a la borra de café y al lactosuero que predominan en la tonalidad del producto; en el parámetro b^* la cifra fue de 1.87 ± 1.66 ubicándose en el sector de cercano al amarillo lo cual puede estar relacionado al

uso del plátano maduro que posee tonalidades cercanas a dicho color. Para comparar la diferencia de color se comparó el trabajo de (Galvez & Mérida, 2022) quienes determinaron el color de un helado de vainilla el cual tuvo los siguientes valores 81.27 ± 1.51 en L^* 0.13 ± 0.01 en a^* y 10.38 ± 0.34 en b^* , por lo que se puede observar una luminosidad más acercada al blanco, con un valor menor en el rango a^* que igualmente indica tonos claros o blancos en la escala de los rojizos y en el apartado b^* se observa un color mayor al obtenido en este helado por lo que este tiene tonalidades amarillas más notorias, en base a lo anterior, se puede concluir que la borra de café influye significativamente en el color del helad; sin embargo, como producto esto resulta positivo debido a que le da un color personalizado diferente a lo comercialmente visto priorizando su color natural sin el uso de aditivos que haga diferente su color reforzando el perfil saludable del producto.

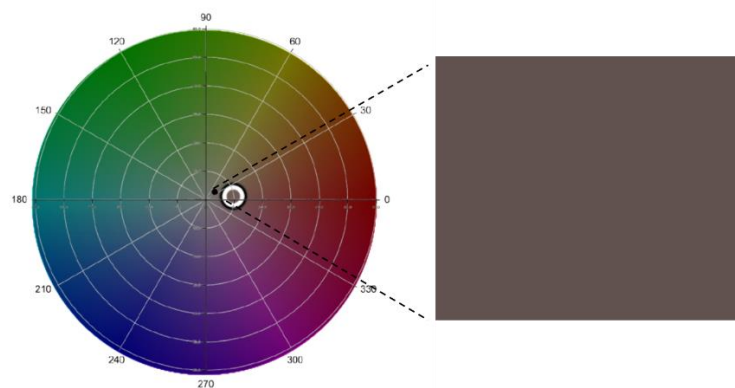


Ilustración 3. Determinación de color del helado

8.3 Grados Brix

A partir de la medición de azúcares por grados brix con ayuda del refractómetro se obtuvieron los datos presentes en la Tabla 7.

La primera muestra que se evaluó fue el plátano madurado el cual obtuvo 21.35°Bx , valor que resulta coherente a lo reportado por Quiceno et al. (2014) quienes evaluaron el incremento de solidos solubles totales durante los primeros 7 días después del corte de la penca de plátanos, obteniendo un valor de 19°Bx . Para el trabajo realizado este resultado es imprescindible para

considerar el dulzor del helado, debido de que el helado no posee azúcares extras y la principal fuente de dulzor resulta ser el plátano.

La siguiente muestra evaluada fue el lactosuero infundido que logro una cifra en grados brix de 7.86 ± 0.11 valor que resulta mayor a la cifra propuesta por Ortiz-Ávila et al. (2018) la cual es de 6.4°Bx , esta cifra pudo variar debido al tratamiento previo del lactosuero que permitió tener mayor contenido de solidos solubles totales, factores como la calidad de la leche y la manipulación en las industrias queseras puede variar las cifras.

Por último, la muestra del helado obtuvo $32.73 \pm 2.75^\circ\text{Bx}$ valor que se comparó con el trabajo de Choi & Shin quienes obtuvieron un rango de 34.7 a 36.6°Bx en diferentes marcas de helados, por lo que se considera que el helado elaborado para este trabajo posee un menor contenido de azúcares, sin embargo, era un resultado previsto considerando que previamente se mencionó la falta de adición de azúcar en el producto (Choi & Shin, 2014).

Tabla 7. Determinación de Grados Brix

<i>Producto</i>	<i>Grados Brix ($^\circ\text{Bx}$)</i>
<i>Plátano</i>	21.35 ± 0.31
<i>Lactosuero infundido</i>	7.86 ± 0.11
<i>Helado</i>	32.73 ± 2.75

n=3, $\pm$ representa desviación estándar

Fuente: Autoría propia

8.4 Cuantificación de fitoquímicos

8.4.1 Fenoles Totales

En esta prueba la borra de café obtuvo una cifra de 34.93 mg EAG/g resultado que resulta mayor a $1.37\text{-}2.23 \pm 1.23 \text{ mg EAG/g}$ cifra que fue obtenida por Cortes et al. (2017) en su trabajo de investigación sobre la determinación antioxidante de subproductos del café colombiano,

considerando que las variaciones se pueden deber a que se produjeron en países diferentes, así como el tratamiento que se le da al café.

En el caso del lactosuero infusionado se consiguió un contenido de 25.02 ± 1.02 mg EAG/g, lo cual resulta menor al valor obtenido por Zarate-Meza et al. (2023) quien caracterizó una bebida de suero dulce obteniendo un valor de 35.6 ± 1.13 mg EAG/g, esta variación puede deberse a 2 factores importantes; el primero es el suero debido a que Zarate-Meza et al. utilizó mayor cantidad del lactosuero a comparación del helado, además el lactosuero que ellos utilizaron estaba hidrolizado previamente por lo que posee mayor presencia de compuestos fenólicos. Otro factor a influir pudo ser la adición de agraz y uchuva frutos que utilizaron Zarate-Meza et al. para complementar su bebida; estos productos son ricos en antioxidantes como lo son fenoles, antocianinas y flavonoides, por lo cual pueden incrementar el contenido de fenoles totales. Debido a los resultados obtenidos se puede asumir que la infusión de borra de café al 40% en lactosuero no tiene un efecto relevante al contenido de fenoles.

En el caso de la muestra de helado se obtuvo 16.26 ± 0.14 mg EAG/g valor que se puede considerar en rango mencionando el poco estudio de fenoles en helados convencionales además de la significativa variación de valores, por ejemplo, Srinu et al. (2021) obtuvieron 8.75 ± 0.08 mg EAG/g en la determinación de fenoles de un helado convencional mientras que Sanguigni et al. (2017) lograron 96 mg EAG/g en su determinación. La amplia variación encontrada en la literatura se debe a los ingredientes utilizados, debido a que incrementa o reduce el contenido de grasa, lo que afecta la determinación; contemplando la presencia de ácido cafeico y ferúlico en la SCG, dichos compuestos fenólicos migran a la fracción grasa del producto para actuar frente a la oxidación de las grasas, por lo que reducen el alcance del reactivo Folin-Ciocalteu que normalmente actúa en medios acuosos (Kiokias & Oreopoulou, 2022).

De manera que el helado si posee un contenido de fenoles, que al paso del tiempo actúan como antioxidantes para los lípidos presentes en el helado, ayudando a mantener emulsionada la mezcla lo cual permite prolongar la vida de anaquel del producto (Kiokias & Oreopoulou, 2022).

8.4.2 Flavonoides

En la evaluación del contenido de flavonoides, la harina de SCG arrojó un valor de 22.46 ± 0.25 mg QE/g cifra semejante a la reportada por (Ansori et al., 2021), quienes obtuvieron 20.66 ± 5.15 mg QE/g en un extracto de borra de café de la especie robusta, empleando el método de ultrasonido con etanol como disolvente. Sin embargo, en el mismo estudio también se analizaron por ultrasonido otras dos especies de café (Arábica y Liberica), las cuales obtuvieron valores de 78.24 ± 7 y 71.64 ± 2.57 mg QE/g, respectivamente. Por lo tanto, el valor obtenido en el presente trabajo podría considerarse bajo en comparación; pero es importante destacar que el uso de ultrasonido favorece la transferencia de masa mediante el efecto de cavitación, por lo que, en ese contexto, el valor obtenido en esta investigación resulta aceptable siendo un método más simple y más económico.

La muestra del lactosuero infusionado obtuvo un contenido de flavonoides de 3.96 ± 0.02 mg QE/g valor que resulta mayor a 2.11 mg QE/g, cifra obtenida por Jiménez-Castillo et al. (2018) quienes analizaron el contenido de flavonoides en una bebida a base de lactosuero y mango; por lo que se puede inferir que el contenido de la borra de café influye positivamente en el contenido de flavonoides de la infusión.

La muestra de helado obtuvo 2.48 ± 0.02 mg QE/g valor que resulta ser mayor al esperado, debido a que por si solo el helado posee un contenido de flavonoides de 0.18 ± 0.02 mg QE/g, por lo que la borra de café y el lactosuero si aumenta el contenido de flavonoides lo que resulta beneficioso para la composición del helado debido a que los flavonoides poseen una estructura funcional la cual puede otorgar estabilidad oxidativa a los lípidos, de manera que los flavonoides actúan como antioxidantes del producto, sin embargo, dicho mecanismo también limita la disponibilidad de flavonoides a la hora de consumir el producto (Kiokias & Oreopoulou, 2022; Ullah et al., 2015).

Tabla 8. Composición antioxidante

	<i>Fenoles totales</i>	<i>Flavonoides</i>	<i>DPPH</i>	<i>ABTS</i>
	(mg EAG/g)	(mg QE/g).	% de inhibición	% de inhibición
<i>Borra de café</i>	34.93 ± 0.13	22.46 ± 0.25	76.94 ± 1.57	77.31 ± 1.29

<i>Lactosuero</i>	25.02±1.02	3.96±0.02	66.11±3.83	46.60±9.06
<i>infusionado</i>				
<i>Helado</i>	16.26±0.14	2.48±0.02	40.55±3.93	34.80±6.16

n=3, ± representa desviación estándar

Fuente: Autoría propia

8.4.3 DPPH

En la determinación de la capacidad antioxidante mediante el radical libre DPPH, el presente estudio obtuvo un porcentaje de inhibición del $76.94 \pm 1.57\%$, dicho valor puede considerarse elevado y por encima de lo inicialmente esperado; al comparar este resultado con los datos reportados por Ansori et al. (2021), se observa que los valores se encuentran dentro de un rango similar, específicamente entre $75.04 \pm 1.46\%$ y $89.78 \pm 2.87\%$, lo cual indica una semejanza con investigaciones previas, aun incluso cuando estas emplearon métodos de extracción más avanzados, como el ultrasonido. Una posible explicación para este desempeño comparable podría estar relacionado con el tamaño de partícula del material analizado, considerando que la reducción del tamaño de partícula de la harina de SCG favoreció la ruptura de estructuras celulares lo que facilita la liberación de compuestos bioactivos y de esta manera mejora en la disponibilidad de los compuestos.

En el caso de la infusión de lactosuero se obtuvo 66.11 ± 3.83 de porcentaje de inhibición, valor que resulta mayor al propuesto por Zhidong et al. (2012) quienes determinaron el porcentaje de inhibición de la proteína de suero de leche hidrolizada obteniendo así una cifra de 31.48% de inhibición. La variación de cifras puede considerarse producto del tratamiento que se le dio al lactosuero al infusionarlo, lo que pudo aumentar su capacidad antioxidante, además de los compuestos bioactivos ya presentes en el lactosuero.

El resultado que se obtuvo a partir de la muestra del helado fue del $40.55 \pm 3.93\%$ de inhibición del radical DPPH cifra que, aunque parece baja al compararla con la del lactosuero infusionado pero que es mayor a la de un helado convencional; de acuerdo a Singh et al. (2025) un helado posee $7.25 \pm 0.02\%$ de inhibición del radical valor que resulta mayor si se compara al obtenido en el trabajo de Ullah et al. (2015) quienes obtuvieron un porcentaje de inhibición de 5.63 ± 0.19 .

Por lo que se asume que la capacidad de inhibición de radicales libres por parte del helado es buena, sin embargo, puede haber disminuciones por el contenido graso presente en el helado.

8.4.4 ABTS

En la metodología para determinar la capacidad antioxidante por inhibición del radical *Ácido 2,2'azinobis(3etilbenzotiazolina6sulfónico)*, la harina de SCG tuvo $77.31 \pm 1.29\%$ de inhibición cifra que resulta menor a la esperada considerando el trabajo de Ozuna et al. (2020) quienes obtuvieron $83.00 \pm 2.13 \%$ de inhibición en muestras de SCG mexicano, algunos de los motivos por los que se presentó esta disminución fue la especie del café y las extracciones previas que sufrió el producto en cuestión, los mismos autores apoyan esta hipótesis en su trabajo demostrando que después de la cuarta extracción de el mismo café el porcentaje de inhibición puede bajar hasta 9.03 ± 0.56 ; lo que hace suponer que el café utilizado en este trabajo fue sometido a extracciones más de una vez, pero no lo suficiente para haber perdido sus propiedades antioxidantes, por lo que aún se considera que tiene una buena capacidad antioxidante.

En relación a la muestra de lactosuero infusionado se obtuvo una cifra de inhibición de $46.60 \pm 9.06\%$ lo cual resulta semejante a lo esperado, considerando que por si solo el lactosuero puede tener un porcentaje de inhibición entre 25.10 a 35.31 con variaciones relacionadas al tratamiento térmico previo durante la elaboración del queso (Ortega et al., 2015). A razón de lo mencionado previamente la muestra del lactosuero presenta un mayor contenido al promedio debido a la adición de la borra de café que también posee un valor de inhibición importante.

En cuanto a la muestra de helado se obtuvo $34.80 \pm 6.16\%$ de inhibición, valor que resulta mayor a los valores de helados convencionales; de acuerdo a Shazly et al. (2022) un helado convencional tiene $9.56 \pm 0.65\%$ de inhibición, de igual forma los mismos autores analizaron un helado con el 3% de café obteniendo un valor de inhibición de $49.92 \pm 1.32\%$, de manera que el helado de esta investigación si tiene un poder antioxidante pero es menor al que se obtiene de un producto con café de una primera extracción. No solo el contenido de SCG afecto el resultado obtenido si no también el contenido de materia lipídica limita la disponibilidad, debido a que gran parte de los

compuestos bioactivos ejercen un poder antioxidante para proteger los lípidos de la oxidación y mantener la estabilidad del producto (Ullah et al., 2015).

8.4.5 Análisis Sensorial

Para conocer la aceptación del helado, se realizó una prueba de aceptación a 100 personas de las cuales 70 resultaron mujeres y 30 hombres; con un rango de edad de 17 hasta los 25 años; en cuanto a los resultados obtenidos se pueden observar en la Tabla 9, el primer criterio fue el sabor en el cual solo una persona le desagradó mucho, a 14 personas más les desagradó, mientras que a 37 no les agradó ni les desagradó por lo que podría considerarse como una postura neutral, a 43 de los participantes les agradó y a 5 les agradó mucho; de manera que el valor predominante fue que el agrado hacia el sabor del helado; a manera de observación algunos de los participantes describieron que no puntuaban más alto el producto debido a que el sabor no era dulce e incluso sugerían la adición de azúcar.

En el caso del olor del helado una persona votó porque le desagradaba mucho, 12 consumidores más votaron por la opción de “me desagradó”, 29 personas votaron por el número 3 interpretando que no les agradó ni les desagradó, 47 de los votos los obtuvo el valor que indicaba que les agradaba y a 11 más les agradó mucho; a razón de los resultados previos se considera que la moda de los resultados fue el valor que indica que les agrada mucho, entre los participantes que colocaron un valor bajo comentaron que su puntuación se debía al olor a plátano el cual no les agradaba.

En el caso de la textura el valor 1 que indica “me desagradó mucho” obtuvo 3 votos, el siguiente valor que indica “me desagradó” tuvo 22 votos, a parte 38 personas votaron por el valor 3 siendo el valor con más votos, seguido del valor 4 que fue votado por 28 personas, y las últimas 9 personas votaron que les agradaba mucho. A manera de reflexión se considera que la textura no terminó de convencer a los consumidores, algunos señalaron que su voto se debió a que la textura les parecía extraña por la presencia de la borra de café, a algunos les parecía interesante, pero a otros más les resultó algo incómodo visualmente o gustativamente.

Tabla 9. Prueba de aceptación del helado

<i>Valor</i>	<i>Sabor</i>	<i>Olor</i>	<i>Textura</i>
<i>1 (me desagradó mucho)</i>	1	1	3
<i>2 (me desagradó)</i>	14	12	22
<i>3 (no me agrada ni me desagradó)</i>	37	29	38
<i>4 (me agrada)</i>	43	47	28

<i>5 (me agrada mucho)</i>	5	11	9
<i>TOTAL</i>	100	100	100

9 CONCLUSIÓN

A partir de todo lo analizado anteriormente, se puede considerar que la formulación del helado a base de borra de café, lactosuero y plátano maduro representa una alternativa innovadora y sustentable que contribuye activamente a la reducción del desperdicio alimentario y al aprovechamiento de subproductos infravalorados en la industria.

Este producto destaca varias cualidades como un contenido reducido de azúcares, debido a la ausencia de azúcares añadidos y al aprovechamiento de los azúcares naturales del plátano; así mismo la borra de café aportó fibra dietética mejorando su perfil frente a productos comerciales similares, que en la actualidad no lo poseen, igualmente el lactosuero contribuyó al contenido proteico del producto, por lo que cada ingrediente favoreció la calidad nutricional del producto logrando el cometido del trabajo.

Uno de los aspectos más relevantes del producto es su aporte en compuestos bioactivos, particularmente fenoles totales y flavonoides, los cuales confieren una actividad antioxidante frente a los radicales DPPH y ABTS. Si bien los valores obtenidos no fueron elevados en comparación con otros alimentos funcionales, resultan satisfactorios dentro del contexto del helado y demuestran una mejora significativa respecto a las formulaciones convencionales, que suelen carecer de estas propiedades. Este efecto antioxidante, aunque moderado, es funcional y evidencia el potencial del producto como vehículo para promover la salud.

En cuanto a la aceptación sensorial, se observó una respuesta favorable en atributos como sabor y olor, lo cual indica un buen nivel de aceptación inicial. No obstante, la textura fue percibida como poco común por algunos consumidores, lo que representa un aspecto a seguir optimizando en futuras reformulaciones.

Finalmente, este producto se alinea con las nuevas tendencias alimentarias enfocadas en la salud del consumidor, al promover el uso de ingredientes funcionales y sustentables. Se concluye que este helado tiene un alto potencial como alimento funcional innovador, orientado a mejorar la nutrición y fomentar prácticas responsables en la cadena alimentaria.

10 BIBLIOGRAFÍA

- Alais, C. (2018). *Ciencia de la leche*. Editorial Reverté.
<https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5809938>
- Alanís-García, E., González-Rubio, P. Y., Delgado-Olivares, L., & Cruz-Cansino, N. del S. (2021). Fibra dietética: historia, definición y efectos en la salud. *Educación y Salud Boletín Científico Instituto de Ciencias de La Salud Universidad Autónoma Del Estado de Hidalgo*, 9(18), 187–195.
<https://doi.org/10.29057/icsa.v9i18.6604>
- Alcalde, J. & V. G. (2023). Comercialización y producción de café, un análisis cultural en la zona de Hidalgo, México. *South Florida Journal of Development*, 4(3), 1164–1182.
<https://doi.org/10.46932/sfjdv4n3-012>
- Ansori, N. I., Zainol, K. M., & Zin, Z. (2021). Antioxidant Activities of Different Varieties of Spent Coffee Ground (SCG) Extracted Using Ultrasonic-Ethanol Assisted Extraction Method. *Universiti Malaysia Terengganu Journal of Undergraduate Research*, 3, 33–42.
<https://doi.org/10.46754/umtjur.2021.07.004>
- AOAC. (2003). *Official Methods of Analysis of the Association of Official's Analytical Chemists* (17th ed.). Association of Official Analytical Chemists.
- Arteaga Muñoz, J. D., Zambrano Espinoza, M. G., Llor Saltos, L. J., Zambrano Morán, J. R., & Rivera Fernández, R. D. (2017). Características sensoriales de un helado artesanal elaborado con lactosuero. *ESPAMCIENCIA*, 8, 69–73.
- Asas, C., Llanos, C., Matavaca, J., & Verdezoto, D. (2021). Whey: environmental impact, uses and applications via biotechnology mechanisms. *Agroindustrial Science*, 11(1), 105–116.
<https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.13>
- Badui-Dergal, S. (2006). *Química de los alimentos* (4th ed.). Pearson Educación.
- Balaguera-López, H. E., Salamanca- Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera-Arévalo, A. (2014). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302–313. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>
- 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(12), 3493–3503.
<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>
- Banco Mundial. (2017). *Pérdidas y Desperdicios de Alimentos en México*. <http://www.copyright.com/>.
- Barrera, V. J. L., Arrazola, P. G., & Cayón, S. D. G. (2010). Caracterización fisicoquímica y fisiológica del proceso de maduración de plátano Hartón (musa AAB Simmonds) en dos sistemas de producción. *Acta Agronómica*, 59(1), 20. <https://doi.org/10.12.09>
- Bartra, A. C. R. & P. P. L. (2011). *La hora del café* (CONABIO).
- Bravo, J. , & Arbillaga. (2012). Aplicación del ensayo del cometa para evaluar el efecto antioxidante de posos de café. In *Spanish Journal of Environmental Mutagenesis and Genomics* (Vol. 20, Issue 1). <https://ojs.diffundit.com/index.php/sema/issue/view/89>

- Bravo, J., Juárez, I., Monente, C., Caemmerer, B., Kroh, L. W., De Peña, M. P., & Cid, C. (2012). Evaluation of spent coffee obtained from the most common coffeemakers as a source of hydrophilic bioactive compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(51), 12565–12573. <https://doi.org/10.1021/jf3040594>
- Caguana, T. F. P. (2009). *Elaboración de un manual para el procesamiento de helados artesanales mediante el uso de nitrógeno líquido, aplicando normativa sanitaria, BPM, POES Y HACCP*. Universidad de Cuenca.
- Callejas Hernández, J., Prieto García, F., Reyes Cruz, V. E., Marmolejo Santillán, Y., & Méndez Marzo, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11–18. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41623193002>
- Camacho, J., Orbe, K., Gordillo, M., Buitrón, J., Garzón, J. P., & Rodríguez I., L. F. (2018). *Obtención de jarabe de plátano (Musa paradisiaca) mediante hidrólisis enzimática*. 183. <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5055>
- Campos-Nonato, I., Galván-Valencia, O., Hernández-Barrera, L., Oviedo-Solís, C., & Barquera, S. (2023). Prevalence of obesity and associated risk factors in Mexican adults: results of the Ensanut 2022. *Salud Publica de Mexico*, 65. <https://doi.org/10.21149/14809>
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., Vergara-Castañeda, H. A., & Dave Oomah, B. (2015). Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. In *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 45, Issue 1, pp. 24–36). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- Castro-Muñoz, R., Díaz-Montes, E., Gontarek-Castro, E., Boczkaj, G., & Galanakis, C. M. (2022). A comprehensive review on current and emerging technologies toward the valorization of bio-based wastes and by products from foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(1), 46–105. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12894>
- Cavanagh, Q., Brooks, M. S. L., & Rupasinghe, H. P. V. (2023). Innovative technologies used to convert spent coffee grounds into new food ingredients: Opportunities, challenges, and prospects. In *Future Foods* (Vol. 8). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100255>
- Chacón, G. L. R., Chávez- Martínez, A., Rentería-Monterrubio, A. L., & Rodríguez-Figueroa, J. C. (2017). Proteínas del lactosuero usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia: Revista de Ciencia y Tecnología de América*, 42(11), 712–718.
- Chatterton, D. E. W., Smithers, G., Roupas, P., & Brodtkorb, A. (2006). Bioactivity of β -lactoglobulin and α -lactalbumin—Technological implications for processing. *International Dairy Journal*, 16(11), 1229–1240. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2006.06.001>
- Choi, M.-J., & Shin, K.-S. (2014). Studies on Physical and Sensory Properties of Premium Vanilla Ice Cream Distributed in Korean Market. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 34(6), 757–762. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2014.34.6.757>
- Coneval. (2023). *Aumenta en 10.3 millones la población en seguridad alimentaria de 2018 a 2022*. Gobierno de México . <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/aumenta-en-10-3-millones-la-poblacion-en-seguridad-alimentaria-de-2018-a-2022?idiom=es>

- Cortes, M. S., Ortiz, A., & Ramirez, L. S. (2017). Determinación de antioxidante en subproductos de café producido y comercializado en Risaralda (Colombia). *Universidad Tecnológica de Pereira*.
- Díaz-Montes, E. (2022). Residuos Agroalimentarios ¿Qué Son? ¿Quién Los Genera? y ¿Por Qué Son Valiosos? *Frontera Biotecnologica*.
- Ebermann, R. & E. I. (2011). *Lehrbuch Lebensmittelchemie und Ernährung* (Springer-Verlag, Ed.; Viena: Springer Wien).
- Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J. G., & Walker, R. P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents - a review. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(2), 97–128.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2015.01.004>
- FAO. (2009). *La agricultura mundial en la perspectiva del año 2050*.
- Figuerola-Hernández, E. P.-S. F. &, & Godínez-Montoya, L. (2015). *La producción y el consumo del café* (ECORFAN). www.ecorfan.org/spain
- Forcina, A., Petrillo, A., Travagliani, M., di Chiara, S., & De Felice, F. (2023). A comparative life cycle assessment of different spent coffee ground reuse strategies and a sensitivity analysis for verifying the environmental convenience based on the location of sites. *Journal of Cleaner Production*, 385.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135727>
- Franca, A. S., & Oliveira, L. S. (2022). Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry. In *Foods* (Vol. 11, Issue 14). MDPI. <https://doi.org/10.3390/foods11142064>
- Gallegos-Daniel, C., Taddei-Bringas, C., González-Córdova, A. F., Gallegos-Daniel, C., Taddei-Bringas, C., & González-Córdova, A. F. (2023). Panorama de la industria láctea en México. *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, 33(61).
<https://doi.org/10.24836/es.v33i61.1251>
- Galvez, M. J. J., & Mérida, M. J. D. (2022). *Desarrollo de un helado funcional reducido en grasa sabor a vainilla mediante la adición de diferentes concentraciones de inulina Orafiti® HPX*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano.
- Genovese, A., Balivo, A., Salvati, A., & Sacchi, R. (2022). Functional ice cream health benefits and sensory implications. *Food Research International*, 161, 111858.
<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2022.111858>
- Gómez-Merino, F., Trejo-Téllez, L. I., Morales-Ramos, V., Marín-Garza, T., & Crosby-Galván, M. (2018). Valoración nutricional de granos de café Robusta (*Coffea canephora*) de diferentes orígenes procesados en México. *Agroproductividad*, 11(4), 25–29.
- Granados, U. (2023). La historia del helado: un viaje de sabores y culturas hasta México. *Larousse Cocina*.
- Hernández, E. (1986). Cambios físicos y químicos durante la maduración de cambures y plátanos. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 7.
- Hidalgo, D., & Martín-Marroquín, J. M. (2020). El desperdicio de alimentos, un problema global. *Industriambiente*.

INEGI. (2022). *Censo Agropecuario*.

Innova Market Insights. (2024). Tendencias de los helados: Panorama del mercado mundial. In *Innova Market Insights*. Innova Market Insights.

<https://www.innovamarketinsights.com/es/tendencias/helados-tendencias-mercado/>

Jaimes, O. (2024). Acatlán: Lactosuero, daño colateral de la industria quesera. *El Sol de Tulancingo*.

Jiménez, M. (2023). Desperdicio alimentario. In *The Food Tech Summit & Expo 2023*.

Jiménez-Castillo, S. G., Pérez-Becerra, L., Ozuna-López, C., Del, M., & Abraham-Juárez, R. (2018). *Desarrollo y caracterización de una bebida de mango a base de suero de leche* (Vol. 3).

Jiménez-Zamora, A., Pastoriza, S., & Rufián-Henares, J. A. (2015). Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. *LWT*, 61(1), 12–18.

<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.031>

Juri-Morales, G., & Ramírez-Navas, J. (2015). El helado desde la antigüedad hasta nuestros días. *Heladería Panadería Latinoamericana ISSN 0328-4166*, 233, 60–68.

Kiokias, S., & Oreopoulou, V. (2022). Review on the Antioxidant Activity of Phenolics in o/w Emulsions along with the Impact of a Few Important Factors on Their Interfacial Behaviour. *Colloids and Interfaces*, 6(4), 79. <https://doi.org/10.3390/colloids6040079>

López, G. E. (2022). *Estimación de la vida útil de bases para helado mediante el modelado cinético de atributos fisicoquímicos y microbiológicos*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Maksimović, Z., Malenčić, Đ., & Kovačević, N. (2005). Polyphenol contents and antioxidant activity of Maydis stigma extracts. *Bioresource Technology*, 96(8), 873–877.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.09.006>

Martínez-Puga, E., & Lendorio, R. M. (2005). Ingestas recomendadas de micronutrientes: vitaminas y minerales. In F. Cordido (Ed.), *Fisiología y fisiopatología de la nutrición: Curso de Especialización en Nutrición* (pp. 87–100). Universidade da Coruña.

<https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/11338/CC-77%20art%207.pdf>

Mazorra-Manzano, M. Á., & Moreno-Hernández, J. M. (2019). Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal. *CienciaUAT*, 14(1), 133.

<https://doi.org/10.29059/cienciauat.v14i1.1134>

McNiven, M., Flipot, P., Summers, J. D., & Leeson, S. (1976). The Feeding Value of Spent Coffee Grounds for Ruminants. *Nutrition Reports International*, 15(1), 99 – 103.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85145250488&partnerID=40&md5=9778efedbf3b5c9091910a6056dee26>

Menéndez Ventura, J. I., Vera Gómez, L. A., & Tagle Freire, D. (2021). *Desarrollo de un producto de panificación a partir de plátano maduro y cacao proveniente de agricultores asociados*.

<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/54757>

- Montané Ojeda, C., Arias Ramos, D., & Chil Núñez, I. (2021). Cuantificación de fenoles y flavonoides totales en un extracto blando de flores de *Calendula officinalis* Linn. *Orange Journal*, 2(3), 20–31. <https://doi.org/10.46502/issn.2710-995x/2020.3.02>
- Murcia Artunduaga, K. S., & Castañeda, M. del R. (2022). Evaluación del contenido de fenoles totales y capacidad antioxidante de extractos etanólicos de la cáscara de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(2), 53–66. <https://doi.org/10.22490/21456453.4717>
- Murthy, P. S., & Naidu, M. M. (2012). Recovery of Phenolic Antioxidants and Functional Compounds from Coffee Industry By-Products. *Food and Bioprocess Technology*, 5(3), 897–903. <https://doi.org/10.1007/s11947-010-0363-z>
- Mussatto, S. I., Machado, E. M. S., Martins, S., & Teixeira, J. A. (2011). Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 4, Issue 5, pp. 661–672). <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- ONU. (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Naciones Unidas. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>
- Ortega, L., Romero, A., Muro, C., & Riera, F. (2015). Antioxidant Activity and Functional Properties of Polymerized Whey Products by Glycation Process. *International Journal of Polymer Science*, 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/154262>
- Ortiz-Ávila, W. F., Madrigal-Ambriz, L. V., Salazar-Aguilar, B. G., & Cárdenas-Magaña, J. A. (2018). Aprovechamiento del lactosuero residual de empresas productoras de queso en la región norte de Colima y sur de Jalisco para la elaboración de una bebida fermentada de bajo grado alcohólico. *Ra Ximhai*, 14(3), 39–50. <https://www.redalyc.org/journal/461/46158064003/html/#:~:text=Los%20par%C3%A1metros%20iniciales%20del%20lactosuero,%2C%20dos%2C%20cuatro%20y%20cinco.>
- Osorio-Arias, J., Delgado-Arias, S., Duarte-Correa, Y., Largo-Ávila, E., Montañó, D., Simpson, R., & Vega-Castro, O. (2020). New powder material obtained from spent coffee ground and whey protein; Thermal and morphological analysis. *Materials Chemistry and Physics*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.122171>
- Ozuna, C., Mulík, S., Valdez-Rodríguez, B., Abraham-Juárez, M. del R., & Fernández-López, C. L. (2020). The effect of organic farming on total phenols, total flavonoids, brown compounds and antioxidant activity of spent coffee grounds from Mexico. *Biological Agriculture and Horticulture*, 36(2), 107–118. <https://doi.org/10.1080/01448765.2019.1704876>
- Preciado-Saldaña, A. M., Ruiz-Canizales, J., Villegas-Ochoa, M. A., Domínguez-Avila, J. A., & González-Aguilar, G. A. (2022). Aprovechamiento de subproductos de la industria agroalimentaria. Un acercamiento a la economía circular. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 23(2).
- PROFECO. (2024, August). Estudios de calidad: Helados y paletas. *Revista Del Consumidor*, 10–26.

- Puerta Quintero, G. I. (2013). Calidad del café. *Investigación y Tecnología Para La Sostenibilidad de La Caficultura*, 3, 81–110. https://doi.org/10.38141/cenbook-0026_30
- Quiceno, M. C., Giraldo, G. A., & Villamizar, R. H. (2014). Caracterización fisicoquímica del plátano (*Musa paradisiaca* sp. AAB, Simmonds) para la industrialización. *UGCiencia*, 20, 48–54.
- Ramírez-Navas, J. (2009). Composición mineral de la leche de vaca: los fosfatos. *Tecnología Láctea Latinoamericana ISSN 0328-4158*, 57, 47–53.
- Rammer, P., Groth-Pedersen, L., Kirkegaard, T., Daugaard, M., Rytter, A., Szyniarowski, P., Høyer-Hansen, M., Povlsen, L., Nylandsted, J., Larsen, J., & Jaattela, M. (2010). BAMLET Activates a Lysosomal Cell Death Program in Cancer Cells. *Molecular Cancer Therapeutics*, 9, 24–32. <https://doi.org/10.1158/1535-7163.MCT-09-0559>
- Romero Del Castillo, R., & Lagarriga, J. (2004). *Productos lácteos : tecnología*. UPC Universitat Politècnica de Catalunya. <https://doi.org/10.5821/ebook-9788498802610>
- Romo, P. (2022). Industria del helado prevé crecimiento de 8% en 2022. *El Economista*.
- Salazar Cerda, M. N., Gómez Martínez, J. A., Tablada Dávila, S. P., Flores Reyes, R. T., Larios González, R. C., & Juárez Gámez, D. A. (2024). Lactosuero, estabilizantes comerciales y fécula de maíz en la producción de helados artesanales. *La Calera*, 24(43). <https://doi.org/10.5377/calera.v24i43.19828>
- Sanguigni, V., Manco, M., Sorge, R., Gnessi, L., & Francomano, D. (2017). Natural antioxidant ice cream acutely reduces oxidative stress and improves vascular function and physical performance in healthy individuals. *Nutrition*, 33, 225–233. <https://doi.org/10.1016/J.NUT.2016.07.008>
- Santos, S., Vinderola, G., Santos, L., & Araujo, E. (2018). Biodisponibilidad de minerales que lados y no que lados: una revisión sistemática. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(4), 381–392. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182018000500381>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022a). *Cultivo de café en México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivo-de-cafe-en-mexico>
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022b). *Plátano, deliciosa fruta tropical*. Gobierno de México . <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/platano-deliciosa-fruta-tropical>
- Secretaría de Salud. (2010). NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. In *Diario Oficial de la Federación* . Diario Oficial de la Federación . <https://dof.gob.mx/normasOficiales/4156/salud2a/salud2a.htm>
- SENASICA. (2022). PRIMER INFORME MENSUAL 2022 CAMPAÑA CONTRA PLAGAS DEL CAFETO. In *Gobierno de México* .
- Shazly, A. B., Fouad, M. T., Elaaser, M., Sayed, R. S., & Abd El-Aziz, M. (2022). Probiotic coffee ice cream as an innovative functional dairy food. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(12). <https://doi.org/10.1111/jfpp.17253>

- Singh, A., Chandel, V., Velmurugan, A., Bhtoya, R., Lukram, M., Roy, S., & Biswas, D. (2025). Development of ice cream nutritionally enriched with *Urtica dioica* extract. *Food Materials Research*, 5. <https://doi.org/10.48130/fmr-0025-0002>
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold.’ *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2008.03.008>
- Solis, D. L., & Herrera, H. C. (2005). Desarrollo de un método de análisis para la cuantificación de ácidos clorogénicos en café. *Agronomía Costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 99–107. www.mag.go.cr/rev_agr/inicio.htmwww.cia.ucr.ac.cr
- Srinu, D., Baskaran, D., Dorai, R. P., & Gnanalakshmi, K. S. (2021). Proximate Analysis and Bioactive Composition of Icecream Incorporated with Spices. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 42–47. <https://doi.org/10.9734/cjast/2021/v40i2531513>
- The Food Tech. (2024). *Desarrollo de helados funcionales: ingredientes saludables y atractivos*. The Food Tech. <https://thefoodtech.com/ingredientes-y-aditivos-alimentarios/desarrollo-de-helados-funcionales-ingredientes-saludables-y-atractivos/>
- Ullah, R., Nadeem, M., Ayaz, M., Tayyab, M., Imran, M., & Sajid, R. (2015). Antioxidant characteristics of ice cream supplemented with sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) juice. *Food Science and Biotechnology*, 24(4), 1227–1232. <https://doi.org/10.1007/s10068-015-0157-1>
- USDA. (2019). *Ice creams, vanilla*. FoodData Central . <https://fdc.nal.usda.gov/food-details/167575/nutrients>
- Valdes Restrepo, M., Delgado Ospina, J., Londoño-Hernández, L., & Rodríguez Restrepo, R. A. (2023). Sistema de medición del color como parámetro de calidad en la industria de alimentos. *Temas Agrarios*, 28(1), 69–81. <https://doi.org/10.21897/rta.v28i1.3200>
- Valdés-Duque, B. E., José, J., Castaño-Castrillón, J., Arias-Zabala, M., & Valdés, R. (2002). *Obtención de etanol y una bebida alcohólica tipo aperitivo por fermentación de plátano maduro*. 53(3), 239. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/1027>
- Valencia, D. E., & Ramírez, C. M. L. (2009). La industria de la leche y la contaminación del agua. *Ciencia y Cultura*, 16, 27–31. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004>
- Valerio-Cubillo, O., Vargas-Elías, G. A., Abarca-Mora, R., Barboza-Barquero, L., & Carmona-Villalobos, G. (2016). Estudio de la cinética de cambio de color de café tostado usando análisis de imágenes en Imagej. *Tecnología de Poscosecha y Agroindustria*.
- Vega, G. (2024). *Es preciso detener la pérdida y desperdicio de alimentos en México*. TheFoodTech.
- Xiao, F., Xu, T., Lu, B., & Liu, R. (2020). Guidelines for antioxidant assays for food components. *Food Frontiers*, 1(1), 60–69. <https://doi.org/10.1002/fft2.10>
- Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756–774. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2015.07.002>

- Zarate-Meza, P. F., Sepúlveda-V, J. U., & Ciro-V., H. J. (2023). Evaluation of physicochemical, antioxidant and sensory properties of a beverage made with hydrolyzed sweet whey permeate enriched with agraz (*Vaccinium meridionale* Swartz) and cape gooseberry (*Physalis peruviana* L) pulp. *INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD*, 25(1). <https://doi.org/10.25100/iyc.v25i1.12055>
- Zhidong, L., Benheng, G., Xuezhong, C., Zhenmin, L., Yun, D., Hongliang, H., & Wen, R. (2012). Optimisation of hydrolysis conditions for antioxidant hydrolysate production from whey protein isolates using response surface methodology. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 52, 53–65.