

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**EVALUACIÓN DE UN YOGUR COMERCIAL ENRIQUECIDO CON EXTRACTO DE
CAÑA FÍSTULA (*Cassia fistula*)**

POR:

DANIELA SARAHÍ GARCÍA ESPINAL

TESIS



CATACAMAS

OLANCHO

EVALUACIÓN DE UN YOGUR COMERCIAL ENRIQUECIDO CON EXTRACTO DE
CAÑA FÍSTULA (*Cassia fistula*)

POR:

DANIELA SARAHÍ GARCÍA ESPINAL

JHUNIOR ABRAHAN MARCÍA FUENTES

ASESOR PRINCIPAL

TESIS

CATACAMAS

OLANCHO

ACTA DE SUSTENTACIÓN

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, a mí misma, por la constancia y el compromiso que me impulsaron a llevar a cabo esta investigación, a pesar de los desafíos encontrados en el camino. Cada obstáculo superado ha sido una oportunidad para hacerme crecer tanto a nivel académico como personal. Agradezco a mí mismo por la valentía de embarcarme en este proyecto y por la madurez que he adquirido durante su desarrollo de principio a fin.

A mi familia, mi fuente inagotable de amor y apoyo, les agradezco por creer en mí y por estar siempre presentes, especialmente en los momentos más difíciles.

A mi abuela María Guevara, por su amor incondicional, su apoyo económico y por haberme inculcado valores y a no dejar abandonar mis estudios, gracias por ser mi pilar en los momentos más difíciles.

A la Universidad Nacional de Agricultura, mi alma mater, gracias por brindarme la oportunidad de crecer académica y profesionalmente, donde estará presente en mí siempre. Igual un tremendo agradecimiento por parte de la Universidad Nacional de Colombia con Sede en Palmira que me dio la oportunidad de realizar mi trabajo de investigación en sus instalaciones y por la cálida acogida que recibí.

Finalmente, agradezco a todos los colegas y colaboradores que participaron en esta investigación. Sus conocimientos, su tiempo y sus valiosos comentarios han sido fundamentales para el éxito de esta investigación. Esta tesis es el resultado de un esfuerzo colectivo, y su colaboración fue crucial para su realización.

CONTENIDO

ACTA DE SUSTENTACIÓN	i
AGRADECIMIENTOS	ii
CONTENIDO	iii
LISTA DE TABLAS	v
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE ANEXOS	vii
RESUMEN.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivos generales	2
2.2 Objetivos específicos	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA	3
3.1. Estadísticas de consumidores habituales de lácteos	3
3.2. Leches fermentadas	4
3.3. Yogur	5
3.3.1. Historia del Yogur	5
3.3.2. Composición Nutricional del yogur	6
3.3.3. Propiedades del Yogur	6
3.4. Antecedentes de la Caña fistula	8
3.4.1. Caña fistula	9
3.4.2. Natividad.....	9
3.4.3. Usos comunes.....	9
3.4.4. Clasificación taxonómica	10
3.5. Propiedades bioactivas	10
3.6. Fitoquímicos	11
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	12
4.1. Ubicación del sitio de investigación	12
4.2. Materiales y equipos para la investigación	13
4.3. Método	14

4.4 Metodología	15
4.5. Secado de la materia prima caña fistula	15
4.6. Análisis fisicoquímicos	15
4.7. Determinación de color.....	17
4.8. Medición de la concentración del ácido ascórbico	19
4.9. Evaluación de compuestos fenólicos.....	19
4.9.1. Extracción de fenol.....	19
4.9.2. Cuantificación de fenoles.....	20
4.9.3. Determinación de compuestos fenólicos totales.....	20
4.10. Incorporación de la infusión de caña fistula al yogur natural	21
4.11. Análisis estadístico.....	21
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1. Parámetros de medición y peso de la vaina de caña fistula.....	22
5.2. Parámetros fisicoquímicos de la pulpa seca y la infusión de caña fistula	23
5.3. Viscosidad de la infusión caña fistula	25
5.4. Parámetros fisicoquímicos del yogur de caña fistula	26
5.5. Color en la infusión de caña fistula	28
5.6. Color en el yogur con extracto de caña fistula.....	30
5.7. Extracción de ácido ascórbico en la infusión de caña fistula	32
5.8. Extracción de ácido ascórbico en el yogur con extracto de caña fistula	33
5.9. Extracción de fenoles en la infusión de caña fistula.....	34
5.10. Extracción de fenoles en el yogur con extracto de caña fistula	35
VI. CONCLUSIÓN	37
VII. RECOMENDACIONES	38
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	39
ANEXOS.....	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la caña fistula	10
Tabla 2. Materiales y equipos.....	13
Tabla 3 Medición y peso de la vaina de caña fistula	22
Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos de la pulpa seca y la infusión de caña fistula	23
Tabla 5 Viscosidad de la infusión de caña fistula.....	25
Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos del yogur de la caña fistula	26
Tabla 7 Color en la infusión de la caña fistula	28
Tabla 8 Color en el yogur con extracto de la caña fistula	30
Tabla 9 Extracción de ácido ascórbico en la infusión de caña fistula	32
Tabla 10 Extracción de ácido ascórbico en el yogur con extracto de caña fistula	33
Tabla 11 Extracción de fenoles en la infusión de caña fistula.....	34
Tabla 12 Extracción de fenoles en el yogur con extracto de caña fistula.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de encuestados que consumen habitualmente productos lácteos	4
Figura 2. Ubicación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira	12
Figura 3. CIELAB espacios de color	18

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Medición y Partición de la vaina de caña fistula	43
Anexo 2. Desarrollo de la infusión de la caña fistula	44
Anexo 3. Medición de análisis en la infusión	44
Anexo 4. Medición de análisis del yogur con la incorporación de la infusión	45
Anexo 5. Medición de viscosidad	45
Anexo 6. Evaluación de color con la técnica Cielab.....	46

García Espinal, D.S. 2024. Evaluación de un yogur comercial enriquecido con extracto de caña fistula (*Cassia fistula*). Tesis. Inga. en Tecnología Alimentaria, Catacamas, Olancho, Honduras, Universidad Nacional de Agricultura. Pág. 55.

RESUMEN

El yogur, un alimento básico, se ha transformado en una industria global multimillonaria, con un mercado valorado en 49.8 mil millones de USD en 2023 y proyecciones de alcanzar 79.95 mil millones de USD en 2032. Este estudio busca enriquecer un yogur comercial mediante la adición de extracto de caña fistula en concentraciones de 1%, 5% y 10%, evaluando propiedades fisicoquímicas y contenido de compuestos fenólicos mediante un diseño experimental balanceado. El extracto se obtuvo deshidratando la pulpa de caña fistula a 70 °C durante 7 horas y realizando una extracción asistida por ultrasonido con etanol al 80%. Se analizaron parámetros como el color (CIELab*), vitamina C (método Folin-Ciocalteu) y fenoles totales en diferentes concentraciones de extracto. En cuanto al color, los yogures con extracto presentaron tonalidades amarillo-verde ($h^{\circ} \approx 89$) y mayor saturación cromática, destacando el índice de blancura en la infusión al 35%. Respecto a los fenoles totales, se observó un incremento moderado con mayores concentraciones de extracto (25%-35%), aunque sin diferencias significativas. La vitamina C disminuyó con infusiones más concentradas, destacando la infusión al 25% por retener mayor cantidad de ácido ascórbico con variabilidad moderada. En conclusión, la adición de extracto de caña fistula mejora visualmente el yogur al intensificar colores y aumentar el índice de blancura. Aunque los fenoles totales no incrementaron significativamente, los resultados sugieren la optimización del proceso para incorporar más compuestos bioactivos, apuntando al desarrollo de productos funcionales mejorados.

Palabras clave: Infusión, deshidratación, saturación de color, cielab, compuestos fenólicos, etanol, vitamina C

I. INTRODUCCIÓN

En medio siglo, el yogur pasó de ser un alimento sano a un fenómeno de mercado masivo mundial, desencadenó una revolución de alimentos funcionales y se convirtió en una industria multimillonaria, el yogur es quizás la historia de valor agregado más exitosa, pues sencillamente es leche procesada que se vende a un precio más alto (Biswas, 2010).

El yogur es uno de los alimentos más populares del mundo, con un consumo estimado de 24.5 millones de toneladas en 2022, la industria del yogur está en constante evolución gracias a las tecnologías que se desarrollan constantemente para mejorar la calidad y la eficiencia de la producción (The Food Tech, 2023). Donde ahora el mercado de yogur alcanzó un valor de USD 49,80 mil millones en el año 2023. Se estima que el mercado crecerá a una tasa de crecimiento anual compuesta del 5,4% entre 2024 y 2032, para alcanzar un valor de 79,95 mil millones de USD en 2032 (EMR, 2024).

La presente investigación tiene como objetivo enriquecer un yogur natural comercial con extracto de caña fístula, para lograrlo, se realizaron estudios que evaluarán las propiedades fisicoquímicas, y los compuestos fenólicos del producto, incorporando al yogur natural extracto de caña fístula en concentraciones del 1%, 5% y 10%, junto con un control sin adición. Se empleará un diseño de bloques completamente balanceado. Este enfoque permitirá medir diversos parámetros y evaluar el impacto del extracto de caña fístula en las propiedades del yogur, donde se busca también determinar si la adición de caña fístula puede mejorar lo que es la calidad del yogur.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivos generales

- Evaluar un yogur comercial enriquecido con caña fistula (*Cassia fistula*) analizando sus propiedades fisicoquímicas y colorimétrica.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la composición fisicoquímica de la infusión de caña fistula y el yogur con el extracto de caña fistula a partir de análisis instrumental
- Medir el color superficial con la técnica de colorimetría en el extracto junto con el yogur con el extracto añadido.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Estadísticas de consumidores habituales de lácteos

Los productos lácteos desempeñan un papel importante en la nutrición humana y así lo confirma el siguiente mapa, elaborado con datos extraídos de la macroencuesta *Statista Consumer Insights*, pues en casi todos los 54 países analizados, la mayoría de la población consume regularmente productos lácteos como la leche, el yogur y el queso, en España, el 71% de los encuestados lo hace, en Argentina, por su parte, esta proporción es del 72%, mientras que en Brasil es algo inferior, esto es, del 59% (Roa, 2023).

Aunque sus virtudes y su grado de salubridad suelen ser objeto de debate, la leche y sus derivados son una fuente importante de proteínas, vitaminas y calcio, si bien ni mucho menos la única. Además, la leche también es un alimento controvertido desde el punto de vista de la sostenibilidad y del bienestar animal, ya que las vacas modernas se han convertido en auténticas máquinas de producir leche. En 1960, una vaca lechera producía 3.395 litros de leche al año, mientras que en 2020 la cifra era de casi 8.500 (Roa, 2023).



Figura 1. Porcentaje de encuestados que consumen habitualmente productos lácteos

Fuente: (Roa, 2023).

3.2. Leches fermentadas

La leche fermentada es un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede haber sido elaborado a partir de productos obtenidos de la leche con o sin modificaciones en la composición, por medio de la acción de microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación (precipitación isoelectrica). Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto hasta la fecha de duración mínima. Si el producto es tratado térmicamente después de la fermentación, no se aplica el requisito de microorganismos viables (Codex Alimentarius, 2022).

3.3. Yogur

Producto lácteo obtenido mediante reducción por evaporación y fermentación bacteriana de la leche (Real Academia Española, 2023). El yogur es el producto lácteo coagulado obtenido por fermentación láctica mediante la acción de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, a partir de leches pasteurizadas enteras, parcialmente descremadas o descremadas, leches en polvo enteras, parcialmente descremadas o descremadas o una mezcla de estos productos (RSA, 2013).

Asimismo, se podrán añadir aditivos alimentarios autorizados: aromatizantes, colorantes, estabilizantes y como preservante ácido sórbico y sus sales de sodio y potasio, cuya dosis máxima será de 500 mg/kg, expresada como ácido sórbico, y cultivos de bacterias adecuadas productoras de ácido láctico. Los microorganismos lácticos presentes en el producto final deberán ser viables y en cantidad superior a 10⁶ UFC/g (RSA, 2013).

3.3.1. Historia del Yogur

El surgimiento de las leches fermentadas debe haber sido accidental, vinculado a los cueros de estómago de camello muy utilizados, se sitúa en Medio Oriente, una región que comprende los territorios actuales de Egipto, Israel, Jordania, Líbano, Siria, Turquía, Iraq, Irán, Kuwait, Arabia Saudita, Omán, Yemen, Qatar y los Emiratos Árabes, el surgimiento de las primeras leches fermentadas probablemente se deba al transporte de la leche en receptáculos como el estómago de camello, donde la leche entra en contacto con los jugos gástricos del animal, se cree que hubo fermentación accidental con leche que quedó en almacenamiento, especialmente en invierno (Weill *et al.*, 2017).

La historia más frecuente es la combinación de un transporte hecho en estómagos de animales, lo que permitió verificar que era una forma de conservación de la leche por mucho más tiempo. En este sentido, se asegura que la aparición del yogur se produjo en los desiertos de Turquía un territorio lindante con Medio Oriente, a partir de leche fresca almacenada en bolsas de piel de cabra. Se dice que los sacos se colocaban atados a los flancos del camello, y el calor de su cuerpo podría haber sido una *condición óptima para la multiplicación de bacterias ácidas, que convertían la leche en yogur* (Weill *et al.*, 2017).

3.3.2. Composición Nutricional del yogur

Aunque el yogur sea conocido principalmente por su elevado contenido en calcio (Ca), también es importante destacar que aporta una considerable cantidad de macro y micronutrientes más allá del Ca (Babio *et al.*, 2017).

3.3.3. Propiedades del Yogur

Hidratos de carbono

Presenta varios tipos de azúcares, como glucosa, galactosa y fructosa, pero la protagonista es la lactosa, actualmente tan controversial debido a los problemas gastrointestinales que provoca su acumulación al no ser degradada en monosacáridos para su absorción, pero sin embargo, en el yogur las cantidades de lactosa son aproximadamente 30% menores que en una porción de leche (200mL), ya que las bacterias presentes, *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*, son capaces de fermentar la lactosa y transformarla en ácido láctico, donde el ácido láctico a quien se le atribuyen las características propias del yogur, como su consistencia, acidez y sabor (Babio *et al.*, 2017).

El yogur contiene diferentes tipos de hidratos de carbono, principalmente en forma de lactosa, parte de este contenido está parcialmente hidrolizado, dado que es utilizado por los microorganismos como sustrato energético, por esta razón, existen evidencias científicas que indican que la ingesta de yogur mejora la digestión de la lactosa y los síntomas característicos de la intolerancia a la misma. Se ha demostrado que, en pacientes con intolerancia a la lactosa, el consumo de yogur disminuye los niveles de hidrógeno espirado después de una sobrecarga con lactosa, por el contrario, en sujetos no intolerantes no se han observado diferencias significativas (Babio *et al.*, 2017).

Proteínas

El yogur contiene una elevada cantidad de proteínas de alto valor biológico, diferentes tipos de caseínas (α , κ , β y γ), proteínas de lactosuero, principalmente α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, albúmina sérica, proteasas-peptonas, inmunoglobulinas, enzimas como lipasas, proteasas o fosfatasas y metal o proteínas como la transferrina, la ceruloplasmina y la lactoferrina; las proteínas del yogur se consideran de elevada digestibilidad debido a la acción de diferentes bacterias proteolíticas que actúan durante el proceso de formación del producto, liberando péptidos y aminoácidos; durante los últimos años, los péptidos que forman parte del yogur han sido de gran interés a nivel científico por sus propiedades antihipertensivas, antimicrobianas, inmunomoduladores, hipolipemiantes y una importante relación sobre la prevención de acumulación de grasa a nivel central (Babio *et al.*, 2017).

Lípidos

La cantidad de lípidos que contiene el yogur dependerá del tipo de leche (leche entera, leche desnatada) que se use en su proceso de fabricación, un yogur natural tiene alrededor de un 2.3 % de grasa en total (1.5 % de grasas saturadas), mientras que un yogur de estilo griego puede tener hasta un 9 % de lípidos en total (6.2 % de grasas saturadas) y más de la mitad de las grasas que contiene el yogur son grasas saturadas y, en su mayoría, se trata de ácidos grasos saturados de cadena larga, que suelen asociarse a un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares (ECV), en el caso de yogur, sin embargo, según diversos estudios, los ácidos grasos de cadena larga no repercuten en el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Yogurt Nutrition, 2024).

Vitaminas y minerales

Este alimento también es rico en vitamina B12, una sustancia que se le atribuye ayudar en la prevención de enfermedades cardíacas, además de fósforo y potasio, sustancias que refuerzan el sistema inmunológico (Montagud, 2021).

3.4. Antecedentes de la Caña fistula

Hay muchas especies de *Cassia* en todo el mundo que se utilizan en sistemas de medicina herbaria. La fistula de *Cassia* no es excepción, a menudo se utiliza como un laxante moderado muy eficaz y seguro incluso para los niños. Sin embargo, en gran medida En dosis altas, las hojas y la corteza pueden provocar vómitos, náuseas, dolor abdominal y calambres. La fistula de *Cassia* también es empleado como remedio para tumores de abdomen, glándulas, hígado, estómago y garganta, para quemaduras, cáncer, estreñimiento, convulsiones, delirio, diarrea, disuria, epilepsia, grava, hematuria, granos y tumores glandulares (Pawar *et al.*, 2017).

3.4.1. Caña fístula

Árbol de entre 10 a 15 m de altura y hasta 45 cm de diámetro, caducifolio, corteza lisa, gris o castaño rojiza, escamosa, ramillas color verde oscuro, cubiertas de pelillos. Hojas grandes paripinadas, de 15 a 30 cm de largo, flores color amarillo dorado, que forman racimos largos y colgantes, vainas de 37.5 a 60 cm de longitud y 1.0 a 2.5 cm de diámetro, cilíndricas, negruzcas (Grijalva, 2014).

3.4.2. Natividad

Es una planta nativa de Egipto, Oriente Medio y zonas cálidas de Asia desde el sur de Pakistán al este a través de la India a Myanmar y el sur de Sri Lanka; cultivada como ornamental en la región del Pacífico y Central (Grijalva, 2014).

3.4.3. Usos comunes

Cultivada como ornamental por sus numerosas y vistosas flores amarillas y sus frutos son usados en medicina como purgativo, en nuestro medio se usa como purgante suave, especialmente para los niños, personas débiles y gente de edad, además, se le usaba para tratar la calentura, la tos, para purificar la sangre y la debilidad en general y tradicionalmente se usa también para el tratamiento del estreñimiento y la indigestión y en donde las flores y hojas frescas o secas son comestibles; la corteza se usa para curtiembre; la madera es dura y pesada, se usa para carpintería, ebanistería, postes y construcción y la cocción de una cuarta de la raíz, se toma en caso de mordedura de víbora (Grijalva, 2014).

3.4.4. Clasificación taxonómica

Tabla 1 Clasificación taxonómica de la caña fistula

Nombre científico	<i>Cassia fistula</i>
Nombre común	Caña fistula, Lluvia de oro
Reino	Plantae
Familia	Fabaceae - Caesalpinaceae
Origen	Exótica

Fuente: (Rojas & Torres, 2015).

El nombre del género procede del griego Kassia, denominación antigua ya utilizada por Dioscórides y Plinio para la corteza aromática de *Cinnamomum cassia* y quizás de otras plantas con similares propiedades mientras que el epíteto específico *fistula* procede del latín *fistulae* que significa caño o tubo, en alusión a sus frutos (Sánchez, 2015).

3.5. Propiedades bioactivas

Los compuestos bioactivos son componentes menores de los alimentos que afectan al organismo humano como sistema biológico, órgano, tejido o célula, ya que se aplican en medicina y aplicaciones farmacológicas, el consumo de estos fitoquímicos como fitoesteroles, ácidos grasos, carotenoides, péptidos, no provitamina A y polifenoles pueden tratar y prevenir un agente antidiabético debido a su efecto inhibidor de la tripsina. Estudios *in vivo*, la pulpa de fruta mostró una reducción en los niveles de glucosa en sangre (Marcía-Fuentes *et al.*, 2021).

Las propiedades bioactivas que se han asociado a los compuestos fenólicos son muy diversas, incluidos anticancerígenos, antiinflamatorios, antihipertensivos y características estrogénicas. Además, pueden ejercer efectos potencialmente beneficiosos contra las enfermedades cardiovasculares (Marcía-Fuentes *et al.*, 2021).

3.6. Fitoquímicos

Las pulpas de vainas de caña fistula tienen fitoquímicos como la pectina. y tanino. La pectina y el tanino contienen ácido butírico, senósidos A y B, glucósido, ácido fórmico, barbaloina, glucósidos de antraquinona y ácido oxálico, semillas produjo galactomanano y aminoácidos sin azúcar etc. Flor de caña fistula producida biantraquinona glucósido, llamado fistula. Los frutos de C. fistula son los Alta fuente de buena cantidad de aminoácidos (Fuentes *et al.*, 2020).

Además, para liberar la proteína, las hojas también generan senósidos A y B. Alcaloides, terpenoides, reductores. azúcares, taninos, saponinas, carbonilo, flobatanina y los esteroides se encuentran en los resultados; se le atribuyen efectos laxantes y purgantes a la planta. a una clase de sustancias químicas bien investigadas conocidas como antraquinonas, las antraquinonas forman parte del crudo. proteínas, grasas brutas, fibra bruta y carbohidratos, la composición de las semillas incluye carbohidratos crudos. proteína, grasa cruda, fibra cruda y antraquinonas (Fuentes *et al.*, 2020).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del sitio de investigación

El estudio se llevó a cabo en el municipio de Palmira del departamento del Valle del Cauca (Colombia), en los laboratorios de Tecnología de Frutas y Hortalizas en la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Municipio localizado en la región sur del departamento del Valle del Cauca a 1.001 msnm y con una temperatura media de 23°C. Su cabecera está situada a 3° 31' 48" de latitud norte y 76° 81' 13" de longitud oeste.

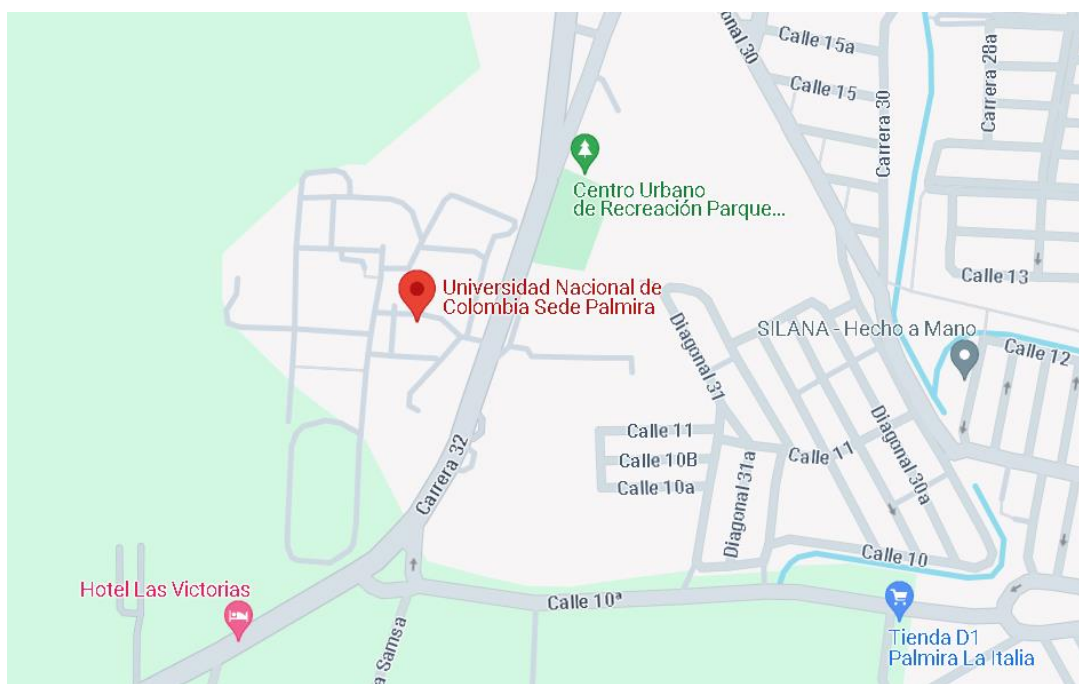


Figura 2. Ubicación de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira

Fuente:(Google Maps, 2024).

4.2. Materiales y equipos para la investigación

Para el desarrollo de la investigación se hizo uso de diferentes materiales y equipos los cuales se describirán a continuación.

Tabla 2. Materiales y equipos

Materia prima	Descripción
Caña fístula	1 lb, Obtenida en La Paz, La Paz, departamento suroccidental en Honduras
Yogur comercial	3 unidades, Marca Taea (1000 ml)
Vestimenta de Laboratorio	-
Gabacha	De tela
Redecilla de cabello	5 unidades
Mascarilla	10 unidades
Guantes	2 pares
Materiales de Laboratorio	-
Matraz	3 unidades, material de vidrio
Matraz volumétrico	3 unidades, material de vidrio
Bureta	1 unidad, marca Marienfeld 50ml, material de vidrio
Tubos de ensayo	3 unidades, marca Konohan
Tubos de falco	3 unidades, marca NEST 50ml
Reactivos (Uso de laboratorio)	-
Hidróxido de sodio NaOH	1 unidad, marca Merk 500g
Indicador fenolftaleína	1 unidad, marca Merk 100g
Folin-Ciocalteu	1 unidad al 100%
Ácido tricloroacético	1 unidad
Ácido gálico	1 unidad

Etanol	1 unidad al 80%
Agua destilada	1 unidad, 1000ml
Equipos	-
Balanza analítica	1 unidad, marca Acculab VI-10kg, Estados Unidos
Balanza de humedad	1 unidad, marca XM60, Suiza
pH-metro	1 unidad, marca SI Aalystics Lab-855, Estados Unidos
Refractómetro	1 unidad, marca Extech Instruments, Estados Unidos
Viscosímetro digital	1 unidad, Marca NDJ, China
Espectrofotómetro	1 unidad, marca GBPI
Plancha de agitación	1 unidad, Marca mrc
Centrifugadora	1 unidad, Marca Hettich 320
Ultraturrax	1 unidad, marca IKA modelo 18
Ultrasonido	1 unidad, Marca Branson modelo 1510
Cámara de baño María	1 unidad, marca Polyscience
Horno de laboratorio	1 unidad, marca FDM 10°C -300°C

Fuente: Propia.

4.3. Método

Para realización de esta investigación se llevó a cabo un método experimental y se basó en la experimentación, la formulación de pruebas y la modificación de hipótesis (Investigación Científica, 2020). En donde la investigación se realizó entre los meses de junio a agosto del año 2024.

4.4 Metodología

En el desarrollo de esta investigación se implementó por medio de cuatro fases experimentales: En la primera fase, se tomaron medidas de su largo, conteo de sus semillas y peso de la pulpa, en la segunda fase se secó la caña fistula en un horno de convección a 70°C. La tercera fase se realizaron análisis físico-químicos y determinación de fenoles en la pulpa de caña fistula como materia prima y a través de las diferentes concentraciones de pulpa, donde se realizó una infusión, de esta misma y se añadió al yogur natural comercial determinando. Y la última y cuarta fase se procedió a hacer un análisis estadístico con un Diseño de Bloques Completamente Balanceado (DBCB).

4.5. Secado de la materia prima caña fistula

La cáscara, las semillas y la pulpa de la caña fistula se separaron de manera manual y posteriormente se llevó la pulpa de la caña fistula a un horno de convección donde expondremos de forma directa a aire caliente a una temperatura de 70° C por 7 horas, hasta lograr que se infle su miel y se vuelva poroso, este método servirá para la deshidratación de alimentos, aunque es importante controlar bien el proceso para que la superficie del producto no quede completamente deshidratado al grado de producir agrietamientos o resultados heterogéneos (Powder Tronic, 2023).

4.6. Análisis fisicoquímicos

Implica la caracterización de los alimentos desde el punto de vista fisicoquímico, haciendo énfasis en la determinación de su composición química, es decir, cuales sustancias están presentes en un alimento y en que cantidades estos compuestos se encuentran (Méndez, 2020).

|

Determinación de sólidos solubles (°Bx)

La refracción se realizó directamente con el dispositivo refractómetro el cual tienen un rango de lectura pequeño, pero de gran precisión (Zenebon *et al.*, 2008).

Determinación de pH

De cada una de las muestras de la pulpa de caña fistula a analizar se pesó 1 g y se colocó en un vaso de precipitado añadiéndole 10 ml de agua destilada con agitación permanente hasta obtener una solución homogénea. Con la ayuda de un pH-metro (MP230, Metter Toledo, Suiza), calibrado con soluciones tampón de pH 7 y pH 4 al 10% (p/p), se midió el pH de las infusiones y el yogur, según la Norma Técnica Colombiana NTC – 4592 (Velasco, 2020).

Determinación de Acidez

El procedimiento para la determinación de la acidez titulable se desarrolló de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC – 4623 (ICONTEC, 1999c). Para esto, en un beaker de 250 ml se colocó 1 g de la muestra, se le adicionaron 10 ml de agua destilada y se agitó permanentemente hasta obtener una mezcla homogénea. Se agregaron tres gotas de fenolftaleína como indicador, y se tituló con una solución 0,1 N de NaOH hasta obtener un pH 8,1 – 8,2. El porcentaje de acidez se calculó mediante la siguiente ecuación (Velasco, 2020).

Fórmula 1

$$\% \text{ Ácidez} = \frac{(ml \text{ NaOH} \times F.Eqvt)}{ml \text{ muestra}} \times 100$$

4.7. Determinación de color

Se les determinó el color a las muestras de estudio mediante la lectura de las coordenadas L^* , a^* y b^* en un colorímetro Konica Minolta CR-400. El colorímetro se estandarizó con una baldosa negra y una blanca ($Y = 89,5$; $x = 0,3176$; y $y = 0,3347$) usando el iluminante D65 y un observador 2°. Los valores numéricos de L^* , a^* y b^* se convirtieron en croma (C^*), y ángulo de matiz (h°) (Ordóñez-Santos *et al.*, 2023).

El croma (C^*), considerado el atributo cuantitativo del colorido, se utilizó para determinar el grado de diferencia de un tono en comparación con un color gris con la misma luminosidad. Cuanto más altos sean los valores de croma, mayor será la intensidad del color de las muestras percibidas por los humanos. El croma se calculó utilizando la ecuación siguiente (Pathare *et al.*, 2013).

Fórmula 2

$$C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

El ángulo de tono (h°), considerado el atributo cualitativo del color, es el atributo según el cual los colores se han definido tradicionalmente como rojizos, verdosos, etc., y se utiliza para definir la diferencia de un determinado color con respecto al color gris con la misma luminosidad. Este atributo está relacionado con las diferencias de absorbancia en diferentes longitudes de onda. Un ángulo de tono más alto representa un carácter amarillo menor en los ensayos, donde se utilizará la siguiente ecuación (Pathare *et al.*, 2013).

Fórmula 3

$$h^\circ = \tan^{-1}\left(\frac{b^*}{a^*}\right)$$

Índice de pardeamiento

El índice de pardeamiento (IB) se utiliza para caracterizar los cambios generales en el color de pardeamiento. Se define como la pureza del color pardo y es uno de los indicadores más comunes de pardeamiento en productos alimenticios que contienen azúcar. Para capturar esta variación en un único índice que estaría relacionado con un color pardo, el BI se calcula utilizando la siguiente expresión (Pathare *et al.*, 2013).

Fórmula 4

$$BI = 100 \times \left(\frac{X - 0.31}{0.17} \right)$$

Donde:

$$X = \frac{(a^* + 1.75)a}{(5.645L^* + a^* - 3.012b^*)}$$

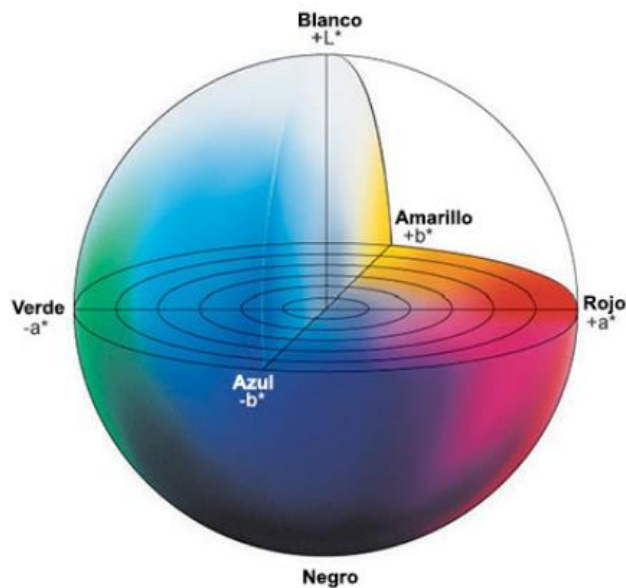


Figura 3 CIELAB espacios de color

Fuente: (Pathare *et al.*, 2013).

4.8. Medición de la concentración del ácido ascórbico

El contenido de ácido ascórbico se midió mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se diluyó 0,2 ml de la muestra en 0,8 ml de ácido tricloroacético. Se refrigeró durante 10 min y luego se centrifugó a 3000 rpm por 5 min. Se tomó 0,5 ml del sobrenadante y se le agregó 2 ml de agua biodestilada y 0,2 ml del reactivo FolinCiocalteu. Se dejó en oscuridad durante 10 min para posteriormente medir la absorbancia en un espectrofotómetro a 760 nm. La concentración de vitamina C (mg de ácido ascórbico / 100 ml de jugo) en las muestras se calculó a partir de una recta de calibración preparada con una solución estándar de ácido ascórbico (0,0000125 a 0,000125 g /ml, R² = 0,975) (Cárcamo, 2019).

4.9. Evaluación de compuestos fenólicos

4.9.1. Extracción de fenol

La pulpa seca de la caña fistula se sometió a extracción asistida por ultrasonidos (se utilizará un baño de sonicación Ultrasonic Branson 1510; Branson Ultrasonics Corp. Danbury, EE. UU); se pesó aproximadamente 0.5 g del pulpa de la caña fistula y se añadió etanol en concentración del 80% y en volúmenes entre 5 y 10 ml, las muestras, fueron sometidas a extracción asistida por ultrasonidos durante tiempo de 20 min y a temperaturas entre 30 y 50 °C y finalmente, las muestras se filtrarán a través de papel Whatman No 4 y el filtrado se utilizó para la cuantificación de fenoles totales (Pinchao-Pinchao *et al.*, 2019).

4.9.2. Cuantificación de fenoles

Se cuantificó mediante el método de Folin-Ciocalteu con ligeras modificaciones, donde se agregaron 500 µL de cada extracto, 5 mL de agua destilada y 500 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu a los tubos de lectura de espectrofotometría cubiertos con papel de aluminio y se dejaron reposar durante 3 min, luego se añadió 1 mL de Carbonato de sodio (Na_2CO_3) a 1N y se dejó reposar durante 15 min y finalmente, se leyó la absorbancia en un espectrofotómetro a 765 nm (Pinchao-Pinchao *et al.*, 2019).

4.9.3. Determinación de compuestos fenólicos totales

Esta evaluación se llevó a cabo mediante el método de Folin-Ciocalteu. Se pesó aproximadamente 1 g de pulpa de caña fistula en un frasco Erlenmeyer de 50 mL forrado con papel aluminio para evitar que la luz le afecte. Luego se adicionará 20 mL de etanol y agua, en relación (80:20%v/v), y se mezcló agitándolo alrededor de 3 min (Martínez-Girón *et al.*, 2017).

Posteriormente, la mezcla se sometió a sonificación usando un ultrasonido (Ultrasonic Cleaner-DCPoweFull-Hagavish, Israel), durante 20 min a 25 °C. Pasado este tiempo, la muestra se filtró, y 0,5 mL del filtrado se mezclaron con 5 mL de agua destilada y 0,5 mL de reactivo de Folin-Ciocalteu marca Panreac AppliChem. Se dejó reaccionar la mezcla por 3 min a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se adicionó 1 mL de carbonato de sodio anhidrido al 20% y los tubos se llevaron a un baño térmico programado a 45 °C por 15 min (Martínez-Girón *et al.*, 2017).

Finalmente, se dejaron enfriar las muestras, se calibró el equipo espectrofotómetro (Spectrophotometer Jenway 6320D, EE. UU.) y se procedió a realizar lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 765 nm. La curva de calibración se presentó aproximadamente en un 91.32% de correlación y se registraron correlaciones en mg de ácido gálico (AG) por mL de solución (Martínez-Girón *et al.*, 2017).

4.10. Incorporación de la infusión de caña fístula al yogur natural

La infusión de la pulpa seca de caña fístula se incorporó a diferentes tipos de concentraciones y en forma homogénea en el yogur comercial marca Taea, finalmente, se evaluó aparte del color, el pH, sólidos solubles y acidez titulable bajo refrigeración a $4^{\circ}\text{C} \pm 2$ en oscuridad y los experimentos fueron reproducidos por triplicado (Aguilera *et al.*, 2012).

4.11. Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo utilizando un Diseño de Bloques Completamente Balanceado (DBCB), el cual todos los bloques contienen el mismo número de variedades, y todas las variedades ocurren en el mismo número de bloques, es una técnica de diseño experimental que permite controlar la variabilidad entre los bloques de tratamientos, son diseños de gran utilidad cuando todas las comparaciones de los tratamientos son igualmente importantes, y las combinaciones en el diseño pueden ser seleccionadas de una manera balanceada, es decir, cualquier par de tratamientos ocurren juntos el mismo número de veces en el diseño, propiedad que le da el carácter de balanceado (Rodríguez, 2015).

Este enfoque asegura que todos los tratamientos se presenten en igual número y se distribuyan de manera uniforme a lo largo de los bloques. Y posteriormente se realizará un análisis de varianza ANOVA, con comparación de medias, mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad, para identificar las diferencias entre los tratamientos, a un nivel de significación de $p < 0,05$. De esta manera al finalizar este proceso, se podrán identificar con precisión las propiedades deseadas del producto final, basándose en evidencia estadística sólida.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Parámetros de medición y peso de la vaina de caña fístula

Tabla 3 Medición y peso de la vaina de caña fístula

Largo (cm)	Peso total	Peso pulpa	Semilla (und)	Peso Semilla (g)
49.02 ± 11.41	68.71 ± 20.38	34.67 ± 12.31	60.85 ± 13.04	15.92 ± 4.63

*Centímetros (cm), unidades (und), gramos (g).

Se contaron y se pesaron cien vainas de caña fístula, donde se estima que la variabilidad en el tamaño y peso de las vainas podría deberse a factores ambientales, genéticos o de manejo agrícola. La pulpa representa aproximadamente el 50.4% del peso total de las vainas, lo que resalta su potencial como materia prima, mientras que en las semillas representan una fracción menor del 23.2% del peso total, siempre siendo de manera abundante.

Según la Revista Forestal Mesoamericana Kurú, el árbol de caña fístula presenta un follaje caducifolio, sus hojas son compuestas paripinnadas, alternas. Con 4 a 8 pares de hojuelas (vainas) ovadas a lanceoladas, de 30 a 40 cm de largo total. Las hojuelas son de color verde brillantes en el haz y algo más pálidas y pilosas en el envés (Rojas & Torres, 2015).

5.2. Parámetros fisicoquímicos de la pulpa seca y la infusión de caña fistula

Tabla 4 Parámetros fisicoquímicos de la pulpa seca y la infusión de caña fistula

Tratamiento	pH	Ácidoz	SS	MS	Húmedad
Pulpa seca	5.5 ± 0.1	4.5 ± 0.05	-	98.2 ± 0.6	1.7 ± 0.6
Inf 25%	5.8 ± 0.1a	4.0 ± 0.05c	12.5 ± 0.9b	-	-
Inf 30%	5.8 ± 0.1a	4.3 ± 0.3b	12.6 ± 0.9b	-	-
Inf 35%	5.8 ± 0.1a	4.7 ± 0.1a	14.1 ± 0.6a	-	-

*Infusión (Inf) de la caña fistula con cierto porcentaje (%) de pulpa; solidos solubles (SS), materia seca (MS). Los espacios en blanco (-) corresponden a pruebas no realizadas porque no se cuentan para dicho análisis.

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de la pulpa seca y del extracto de la infusión de caña fistula fueron obtenidos por triplicado, utilizando 150 ml de agua para la realización de la infusión y para cada ensayo, variando la cantidad de pulpa seca. Se emplearon tres cantidades diferentes de pulpa seca de caña fistula: 25 g, 30 g y 35 g. Los resultados se presentan en la tabla4. Con relación al pH, se observan valores ligeramente ácidos tanto en la pulpa seca tanto como en la infusión de la caña fistula, los demás valores se presentaron normales.

Los valores de pH de las infusiones (5.8 ± 0.1) son ligeramente más altos que los de la pulpa seca, lo que es consistente con la extracción de compuestos solubles durante la infusión. La acidez en las infusiones disminuye a medida que aumenta el porcentaje de pulpa (de 4.7 ± 0.1 en la infusión al 35% a 4.0 ± 0.05 en la infusión al 25%). Esto puede deberse a la mayor liberación de compuestos orgánicos, como los ácidos fenólicos, que tienen una influencia directa sobre el pH y la acidez del extracto (Rojas, 2015). Un pH ligeramente ácido en infusiones puede ser beneficioso para la extracción de antioxidantes, ya que un entorno ácido favorece la liberación de estos compuestos (Zhao, 2017).

En cuanto a los sólidos solubles (SS), los valores aumentan significativamente con el incremento en la cantidad de pulpa. La infusión con el 35% de pulpa muestra el valor más alto de SS (14.1 ± 0.6), lo que indica una mayor concentración de compuestos solubles en comparación con las infusiones con menor cantidad de pulpa (12.5 ± 0.9 y 12.6 ± 0.9 en las infusiones del 25% y 30%, respectivamente). Los sólidos solubles incluyen azúcares, compuestos fenólicos, y otros metabolitos que se extraen durante la infusión. Estos compuestos contribuyen a las propiedades antioxidantes y a la actividad biológica de las infusiones (Reddy, 2018).

Es relevante notar que la materia seca (MS) y la humedad no fueron evaluadas en las infusiones, lo que limita la comparación directa con la pulpa seca, que tiene un valor de humedad de $1.7 \pm 0.6\%$. Sin embargo, la baja humedad de la pulpa seca sugiere que es un material más concentrado en términos de sus componentes sólidos, lo cual es típico en productos deshidratados que se utilizan para hacer infusiones. La materia seca en las infusiones no fue determinada en este estudio, lo que podría haber proporcionado información adicional sobre la cantidad de agua absorbida durante el proceso de infusión.

5.3. Viscosidad de la infusión caña fistula

Tabla 5 Viscosidad de la infusión de caña fistula

Tratamiento	Viscosidad
Inf 25%	7.2± 1.08
Inf 30%	49.1 ± 5.06
Inf 35%	78.8 ± 2.78

*Infusión (Inf) de la caña fistula con cierto porcentaje (%) de pulpa.

La viscosidad de cada una de las infusiones se evaluó en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Agricultura, utilizando un viscosímetro digital (marca NDJ, modelo AH07, China), con el rotor número 1 a una velocidad de 6 rpm. Los resultados obtenidos para la viscosidad de las infusiones de caña fistula muestran un incremento significativo a medida que aumenta la concentración de pulpa en la solución. La infusión al 25% presentó una viscosidad baja (7.2 ± 1.08 mPa·s), mientras que las infusiones al 30% y al 35% presentaron valores significativamente más altos (49.1 ± 5.06 y 78.8 ± 2.78 mPa·s, respectivamente). Este comportamiento puede explicarse por el aumento de sólidos disueltos y partículas en suspensión con mayor cantidad de pulpa, lo que incrementa la densidad y la resistencia al flujo del líquido.

El aumento de la viscosidad con la concentración de sólidos es un fenómeno común en sistemas vegetales. En este caso, se puede atribuir a la presencia de polisacáridos, compuestos fenólicos, y otros metabolitos que incrementan la interacción entre las partículas en la solución. Los polisacáridos presentes en extractos vegetales suelen formar redes tridimensionales que retienen agua, aumentando así la viscosidad del medio (Sharma, 2018).

5.4. Parámetros fisicoquímicos del yogur de caña fistula

Tabla 6 Parámetros fisicoquímicos del yogur de la caña fistula

Tratamiento	pH	Ácido	SS
Control	4.2 ± 0.01	1.1 ± 0.05	7.1 ± 0.2
Inf 25%	4.3 ± 0.005	1.0 ± 0.0	6.7 ± 0.4
Inf 30%	4.3 ± 0.005	1.0 ± 0.0	7.2 ± 0.2
Inf 35%	4.3 ± 0.005	1.0 ± 0.0	7.4 ± 0.05

*Infusión (Inf) de la caña fistula con cierto porcentaje (%) de pulpa añadido en el yogur; sólidos solubles (SS).

Los resultados muestran que los tratamientos con el extracto de caña fistula, a diferentes concentraciones, presentan características fisicoquímicas similares al yogur natural, con ligeras variaciones en pH y acidez. Los sólidos solubles aumentan a concentraciones más altas de extracto, lo que sugiere una mayor presencia de compuestos solubles que no afectan negativamente la calidad del yogur, pero pueden añadir características como sabor y textura. En general, las variaciones son mínimas, indicando que el extracto no altera drásticamente las propiedades del yogur.

Los resultados obtenidos en los análisis fisicoquímicos del yogur con extracto de caña fistula revelan que este ingrediente no altera significativamente las propiedades del yogur natural, aunque se observan ligeras variaciones en el pH y la acidez. Esta estabilidad del pH es común en productos lácteos con aditivos vegetales, ya que muchos extractos de plantas no afectan de manera drástica la acidez del producto final (Jia, 2021). Además, el pH ligeramente ácido observado en los tratamientos con extracto de caña fistula puede contribuir a una mejor preservación del producto debido a su capacidad antimicrobiana, algo que se ha documentado en estudios previos sobre otros extractos vegetales (Huang, 2019).

En cuanto a los sólidos solubles, el aumento observado con concentraciones más altas de extracto de caña fistula sugiere una mayor presencia de compuestos solubles, tales como azúcares y polifenoles. Este comportamiento es consistente con lo reportado por varios autores que han encontrado que los extractos vegetales pueden incrementar la concentración de sólidos solubles en productos lácteos sin comprometer su calidad (Zhao, 2020). La presencia de estos compuestos podría influir en las características sensoriales, como el sabor y la textura, mejorando la percepción del producto sin afectar su calidad nutricional.

En general, las ligeras variaciones observadas en los parámetros fisicoquímicos del yogurt con extracto de caña fistula indican que este aditivo es un ingrediente adecuado para la formulación de productos lácteos funcionales, con un impacto mínimo en las propiedades fundamentales del yogurt. Esto es similar a lo que se ha reportado en la incorporación de otros extractos vegetales en yogures, donde las propiedades organolépticas y nutritivas se mantienen intactas (Gonçalves, 2020).

5.5. Color en la infusión de caña fistula

Tabla 7 Color en la infusión de la caña fistula

Tratamiento	L*	a*	b*	C	h°	BI
Pulpa seca	30.7 ± 0.01	0.5 ± 0.01	2.5 ± 0.01	3.4 ± 0.02	76.9 ± 0.3	9.9 ± 0.02
Inf 25%	18.6 ± 2.1	0.7 ± 0.2	3.1 ± 0.2	5.1 ± 0.8	76.0 ± 4.5	21.1 ± 2.6
Inf 30%	18.9 ± 1.5	0.8 ± 0.1	2.6 ± 0.3	3.9 ± 1.1	71.5 ± 0.2	18.0 ± 1.2
Inf 35%	19.7 ± 0.9	0.6 ± 0.1	2.8 ± 0.3	4.3 ± 1.0	76.8 ± 1.6	17.8 ± 3.0

Infusión (Inf) de la caña fistula con cierto porcentaje (%) de pulpa; señalando la luminosidad (L), coordenadas rojo/verde (a*), coordenadas amarillo/azul (b*) los valores de cromaticidad (C), tono (h°) y pardeamiento (BI) (Konica, 2023).

Se uso la medición superficial con la técnica de Ciel*a*b* y utilizando un colorímetro marca Konica Miltona CR-400 (Tokio, Japón), en coordenadas CIEL*a*b* (L*, a* y b*). Se usó un iluminante estándar D65 y el ángulo de observador a 2° (Martínez Jader, 2017). Como se observa en la tabla, los tratamientos con extracto de caña fistula presentan colores más intensos y ligeramente más oscuros en comparación con la pulpa seca (L*). Además, muestran matices de color amarillo y rojo (a* y b*), con una mayor saturación de color (C). El tratamiento Inf 25% destaca por tener el valor más alto de BI, lo que sugiere que este producto es más blanco que los demás tratamientos.

Los valores de L* indican que las infusiones son más oscuras que la pulpa seca, lo que es atribuible a la mayor extracción de compuestos solubles durante el proceso de infusión, como los polifenoles y flavonoides, que tienen propiedades cromáticas oscuras (Yen, 2017). La menor luminosidad en las infusiones podría estar relacionada con reacciones de oxidación de estos compuestos durante la extracción en agua caliente, una característica común en extractos vegetales con alto contenido de antioxidantes (Kim, 2015).

Los valores positivos de a^* y b^* en las infusiones reflejan la presencia de matices rojos y amarillos, características propias de compuestos como los carotenoides y ciertos flavonoides. Las infusiones al 25% y 35% muestran una ligera variación en los tonos amarillos (b^*) y rojos (a^*), con una tendencia a mayor saturación de color en las concentraciones más altas, como lo sugiere el parámetro C (cromaticidad). Esto podría estar relacionado con la mayor liberación de pigmentos al aumentar la cantidad de pulpa (Martínez, 2017).

El índice de pardeamiento (BI) es particularmente relevante en el análisis de alimentos y extractos vegetales, ya que refleja la formación de productos de reacción de Maillard y oxidación de polifenoles. En este caso, el valor más alto de BI en la infusión al 25% sugiere una mayor percepción visual de blancura, lo cual puede estar asociado con una menor concentración de compuestos fenólicos oxidados en comparación con las infusiones más concentradas (Chung, 2018).

5.6. Color en el yogur con extracto de caña fistula

Tabla 8 Color en el yogur con extracto de la caña fistula

Tratamiento	L*	a*	b*	C	h°	BI
Control	81.7 ± 0.01	3.8 ± 0.02	15.6 ± 0.01	24.5 ± 0.1	56.8 ± 0.1	10.3 ± 0.03
Inf 25%	66.5 ± 0.9	0.2 ± 0.1	15.6 ± 0.2	122.8 ± 3.1	89.0 ± 0.4	26.5 ± 0.4
Inf 30%	66.5 ± 0.4	0.1 ± 0.02	15.4 ± 0.2	119.6 ± 3.4	89.4 ± 0.09	26.0 ± 0.2
Inf 35%	65.6 ± 2.2	0.1 ± 0.02	16.7 ± 0.6	140.1 ± 11.1	89.5 ± 0.07	28.8 ± 0.4

Infusión (Inf) de la caña fistula con cierto porcentaje (%) de pulpa añadido en el yogur; señalando la luminosidad (L), coordenadas rojo/verde (a*), coordenadas amarillo/azul (b*) los valores de cromaticidad (C), tono (h°) y pardeamiento (IB) (Konica, 2023).

Junto con la medición superficial con la técnica de Ciel*a*b*, donde podemos observar que todos los tratamientos con extracto de caña fistula son más oscuros que el control, con valores de L entre 65.6 y 66.5, también se muestran una disminución en la componente roja (a*) y una ligera variación en la componente amarilla (b*). Sin embargo, la saturación de color (C) aumenta considerablemente, lo que indica colores más intensos. Donde la tonalidad en el yogur con extracto se refleja de amarilla-verde (h° cerca de 89), mientras que el control tiene un tono amarillo más moderado. Y en los índices de blancura (BI) el Inf 35% tiene el mayor índice de blancura, seguido por Inf 25% y 30%, lo que sugiere que la adición de extracto de caña fistula mejora la claridad visual del yogur en comparación con el control.

Los valores de L* indican que todos los tratamientos con extracto de caña fistula (Inf 25%, Inf 30%, Inf 35%) son más oscuros que el control (81.7 ± 0.01 frente a valores entre 65.6 y 66.5). Esto podría estar relacionado con la presencia de compuestos fenólicos y pigmentos naturales en el extracto de caña fistula, como flavonoides y carotenoides, los cuales son conocidos por oscurecer productos alimenticios cuando se incorporan (García-Salas, 2010).

La saturación de color (C) aumenta significativamente con la adición de extracto de caña fistula, alcanzando un valor máximo de 140.1 ± 11.1 en la infusión al 35%. Esto indica una mayor intensidad cromática, especialmente en los matices amarillos y verdes (h° cercanos a 89), en comparación con el tono amarillo moderado del control ($h^\circ = 56.8$). Este cambio podría ser beneficioso en términos de percepción visual, ya que colores más intensos suelen ser asociados con mayor frescura y calidad en alimentos lácteos (Pathare, 2013).

El índice de blancura (BI) es un parámetro importante en productos lácteos, ya que está asociado con la claridad y pureza visual del producto. Los resultados muestran que el yogur enriquecido con extracto de caña fistula al 35% tiene el mayor BI (28.8 ± 0.4), seguido de las infusiones al 25% y 30%. Esto contrasta con el BI del control (10.3 ± 0.03), lo que sugiere que la adición de extracto mejora la percepción visual del yogur, haciéndolo más atractivo y brillante (Agudelo, 2021)

5.7. Extracción de ácido ascórbico en la infusión de caña fístula

Tabla 9 Extracción de ácido ascórbico en la infusión de caña fístula

Tratamiento	Ac. Ascórbico
Inf 25%	6.5 ± 0.6
Inf 30%	5.6 ± 0.3
Inf 35%	4.6 ± 0.6

*Infusión (Inf) de la caña fístula con cierto porcentaje (%) de pulpa.

El contenido de ácido ascórbico en las infusiones de caña fístula disminuye conforme aumenta la concentración de la infusión (25% a 35%). Este comportamiento podría deberse a una mayor interacción entre compuestos en infusiones más concentradas, afectando la estabilidad o disponibilidad del ácido ascórbico. Además, la precisión de las mediciones fue mayor en las concentraciones intermedias (30%), pero la tendencia general resalta la importancia de considerar factores que puedan influir en la retención de vitamina C durante el proceso de preparación de las infusiones.

El ácido ascórbico es altamente sensible al calor, la oxidación, y el pH, especialmente en medios acuosos. En el caso de la caña fístula, las temperaturas empleadas para preparar las infusiones podrían haber contribuido a su degradación parcial, como ocurre en otros alimentos ricos en vitamina C. Por ejemplo, estudios en extractos de cítricos han demostrado que una mayor concentración de materia prima vegetal no siempre equivale a una mayor extracción de compuestos termolábiles como el ácido ascórbico (Lee, 2000).

5.8. Extracción de ácido ascórbico en el yogur con extracto de caña fístula

Tabla 10 Extracción de ácido ascórbico en el yogur con extracto de caña fístula

Tratamiento	Ac. Ascórbico
Inf 25%	6.5 ± 0.6
Inf 30%	5.6 ± 0.3
Inf 35%	4.6 ± 0.5

*Infusión (Inf) de la caña fístula con cierto porcentaje (%) de pulpa.

El contenido de ácido ascórbico en el yogur enriquecido muestra una disminución conforme aumenta la concentración de infusión. Esto sugiere que las infusiones más concentradas no incrementan la cantidad de vitamina C incorporada y podrían incluso promover interacciones químicas o físicas que afectan su estabilidad o disponibilidad en la matriz del yogur. La infusión al 25% destacó por aportar la mayor cantidad de ácido ascórbico con una variabilidad moderada, mientras que la infusión al 30% presentó resultados más consistentes. Estos hallazgos subrayan la importancia de evaluar no solo la concentración de los extractos, sino también los factores que afectan la retención y biodisponibilidad de la vitamina C, con el fin de optimizar el enriquecimiento funcional del yogur.

El contenido más alto de ácido ascórbico en el tratamiento Inf 25% (6.5 ± 0.6) podría estar relacionado con una menor saturación de compuestos fenólicos o antioxidantes, lo que reduce el potencial de reacciones redox que podrían descomponer la vitamina C. En contraste, las infusiones más concentradas (Inf 30% y 35%) muestran una disminución de ácido ascórbico, probablemente debido a interacciones competitivas entre los compuestos bioactivos y los componentes lácteos, como las proteínas, que pueden limitar su biodisponibilidad o estabilidad (Chen, 2021).

5.9. Extracción de fenoles en la infusión de caña fístula

Tabla 11 Extracción de fenoles en la infusión de caña fístula

Tratamiento	Fenoles
Inf 25%	2.5 ± 0.3
Inf 30%	2.5 ± 0.6
Inf 35%	2.6 ± 0.6

*Infusión (Inf) de la caña fístula con cierto porcentaje (%) de pulpa.

Los resultados sugieren que las variaciones en la concentración de infusión (25%, 30% y 35%) no tienen un impacto significativo en la cantidad de fenoles totales extraídos de la pulpa seca de caña fístula bajo las condiciones de extracción asistida por ultrasonidos (20 minutos, 45 °C). Esto indica que, dentro del rango estudiado, el contenido de fenoles es relativamente estable y que otros parámetros, como la temperatura, el tiempo de sonicación o la proporción entre el solvente y la muestra, podrían influir más notablemente en la extracción de fenoles totales.

La estabilidad observada en los resultados podría deberse a que las condiciones de extracción, específicamente el uso de ultrasonidos a temperaturas moderadas (30-50 °C) y por un tiempo limitado (20 minutos), optimizan la liberación de fenoles sin promover su degradación térmica. La extracción asistida por ultrasonidos ha demostrado ser eficiente para liberar compuestos fenólicos en diversas matrices vegetales al romper las paredes celulares y facilitar la transferencia de solutos (Herrera *et al.*, 2019). Sin embargo, una mayor concentración de pulpa podría no incrementar el contenido extraído debido a la saturación del solvente o a la baja solubilidad de algunos compuestos en agua (Ballesteros-Vivas, 2022).

Resultados similares se han reportado en estudios con infusiones de plantas medicinales y frutas. Por ejemplo, en infusiones de hibisco y té verde, no se observaron diferencias significativas en el contenido de fenoles totales al incrementar la cantidad de materia prima vegetal en rangos moderados, atribuyéndose a la saturación del sistema de extracción y al equilibrio de solubilidad (Muñoz *et al.*, 2021). Además, se ha documentado que otros factores, como la presencia de antioxidantes de alta reactividad, pueden competir por el solvente y limitar la recuperación adicional de fenoles (Sulaiman, 2017).

5.10. Extracción de fenoles en el yogur con extracto de caña fístula

Tabla 12 Extracción de fenoles en el yogur con extracto de caña fístula

Tratamiento	Fenoles
Inf 25%	2.3 ± 0.07
Inf 30%	2.4 ± 0.4
Inf 35%	2.6 ± 0.6

*Infusión (Inf) de la caña fístula con cierto porcentaje (%) de pulpa.

La incorporación del extracto de pulpa seca de caña fístula en un yogur comercial permitió enriquecerlo con fenoles totales, mostrando un leve incremento en su contenido a medida que aumentó la concentración de la infusión (25% a 35%). Sin embargo, la diferencia entre los tratamientos no es significativa, y factores como la variabilidad en las mediciones sugieren que podría optimizarse el proceso para lograr una mayor estabilidad y precisión en la incorporación de fenoles al yogur.

Estudios previos han demostrado que los productos lácteos, como el yogur, pueden actuar como vehículos efectivos para compuestos fenólicos debido a su composición rica en proteínas y lípidos, que estabilizan estos compuestos mediante interacciones moleculares (Shori, 2020). Sin embargo, estas mismas interacciones pueden limitar la biodisponibilidad de los fenoles, especialmente a concentraciones más altas, donde se favorece la formación de agregados o complejos insolubles (Caleja, 2020).

La capacidad de los fenoles para retener su actividad funcional en el yogur puede depender de la compatibilidad entre el extracto y la matriz alimentaria. Por ejemplo, se ha documentado que fenoles con estructuras más simples son más fácilmente incorporados y retenidos en productos lácteos que aquellos con estructuras más complejas o con alta reactividad química (Bhat, 2021).

VI. CONCLUSIÓN

La infusión de caña fistula presentan características fisicoquímicas, con un pH ligeramente ácido y acidez moderada. En las infusiones, el aumento de sólidos solubles con la concentración de pulpa refleja una mayor liberación de compuestos solubles. La incorporación de extracto de caña fistula en el yogur genera variaciones mínimas en pH y acidez, preservando su calidad. Además, el leve incremento de sólidos solubles podría enriquecer el perfil sensorial del yogur sin alterar su textura ni sabor.

La infusión y el yogur mejora la intensidad cromática, intensificando los colores amarillos y rojos. En la infusión con 25g de pulpa seca de caña fistula presentó el índice de blancura más alto, mientras que en las concentraciones más altas el índice de blancura disminuye ligeramente. En el yogur, las tonalidades son principalmente amarillas-verde, con un índice de blancura más alto en el tratamiento con 35g de pulpa seca, lo que mejora la claridad visual en comparación con el control. En general, el extracto de caña fistula no compromete la calidad visual, sino que la mejora, aportando características de mayor profundidad.

VII. RECOMENDACIONES

Reafirma la importancia de trabajar en oscuridad, frescura y limpieza, y documentar cómo estas condiciones influyen en la calidad del producto final. Algunas ideas para medir esto incluyen, evaluar la degradación de compuestos fenólicos en diferentes niveles de exposición a la luz o temperatura. Y en donde se puede experimentar con envolturas o empaques especializados que minimicen la exposición a la luz y aseguren frescura (por ejemplo, bolsas opacas, papel aluminio o atmósfera modificada).

Una propuesta sería la utilización de pulpa fresca, que puede ser una excelente idea para explorar diferencias en la composición química y propiedades bioactivas respecto a la pulpa seca. Y se podrían incluir una comparación de ambos métodos en términos de conservación de compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, antioxidantes), propiedades fisicoquímicas (pH, humedad, viscosidad, entre otros), aprovechamiento y rendimiento del producto final, evaluando la estabilidad y conservación, y si la pulpa fresca presenta mayores desafíos de almacenamiento.

Otra recomendación sería la ampliación de la matriz alimentaria, donde se podría explorar la incorporación de la pulpa de caña fistula en otros productos lácteos, como quesos, helados u otras bebidas lácteas fermentadas, o también ser en productos no lácteos donde se le pueda sacar potencial como ser en bebidas o postres.

VIII. BIBLIOGRAFIA

- Agudelo, C. , D. S. , & M. A. (2021). Application of natural colorants in yogurt production. *Journal of Dairy Science*.
- Aguilera Miguel, Reza María, Chew Rodolfo, Aguilar Jorge, & Ramírez Patricia. (2012). Antocioninas de higo como colorantes para yogur natural. *Biotechnia*, 14(1665–1456), 18–24.
- Babio, N., Mena-Sánchez, G., & Salas-Salvadó, J. (2017). Beyond the nutritional value of yogurt: a diet quality indicator? *Nutricion Hospitalaria*, 34, 26–30. <https://doi.org/10.20960/NH.1567>
- Ballesteros-Vivas, D. , Á.-R. G. , & P.-A. F. (2022). Advances in ultrasound-assisted extraction for phenolics in natural products. *Trends in Food Science & Technology*.
- Bhat, R. , K. A. M. , & K. A. A. (2021). Phenolic compounds in functional food: Stability and health benefits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.
- Caleja, C. , B. L. , & F. I. C. F. R. (2020). A review on the applications of phenolic compounds in food products. *Food Chemistry*.
- Cárcamo Lilian, T. M. O. L. (2019). Cambios en los compuestos bioactivos del jugo de uchuva (*Physalis Peruvian L.*) pasteurizado. *Tecnológicas*, Vol. 22.
- Chen, W. & Z. (2021). Stability of ascorbic acid in food matrices: Impact of processing and storage. *Food Chemistry*.
- Chung, H. J. , & L. J. H. (2018). Effects of phenolic compounds on the Maillard reaction and browning in food systems. *Food and Chemical Toxicology*.
- Codex Alimentarius. (2022). Normas para leches fermentadas CXS 243-2003. *Codex Alimentarius* https://fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcode%252Fstandards%252FCXS%252B243-2003%252FCXS_243s.pdf
- EMR. (2024, February). *Claight Corporation (Expert Market Research): Perspectiva del Mercado de Yogur*. Informe. <https://informesdeexpertos.com/informes/mercado-de-yogur>
- Fuentes, J. A. M., Fernández, I. M., Maldonado, S. A. S., Murillo, I. M. V., Altamirano, C. M. S., Bonilla, F. J. H., Tejada, E. G. C., Dereck, B. F. C., Fernández, H. Z., & Gil, M. de J. A. (2020). Physical-Chemical Evaluation of the *Cassia grandis L.* as Fortifying Egg Powder. *Journal of Agricultural Science*, 12(8), 277. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n8p277>

- García-Salas P., M.-S. A. , & S.-C. A. (2010). Phenolic compound extraction systems for fruit and vegetable samples. *Molecules*.
- Gonçalves, J. , et al. (2020). Efecto de los extractos de plantas en las propiedades fisicoquímicas del yogur: *Dairy Science & Technology*.
- Google Maps. (2024). *Ubicación de UNAL - Palmira*. Google Maps. <https://google.com/maps/place/Universidad+Nacional+de+Colombia+Sede+Palmira/@3.5119767,-76.309158,17.18z/data=!4m6!3m5!1s0x8e3a05053bb70673:0xdaf4e20d221efefd!8m2!3d3.5119486!4d-76.3073892!16s%2Fg%2F11bc6bl410?entry=ttu>
- Grijalva Alfredo. (2014). Un gran recurso: Plantas ornamentales de Nicaragua. *UNA*.
- Huang. (2019). Propiedades antimicrobianas de extractos de plantas en productos lácteos fermentados. . *Food Research International*.
- Investigación Científica. (2020). *¿Qué es el método científico experimental?* Investigación Científica. Org.
- Jia, F. , et al. (2021). Influencia de los extractos naturales en el pH y la acidez de los productos lácteos. *Journal of Dairy Science*.
- Kim, S. H. , & L. J. H. (2015). Pigments in plant extracts and their effects on food quality. *Food Chemistry*.
- Konica, M. (2023). *Control y medición del color*. Konica Minolta.
- Lee, S. K. , & K. A. A. (2000). Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*.
- Marcía-Fuentes, J., Santos-Aleman, R., Borrás-Linares, I., & Sánchez, J. L. (2021). The carao (*Cassia grandis* L.): Its potential usage in pharmacological, nutritional, and medicinal applications. In *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future* (pp. 403–427). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80108-3_19
- Martínez, J. , & J. R. (2017). Técnicas avanzadas en medición de color en alimentos. *Food Science Journal*.
- Martínez Jader, O. L. R. X. P. L. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, *Arecaceae*) obtenida por secado convectivo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, Vol.18.
- Martínez-Girón, J., Rodríguez-Rodríguez, X., Pinzón-Zárate, L. X., & Ordóñez-Santos, L. E. (2017). Caracterización fisicoquímica de harina de residuos del fruto de chontaduro (*Bactris gasipaes* Kunth, *Arecaceae*) obtenida por secado convectivo. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 599–613. https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:747
- Méndez Lilia. (2020). Manual de prácticas de Análisis de Alimentos. *Universidad Veracruzana*, 1, 8.

- Montagud Nahum. (2021). *Beneficios del yogurt*. Psicología y Mente.
- Ordóñez-Santos, L. E., Esparza-Estrada, J., & Vanegas-Mahecha, P. (2023). Efecto de la temperatura de horneado en carotenoides y provitamina A en pan elaborado con extracto de epicarpio de mandarina (*Citrus reticulata*). *TecnoLógicas*, 26(58), e2755. <https://doi.org/10.22430/22565337.2755>
- Pathare P. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*.
- Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A. J. (2013). Colour Measurement and Analysis in Fresh and Processed Foods: A Review. In *Food and Bioprocess Technology* (Vol. 6, Issue 1, pp. 36–60). Springer Science and Business Media, LLC. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0867-9>
- Pawar, A. V, Patil, S. J., & Killedar, S. G. (2017). Uses of Cassia Fistula Linn as a Medicinal Plant. In *Pawar Aarti .V; International Journal of Advance Research and Development*. www.ijarnd.com
- Pinchao-Pinchao, Y. A., Ordoñez-Santos, L. E., & Osorio-Mora, O. (2019). Evaluación del efecto de diferentes factores sobre la extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la vaina de arveja. *Portal de Revistas de La Universidad Nacional de Colombia*.
- Powder Tronic. (2023). *Métodos de deshidratación y secado industrial*. Powder Tronic.
- Real Academia Española. (2023). *Yogur*. Diccionario de La Real Academia Española.
- Reddy, A. P. , & R. P. S. (2018). Antioxidant potential and bioactive components of *Cassia fistula*: A review. *Pharmacognosy Reviews*.
- Roa Mónica. (2023). ¿Dónde se consumen más productos lácteos? Macroencuestas *Statista Consumer Insights*.
- Rodríguez Manuel. (2015). Conceptos Básicos para la Construcción y Análisis de Diseños de Bloques. *ResearchGate*.
- Rojas, A., L. J., & G. J. (2015). Bioactive compounds from *Cassia* species. *Natural Product Research*.
- Rojas Freddy, & Torres Gustavo. (2015). ArbolesDelValleCentralDeCostaRica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9, 1.
- RSA. (2013). *Reglamento Sanitario De Los Alimentos*. <https://isl.gob.cl/wp-content/uploads/2015/04/D.S-N---977actualizado-2013.pdf>
- Sánchez José. (2015). *Cassia fistula (Leguminosae-Caesalpinioideae) en Murcia*.
- Sharma, A., K. R., & T. M. (2018). Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Cassia fistula*: A review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*.

- Shori, A. B. (2020). Microencapsulation for stabilizing phenolic compounds in dairy products: Applications and opportunities. *Food Bioscience*.
- Sreya Biswas. (2010). El yogur y la revolución de los alimentos funcionales. *BBC*.
- Sulaiman, R., Y. M., & H. A. (2017). Phenolic compounds extraction: Influences of solvent and extraction parameters. *Journal of Food Composition and Analysis*.
- The Food Tech. (2023). *Manufactura del yogur: tecnologías emergentes y su impacto en la calidad del producto*. Tecnología de Los Alimentos.
- Velasco Viviana. (2020). Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (*Carica papaya L.*) y guayaba (*Psidium guajava*) como colorante natural en salchichas Frankfurt. *Universidad Nacional de Colombia*.
- Weill Ricardo, Ferrari Alejandro, Adb Florencia, & Vido Juliana. (2017). *El yogur, un alimento milenario a la luz del siglo XXI* (Vol. 1). Asociación Civil Danone para la Nutrición, la Salud y la Calidad de Vida. https://danoneinstitute.org/wp-content/uploads/2020/12/Book-Yogurt-Ancient-Food-2018_sp.pdf
- Yen, G. C. , & C. H. Y. (2017). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*.
- Yogurt Nutrition. (2024). *Los lípidos de los productos lácteos al detalle*. Initiative For Sustainable and Balanced Diets.
- Zenebon Odair, Pacuer Neus, & Tiglea Paulo. (2008). Método físico-químicos para análisis de alimentos. *Instituto Adolfo Lutz*, 4.
- Zhao. (2020). Efecto de los aditivos de origen vegetal en la composición y las propiedades sensoriales del yogur. *Food Quality and Safety*.
- Zhao, J. , W. D. , & S. L. (2017). Extraction of antioxidants from (*Cassia fistula*) leaves and flowers. *Food Science and Technology*.

ANEXOS

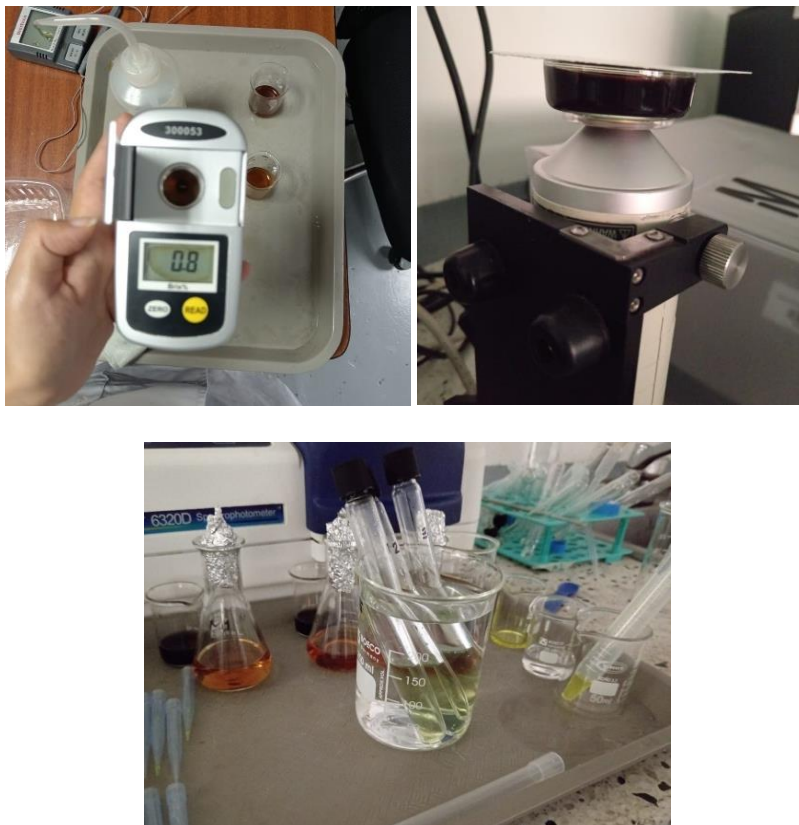
Anexo 1. Medición y Partición de la vaina de caña fistula



Anexo 2. Desarrollo de la infusión de la caña fistula



Anexo 3. Medición de análisis en la infusión



Anexo 4. Medición de análisis del yogur con la incorporación de la infusión



Anexo 5. Medición de viscosidad



Anexo 6. Evaluación de color con la técnica Cielab

