

UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA

**DESARROLLO DE YOGURT ENRIQUECIDO CON EXTRACTO DE RESIDUOS DE
PAPAYA (*Carica papaya L.*)**

POR:

DAYANA ALEJANDRA LICONA MATEO

INFORME DE TESIS



CATACAMAS

DICIEMBRE, 2024

OLANCHO

DESARROLLO DE YOGURT ENRIQUECIDO CON EXTRACTO DE RESIDUOS DE
PAPAYA (*Carica papaya L.*)

POR:

DAYANA ALEJANDRA LICONA MATEO

M.Sc. ROSA ARELYS BETANCOURT RAUDALES

ASESORA PRINCIPAL

TESIS PRESENTADO A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AGRICULTURA COMO
REQUISITO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO

INGENIERO EN TECNOLOGÍA EN ALIMENTO

CATACAMAS

OLANCHO

DICIMEBRE, 2024

CONTENIDO

	pág.
LISTA DE TABLAS.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	iv
RESUMEN.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	viii
II. OBJETIVOS.....	2
2.1. Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
3.1. Papaya.....	3
3.1.1. Composición nutricional de la papaya.....	4
3.2. Residuos agroindustriales.....	5
3.2.1. Aprovechamiento de los residuos.....	5
3.2.2. Beneficios de los residuos de papaya.....	6
3.1. Yogurt.....	6
3.5. Yogurt potencialmente funcional.....	7
3.6. Beneficios para la salud.....	7
3.7. Enriquecimiento de yogurt.....	8
IV. MATERIALES Y EQUIPO.....	9
4.1. Lugar de desarrollo de la investigación.....	9
4.2. Material de estudio.....	9
4.3. Fase 1: Definición de los tratamientos del epicarpio de papaya, elaboración de la HEP y definición de tratamiento de la harina de epicarpio de papaya (HEP).....	10
4.3.1. Obtención de muestras y harina del epicarpio de papaya.....	10
4.3.2. Determinación de los parámetros físico-químicos de la muestra de epicarpio de papaya (MEP) y harina del epicarpio de papaya (HEP).....	10

4.3.3. Determinación de pH y acidez titulable en la MEP Y HEP.....	11
4.3.4. Determinación del contenido de humedad en la MEP Y HEP	11
4.3.5. Determinación de contenido de vitamina C en las MEP Y HEP	12
4.3.6. Determinación de los parámetros de color en MEP y HEP	12
4.3.7. Determinación de concentración de los pigmentos carotenoides en MEP y HEP	13
4.3.8. Diseño experimental	14
4.4. Fase 2: Obtención y aplicación del extracto de carotenoides del epicarpio de papaya en un yogur.	14
4.4.1. Extracción total de carotenoides en el proceso de optimización asistida por ultrasonido	14
4.4.2. Determinación del nivel óptimo de concentración de los pigmentos carotenoides	15
4.4.3. Efecto de la aplicación del extracto obtenido a partir de la HEP	16
4.4.4. Análisis realizados a los diferentes lotes de yogur enriquecido	16
4.4. Diseño experimental de yogur comercial enriquecido con HEP	17
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
5.1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras fresco y harina de epicarpio de papaya	24
5.1.1. pH de las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya	24
5.1.3. Parámetros de color (CIEL*a*b*) de las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya	19
5.1.4. Contenido de carotenoides en las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya	21
5.2. Obtención del extracto asistido por ultrasonido y Efecto de la aplicación de los pigmentos carotenoides obtenidos a partir de la harina de epicarpio de papaya en un Yogur comercial	22
5.2.1. Resultados de análisis fisicoquímicos del yogur comercial adicionado con los extractos de HEP	22
VI. CONCLUSIONES	27
VII. RECOMENDACIONES	28
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	29
IX. ANEXOS.....	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras del epicarpio de papaya (fresco) y la harina de epicarpio de papaya (HEP).....	19
Tabla 2. Parámetros de color de las muestras de harinas del epicarpio de papaya (fresco) y la harina de epicarpio de papaya (HEP)	20
Tabla 3. Contenido de carotenoides en las harinas de epicarpio de papaya (HEP) (mg/100g de muestra)	21
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las diferentes muestras de yogur enriquecido con extracto de HEP	22
Tabla 5. Coordenadas de color de las diferentes muestras de yogur enriquecido con extracto de HEP	23
Tabla 6. Contenido de carotenoides en las harinas de epicarpio de papaya (HEP) (mg/100g de muestra)	25

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Recolección de materia prima.....	38
Anexo 2. Proceso de deshidratación.....	38
Anexo 3. Proceso de molienda.....	38
Anexo 4. Análisis de la harina de epicarpio de papaya.....	39
Anexo 5. Extracción de extracto de HEP.....	39
Anexo 6. Enriquecimiento de yogur comercial.....	39
Anexo 7. Análisis en el yogur comercial enriquecido con HEP.....	40

DEDICATORIA

A Dios todo poderoso, de quien todo procede

A mis padres **Diana Ruth Mateo Romero** y **Nery Alejandro Licona Galindo**
el apoyo que me dieron desde el primer día.

A mis hermanos **Blanca Raquel Licona Mateo** y **David Alejandro Licona Mateo**
por el apoyo y motivación que me brindaron

*"Dedico este trabajo a quienes, con su apoyo incondicional y constante
motivación, han sido pilares fundamentales en
este camino de aprendizaje y esfuerzo."*

AGRADECIMIENTOS

A mis padres **Diana Ruth Mateo Romero** y **Nery Alejandro Licona Galindo** por siempre apoyarme y confiar en mí, a mis hermanos **Blanca Raquel Licona Mateo** y **David Alejandro Licona Mateo** por brindarme su apoyo en todo momento.

A **Dios todo poderoso** por brindarme salud, fuerza y sabiduría para afrontar todos los desafíos y salir adelante siempre.

A mi mejor amigo y amigos que siempre estuvieron presente apoyándome en todo momento y brindándome su amor incondicional. También a mi abuela **Blanca de Jesús Romero** y mis tíos por apoyarme siempre y darme palabras de ánimo en todo momento. Sin olvidar a mis papones y milo por darme fuerza con sus caricias y acompañarme en momentos de dificultad.

A **M.Sc. Rosa Alerys Betancourt Rosales**, **M.Sc. Luis José Castillo Rodríguez** y **M.Sc. Zoila Esperanza Flores Hernández** por brindarme su apoyo y colaboración para poder llevar a cabo mi investigación.

A **PhD. Luis Eduardo Ordoñez Santos**, **M.Sc. Viviana Andrea Velasco Arango** y **Marco Tulio Álvarez** por brindarme su apoyo, por su paciencia y brindarme sus conocimientos que fue parte fundamental para poder lograr mi trabajo y el depositar su confianza para poner trabajar en el Laboratorio de Tecnología de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira.

A mi alma mater **Universidad Nacional de Agricultura** por haberme formado académicamente para ser un buen profesional. A la **Universidad Nacional de Colombia-Palmira** por abrirme sus puertas y enriquecer mis conocimientos.

RESUMEN

El epicarpio de la papaya (*Carica papaya* L.), subproducto generado durante la transformación agroindustrial de esta fruta, suele ser desechado o utilizado como alimento animal, lo que contribuye a la contaminación ambiental. Este estudio tuvo como objetivo principal evaluar su uso como ingrediente funcional en la producción de yogures comerciales, aprovechando su alto contenido de pigmentos carotenoides. La metodología se desarrolló en dos fases complementarias. En la primera, el epicarpio fue sometido a procesos de escaldado, deshidratación y molturación para obtener una harina caracterizada por su baja humedad (8.39%) y alta concentración de carotenoides. Posteriormente, se optimizó la extracción de carotenoides mediante ultrasonido asistido, utilizando aceite de girasol como solvente, y se analizaron parámetros de color (CIEL*a*b*) y contenido de carotenoides. En la segunda fase, el extracto obtenido fue incorporado al yogur en concentraciones del 1%, 3% y 5%, evaluando las propiedades fisicoquímicas y cromáticas bajo un diseño experimental aleatorio. Los resultados mostraron que la adición del extracto mejoró significativamente los tonos amarillos y rojizos del yogur en concentraciones más altas (5%), sin alterar de manera notable parámetros como pH y acidez. En conclusión, el uso del extracto de epicarpio de papaya en yogures enriquecidos es una alternativa innovadora y sostenible para valorizar residuos agroindustriales. Este enfoque no solo mejora la calidad visual y funcional del producto, sino que también contribuye al desarrollo de alimentos funcionales más sostenibles, ofreciendo una solución efectiva para reducir el desperdicio y mitigar el impacto ambiental.

Palabras claves: Epicarpio, Pigmentos carotenoides Yogures funcionales, Sostenibilidad y Propiedades cromáticas

I. INTRODUCCIÓN

La papaya es una fruta tropical de gran importancia tanto a nivel económico como nutricional. Además de su valor en la industria frutícola, la papaya es reconocida por su abundancia en compuestos bioactivos, como vitaminas, potasio y enzimas digestivas, que contribuyen significativamente a la salud humana. Entre estos compuestos, los carotenoides juegan un papel crucial al actuar como precursores de la vitamina A y al ofrecer beneficios antioxidantes y antiinflamatorios (Soria, F. A. R. 2023).

En todos los procesos de los alimentos, se desarrollan subproductos, residuos e incluso productos fuera de norma donde cada uno de ellos pueden servir para el consumo humano, aplicación industrial e incluso para el consumo animal, lo que traería beneficios económicos con las exigencias crecientes que tiene el mercado, la transformación de productos agrícolas en la actualidad es algo importante en muchas empresas (Soria, F. A. R. 2023).

Con lo anterior surge la necesidad de buscar alternativas que ayuden a reducir el desarrollo de residuos agroindustriales, por ello la implementación de estos residuos en un yogurt, aprovechando todas sus propiedades, que muchas veces desechamos. Es por ello, el objetivo de la investigación es realizar enriquecimiento de yogurt aprovechando el extracto carotenoides del epicarpio de papaya para obtener un producto láctico final, potencialmente funcional.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Evaluar el potencial agroindustrial del epicarpio de papaya en un yogur natural comercial, evaluando como ingrediente enriquecedor de carotenoides para mejorar propiedades en productos alimenticios.

2.2.Objetivos específicos

- Obtener harina a partir del epicarpio de papaya por medio de convección natural para enriquecer el yogur comercial.
- Evaluar el enriquecimiento con extracto de carotenoides de epicarpio de papaya en un yogur comercial natural.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Papaya

La papaya es una fruta nutritiva, rica en provitamina A, carotenoides, vitamina C, B, licopeno, minerales y fibra. La papaya madura actúa como laxante natural y su jugo lechoso ayuda en la digestión. Además, su alto contenido de ácido fólico ayuda a convertir la homocisteína, reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Yogiraj, V. 2014).

La *Carica papaya*, más conocida como papaya, es una fruta tropical, está reconocida por su delicioso sabor y sus beneficios nutricionales. Aunque la pulpa de la papaya es muy apreciada en la gastronomía, sus partes menos utilizadas, como la cáscara, las semillas, suelen ser ignoradas y desechadas como residuos. Los desechos de papaya, como la cáscara, poseen una potente actividad antioxidante gracias a su contenido de compuestos fenólicos y carotenoides (Soria, 2023).

En particular la papaya, fruta que se cultiva en numerosos países tropicales y subtropicales tales como India, Indonesia, México y Colombia, entre otros (Singh, 2011), genera subproductos que se han cuantificado en un 10 – 20% para la piel (epicarpio) y 10-20% para las semillas con relación a la fruta entera, se ha convertido en un material de interés para los investigadores, gracias a la alta presencia en ella de múltiples compuestos bioactivos de origen natural (Velasco, VA. 2020).

3.1.1. Composición nutricional de la papaya

La papaya (*Carica papaya L.*), perteneciente a la familia Caricaceae, es uno de los cultivos frutales más importantes a nivel mundial, originario de regiones tropicales y subtropicales. Esta fruta, disponible durante todo el año, se valora por su pulpa de tonalidades rojas, anaranjadas o amarillas, que posee un sabor dulce y jugoso (Velasco, VA. 2020).

Tabla 1: Composición química de la papaya.

COMPONENTE	UNIDAD	VALOR
Agua	g/100 g	88,06
Proteína	g/100 g	0,47
Lípidos totales (Grasas)	g/100 g	0,26
Cenizas	g/100 g	0,39
Carbohidratos	g/100 g	10,82
Fibra dietética total	g/100 g	1,70
Azúcares, total incluyendo NLEA	g/100 g	7,82
Caroteno, Beta u	ug/100g	274,00
Caroteno alfa u	ug/100g	2,00
Criptoxantina beta u	ug/100g	589,00
Licopeno	ug/100g	1828,00
Luteína + zeaxantina	ug/100g	89,00
Vitamina A, UI	UI./100g	950,00
Vitamina B1 o Tiamina	mg/100 g	0,023
Vitamina B2 o Riboflavina	mg/100 g	0,027
Vitamina B3 o Niacina	mg/100 g	0,357
Vitamina B6 o Piridoxina	mg/100 g	0,038
Vitamina C o Ácido ascórbico	mg/100 g	60,9
Vitamina K	ug/100 g	2,60
Calcio	mg/100 g	20,00
Hierro	mg/100 g	0,25
Cobre	mg/100 g	0,045
Fósforo	mg/100 g	11,00
Magnesio	mg/100 g	0,04
Potasio	mg/100 g	128,00

Fuente: USDA, N. (2019)

3.2. Residuos agroindustriales

Los desperdicios de alimentos representan el 10 % de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a un clima inestable y a fenómenos meteorológicos extremos como sequías e inundaciones (UNEP, 2021). Estos cambios repercuten negativamente en el rendimiento de las cosechas, reducen potencialmente la calidad nutricional de los cultivos y provocan perturbaciones en la cadena de suministro (FAO, 2022).

Según el informe de la FAO El estado mundial de la agricultura y la alimentación (2019), alrededor del 14 % de la producción alimentaria mundial sigue perdiéndose después y antes de llegar a las tiendas, mientras que el informe sobre el Índice de desperdicio de alimentos del PNUMA muestra que el 17 % de nuestros alimentos acaba siendo desperdiciado en la venta al por menor y por los consumidores, especialmente en los hogares. Según estima la FAO, los alimentos que se pierden y desperdician podrían alimentar a 260 millones de personas cada año (FAO, 2022).

3.2.1. Aprovechamiento de los residuos

El procesamiento de frutas resulta en una considerable cantidad de residuos, como semillas y piel, que representan más del 40% del peso total. En Colombia, estos residuos son comúnmente descartados o empleados en alimentación animal. Sin embargo, se ha reconocido su potencial en la producción de alimentos saludables, planteando oportunidades para su valorización y contribución al aprovechamiento sostenible de los recursos frutales (Ordoñez, LE. 2016).

Sin embargo, estudios han demostrado que estos residuos son una fuente rica en compuestos bioactivos, como los carotenoides, presentes en frutas como la papaya y chontaduro. El uso de tecnologías como el ultrasonido permite una extracción eficiente de estos compuestos, que se están investigando como posibles aditivos naturales en alimentos, con beneficios para el color y el contenido antioxidante (Ordoñez, LE. 2016).

3.2.2. Beneficios de los residuos de papaya

Los residuos de papaya, a menudo subestimados, ofrecen beneficios para la salud digestiva. Son una rica fuente de enzimas como la papaína y la quimopapaína, que facilitan la digestión al descomponer las proteínas. Además, se ha observado que el extracto de desechos de papaya tiene propiedades antimicrobianas y antiparasitarias, lo que podría contribuir a combatir infecciones intestinales y promover la salud intestinal (Soria, 2023).

La cáscara de la papaya contiene químicos bioactivos, incluyendo los fenólicos, que poseen una amplia gama de propiedades biológicas, como el efecto antioxidante, lo que les permitiría ser utilizados en la producción de aceites vegetales, para cuya elaboración actualmente se utilizan conservantes sintéticos (Velasco, VA. 2022).

3.1. Yogurt

El yogur, un alimento fermentado de origen milenario, ha sido parte de la dieta humana desde la antigua Mesopotamia, donde se descubrió su proceso de fermentación láctica. A lo largo de la historia, el yogur ha sido apreciado por su valor nutricional y sus beneficios para la salud digestiva. Desde su industrialización en el siglo XIX, el yogur ha experimentado un crecimiento significativo, siendo producido y consumido en todo el mundo (Esquer, JC. 2020)

En la actualidad, la producción mundial de yogurt es considerable, alcanzando los 54.5 millones de toneladas en 2021, liderada por países como Estados Unidos y China. Su consumo per cápita varía ampliamente entre regiones, con niveles altos en Europa y América del Norte. Este alimento es reconocido por su contenido de proteínas, vitaminas y probióticos, que ofrecen una amplia gama de beneficios para la salud, incluyendo la mejora de la digestión (Esquer, JC. 2020).

3.2. Yogurt potencialmente funcional

Los alimentos funcionales, una innovación surgida en Japón en los años 80, proporcionan beneficios adicionales a la dieta humana, como la reducción de azúcares y la inclusión de fibras y prebióticos. Estos productos pueden encontrarse en formas diversas, como el yogurt funcional, ofreciendo una fuente de fibra con bajo contenido lipídico y alta aceptabilidad sensorial. Reconocidos por la FDA como aditivos seguros desde 1992, los alimentos funcionales ayudan a regular el tránsito intestinal (Placencio, VI. 2021).

3.3. Beneficios para la salud

La inclusión de fibras derivadas de residuos de papaya, como el epicarpio y pericarpio, en la producción de yogur promete beneficios significativos. Estos residuos, ricos en nutrientes, mejoran la viscosidad y textura del producto final, mientras elevan su valor nutricional. Además, actúan como prebióticos, fomentando el crecimiento de una microbiota intestinal saludable y proporcionando beneficios para la salud del consumidor (Romero, AV. 2022).

3.4. Enriquecimiento de yogurt

El consumo de yogurt se atribuye a sus características organolépticas y versatilidad de producción, ya que se puede presentar como natural, azucarado, con adición de frutas o desechos de frutas o, por su viscosidad como yogurt bebible y tipo griego. La producción de yogurt normalmente no incluye fibras, Sin embargo, el desafío tecnológico motiva la investigación sobre cómo producir un yogurt con características similares al que se consume con frecuencia (Romero, AV. 2022).

IV. MATERIALES Y EQUIPO

4.1. Lugar de desarrollo de la 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 de 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.

4.2. Material de estudio

El residuo de la papaya (*Carica papaya L.*) utilizada para la investigación fué en grado de madurez 5, compuestos por el epicarpio de papaya (10 kg), adquiridos en diferentes puntos de venta del mercado municipal de la ciudad de Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Las muestras fueron clasificadas excluyendo el material con presencia de daños mecánicos, zonas oscuras o coloración anormal.

4.3. Fase 1: Definición de los tratamientos del epicarpio de papaya, elaboración de la HEP y definición de tratamiento de la harina de epicarpio de papaya (HEP)

4.3.1. Obtención de muestras y harina del epicarpio de papaya

La muestra de epicarpio de papaya se preparó siguiendo la metodología planteada por Velasco *et al.*, (2020) Se escaldó a 73°C durante 3 min las muestras; seguidamente dos choques térmicos a 15 °C con metabisulfito y sorbato de potasio de sodio para evitar el crecimiento de hongos y bacterias, luego se empacó en bolsas ziploc y se congelará a temperatura $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 24 hrs (ver anexo 1).

Las muestras de epicarpio de papaya congeladas se sometieron a un proceso de deshidratación por convección natural utilizando un equipo de laboratorio, horno de laboratorio memmert d39263/d39264, a una temperatura de 45°C por 24 hrs hasta alcanzar 12% de humedad (ver anexo 2). Una vez obtenidas las muestras deshidratadas se procedieron a molerlas, utilizando el molino INSELY SPEED GRINDER MULTIFUNCTION, hasta obtener una harina, la cual se tamizan para obtener un tamaño de partículas homogéneo, se agregó en frascos ámbar y se mantuvo a temperatura de refrigeración ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$) hasta el momento de realizar los análisis correspondientes (Velasco, VA. 2020) (ver anexo 3).

4.3.2. Determinación de los parámetros físico-químicos de la muestra de epicarpio de papaya (MEP) y harina del epicarpio de papaya (HEP)

Las muestras control (epicarpio fresco) y la harina de papaya se sometieron, a los siguientes análisis: pH, determinación de acidez titulable (%), determinación del contenido de humedad (%), materia seca (%) y determinación de los parámetros de color CIEL*a*b*. Además de lo anterior, se determinó la concentración de carotenoides (ver anexo 4).

4.3.3. Determinación de pH y acidez titulable en la MEP Y HEP

De cada una de las muestras a analizar se pesó 3 g de la muestra fresca y 1 g de harina en tubos FALCON de 50 ml. Posteriormente, se agregó 30 ml de agua destilada y se llevó a agitación en el ultraturrax T-18 IKA por 1 min a 15 rpm hasta obtener una solución homogénea. Con la ayuda de un pH-metro (SI Analytics), calibrado con soluciones buffer de pH 4 y pH 7 al 10% (p/p), se midiera el pH de la muestra fresca y la harina de epicarpio de papaya, según la Norma Técnica Colombiana NTC – 4592. Para la determinación de la acidez titulable, se seguirá la Norma Técnica Colombiana NTC – 4623 (ICONTEC, 1999c), donde en un Beaker de 250 ml se colocaron 3 g de las muestras. Luego, se agregarán tres gotas de fenolftaleína como indicador y se titulara el ácido cítrico con una solución 0,1 N de NaOH hasta que se presente un ligero cambio de color. El porcentaje de acidez se calculará mediante la siguiente ecuación (ecuación 1):

$$\% \text{ Acidez} = \frac{(ml \text{ NaOH} \times 0,1 \times F. Eqvt)}{ml \text{ muestra}} \times 100 \quad (\text{Ec } 1)$$

4.3.4. Determinación del contenido de humedad en la MEP Y HEP

Se pesó 0.5 g de la muestra y se colocó a 105°C por 15 min en un analizador halógeno de humedad HB43-S Mettler Toledo, Suiza de acuerdo con el método AOAC 925.09 (AOAC, 2005). El contenido de humedad se expresó en porcentaje de peso húmedo (%).

4.3.5. Determinación de contenido de vitamina C en las MEP Y HEP

Para la determinación del contenido de Vitamina C en las muestras en fresco y la Harina de epicarpio de papaya se siguió la metodología planteada por Ordoñez-Santos et al. (2019). De cada una de las muestras a analizar se pesó 2 gr en tubos Falcón de 50 ml y se le agregó 20 ml de agua destilada y se llevó a agitación en el ultra turrax T – 18 IKA por 1 min a 15 rpm hasta obtener una solución homogénea, luego a centrifugación durante 5 min a 3000 rpm. Se agregó 0.8 ml de una solución ácido tricloroacético al 10% (p / v) se mezcló con 0.2 ml de extracto de la cáscara de papaya en tubos de ensayo. La mezcla se colocó en baño de hielo durante 5 min. Para la reacción se diluyó alícuotas de 0.5 ml del sobrenadante resultante con 2 ml de agua bidestilada y, a continuación, se añadió 200 µl de una dilución 1:10 de reactivo de Folin-Ciocalteu y se dejó reposar durante 10 min y se procedió a medir la Absorbancias a 760 nm. El contenido de vitamina C se expresó en mg g-1 FW.

4.3.6. Determinación de los parámetros de color en MEP y HEP

Para la determinación de los parámetros de color CIEL*a*b* (*Commission Internationale de L'Eclairage*) L*, a* y b* Se utilizó un colorímetro modelo Konica Minolta Meter CR-100, Osaka, Japón. Para esto se siguió la metodología propuesta por Ordóñez-Santos, et. al. (2022), donde se usó un iluminante D65 (Luz estándar diurna), con un área de medición de 8 mm de diámetro y un observador a 2° como referencia. El colorímetro fue calibrado con una placa de cerámica blanca con valores de referencia Y = 89,5, x = 0,3176, y = 03347 (Fiorda et al., 2015). Con base en estos parámetros se calculó la tonalidad o ángulo de tono (h°) y la cromaticidad o índice de saturación (C) utilizando las siguientes ecuaciones (Ecuación 2 y 3):

$$h^{\circ} = \arctan \frac{b^{*}}{a^{*}} \quad (\text{Ec } 2)$$

$$c^{\circ} = \sqrt{(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}} \quad (\text{Ec } 3)$$

Donde:

h° : ángulo de tono

b^{*} : coordenada azul-amarillo

a^{*} : coordenada rojo-verde

c° : Cromaticidad o índice de saturación

4.3.6. Determinación de concentración de los pigmentos carotenoides en MEP y HEP

Para la determinación del contenido de carotenoides totales en las muestras en fresco y harina se procedió de acuerdo con lo planteado por Velasco Arango V. (2020). Para esto, se pesó 0,1 g de cada una de las muestras y se colocó en tubos de ensayo previamente recubiertos con papel aluminio y a cada uno se le agregó 7 ml de una mezcla de etanol/hexano (4:3 v/v). Bajo agitación permanente durante 1 hora a 150 rpm, utilizando una mesa agitadora Orbital marca mrc Modelo TOS-4030F USA, los tubos se colocaron a una temperatura de 16°C y se les adicionó 1 mL de agua destilada, agitándose por diez minutos más. Finalmente, se tomó 3 ml de la fase orgánica utilizando una pipeta Pasteur y con la ayuda de un espectrofotómetro (Jenway, 6320D, Inglaterra) se realizó lecturas de absorbancia a longitudes de onda 444, 450, 451 y 472 nm utilizando hexano como blanco. Para los cálculos de la concentración (mg/100 g de muestra) se utilizó los siguientes coeficientes de extinción (E%) en hexano 2560, 2800, 2460 y 3450 respectivamente para β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, Zeaxantina y licopeno, publicado por Hart and Scott (1995), a través de la ecuación de Lambe-Beer (Ecuación 4):

$$C.T. \left[\frac{mg}{g} \right] = \frac{A * V * 10^4}{E_{1cm}^{0\%} * W} \quad (\text{Ec. } 4)$$

Donde:

A – A – absorbancia a determinada longitud de onda (450 nm para β -caroteno, 444 nm para α -caroteno, 451 nm para β -criptoxantina, 451 nm para Zeaxantina y 472 nm para licopeno.

V – volumen del extracto en ml.

W – peso de la muestra en gramos.

E (1%) – coeficiente de extinción para una solución al 1% en hexano.

4.3.7. Diseño experimental

Se evaluó dos tratamientos, el epicarpio de la papaya fresca y la harina de epicarpio de papaya (HEP). Cada uno de los tratamientos se llevó a cabo por triplicado. Se realizó un análisis de T-Student para identificar las diferencias entre los tratamientos, a un nivel de significancia de $p < 0,5$. Todos los análisis se realizaron usando el software SPSS para Windows v. 24.

4.4. Fase 2: Obtención y aplicación del extracto de carotenoides del epicarpio de papaya en un yogur.

La optimización de la extracción de los pigmentos carotenoides presentes en las HEP, se realizó de acuerdo con el método propuesto por Ordoñez-Santos et al. (2022), utilizando aceite de girasol como reactivo extractor. Inicialmente, se realizó una revisión de literatura con el fin de determinar los rangos de las variables a trabajar en el proceso de extracción asistida por ultrasonido. Las variables consideradas fueron: potencia del equipo de ultrasonido, temperatura del proceso, tiempo de extracción, relación harina-aceite y tamaño de la partícula de la harina.

4.4.1. Extracción total de carotenoides en el proceso de optimización asistida por ultrasonido

La concentración de carotenoides totales en la harina (mg de β -caroteno / 100 g de muestra seca) se determinó siguiendo la metodología descrita por Ordoñez-Santos et al (2015) utilizando un ultrasonido, limpiador ultrasónico HB-S49DHT (China), operando a 42 kHz y

potencia de entrada de 240 watt. El contenido total de carotenoides en las muestras de estudio se calculó utilizando el coeficiente de extinción molar de $7,1 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ midiendo la absorbancia del extracto lipídico a 464 nm en un espectrofotómetro (Jenway 6320D, EE. UU.), utilizando aceite de girasol como blanco para calibrar el equipo (ver anexo 5). (Ecuación 5):

$$\text{Carotenoides como } \beta - \text{caro} \left(\frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) \text{ de HEP} = \frac{A * V * P}{E * W} \times 100 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

A – absorbancia a 464

V – volumen de aceite pigmentado recuperado

P – peso molecular en g/mol

E – coeficiente de extinción molar ($7,1 \times 10^4 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$)

W – peso de harina de epicarpio (gr)

4.4.2. Determinación del nivel óptimo de concentración de los pigmentos carotenoides

Para la determinación de nivel óptimo de concentración se evaluó tres concentraciones de adición de extracto lipídico de carotenoides obtenidos (1%, 3% y 5%) de harina de epicarpio objeto de estudio (papaya). Para esto, se elaboraron tres lotes de yogur comercial enriquecido descrito en el apartado 4.5.3. para el análisis de la adición de los carotenoides obtenidos a partir de la HEP y un lote como control sin adición de carotenoides, como se aprecia en la tabla 2.

Tabla 2. Tratamientos para enriquecer un yogurt con extracto de carotenoides de papaya

Tratamiento	Concentración (%)
T1 (Muestra control)	Yogurt comercial natural
T2	1%
T3	3%
T4	5%

4.4.3. Efecto de la aplicación del extracto obtenido a partir de la HEP

Para enriquecer el yogur comercial con el extracto de epicarpio de papaya, cada tratamiento contó con una unidad de muestra de 200ml donde el tratamiento corresponde al porcentaje de extracto (1%, 3%, 5%) y una muestra control de 200 ml, cada tratamiento contó con tres repeticiones para obtener al final nueve tratamientos. Para obtener cada uno de los tratamientos los 200 ml se llevaron a agitación mecánica 200 rpm durante 15 min y posteriormente se llevó a refrigeración a ($5 \pm 1^{\circ}\text{C}$) durante 24 hrs hasta realizar los análisis correspondientes (ver anexo 6).

4.4.4. Análisis realizados a los diferentes lotes de yogurt enriquecido

Los análisis fisicoquímicos que se realizaron al yogurt enriquecido, se llevaron a cabo con la metodología descrita previamente en el apartado 4.4.2. se describen a continuación (ver anexo 7):

- pH
- acidez
- concentración de carotenoides
- Color (CIEL*a*b*)

4.4. Diseño experimental de yogur comercial enriquecido con HEP

El diseño experimental correspondió a un diseño aleatorio simple de un factor con cuatro tratamientos (Control, 1, 3, y 5% de extracto), cada tratamiento contó con tres repeticiones. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con comparación de medias, empleando la prueba Tukey al 5% de probabilidad. Todos los análisis se realizaron usando el software SPSS para Windows v. 24.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El desarrollo del primer objetivo planteado en la presente investigación, se llevó a cabo en dos fases: la primera consistió en tomar cuatro muestras por triplicado de las muestras en fresco del epicarpio de papaya para hacer los análisis fisicoquímicos, concentración de carotenoides y Color (CIEL*a*b*). en la segunda fase se realizaron los mismos análisis en la haria de epicarpio de papaya obtenida.

5.1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras fresco y harina de epicarpio de papaya

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos para las harinas de epicarpio de papaya (HEP) se muestran en la tabla 5-1. El proceso de deshidratación por convección natural propició una disminución en peso del 91.59% respectivamente para el epicarpio de papaya.

5.1.1. pH de las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya

Con relación al pH, se observaron valores ligeramente ácidos en las muestras de estudio, el fresco de epicarpio de papaya presentó estadísticamente menor pH respecto a la harina de papaya (Tabla 1). Los valores obtenidos garantizan la no proliferación de microorganismos patógenos en estas muestras, lo cual es importante para la seguridad microbiana e inocuidad de los productos finales. Estos datos concuerdan con los presentados por Chaiwut et al. (2010) quienes trabajaron con epicarpio de papaya (pH = 5,6) para la obtención de proteasas, con los anotados por Hernández et al. (2007) quienes desarrollaron su trabajo con papaya variedad Maradol y con los obtenidos por Rinaldi et al. (2010) quienes mostraron una caracterización física y química de las cáscaras de papaya y mostraron un pH de 5,5.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos de las muestras del epicarpio de papaya (fresco) y la harina de epicarpio de papaya (HEP)

PARÁMETROS	FRESCO	HARINA
pH	5.7 ± 0.39 ^b	5.86 ± 0.05 ^a
Acidez titulable (% ácido cítrico)	0.16 ± 0.04 ^b	2.76 ± 0.35 ^a
Humedad (%)	91.58 ± 1.23 ^a	8.39 ± 0.66 ^b

^{a-b} Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes (p<0,5)
Resultados reportados como media ± desviación estándar para n = 3

5.1.2. Acidez titulable de las muestras de epicarpio fresco y harinas de epicarpio de papaya (%)

Los resultados mostraron que el valor obtenido para la acidez titulable, medida como porcentaje de ácido cítrico, para la muestra fresca de epicarpio de papaya fue significativamente inferior al valor obtenido para la harina de epicarpio de papaya. Para este parámetro, los resultados obtenidos, revelaron valores diferentes a los anotados por Velasco V. A. (2024), en harina de epicarpio de papaya y de guayaba quienes estudiaron la aplicación de pigmentos de carotenoides. Igualmente, el trabajo presentado por Ordoñez-Santos et al. (2014) mostró resultados diferentes a los obtenidos en esta investigación, trabajando con residuos de papaya.

5.1.3. Parámetros de color (CIEL*a*b*) de las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya

En la tabla 5-2 se aprecian los valores obtenidos para las coordenadas del CIEL*a*b* (Commission Internationale de l'Eclairage) en las muestras de estudio

Tabla 2. Parámetros de color de las muestras de harinas del epicarpio de papaya (fresco) y la harina de epicarpio de papaya (HEP)

PARÁMETROS	FRESCO	HARINA
L*	55.50 ± 3.31 ^b	70.11 ± 0.16 ^a
a*	16.95 ± 3.64 ^a	6.30 ± 0.27 ^b
b*	46.18 ± 3.06 ^b	46.89 ± 3.06 ^a
C	24.66 ± 0.85 ^a	23.66 ± 0.84 ^b
h°	69.74 ± 5.14 ^b	82.35 ± 5.14 ^a

^{a-b} Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,5$) L*: 0 = negro y 100 = blanco; a*: -60 = verde y +60 = rojo; b*: -60 = azul y +60 = amarillo; Ángulo de tono (h): 90° = amarillo, 180° = verde y 0° = rojo; Cromaticidad (C): distancia desde las coordenadas en el origen hasta el punto de color determinado.

Resultados reportados como media ± desviación estándar para $n = 3$

Como es sabido, el color de cualquier materia prima alimenticia es un factor determinante en la calidad, lo que repercute en la aceptación o rechazo de un determinado producto por parte del consumidor final, ya que termina convirtiéndose en un atributo importante en la apariencia del mismo. Los resultados mostraron que, las coordenadas de luminosidad (L*) y el ángulo de tono (h°) y coordenada azul-amarillo (b*), fueron estadísticamente mayores en la harina de epicarpio de papaya, mientras que la muestra fresca de epicarpio de papaya mostró valores significativamente mayores en la coordenada rojo-verde (a*), y el índice de saturación o croma (C). Los valores obtenidos de luminosidad (L*) en la HEP fueron superiores a los obtenidos por Ordoñez-Santos et al. (2014) ($L^* = 33,31$), quienes desarrollaron su trabajo con residuos de diferentes frutas tropicales, incluidos los residuos de papaya. Estas diferencias se atribuyen a que, en los residuos deshidratados y molidos, pueden haber sufrido procesos de pardeamiento enzimático, que desencadenan mayor oscurecimiento de la materia prima, como también el factor genético y el grado de maduración probablemente incidieron en estas diferencias.

5.1.4. Contenido de carotenoides en las muestras fresco y harinas de epicarpio de papaya

En la tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para el contenido de carotenoides de las dos muestras en fresco y harina de epicarpio de papaya (HEP) analizadas.

Tabla 3. Contenido de carotenoides en las harinas de epicarpio de papaya (HEP)
(mg/100g de muestra)

PARÁMETROS	FRESCO	HARINA
β-caroteno	0.11 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.002 ^b
α-caroteno	0.10 ± 0.01 ^a	0.07 ± 0.002 ^b
β-criptoxantina	0.11 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.002 ^b
Zeaxantina	0.11 ± 0.01 ^a	0.08 ± 0.002 ^b
Licopeno	0.07 ± 0.009 ^a	0.05 ± 0.001 ^b

^{a-b} Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,5$)
Resultados reportados como media ± desviación estándar para $n = 3$

El contenido de carotenoides en la cáscara fresca y harina de epicarpio de papaya presentaron diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo mayores los valores obtenidos de β-caroteno, αcaroteno, β-criptoxantina, zeaxantina y licopeno en las muestras en fresco. En lo concerniente a ambas muestras, la mayor fracción de carotenoides se obtuvo para la βcriptoxantina y Zeaxantina, mientras que la menor fracción se presentó para el licopeno en harina papaya. Estos datos son inferiores a los obtenidos por Velasco V. A. (2024). (β-caroteno 10,074 mg carotenos/100 g, α- caroteno 0,414 mg carotenos/100 g, β-criptoxantina 10,894 mg carotenos/100 g, zeaxantina 10,806 mg carotenos/100 g, licopeno 10,579 mg carotenos/100 g) quienes trabajaron con piel de papaya y guayaba.

Las diferencias observadas entre los resultados del investigador y los de esta investigación pueden deberse a diversos factores, entre los que destacan las características genéticas de las frutas empleadas, las condiciones geográficas y ambientales propias de las áreas de producción, el nivel de madurez de las frutas y sus subproductos en el momento del análisis.

5.2. Obtención del extracto asistido por ultrasonido y Efecto de la aplicación de los pigmentos carotenoides obtenidos a partir de la harina de epicarpio de papaya en un Yogur comercial

El desarrollo del segundo objetivo planteado en la presente investigación, se llevó a cabo en dos fases: la primera consistió tomar tres muestras del yogur comercial con diferentes concentraciones del extracto de pigmentos carotenoides obtenidos a partir de la harina de epicarpio de papaya y una muestra control sin adición de extracto, con el fin de evaluar los cambios fisicoquímicos (pH, acidez, parámetros de color y análisis de carotenoides) en las muestras de estudio.

5.2.1. Resultados de análisis fisicoquímicos del yogur comercial adicionado con los extractos de HEP

En la tabla 4 se muestran los resultados de las propiedades fisicoquímicas de las diferentes muestras con porcentaje de extracto oleoso de epicarpio de papaya.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de las diferentes muestras de yogur enriquecido con extracto de HEP

FORMULACIÓN		pH	Ac
Control		4.30 ± 0.02 ^a	0.81 ± 0.00a
Extracto de harina de epicarpio de papaya	T1 (1%)	3.98 ± 0.61 ^a	0.66 ± 0.09 ^a
	T2 (3%)	4.14 ± 0.02 ^a	0.68 ± 0.07 ^a
	T3 (5%)	4.14 ± 0.005 ^a	0.74 ± 0.005 ^a
ANOVA		NS	NS

Nivel de significancia estadística: NS, no significativo; *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001
^{a-c} Medias dentro de filas con diferentes letras son significativamente diferentes (p<0,05)

Los resultados obtenidos mostraron que las propiedades fisicoquímicas en el yogur con las diferentes formulaciones no presentaron cambios significativos con respecto a las mismas propiedades de la muestra control del yogur (p<0,05). En promedio las muestras de yogur

presentaron un pH de 4.14, y acidez titulable de 0.72 %. Estos datos son superiores a los obtenidos por (Ponce-Fuentes, 2023) siendo en promedio pH de 3.79, y acidez titulable de 0.90-1.02% siendo mayor al obtenido en esta investigación. Las diferencias observadas pueden deberse a diversos factores, entre los que destacan la composición de la fruta que contiene enzimas como la papaína, que puede catalizar reacciones de descomposición de proteínas o lípidos presentes en el yogur, como también la cáscara de papaya contiene varios compuestos ácidos, como el ácido ascórbico (vitamina C). Al agregar el extracto oleoso, probablemente esté compuesto ácido se disuelva en el yogur, disminuyendo su pH al aumentar la concentración de protones.

5.2.1.1. Resultados del análisis de las coordenadas de color CIEL*a*b* en el yogur comercial adicionados con los extractos de HEP

En la tabla 55, se presentan los resultados del análisis de las coordenadas de color según la Commission Internationale de L'Eclairage CIEL*a*b*. Se determinaron las coordenadas a* (rojo-verde), b* (azul-amarillo), L* (blanco-negro), C* (cromaticidad), h* (ángulo de tono) y ΔE (diferencia de color) en los diferentes tratamientos de yogur enriquecidos según el diseño experimental establecido para el desarrollo de la investigación. Al observar los datos obtenidos se evidenció diferencias significativas ($P < 0,05$) en los parámetros a*, b* C*, h°, mientras que para el parámetro L* no se evidenció cambio alguno.

Tabla 5. Coordenadas de color de las diferentes muestras de yogur enriquecido con extracto de HEP

TRATAMIENTO	L*	a*	b*	C*
YC	79.80 $\pm$ 0.06a	3.05 $\pm$ 0.01a	3.12 $\pm$ 0.01a	2.18 $\pm$ 0.01a
YEP 1%	79.19 $\pm$ 0.73a	3.13 $\pm$ 0.04a	3.56 $\pm$ 0.13a	2.37 $\pm$ 0.06a
YEP 3%	79.59 $\pm$ 0.51a	3.30 $\pm$ 0.1b	4.96 $\pm$ 0.98b	2.98 $\pm$ 0.04b
YEP 5%	79.47 $\pm$ 0.19a	3.47 $\pm$ 0.03c	6.36 $\pm$ 0.75c	3.62 $\pm$ 0.04c
ANOVA	NS	***	***	***

h°	ΔE	IY	IW
134.38 ± 0.05a	E.C.	E.C.	89.14 ± 0.12a
131.34 ± 0.92a	0.47 ± 0.28a	0.84 ± 0.73a	89.01 ± 0.65ab
123.63 ± 0.47b	1.84 ± 0.17b	1.49 ± 0.15b	90.50 ± 0.57a
118.66 ± 0.06c	5.39 ± 0.32c	2.82 ± 0.11c	91.56 ± 0.06a
***	***	**	***

L*: 0 = negro y 100 = blanco; a*: -60 = verde y +60 = rojo; b*: -60 = amarillo; h – ángulo de tono: 90° = amarillo, 180° = verde y 0° = rojo; C – índice de saturación, distancia desde las coordenadas en el origen hasta el punto de color determinado. 0 = azul y +60 =

^{a-c} Medias dentro de filas con diferentes letras son significativamente diferentes (p<0,05)

Los resultados de la Tabla 5 indicaron que la intensidad lumínica (L*) del yogur con extracto de carotenoides del epicarpio de papaya no mostró diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de extracto. Aunque hubo un leve aumento en la luminosidad, este podría estar relacionado con una ligera mejora en la reflectancia del yogur, sin alterar sustancialmente su claridad visual. Respecto a la coordenada a* (rojo-verde), se observó un aumento significativo directamente proporcional a la concentración de extracto añadido, alcanzando un máximo de 3.47 con el 5% de extracto. Este incremento en los tonos rojizos podría ser ventajoso desde una perspectiva de atractivo visual para los consumidores. En cuanto a la coordenada b* (azul-amarillo), todas las muestras enriquecidas mostraron un aumento significativo, con el valor más alto de 6.36 en la muestra con 5% de extracto. Este aumento se atribuye a la presencia de pigmentos carotenoides como el β-caroteno, α-caroteno, β-criptoxantina y zeaxantina, intensificando los tonos amarillos y mejorando la apariencia del yogur.

Al comparar los resultados con los obtenidos por Falfan-Ponce (2008), se observó que la pulpa de papaya presentó una luminosidad intermedia (L* 43.2 ±0.16), con mayor contribución hacia el amarillo (b* 53.0 ±0.19) y menor tendencia hacia el rojo (a* 16.2 ±0.03). Por otro lado, el índice de saturación cromática (C*) en este estudio mostró un aumento leve, siendo mayor en la muestra con 5% de extracto, lo que indica una mayor proximidad al matiz puro sin alcanzar significancia estadística. Esto sugiere que el extracto mejora el color del yogur de manera moderada, ofreciendo un ajuste cromático sin cambios abruptos.

El ángulo de tono (h°) disminuyó al aumentar la concentración del extracto, con diferencias significativas entre las muestras enriquecidas y el yogur sin extracto. Este cambio está relacionado con el aumento en la coordenada b^* y la disminución en a^* , resultando en un tono más inclinado hacia el amarillo, especialmente en concentraciones más altas. La función ΔE , que mide el cambio total en las coordenadas cromáticas, arrojó valores entre 0.47 y 5.39. Cambios de ΔE mayores a 3.0 son perceptibles para el ojo humano, lo que se observó en las muestras con 3% y 5% de extracto, indicando mejoras visuales significativas frente al yogur sin extracto. Esto es positivo desde el punto de vista sensorial, ya que sugiere que el yogur enriquecido puede destacarse visualmente en el mercado.

5.2.1.2. Resultados del análisis de contenido de carotenoides en el yogur comercial adicionados con los extractos de HEP

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para el contenido de carotenoides de las dos harinas analizadas: harina de epicarpio de papaya (HEP).

Tabla 6. Contenido de carotenoides en las harinas de epicarpio de papaya (HEP)
(mg/100g de muestra)

TRATAMIENTO	α -caroteno	β -caroteno	β -criptoxantina	Zeaxantina	Licopeno
YCF	0.07 ± 0.01^a	0.07 ± 0.02^a	0.08 ± 0.01^a	0.08 ± 0.01^a	0.07 ± 0.01^a
YC 1%	0.11 ± 0.01^a	0.11 ± 0.01^{ab}	0.11 ± 0.01^{ab}	0.11 ± 0.01^a	0.10 ± 0.005^b
YC 3%	0.17 ± 0.04^b	0.18 ± 0.04^b	0.19 ± 0.04^b	0.19 ± 0.04^{ab}	0.18 ± 0.03^{ab}
YC 5%	1.36 ± 1.69^c	0.36 ± 0.03^c	0.37 ± 0.03^c	0.37 ± 0.04^c	0.34 ± 0.04^c
ANOVA	NS	***	***	***	***

^{a-b} Los valores con letras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($p < 0,5$)
Resultados reportados como media $\pm$ desviación estándar para $n = 3$

El contenido de carotenoides en el yogur comercial con adición de extracto oleoso de epicarpio de papaya presentó diferencias significativas ($p < 0,05$), siendo mayores los valores obtenidos de β -caroteno, α -caroteno, β -criptoxantina, Zeaxantina y licopeno en la mayor concentración de extracto de epicarpio de papaya 5%. En lo concerniente en el yogur

comercial con adición de extracto de EP, la mayor fracción de carotenoides se obtuvo para la α -caroteno siendo de 1.36, mientras que la menor fracción se presentó para el licopeno 0.34 en el yogur comercial con adición de extracto. De acuerdo con lo informado por Rojas-Orduña, (2022), la pulpa de café arábica (1.94 ± 0.03 mg beta-caroteno eq./g MS) presentó una mayor contenido de carotenoides mostrando valores más altos de enriquecimiento de B-caroteno a comparación de la presente investigación donde el más alto fue 0.36 en b-caroteno.

VI. CONCLUSIONES

Se logró procesar el epicarpio de papaya mediante deshidratación por convección natural, obteniendo una harina con baja humedad (8.39 %) y características fisicoquímicas estables, adecuada para su utilización en alimentos. Este producto permitió la extracción de carotenoides, que se integran eficazmente en un yogur comercial, enriqueciendo su valor funcional y mejorando sus propiedades cromáticas sin alterar significativamente las propiedades fisicoquímicas principales del producto final. Este proceso demuestra la viabilidad de transformar residuos agroindustriales en ingredientes funcionales sostenibles para la industria alimentaria.

El enriquecimiento de yogur comercial con extracto de carotenoides obtenido del epicarpio de papaya demostró ser efectivo al incrementar el contenido de carotenoides totales en el producto final. Aunque no se observaron cambios significativos en parámetros fisicoquímicos como pH y acidez, las propiedades cromáticas del yogur mejoraron notablemente, especialmente en concentraciones más altas del extracto (5 %), haciendo el producto más atractivo visualmente. Estos resultados resaltan el potencial del extracto de epicarpio de papaya como un aditivo funcional y natural, con aplicaciones prometedoras en el desarrollo de alimentos más nutritivos y sostenibles.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda incorporar un análisis de vida útil para el yogurt enriquecido con extracto de epicarpio de papaya. Este análisis evaluará la estabilidad del producto en términos microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales, garantizando calidad, seguridad y aceptación del consumidor durante su almacenamiento, además de identificar posibles cambios que afecten su comercialización y consumo.

Se recomienda realizar formulaciones experimentales del yogurt enriquecido utilizando mayores concentraciones del extracto de epicarpio de papaya y endulzantes naturales como miel o stevia. Esto permitirá evaluar el impacto en el sabor, la textura y las propiedades funcionales, optimizando tanto el perfil nutricional como la aceptación del consumidor.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Chaiwut, P., Pintathong, P. and Rawdkuen. (2010). Extraction and three-phase partitioning behavior of proteases from papaya peels. *Process Biochemistry*, 45(7), 1172-1175. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2010.03.019>
- FAO. 2022. Hacer frente a la pérdida y el desperdicio de alimentos: Una Oportunidad de Ganar por partida triple. Disponible en <https://www.fao.org/newsroom/detail/FAO-UNEP-agriculture-environment-food-loss-waste-day-2022/es> (Newsroom).
- Gutiérrez, C. (2020) Guía para la determinación de la vida útil de los alimentos, 1Library.Co. Available at: <https://1library.co/document/q5mk952j-gu%C3%ADa-determinaci%C3%B3n-vida-%C3%BAtil-alimentos.html> (Acceso: mayo 2024).
- Hernández, Y., Lobo, M.G. and González, M. (2007). Optimización del tipo de troceado de papaya mínimamente procesada y su efecto en la translucidez. In: Grupo de postrecolección y refrigeración. UPCT (ed.) V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. p. 751-759
- Hong S-I, Han JH, Krochta JM (2004) Optical and surface properties of whey protein isolate coatings on plastic films as influenced by substrate, protein concentration, and plasticizer type *Journal of Applied Polymer Science* 92:335-343 doi:10.1002/app.20007
- Ordoñez, LE. 2016. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Oswaldo-Ororio-2/publication/300928971_Effect_of_stepwise_blanching_of_broccoli_Brassica_oleracea_var_legacy_on_peroxidase_activity_and_chlorophyll_content/links/6149d9c9519a1a381f7432ec/Effect-of-stepwise-blanching-of-broccoli-Brassica-oleracea-var-legacy-on-peroxidase-activity-and-chlorophyll-content.pdf#page=42 (RESIDUOS AGROINDUSTRIAL DE FRUTAS: FUENTE DE COMPUESTOS CAROTENOIDES).
- Osorio, M. (2018) Lamolina, “TÉCNICAS MODERNAS EN EL ANÁLISIS SENSORIAL DE LOS ALIMENTOS”. Available at: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3230/osorio-lopez-mery-ann.pdf?sequence=1> (Accessed: May 2024).

- Ordoñez-Santos, L.E., Esparza-Estrada, J. and Vanegas-Mahecha, P. (2020) Potencial agroindustrial del Epicarpio de Mandarina Como Alternativa de colorante natural en pan, *TecnoLógicas*. Available at: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-77992020000200019&script=sci_arttext#B22 (Accessed: June 2024).
- Ordóñez-Santos, L. E., & Martínez-Girón, J. (2019). Thermal degradation kinetics of carotenoids, vitamin C and provitamin A in tree tomato juice. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(1), 201-210.
- Ordóñez-Santos, L. E., Pinzón-Zarate, L. X., & González-Salcedo, L. O. (2015). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of total carotenoids from peach palm fruit (*Bactris gasipaes*) by-products with sunflower oil using response surface methodology. *Ultrasonics sonochemistry*, 27, 560-566.
- Ordóñez-Santos, L. E., Velasco-Arango, V. A., & Hleap-Zapata, J. I. (2022). Ultrasound-assisted extraction of total carotenoids in papaya epicarp and its application in Frankfurt sausage. *Ciência e Agrotecnologia*, 46, e006722.
- Placencio, VI. 2021. Consultado 2024. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33730/1/AL%20808.pdf> (Estudio de factibilidad para la implementación de una planta procesadora de yogurt funcional).
- Ponce-Fuentes, F., Ponce-Fuentes, E., Muñoz-Murillo, P., & García-Mendoza, J. (2023). Yogur tipo II con adición de pulpa de acaí (*Euterpe oleracea* Mart) edulcorado con *Stevia rebaudiana*. *Revista Digital Novasinergia*, 6(1), 36-49.
- Romero, AV. 2022. Consultado 2024. Disponible en <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34941/1/AL%20832.pdf> (Efecto de la adición de fibras para la producción y enriquecimiento de Yogurt).
- Rojas Orduña, E. (2022). Valorización de un subproducto del procesamiento de café arabica variedad caturra rojo y amarillo: caracterización proximal, extracción de carotenoides y aplicación en un alimento funcional.
- Redacción. 2023. En cáscara de papaya buscan antioxidantes con potencial para la Industria Alimenticia. Consultado 2024. Disponible en <https://mundoagropecuario.net/en-cascara-de-papaya-buscan-antioxidantes-con-potencial-para-la-industria-alimenticia/> (Mundo Agropecuario BET).
- Rinaldi, M., De Lima, T., and Ramírez, D. (2010). Caracterizao física de frutos de mamão e química de cascas e sementes. Planaltina. Embrapa Cerrados, D.F. 1-18

- Restrepo, M.P.V. et al. (2023) Sistema de Medición del color como Parámetro de Calidad en la industria de Alimentos, Dialnet. Available at: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9422257> (Accessed: June 2024).
- Soria, FAR. 2023. Residuos agrícolas de la papaya y sus posibles beneficios para la salud humana. Consultado 2024. Disponible en <https://www.cronica.com.mx/academia/residuos-agricolas-papaya-posibles-beneficios-salud-humana.html> (<https://www.cronica.com.mx/>)
- USDA, N. (2019). Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/169926/nutrients>
- Velasco, VA. 2024. Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides ... Consultado 2024. Disponible en <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78311/1113619347.2020.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (Valorización agroindustrial de pigmentos carotenoides extraídos de residuos de papaya (*Carica papaya* L.) y guayaba (*Psidium guajava*) como colorante natural en salchichas Frankfurt).
- Velasco, VA. 2022. En cáscara de papaya buscan antioxidantes con potencial para la Industria Alimenticia. Consultado 2024. Disponible en <https://mundoagropecuario.net/en-cascara-de-papaya-buscan-antioxidantes-con-potencial-para-la-industria-alimenticia/> (Mundo Agropecuario BET).
- Yogiraj, V. 2014. Consultado 2024. Disponible en <https://www.florajournal.com/archives/2014/vol2issue5/PartA/2-4-12.1.pdf> (Carica papaya Linn: An overview - international journal of ...).

X. ANEXOS

Anexo 1. Recolección de materia prima



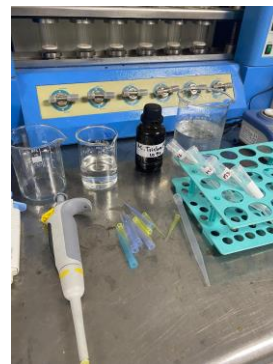
Anexo 2. Proceso de deshidratación



Anexo 3. Proceso de molienda



Anexo 4. Análisis de la harina de epicarpio de papaya



Anexo 5. Extracción de extracto de HEP



Anexo 6. Enriquecimiento de yogur comercial



Anexo 7. Análisis en el yogur comercial enriquecido con HEP

