

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS

Tema: **“Optimización de la extracción de β -caroteno de la cáscara de maracuyá para su utilización en el desarrollo de un yogur tipo griego”**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del
título de Ingeniero en Alimentos

AUTOR: Portilla Chugá Michael Joel

TUTOR: MSc. Anchundia Lucas Miguel Ángel. PhD.

Tulcán, 2026.

CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Portilla Chugá Michael Joel con el número de cédula 0401497789 respectivamente ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Optimización de la extracción de β -caroteno de la cáscara de la maracuyá para su utilización en el desarrollo de un yogur tipo griego"

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de la Unidad de Integración Curricular, Titulación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizo la presentación de la sustentación para la calificación respectiva



Validar Únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ANGEL
ANCHUNDIA LUCAS**

MSc Anchundia Lucas Miguel Ángel. PhD.

TUTOR

Tulcán, septiembre de 2026

AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de alimentos de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales.

Yo, Portilla Chugá Michael Portilla, con cédula de identidad número 0401497789, declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



Portilla Chugá Michael Joel

AUTOR

Tulcán, septiembre de 2026

ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Portilla Chugá Michael Joel, declaro ser autor de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Optimización de la extracción de β -caroteno de la cáscara de maracuyá para su utilización en el desarrollo de un yogur tipo griego" y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



Portilla Chugá Michael Joel

AUTOR

Tulcán, septiembre de 2026

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi por brindarme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones y por permitirme adquirir los conocimientos y valores necesarios para mi profesión.

A Dios, por permitirme alcanzar una meta más en mi vida, por regalarme salud, una familia y un día más de vida. En los momentos más difíciles de esta larga aventura, siempre me brindó misericordia, fortaleza y consuelo para seguir adelante.

A mis padres, quienes me formaron con carácter, disciplina y esfuerzo, y, a pesar de sus propias dificultades, siempre se preocuparon por mí y me enseñaron el valor del respeto, el amor, la honestidad y la solidaridad. Ustedes me enseñaron muchas cosas que no se aprenden en la universidad. Gracias a su esfuerzo, sacrificio y apoyo incondicional, hoy puedo estar en este lugar. Este logro también es de ustedes.

A mis hermanos, por el apoyo, la compañía y todos los momentos divertidos que hemos compartido en casa. Gracias por estar presente durante este camino.

A mi tutor PhD. Miguel Anchundia, por su orientación, paciencia, confianza y por compartir sus conocimientos durante el desarrollo de este proyecto. Gracias por cada consejo ,corrección y enseñanza.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, formaron parte de este camino. A quienes estuvieron cerca y también a quienes, aunque hoy ya no estén a mi lado.

Cada persona que Dios puso en mi camino aportó, de alguna manera, a la persona que soy hoy. A todos ustedes, gracias.

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación se lo dedico a mis padres, Romel Portilla y Magaly Chugá, quienes han sido la mayor motivación de mi vida. Gracias por formarme como el hombre que soy hoy , por enseñarme con su ejemplo y por brindarme siempre su amor y apoyo incondicional. Sin importar las dificultades, hemos luchado juntos para salir adelante. Sé que esta vida no me alcanzará para devolverles todo lo que han hecho por mí, pero espero que este logro sea una pequeña forma de decirles cuánto los amo y lo agradecido que estoy de tenerlos.

“Los quiero mucho.”

A mis hermanos, Dennis, Dylan y Mateo, por brindarme siempre su cariño, comprensión y compañía. Gracias por ser parte de mi vida y por compartir conmigo tantos momentos que siempre llevaré en mi corazón.

A mis amigos, Génessis Durazno, Alejandra Cusangua y Jhonatan Chamorro, con quienes he compartido momentos alegres y difíciles, preocupaciones, risas y muchas experiencias a lo largo de esta etapa. Gracias por estar presentes, por apoyarnos mutuamente y por demostrar que las dificultades siempre pueden superarse cuando se cuenta con personas que están dispuestas a caminar a tu lado. Hoy podemos mirar atrás y sentirnos orgullosos de todo lo que hemos conseguido. Sin duda, este logro también merece ser celebrado juntos.

“Este logro es para ustedes y por ustedes”

ÍNDICE

RESUMEN	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN	12
I. EL PROBLEMA.....	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	14
1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	15
1.4.1. Objetivo General	15
1.4.2. Objetivos Específicos.....	15
1.4.3. Preguntas de Investigación.....	16
II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	17
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	17
2.2. MARCO TEÓRICO	18
2.2.1. Maracuyá	18
2.2.2. Anatomía de la maracuyá	18
2.2.3. Taxonomía de la maracuyá.....	19
2.2.4. Cultivo de la maracuyá.....	19
2.2.5. Composición química de la maracuyá	20
2.2.6. Compuestos bioactivos de la cáscara	20
2.2.7. Carotenoides.....	20
2.2.8. β -carotenos	21
2.2.9. Método de extracción.....	21
2.2.10. Extracción con solvente	21

2.2.11. Extracción Soxhlet.....	21
2.2.12. Técnicas de reducción de amargor.....	22
2.2.13. Carbon activado.....	22
2.2.14. Yogur.....	22
2.2.15. Yogur tipo griego	22
III. METODOLOGÍA	24
3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO	24
3.1.1. Enfoque	24
3.1.2. Tipo de Investigación	24
3.2. HIPÓTESIS	25
3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	25
3.4. MÉTODOS UTILIZADOS	28
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	38
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1. RESULTADOS	41
4.2. DISCUSIÓN.....	47
4.2.1. Optimización del rendimiento de extracción de β -caroteno	47
4.2.2. Características fisicoquímicas del yogur tipo griego	48
4.2.3. Características sensoriales.....	48
4.2.4. Características microbiológicas	49
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1. CONCLUSIONES	50
5.2. RECOMENDACIONES	50
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
VII. ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1. Nomenclatura y taxonomía de la maracuyá	19
Tabla 2. Operación de variables. Método de extracción.....	26
Tabla 3. Operación de variables adición de β -caroteno al yogur tipo griego.....	27
Tabla 4. Escala de valores de aceptabilidad.....	38
Tabla 5. Diseño experimental y respuesta del diseño compuesto central para optimizar la extracción de β -caroteno.....	39
Tabla 6. Yogur tipo griego con la adición de β -caroteno.....	39
Tabla 7. Elaboración del yogur tipo griego.....	40
Tabla 8. Diseño central compuesto y los valores del rendimiento de β -caroteno.	41
Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de superficie de respuesta	42
Tabla 10. Parámetro pH del yogur tipo griego con β -caroteno.....	43
Tabla 11. Parámetro de acidez del yogur tipo griego con β -caroteno.	44
Tabla 12. Parámetro de grasa total del yogur tipo griego con β -caroteno.....	44
Tabla 13. Parámetro de proteína del yogur tipo griego con β -caroteno.....	45
Tabla 14. Parámetro de sólidos totales del yogur tipo griego con β -caroteno.....	45
Tabla 15. Parámetro de ceniza del yogur tipo griego con β -caroteno.	46
Tabla 16. Análisis sensorial.....	46
Tabla 17. Análisis microbiológico del yogur tipo griego con β -caroteno.....	47
Tabla 18. Actividad antioxidante del extracto de β -caroteno.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo de la extracción de los β -caroteno	28
Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración del yogur tipo griego	33
Figura 3. Gráficos de superficie de respuesta en 3D y 2D para la influencia de la concentración de etanol y del tiempo en el rendimiento de β -caroteno.....	43

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas.....	56
Anexo 2. Proceso de extracción, análisis fisicoquímicos y sensoriales.....	58
Anexo 3. Ficha de evaluación sensorial	61
Anexo 4. Análisis estadístico.	62

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo optimizar la extracción de β -caroteno de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) mediante el método Soxhlet y evaluar su incorporación como ingrediente funcional en el desarrollo de un yogur tipo griego. Para la optimización del proceso de extracción se aplica la metodología de superficie de respuesta (MSR) mediante un diseño central compuesto (DCC) con 21 combinaciones experimentales, evaluando concentraciones de etanol entre 75% y 85% (v/v) y tiempo de extracción de 90 a 210 minutos. El modelo estático resultó altamente significativo y las condiciones óptimas identificadas correspondieron a 85% de etanol y 210 minutos de extracción, obteniéndose un rendimiento máximo de 1522,53 μg de β -caroteno por 100 g de muestra. Las concentraciones de β -caroteno 0% (T0, control), 0,5 % (T1), 1 % (T2) y 1,5 % (T3) fueron utilizadas para el desarrollo de un yogur tipo griego utilizando un diseño completamente al azar (DCA) con tres repeticiones. Se evaluaron parámetros fisicoquímicos (pH, acidez titulable, grasa, proteína, sólidos totales y ceniza), microbiológicos (coliformes totales, *Escherichia coli*, mohos y levaduras) y sensoriales (color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general). El análisis estadístico mostró diferencias significativas en el contenido de pH, grasa, acidez titulable y ceniza por la adición de los diferentes porcentajes de β -caroteno. Se concluye que la adición de 1% de β -caroteno permite obtener una formulación óptima para el desarrollo de un yogur tipo griego, con propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales adecuadas. El aprovechamiento de la cáscara de maracuyá como fuente de β -caroteno constituye una estrategia viable para la industria de alimentos con enfoque de economía circular.

Palabras clave: β -caroteno, cáscara de maracuyá, extracción Soxhlet, yogur tipo griego, superficie de respuesta.

ABSTRACT

The present study aimed to optimize the extraction of β -carotenes from passion fruit peel (*Passiflora edulis*) using the Soxhlet method and to evaluate their incorporation as a functional ingredient in the development of Greek-style yogurt. To optimize the extraction process, Response Surface Methodology (RSM) was applied using a Central Composite Design (CCD) with 21 experimental combinations, evaluating ethanol concentrations between 75% and 85% (v/v) and extraction times ranging from 90 to 210 minutes. The statistical model was highly significant, and the optimal conditions identified corresponded to 85% ethanol and 210 minutes of extraction, yielding a maximum β -carotene content of 1522.53 μg per 100 g of sample. β -Carotene concentrations of 0% (T0, control), 0.5% (T1), 1.0% (T2), and 1.5% (T3) were used to develop Greek-style yogurt in a completely randomized design (CRD) with three replicates. Physicochemical parameters (pH, titratable acidity, fat, protein, total solids, and ash), microbiological parameters (total coliforms, *Escherichia coli*, molds, and yeasts), and sensory attributes (color, odor, flavor, texture, and overall acceptability) were evaluated. Statistical analysis showed significant differences in pH, fat, titratable acidity, and ash content resulting from the addition of varying percentages of β -carotene. It was concluded that adding 1% β -carotene yields an optimal formulation for Greek-style yogurt with suitable physicochemical, microbiological, and sensory properties. The use of passion fruit peel as a source of β -carotene represents a viable strategy for the food industry within a circular-economy approach.

Keywords: β -carotenes, passion fruit peel, Soxhlet extraction, Greek-style yogurt, response surface methodology.

INTRODUCCIÓN

El aumento de la preocupación por los posibles efectos adversos de los aditivos sintéticos en la salud de las personas ha llevado a las industrias alimentarias a explorar e investigar opciones de origen natural que garanticen la inocuidad, la funcionalidad y la aceptabilidad por parte del consumidor. En este contexto, los pigmentos vegetales, como el β -caroteno, se han vuelto relevantes por sus propiedades, como el color y las propiedades antioxidantes, así como por su papel como precursores de la vitamina A, lo que constituye una alternativa prometedora frente a los componentes sintéticos actualmente utilizados (Meléndez-Martínez et al., 2023).

El proceso agroindustrial de la elaboración de jugos de la maracuyá (*Passiflora edulis*) genera importantes residuos orgánicos. Esta materia prima se descarta con frecuencia sin tratarla adecuadamente, lo que constituye una alta pérdida de compuestos bioactivos de alto valor, entre ellos el β -caroteno. Aprovechar este residuo no solo reduce el impacto ambiental generado por las industrias que trabajan con frutas, sino que posibilita la obtención de ingredientes funcionales naturales para la aplicación en los productos lácteos (Wong et al., 2014).

El yogur tipo griego es un producto fermentado de amplia demanda a nivel mundial, reconocido por su alto contenido proteico. La incorporación de ingredientes de origen natural como el β -caroteno en la formulación representa una opción para aportar componentes nutricionales. La adición de extractos naturales puede afectar significativamente las propiedades microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales del producto; por ende, es necesario analizar el comportamiento bajo condiciones controladas (Liu et al., 2024a).

La presente investigación propone optimizar el proceso de extracción de β -caroteno a partir de la cáscara de maracuyá mediante el método Soxhlet, utilizando etanol como solvente, con la finalidad de obtener el máximo rendimiento de β -caroteno. Inmediatamente se evalúa su aplicación como colorante funcional en la elaboración del yogur tipo griego, analizando el efecto de las diferentes concentraciones sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y microbiológicas del producto final.

I. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Ecuador genera 5,4 millones de toneladas al año de residuos sólidos, de los cuales una parte corresponde a subproductos agroindustriales de frutas tropicales. La cáscara de este fruto se desecha sin ningún tratamiento y constituye una fuente de contaminación orgánica que incrementa las emisiones de gases de efecto invernadero debido a su descomposición.

La industria del procesamiento de frutas tropicales genera grandes cantidades de residuos sólidos que, en su mayoría, se desechan sin aprovechamiento alguno. En el caso de la maracuyá, la cáscara representa el 50-60 % del peso de la fruta y representa el principal subproducto agroindustrial generado (Vasco-Correa & Zapata Zapata, 2017).

El Ecuador es uno de los mayores exportadores a nivel mundial de jugo de maracuyá, con una producción de cerca de 40.000 toneladas anuales, lo que genera toneladas de cáscaras que, al no tratarlas adecuadamente, se destinan a rellenos sanitarios o se arrojan al entorno natural, contribuyendo a la contaminación de suelos.

Los desechos de la maracuyá son de importancia debido a que contienen compuestos bioactivos de interés industrial. Estudios recientes indican que la cáscara de maracuyá contiene 0,5 a 3,8 mg de β -caroteno por 100 g de peso fresco; también contiene niveles significativos de fibra dietética 57,93 g/100 g de materia seca y de compuestos fenólicos 65 mg equivalentes de ácido gálico (EAG)/100 g de materia seca (Ba et al., 2025).

El consumo frecuente de cantidades elevadas de aditivos químicos, en general, algunos colorantes sintéticos, ha generado preocupación debido a sus posibles efectos negativos a largo plazo en la salud. Diversos estudios han evaluado diversas enfermedades como reacciones de hipersensibilidad y alteraciones gastrointestinales, mientras que algunos compuestos pueden ser genotóxicos y carcinogénicos (Neal et al., 2026).

El mercado de productos derivados de las leches funcionales ha experimentado un crecimiento, donde destaca el yogur tipo griego como un alimento con mayor expansión a nivel mundial; sin embargo, su formulación no incluye ingredientes funcionales de origen vegetal y, por ende, es una limitación en el aporte a la salud de los consumidores. La implementación de β -caroteno en el yogur tipo griego no ha sido estudiada, y se desconoce el efecto que provocan los β -carotenos sobre las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales del yogur.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo aprovechar la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) mediante la extracción de β -caroteno para su posterior incorporación como ingrediente funcional en el desarrollo de un yogur tipo griego?

1.3. JUSTIFICACIÓN

El aprovechamiento de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) como fuente de compuestos bioactivos constituye una alternativa dirigida a la valorización de residuos agroindustriales y se relaciona con los principios de la economía circular. En este sentido, la recolección de compuestos de interés a partir de la cáscara permite reducir el desperdicio de recursos, disminuir la generación de residuos orgánicos y promover un modelo de producción. Asimismo, la investigación presenta relación con el Objetivo de Desarrollo Sostenible ODS 12, producción y consumo responsable, al aprovechamiento de residuos; con el ODS 9, industrias, innovación e infraestructura, mediante el desarrollo de una alternativa para la obtención y aplicación de compuestos naturales; con el ODS 13, Acciones por el clima, al realizar procesos alternativos que pueden contribuir a disminuir los impactos asociados con la generación de residuos agroindustriales.

La cáscara de maracuyá presenta componentes de interés como la fibra dietética, compuestos fenólicos, flavonoides y carotenoides. Los β -carotenos, pigmentos naturales que presentan interés debido a sus propiedades antioxidantes. Por ende, la extracción de β -caroteno constituye una alternativa para aprovechar un subproducto que se considera un residuo, transformándolo en un ingrediente de origen natural con aplicación en alimentos.

Los β -carotenos son reconocidos como sustancias generalmente reconocidas como seguras (GRAS) por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados

Unidos (FDA) y codificados con E-160a por la Unión Europea. Los β -carotenos ayudan a mantener una visión normal, a proteger el ADN y las proteínas, y actúan como antioxidantes, lo que evidencia la importancia de su incorporación como ingrediente funcional en el desarrollo de alimentos.

Varias investigaciones han demostrado que los alimentos de origen vegetal contienen compuestos con actividad antioxidante, entre los cuales se encuentran los carotenoides. Este compuesto es liposoluble y se caracteriza por interactuar con reactivos y por contribuir a la protección de las células frente al estrés oxidativo. Los β -carotenos, debido a sus propiedades antioxidantes, actúan como precursores de la vitamina A. El aprovechamiento de fuentes vegetales que contienen carotenoides es una alternativa de interés para obtener ingredientes naturales dirigidos a la industria alimentaria.

La presente investigación busca generar conocimientos con base en el aprovechamiento de la cáscara de maracuyá como fuente de β -caroteno, optimizando el proceso de extracción utilizando el método Soxhlet y la metodología de superficie de respuesta.

1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Optimizar la extracción de β -caroteno de la cáscara de maracuyá y utilizarlo en el desarrollo de un yogur tipo griego.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Optimizar el rendimiento del β -caroteno de la cáscara de maracuyá mediante el método de Soxhlet.
- Evaluar las características microbiológicas del yogur tipo griego desarrollado con la adición de β -caroteno.
- Evaluar las características fisicoquímicas del yogur tipo griego desarrollado con la adición de β -caroteno.
- Evaluar las características sensoriales del yogur tipo griego desarrollado con la adición de β -caroteno.

1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál es la combinación de tiempo y porcentaje de etanol que permite obtener el mayor rendimiento de β -caroteno en la cáscara de maracuyá?
- ¿Cómo afecta la adición de β -caroteno a las características microbiológicas?
- ¿Cómo afecta la adición de β -caroteno a las características fisicoquímicas?
- ¿Cómo afecta la adición de β -caroteno a las características sensoriales?

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Tarazona-Díaz et al., 2020). Evaluaron la optimización del proceso de extracción de carotenoides totales, incluidos los β -carotenos, a partir de la cáscara de maracuyá amarilla (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*) mediante la metodología de superficie de respuesta (MSR), empleando un diseño Box-Behnken con tres factores: concentración de etanol (60-90%), temperatura de extracción (30-60%) y tiempo de proceso (30-90 min). Los resultados evidenciaron que la combinación óptima se situó en 80% de etanol, 45 °C y 60 minutos, consiguiendo un rendimiento de 4,82 mg de β -caroteno por 100 g de cáscara seca, con una actividad antioxidante (DPPH) DE 72,3% de inhibición. Los autores concluyeron que la cáscara de maracuyá constituye una fuente agroindustrial subvalorada, con alto potencial para la obtención de pigmento natural de interés funcional. Este antecedente es relevante para la presente investigación porque fundamenta la selección del método Soxhlet, utilizando el etanol como solvente de extracción y el uso de MSR para identificar las condiciones óptimas del proceso.

(Z. Liu et al., 2024a). Desarrollaron un yogur funcional enriquecido con harina de cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*) como fuente de fibra dietética y compuestos fenólicos, adicionado con concentraciones de 1%, 2% y 3% (m/v). Los resultados fisicoquímicos mostraron que la adición de la harina incrementó el contenido de fibra soluble (hasta 1,8 g/100 g), aumentó la actividad antioxidante (método FRAP: 42,3 μ mol TE/g) y redujo moderadamente el pH del yogur por el aporte de ácidos orgánicos de la cáscara. El análisis sensorial reveló que la formulación de yogur con la concentración de 1% fue la mejor aceptada, con una puntuación hedónica promedio de 7,2/9, mientras que la formulación con 3% presentó rechazo en los atributos de color y sabor. Los autores pusieron de relieve que la valoración de estos subproductos es una estrategia alterna para el desarrollo de alimentos funcionales de menor costo y mayor impacto nutricional y con posible efecto sobre la salud. Este estudio refuerza la pertinencia de la presente investigación al demostrar la

Compatibilidad sensorial de los componentes bioactivos de la cáscara de maracuyá en matrices de yogur y la justificación de la selección del rango de concentración de β -caroteno.

(Do Espírito Santo et al., 2012). Evaluaron el efecto de la incorporación de polvo de cáscara de maracuyá sobre la cinética de fermentación, textura y viabilidad bacteriana de yogures probióticos. El polvo de cáscara modificó la velocidad de acidificación y produjo incrementos en parámetros de firmeza, consistencia y cohesividad, especialmente en yogures elaborados con leche descremada. Durante 28 días de almacenamiento a 4 °C, algunos tratamientos presentaron una mayor concentración de bacterias probióticas que sus respectivos controles. Los resultados demostraron la factibilidad de utilizar subproductos de maracuyá directamente en la formulación de yogures.

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Maracuyá

La maracuyá pertenece a la familia *Passiflora* y es un fruto tropical utilizado para la producción de pulpa, jugos y otros productos alimentarios. La cáscara y las semillas poseen valores nutricionales y fitoquímicos, por lo que se aprovecha ampliamente el valor integrado del fruto.

El fruto es una baya con una forma ovoide, compuesta por una cáscara de color amarillo, una capa media esponjosa y una pulpa interna que rodea las semillas.

Esta es originaria de la Amazonia brasileña y cultivada en países tropicales y subtropicales de América Latina y en los continentes de África y Asia. En Ecuador, es una de las frutas que representan uno de los cultivos de exportación más importantes. (Fonseca et al., 2022)

2.2.2. Anatomía de la maracuyá

2.2.2.1. Pericarpio

La maracuyá tiene forma ovoide con dimensiones de 6 a 8 cm y un peso aproximado de 80 a 150 g. Su estructura está formada por el pericarpio y el arilo; este se encarga de envolver las semillas. El pericarpio es resistente y representa el 60% del peso total de la fruta, lo que indica que es el principal subproducto de los procesos agroindustriales.

2.2.2.2. Exocarpio

Capa externa de una textura dura, cerosa y de color amarillo en la *Passiflora edulis*. Con un espesor de 1 mm, este actúa como una barrera que protege de factores externos.

2.2.2.3. Mesocarpio

Capa media de tejido blando, esponjoso y con alto contenido de pectina. Esta capa tiene un grosor que varía según el tiempo de maduración del fruto, siendo esta la fracción más visible del pericarpio. Es la principal fuente de pigmentos carotenoides, incluyendo los betacarotenos, que se presentan esparcidos en las células.

2.2.2.4. Endocarpio

Capa interna que se separa del mesocarpio por medio del tejido parenquimático. Delimita la cavidad que contiene la pulpa que está pegada a la semilla; esta representa el 50% del fruto y representa la fracción que comúnmente se aprovecha para la realización de jugos.

2.2.3. Taxonomía de la maracuyá

En la Tabla 1, se muestran las características de la taxonomía de la maracuyá (*Passiflora edulis*).

Tabla 1. Nomenclatura y taxonomía de la maracuyá

Clasificación	Nombre
Reino	Plantae
División	Espermatofita
Subdivisión	Angiosperma
Clase	Dicotiledónea
Subclase	Arquiclamidea
Orden	Parietales
Suborden	Flacoutinae
Familia	Passifloraceae
Género	Passiflora
Especie	Passiflora edulissims
Variedad	Pulpúrea y Flavicarpa

Fuente. (Valarezo C et al., 2014)

2.2.4. Cultivo de la maracuyá

La maracuyá amarilla se cultiva en climas tropicales y subtropicales, con más de 450 especies dentro del género *Passiflora*. Se desarrollan a temperaturas de 23 y 27 °C. Es

una planta de tipo trepadora, con sensibilidad al fotoperíodo; necesita 11 horas de luz para una buena floración. Los suelos deben ser fértiles, drenados, con un pH adecuado y ricos en materia orgánica. En Ecuador se cultiva en las provincias de la costa como Manabí, Los Ríos, Guayas y Santo Domingo de los Tsáchilas.

2.2.5. Composición química de la maracuyá

El jugo de maracuyá presenta una composición química compleja que incluye azúcares (glucosa y fructosa), ácidos orgánicos (ácido cítrico, málico y ascórbico), compuestos aromáticos responsables de su fragancia característica y una fracción significativa de compuestos bioactivos.

El contenido de vitamina C en el jugo varía entre 18 y 30 mg/100 mL, dependiendo de la variedad, estado de madurez y condiciones de cultivo. La acidez titulable, expresada como ácido cítrico, fluctúa entre 2,4 y 5,0 g/100 mL, mientras que los sólidos solubles (°Brix) se encuentran entre 12 y 18.

2.2.6. Compuestos bioactivos de la cáscara

La cáscara del maracuyá posee una composición química diferente al jugo. Destaca su elevado contenido de pectina, que oscila entre el 15 y el 20% en peso seco, y de fibra dietética total (entre el 60 y el 72%), con predominio de la fracción insoluble. (Fonseca et al., 2022)

Además, contiene flavonoides, fenoles totales, carotenoides (principalmente β -caroteno y β -criptoxantina) y minerales como calcio, potasio, fósforo y magnesio. (Vuolo et al., 2019)

2.2.7. Carotenoides

Los carotenoides son pigmentos liposolubles presentes en plantas, algas y microorganismos. Su estructura química tetraterpénica (C₄₀) presenta un sistema de dobles enlaces responsable de la absorción de la luz y de la tonalidad amarilla y naranja de muchos alimentos vegetales. Los carotenoides se clasifican en carotenos y xantófilas. Los carotenos tienen una estructura de carbono e hidrógeno, mientras que las xantófilas tienen oxígeno en su estructura. Además de funcionar como pigmento, algunos carotenoides poseen actividad provitamina A. (Saini et al., 2022)

2.2.8. β -carotenos

El β -caroteno es un carotenoide de color amarillo presente naturalmente en frutas. Este compuesto se destaca por su importancia nutricional y tecnológica, debido a que actúa como provitamina A (Saini et al., 2022).

El β -caroteno es liposoluble y de baja solubilidad en agua; esta característica puede limitar su adición directa en alimentos acuosos. Por ello es recomendable la emulsificación y la microencapsulación, ya que estos procesos son utilizados para mejorar su dispersión y protección. (Li et al., 2019)

2.2.9. Método de extracción

La extracción de β -caroteno de origen vegetal es importante para obtener un rendimiento adecuado y mantener la integridad del compuesto. Los métodos más convencionales utilizan la extracción sólido-líquido (Soxhlet, maceración, percolación). La elección del método depende de factores como el costo, la disponibilidad de equipo y la escala de operación.

2.2.10. Extracción con solvente

Es el método de referencia para la extracción de compuestos liposolubles en alimentos siguiendo las normas AOAC (AOAC 948.22; AOAC 970.64). Consiste en la recirculación continua del solvente que se condensa sobre la muestra que está en el cartucho de celulosa, realizando ciclos repetitivos de extracción. El proceso opera en el punto de ebullición del solvente, lo que ayuda a controlar las temperaturas de la extracción sin sobrecalentar la materia.

2.2.11. Extracción Soxhlet

Es una técnica de extracción sólido-líquido basada en ciclos de evaporación, condensación y contacto del solvente con la muestra. El solvente comienza a calentarse hasta llegar a su punto de ebullición y se condensa, el líquido entra en contacto con el cartucho de celulosa donde está la materia sólida, favoreciendo la transferencia de compuestos extraíbles. (Redfern et al., 2014a)

Una de las ventajas de este método es el contacto repetitivo entre la muestra y el solvente. Una desventaja es el consumo de solvente y el tiempo requerido para completar la extracción, por ende, se establece un tiempo adecuado para alcanzar una recuperación eficiente. (Azmir et al., 2013)

2.2.12. Técnicas de reducción de amargor

El amargor es uno de los principales atributos sensoriales que limitan el uso de extractos vegetales en alimentos. Este atributo se origina por diferentes compuestos, entre ellos polifenoles, alcaloides, terpenos y metabolitos secundarios. El grado de intensidad del amargor depende de la concentración y estructura química de los compuestos que se presentan en la interacción con los receptores gustativos. La reducción del amargor es una operación destinada a disminuir la concentración de los compuestos responsables del sabor amargo. Las industrias alimentarias han utilizado métodos de extracción selectiva como solvente, absorbancia, filtración, separación y técnicas de enmascaramiento del sabor. (Chu et al., 2024)

2.2.13. Carbón activado

El carbón activado es un material caracterizado por una elevada área superficial y una estructura microporosa que le confiere una importante capacidad de adsorción. Estas características permiten que diferentes moléculas presentes en una solución interactúen con la superficie del adsorbente y sean retiradas de la fase líquida. Debido a estas propiedades, el carbón activado ha sido utilizado como una alternativa para disminuir compuestos asociados con sabores y olores indeseables en diferentes matrices alimentarias (B. Liu et al., 2022).

2.2.14. Yogur

El yogur es un alimento lácteo fermentado obtenido mediante la acción de microorganismos específicos sobre la leche. De acuerdo con el estándar internacional para leches fermentadas, el yogur se caracteriza por la utilización conjunta de *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, cuya actividad fermentativa provoca la transformación de la lactosa y la producción de ácido láctico, generando una disminución del pH y modificaciones en las proteínas de la leche (Ahmad et al., 2022).

2.2.15. Yogur tipo griego

El yogur tipo griego es una variedad de yogur concentrado que presenta una consistencia más firme y cremosa que el yogur convencional. Su característica tecnológica principal es la eliminación parcial del suero después de la fermentación, mediante procesos de filtración, drenaje o separación mecánica. Esta operación

aumenta la concentración de sólidos y modifica las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y sensoriales del producto. (Mukherjee et al., 2022)

El proceso de concentración permite obtener un producto con mayor contenido de sólidos totales y proteína y menor contenido de lactosa en comparación con el yogur convencional. La eliminación del suero también modifica la estructura de la matriz, aumentando su viscosidad y generando la textura densa característica del yogur tipo griego.

III. METODOLOGÍA

3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

3.1.1. Enfoque

La presente investigación se desarrolló con un enfoque cuantitativo, dado que se realizó la recolección y el análisis de datos numéricos durante las diferentes etapas experimentales. En la primera etapa, se realizó el proceso de extracción y optimización de β -caroteno a partir de la cáscara de maracuyá; se anotaron los valores obtenidos en referencia a las variables independientes, que son la concentración de etanol y el tiempo de extracción, y su efecto en el rendimiento. Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante la metodología de superficie de respuesta, con el fin de determinar las condiciones de extracción con la mayor concentración de β -carotenos.

En la segunda etapa, el extracto obtenido bajo las condiciones optimizadas fue utilizado para la elaboración de un yogur tipo griego, aplicado en diferentes tratamientos de acuerdo con la concentración de β -carotenos incorporados en la formulación del yogur tipo griego. A continuación, se recopilan los datos correspondientes a las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales de los tratamientos.

3.1.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación fue experimental, ya que se manipularon las variables en condiciones controladas de laboratorio. El estudio se desarrolló en dos etapas: primero, se realizó la extracción de β -carotenos de la cáscara de maracuyá mediante el equipo de Soxhlet, analizando la concentración de etanol y el tiempo de extracción mediante la metodología de superficie de respuesta. Posteriormente, el extracto obtenido se agregó en diferentes concentraciones al yogur tipo griego. Los tratamientos fueron evaluados mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales.

3.2. HIPÓTESIS

Ho: El tiempo de extracción y la concentración de etanol no afectan significativamente el rendimiento de β -carotenos obtenidos a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), y la adición de β -caroteno no afecta significativamente las características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales del yogur tipo griego.

Ha: El tiempo de extracción y la concentración de etanol afectan significativamente el rendimiento de β -caroteno obtenido a partir de la cáscara de maracuyá (*Passiflora edulis*), y la adición de β -caroteno afecta significativamente las características microbiológicas, fisicoquímicas y sensoriales del yogur tipo griego.

3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

3.3.1 Definición de las variables

Optimización del rendimiento de β -caroteno

3.3.1.1 Variables independientes

- Tiempo de extracción
- Porcentaje de etanol

3.3.1.2 Variables dependientes

- Rendimiento de extracción de β -caroteno

3.3.2 Definición de las variables

Adición de β -caroteno en el yogur tipo griego

3.3.2.1 Variables independientes

- Porcentaje de β -caroteno

3.3.2.2 Variables dependientes

- Características fisicoquímicas
- Características microbiológicas
- Características sensorial

3.3.3 Operacionalización de las variables

En las tablas 2 y 3 se muestran las variables de las etapas.

Tabla 2. Operación de variables. Método de extracción

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variable Independiente				
Tiempo	Minutos(min)	90min 150min 210min	Método Soxhlet	(Tarazona-Díaz et al., 2020)
Concentración de etanol	Porcentaje(%)	75% 80% 85%	Gravimétrico	(Tarazona-Díaz et al., 2020)
Variable Dependiente				
Rendimiento de extracción de β -caroteno.	Concentración de β -caroteno	$\mu\text{g} / 100 \text{ g}$ (%)	Espectrofotometría UV	(Nagata & Yamashita, 1992)

Tabla 3. Operación de variables adición de β -caroteno al yogur tipo griego

Variable	Dimensión	Indicadores	Técnica	Instrumento
Variable independiente				
Porcentaje de β -caroteno	Porcentaje	0.5% 1% 1.5%	Gravimetría	(Soliman & Nasser, 2022)
Variable dependiente				
Características del yogur tipo griego	Fisicoquímicas	Proteína Materia Grasa Acidez Sólidos totales pH ceniza	Kjeldahl Gerber Acidez Titulable Gravimetría Potenciometría Gravimetría	AOAC 984.13 NTE. INEN 12 AOAC 930.15 AOAC 925.23 AOAC 981.12 AOAC 945.46
	Sensorial	Color Olor Sabor Textura Viscosidad	Prueba de aceptación Mediante escala hedónica.	
	Microbiológicas	Mohos y Levaduras E. coli Coliformes totales	Recuento microbiológico (Placas Petri)	AOAC 997.02 /NTE INEN 1529-10 AOAC 991.14/NTE INEN 1529-8 AOAC 991.14/NTE INEN 1529-7

3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

3.4.1 Métodos

3.4.1.1 Diagrama de flujo para la extracción de β -caroteno

En la figura 1, se muestra la elaboración del extracto.

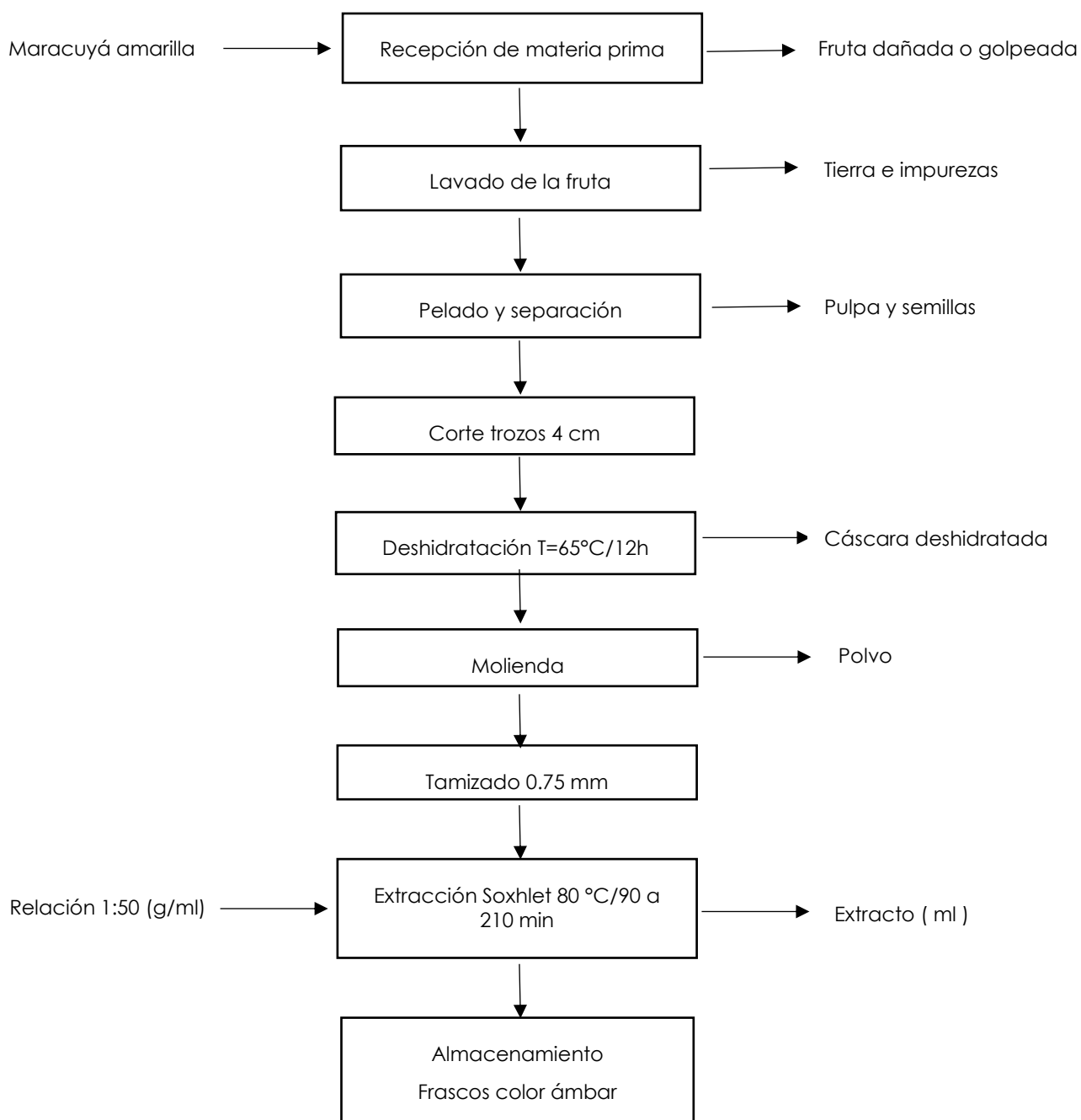


Figura 1. Diagrama de flujo de la extracción de los β -caroteno

3.4.1.2 Recepción de materia prima

Se recibió la maracuyá (*Passiflora edulis*) en estado de madurez y en buen estado. Se realizó una selección visual para separar los frutos que presentan golpes, daños físicos, manchas o signos de putrefacción. Después, se anota el peso inicial de la materia prima para determinar la cantidad de fruta utilizada durante el proceso experimental.

3.4.1.3 Lavado de la materia prima

Los frutos seleccionados se lavaron manualmente con bastante agua potable para eliminar tierra e impurezas. Posteriormente, se desinfectaron mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 5 minutos. Luego los frutos se enjuagaron con abundante agua y se dejaron escurrir.

3.4.1.4 Pelado y separación

Se realizó un corte manual para separar la cáscara del pulpo y las semillas. Únicamente se utilizó el pericarpio para la extracción, ya que forma parte de la fuente de β -caroteno de la maracuyá.

3.4.1.5 Corte

La cáscara separada se cortó en trozos de 4 cm para tener un tamaño uniforme con la finalidad de facilitar la deshidratación e incrementar la superficie de contacto con el calor.

3.4.1.6 Deshidratación

Los trozos de cáscara se colocaron en el secador de aire forzado y se deshidrataron a 65 °C durante 12 horas. Se establece esta temperatura para prevenir la degradación de β -caroteno, que es sensible a altas temperaturas.

3.4.1.7 Molienda

La cáscara deshidratada se procesó en el molino de aspas equipado con una malla de 0.75 mm. La reducción de tamaño incrementa la superficie específica del material y el rendimiento de extracción de β -caroteno.

3.4.1.8 Tamizado

El material obtenido después del proceso de molienda se tamizó utilizando una malla de 0.75 mm, con el propósito de obtener un solo tamaño de partícula uniforme. Luego

de que atravesó la malla, se recolectó y se utilizó como materia prima para el proceso de extracción con el equipo de Soxhlet.

3.4.1.9 Extracción mediante Soxhlet

La cáscara molida se colocó en un cartucho de papel filtro dentro del extractor Soxhlet. Se utilizó un balón de 250 ml y etanol como solvente de extracción con las concentraciones de 75, 80 y 85 % (v/v). Se estableció una relación de materia prima 1:50 (g/ml) y tiempos de 90, 150 y 210 minutos según el diseño de superficie de respuesta.

3.4.1.10 Concentración del extracto

El extracto obtenido mediante Soxhlet se concentró utilizando un rotavapor para eliminar el alcohol presente en el extracto. El proceso se realizó a una temperatura de 40 °C en baño María, una presión de 120 mbar y una velocidad de rotación de 100 rpm, durante un tiempo de 60 minutos. Al finalizar, el extracto concentrado se recolectó y se almacenó a una temperatura de 4 °C, minimizando la exposición a la luz y evitando la degradación de los carotenoides.

3.4.2 Rendimiento de β -caroteno

El contenido de β -caroteno del extracto se determinó mediante el protocolo descrito por Nagata y Yamashita (1992). Este método permite la cuantificación de β -caroteno, licopeno y clorofila en extractos de origen vegetal mediante la medición de la absorbancia a diferentes longitudes de onda: 663, 645, 505 y 453 nm, utilizando un espectrofotómetro UV-Visible. El extracto obtenido del rotavapor en etanol al 85% v/v se filtró antes de su lectura. El rendimiento se midió en μg de β -caroteno por 100 g mediante la ecuación (1) descrita por los autores, quienes analizan las absorciones características de los pigmentos para eliminar interferencias espectrales.

$$\text{Carotenoides} \left(\frac{\text{mg } \beta\text{-carotenos}}{100 \text{ ml}} \right) = 0,216A_{663} - 1,22A_{645} - 0,304A_{505} + 0,452A_{453} \quad (1)$$

Donde A_λ es la absorbancia registrada a la longitud de onda. La concentración de carotenoides se midió por triplicado. Consecutivamente se realizó el rendimiento de extracción, con la siguiente ecuación (2):

$$\text{Rendimiento} = \frac{1000 \cdot V \cdot \text{Carotenoides}}{M} \quad (2)$$

Donde M es la masa de la muestra (g) y V es el volumen del extracto (ml). El rendimiento fue el factor para determinar el rendimiento óptimo mediante la metodología de superficie de respuesta.

3.4.3 Capacidad antioxidantes

La capacidad de radicales libres DPPH se determinó siguiendo el protocolo de Li et al. (2019).

- Se preparó la solución de DPPH a una concentración de 100 µM utilizando metanol como solvente.
- El control se preparó con 2 ml de agua destilada y 2,5 ml de la solución de DPPH.
- Se utilizó ácido ascórbico como control positivo.
- Se mezclaron 2 ml de muestra con 2,5 ml de la solución de DPPH.
- Las mezclas se dejaron en reposo por 30 minutos a temperatura ambiente y en un lugar oscuro, posteriormente, se midió la absorbancia a una longitud de onda de 517 nm

La actividad de eliminación de radicales del DPPH se calculó mediante la siguiente ecuación (3):

$$DPPH (\%) = \left(\frac{A_0 - A_1 + A_2}{A_0} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde:

- A0 es la absorbancia del control (agua y DPPH)
- A1 es la absorbancia del sistema reactivo (muestra y DPPH)
- A2 es la absorbancia de la muestra (muestra y agua)

3.4.4 Radicales hidroxilos

La actividad de eliminación de radicales hidroxilo se determinó con el método informado por Gao et al. (2013).

- Se preparó la solución con 1 ml de muestra, 1 ml de FeSO₄(9 mM), ácido salicílico-etanol (9 mM) y H₂O₂ (9 mM).
- Se mezclaron y se incubaron a 37 °C por 30 minutos, luego se midió la absorbancia a 510 nm.

- Se usó agua destilada como control.
- Ácido ascórbico como control positivo.

La actividad de eliminación de radicales hidroxilo se calculó mediante la siguiente ecuación (4):

$$\text{Hidroxilo (\%)} = \left(\frac{A_0 - A_1 + A_2}{A_0} \right) * 100 \quad (4)$$

Donde:

- A0 es la absorbancia del control (agua y reactivos)
- A1 es la absorbancia del sistema reactivo (muestra y reactivos)
- A2 es la absorbancia de la muestra (muestra y agua)

3.4.5 Elaboración del yogur tipo griego con adición de β -caroteno

En la Figura 2, se muestra el diagrama de flujo para la elaboración del yogur tipo griego con adición de β -caroteno:

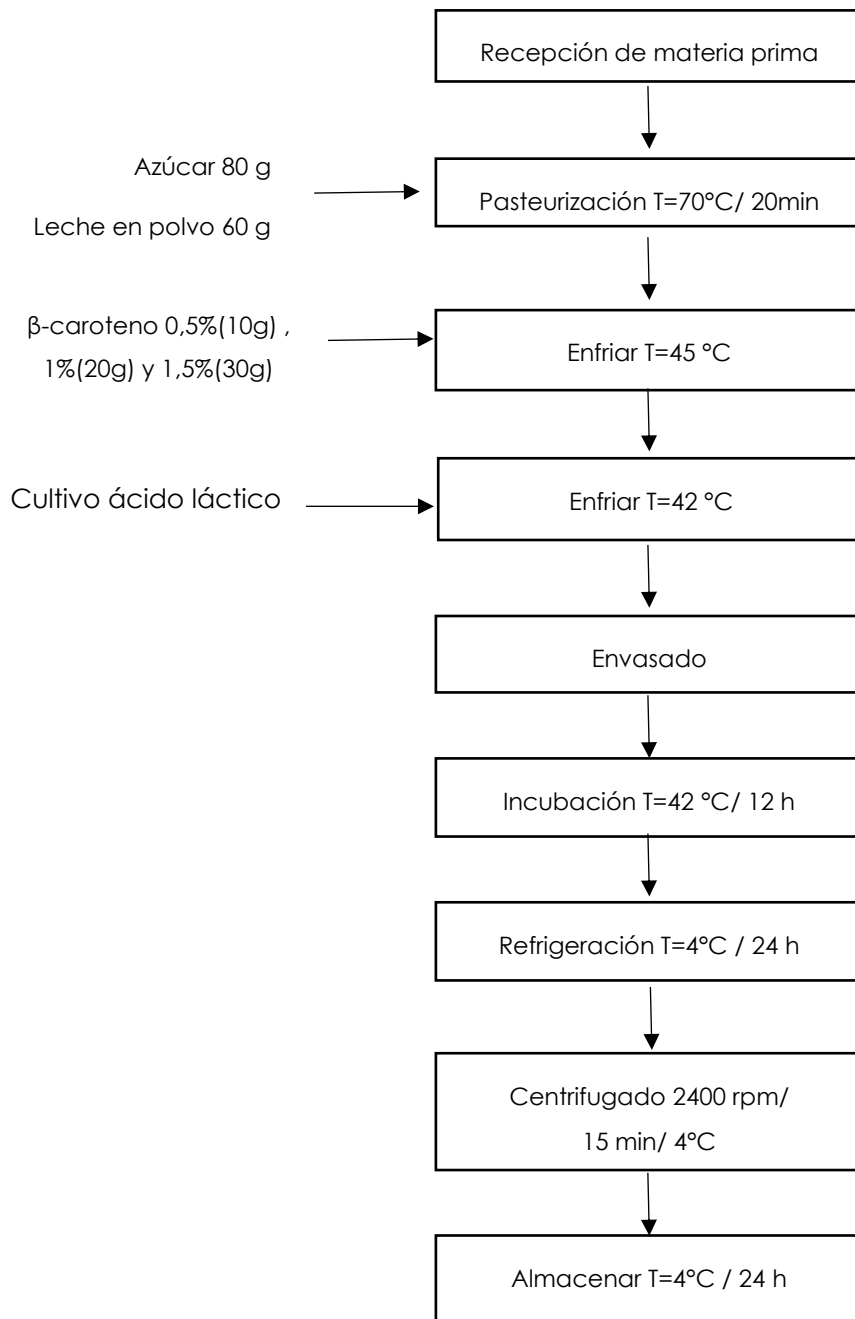


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración del yogur tipo griego
Fuente: (Molina et al., 2019)

Se elaboró yogur tipo griego con leche entera pasteurizada, de acuerdo con el método descrito por (Molina et al., 2019)

- Se realizó una pasteurización de la leche comercial a 70 °C durante 20 minutos, sin llegar al hervor, y se agregaron el azúcar y la leche en polvo.
- Enfriar a 45 °C, se agregaron los diferentes porcentajes de β -caroteno 0,5%, 1% y 1,5%
- Enfriar a 42 °C, activar el inóculo, bacterias ácido-lácticas (se colocó leche en un vaso con el cultivo y se mezcló).
- Incubar a 42 °C durante 12 horas; al terminar el tiempo de incubación, medir el pH, el cual debe estar en 4,3.
- Se deja reposar a temperatura ambiente y se coloca en refrigeración por 24 horas a 4 °C.
- Después de la refrigeración, se centrifuga a 2400 rpm durante 15 minutos a 4 °C y se extrae el suero.
- Almacenar en refrigeración a 4 °C

3.4.6 Análisis fisicoquímicos del yogur tipo griego

3.4.6.1 Determinación de pH

El pH de la muestra se determina mediante potenciometría, siguiendo el método oficial AOAC 981.12, que se describe a continuación.

Se utiliza un factor de 1:9: 10 gramos de la muestra con 90 ml de agua destilada, agitando la mezcla con una varilla de agitación hasta tener una mezcla homogénea. Posteriormente se introdujo el sensor previamente calibrado para registrar el valor medido por el equipo. Cada tratamiento se midió por triplicado.

3.4.6.2 Determinación de acidez titulable

La acidez titulable se determina mediante valoración ácido-base siguiendo el método AOAC 930.15.

Se pesaron 10 g de muestra de yogur en un matraz de 250 ml, se añadieron 10 ml de agua destilada y 3 gotas de fenolftaleína como indicador. Se agita hasta tener una mezcla homogénea y se titula con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0.101

N, hasta que la mezcla tenga un color rosado persistente durante 30 segundos. El volumen de NaOH gastado se utilizó para calcular el porcentaje de acidez. El procedimiento utiliza la siguiente ecuación (5):

$$\%Acidez\ titulable = \frac{(NaOH\ consumido * Normalidad * Coeficiente\ láctico)}{Peso\ de\ la\ muestra} * 100 \quad (5)$$

Donde:

El coeficiente ácido láctico = 0.09

NaOH consumido de cada muestra ml

0.101 N valor de NaOH estandarizado

P= peso de la muestra en gramos

3.4.6.3 Determinación de grasa

El contenido de grasa se determina mediante el método de Gerber (NTE INEN 12) para productos lácteos fermentados. Lo cual se detalla a continuación:

- Se pesaron 11 g de la muestra de yogur en el butirómetro.
- Se colocaron 10 ml de ácido sulfúrico al 85%.
- Se colocó 1 ml de alcohol isoamílico.

Se agitó cuidadosamente y se lo llevó al baño María a una temperatura de 65 °C por 5 minutos, luego se sometió a la centrifugadora durante 5 minutos.

La lectura se realizó por triplicado directamente en la escala graduada del butirómetro; los resultados se expresaron como porcentaje de grasa (g de grasa/100 g de yogur).

3.4.6.4 Determinación de proteína

La proteína se cuantifica por el método de Kjeldahl (AOAC 984.13).

Se pesaron 2 g de yogur en papel filtro. Luego, en el tubo de digestión se coloca la muestra y se añade 1 pastilla de Kjeldahl; se añaden 20 ml de ácido sulfúrico concentrado.

El digestor se calentó gradualmente hasta llegar a una temperatura de 420 °C y comenzó el tiempo de 1:30 horas de digestión, hasta obtener una solución clara y verde, indicando la digestión completa y dejando enfriar.

En la fase de destilación, se añaden 70 ml de hidróxido de sodio al 40%, liberando amoníaco que se destila y se recibe en 40 ml de ácido bórico al 4% con indicador Shiro Tashiro, alcanzando un volumen de 150 ml, y se valora con HCl 0.1 N. El contenido de proteína se calcula con las siguientes ecuaciones (6 y 7):

$$\% \text{ nitrógeno} = \frac{N * 1,4 * (V1 - V0)}{\text{Peso de la muestra}} \quad (6)$$

$$\% \text{ proteína} = \% \text{ de nitrógeno calculado} * F \quad (7)$$

Donde:

N=0.10139 estándar

P= peso de la muestra (g)

F= Factor de conversión valor 6.38 norma INEN 0016

V1= Volumen de HCl consumido

V2= Volumen de HCl consumido del blanco

3.4.6.5 Determinación de sólidos totales

El contenido de sólidos totales se determina por el método gravimétrico de secado en estufa (AOAC 925.23).

Se pesaron entre 3 y 5 g de muestra de yogur en cápsulas de porcelana previamente taradas y secadas a 102 °C hasta peso constante. Las cápsulas con muestra se introdujeron en la estufa a una temperatura de 102 °C durante 4 horas; se enfriaron en el desecador durante 30 minutos y se pesaron. El proceso se repite hasta obtener peso constante. El porcentaje de sólidos totales se calcula con la siguiente ecuación (8):

$$\% ST = \frac{P1 - P2}{P1 - P0} * 100 \quad (8)$$

Donde:

P0= Cápsula vacía (g)

P1= Cápsula con muestra (g)

P2= Cápsula muestra seca (g)

3.4.6.6 Determinación de ceniza

El contenido de cenizas se determinó mediante incineración en mufla, según el método AOAC 945.46. Se pesaron entre 3 y 5 g de muestra de yogur en crisoles de porcelana previamente tarados. Las muestras se precarbonizaron en la estufa hasta la eliminación de los humos; posteriormente, se introdujeron en la mufla a 550 ± 25 °C durante 5–6 horas, hasta obtener cenizas de color gris claro o blanco, indicativas de incineración completa. Los crisoles se enfriaron en desecador hasta temperatura ambiente y se pesaron. El porcentaje de cenizas se calculó de acuerdo con la ecuación (9):

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} * 100 \quad (9)$$

Donde:

P0= peso del crisol

P1= peso del crisol con muestra

P2= peso del crisol con ceniza

3.4.7 Análisis microbiológico

Los parámetros microbiológicos realizados al yogur tipo griego con la adición de β -caroteno fueron realizados de acuerdo con la metodología AOAC, mohos y levaduras AOAC 997.02, coliformes totales y *Escherichia coli* AOAC 991.14, de acuerdo con el siguiente procedimiento:

Se preparó agua peptonada, disolviendo 15 gramos en 1000 ml de agua destilada. Para la preparación de la muestra madre, se agregaron 10 gramos de muestra y se mezclaron con 90 ml de agua peptonada en una funda ziplock de alta densidad. Se homogeneizó a 230 revoluciones por 60 segundos en el Stomache. Para la dilución 10^{-3} se tomó 1 ml de la muestra madre y 9 ml de agua peptonada en un tubo de ensayo; se llevó al vórtex para homogeneizar la muestra; posteriormente, se tomó 1 ml de la muestra del tubo de ensayo y se sembró en placas Petrifilm. Finalmente, las placas se incubaron en condiciones específicas de acuerdo con el microorganismo, mohos y levaduras a 25 °C durante 120 horas; E. coli y coliformes totales a 36 °C durante 48 horas.

3.4.8 Análisis sensorial

Se evaluó el grado de aceptabilidad de yogur tipo griego elaborado con diferentes concentraciones de β -caroteno extraído de la cáscara de maracuyá. Se evaluaron cuatro tratamientos, los cuales fueron presentados en vasos de plástico PET de tamaño de 1/2 onza, codificados con números aleatorios de tres dígitos y ordenados de manera aleatoria. Las muestras utilizadas fueron de 15 gramos, servidas a una temperatura de 4 °C. Se utilizó agua purificada como neutralizador de sabor.

Durante la evaluación, los panelistas calificaron los atributos sensoriales de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general, utilizando una escala hedónica de nueve puntos, donde 1 corresponde a (me disgusta muchísimo) y 9 a (me gusta muchísimo).

El análisis sensorial proporcionó información para evaluar la calidad general del yogur tipo griego. La escala de valores empleada se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Escala de valores de aceptabilidad.

Puntaje	Categoría
1	Me disgusta muchísimo
2	Me disgusta mucho
3	Me disgusta moderadamente
4	Me disgusta ligeramente
5	Ni me gusta ni me disgusta
6	Me gusta ligeramente
7	Me gusta moderadamente
8	Me gusta mucho
9	Me gusta muchísimo

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.5.1 Optimización del método de extracción

Se utilizó el programa Design-Expert para el diseño experimental en la optimización. Todos los ensayos se realizaron por duplicado con el fin de garantizar el rendimiento de β -caroteno. Se llevó a cabo un diseño experimental factorial de 2 variables y dos niveles. Cada variable se analizó en los niveles específicos en la tabla 5, generando un diseño central compuesto de 21 combinaciones, incluyendo puntos centrales.

Tabla 5. Diseño experimental y respuesta del diseño compuesto central para optimizar la extracción de β -caroteno.

Corrida	X ₁ Et (%)	X ₂ Ti (min)
1	-1 (75)	-1 (90)
2	-1 (75)	-1 (90)
3	1 (85)	-1 (90)
4	1 (85)	-1 (90)
5	-1 (75)	1 (210)
6	-1 (75)	1 (210)
7	1 (85)	1 (210)
8	1 (85)	1 (210)
9	-1.41 (72,93)	0 (150)
10	-1.41 (72,93)	0 (150)
11	1.41 (87,07)	0 (150)
12	1.41 (87,07)	0 (150)
13	0 (80)	-1.41 (65,18)
14	0 (80)	-1.41 (65,18)
15	0 (80)	1.41 (234,85)
16	0 (80)	1.41 (234,85)
17	0 (80)	0 (150)
18	0 (80)	0 (150)
19	0 (80)	0 (150)
20	0(80)	0 (150)
21	0(80)	0 (150)

Nota. Los valores codificados -1 y +1 representan los niveles factoriales bajos y altos, respectivamente; -1.41 y +1.41 corresponden a los puntos axiales, y 0 corresponde a los puntos centrales. ¹. Concentración de etanol (%). ². Tiempo de extracción (min).

3.5.2 Diseño experimental

Para la evaluación del efecto de la adición de β -caroteno sobre las características del yogur tipo griego, se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones (n=12 unidades experimentales). Los tratamientos correspondieron a un factor de cuatro niveles de adición de β -caroteno: T0 = 0 % (control, sin adición), T1 = 0,5 %, T2 = 1,0 % y T3 = 1,5 %.

Tabla 6. Yogur tipo griego con la adición de β -caroteno

Tratamiento	interacción	descripción
T0	Control	Sin adición
T1	β -caroteno	Con 0.5% de adición de β -caroteno
T2	β -caroteno	Con 1% de adición de β -caroteno
T3	β -caroteno	Con 1.5% de adición de β -caroteno

Características de los tratamientos

- Número de tratamientos: 4
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 12

3.5.2.1 Análisis estadístico

Para las variables fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, los datos se analizaron mediante ANOVA con un nivel de confianza del 95%, previo cumplimiento de los supuestos de normalidad de residuos y homogeneidad. Cuando el ANOVA resultó significativo ($p < 0,05$), se aplicaron comparaciones post hoc mediante la prueba de Tukey para determinar los tratamientos estadísticamente diferentes. Para las variables que no cumplieron el supuesto de normalidad, se aplicó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

3.6 Formulación

En la tabla 7, se presenta la formulación para la preparación del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno.

Tabla 7.Elaboración del yogur tipo griego

Formulación	Gramos	Porcentaje
Leche entera	2000 gramos	93,02%
Leche en polvo	60 gramos	2,79%
Azúcar	80 gramos	3,72%
β -caroteno	10, 20 y 30 gramos	0,47%
Cultivo	0,0492 gramos	0,0023%
Total		100%

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS

4.1.1 Optimización del rendimiento de obtención de β -caroteno

Los resultados se muestran en la tabla 8, donde se observa que en el punto siete se obtiene el mayor rendimiento de β -caroteno (1522,53 μg β -caroteno/100 g de muestra) cuando la concentración de etanol es de 85% v/v y el tiempo es de 210 minutos.

Tabla 8. Diseño central compuesto y los valores del rendimiento de β -caroteno.

Corrida	X ₁ : Et (%)	X ₂ : Ti (min)	β -caroteno (μg β -caroteno/100 g)
1	-1 (75)	-1 (90)	1184,44
2	-1 (75)	-1 (90)	1180,13
3	1 (85)	-1 (90)	1041,8
4	1 (85)	-1 (90)	1130,6
5	-1 (75)	1 (210)	831,56
6	-1 (75)	1 (210)	1166,22
7	1 (85)	1 (210)	1522,53
8	1 (85)	1 (210)	1520,75
9	-1.41 (72,93)	0 (150)	1374,47
10	-1.41 (72,93)	0 (150)	915,92
11	1.41 (87,07)	0 (150)	1506,92
12	1.41 (87,07)	0 (150)	1260
13	0 (80)	-1.41 (65,18)	752,76
14	0 (80)	-1.41 (65,18)	749,49
15	0 (80)	1.41 (234,85)	744,05
16	0 (80)	1.41 (234,85)	748,16
17	0 (80)	0 (150)	477,093
18	0 (80)	0 (150)	476,107
19	0 (80)	0 (150)	478,133
20	0 (80)	0 (150)	477,093
21	0 (80)	0 (150)	476,107

Nota. Los valores codificados -1 y +1 representan los niveles factoriales bajos y altos, respectivamente; -1.41 y +1.41 corresponden a los puntos axiales, y 0 corresponde a los puntos centrales. ¹. Concentración de etanol (%). ². Tiempo de extracción (min).

En la tabla 9, el análisis de ANOVA mostró que el modelo cuadrático fue adecuado para optimizar el rendimiento de β -caroteno, ya que el p-valor fue menor que 0,05.

Asimismo, se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0,05$) para un coeficiente lineal, dos términos cuadráticos y un término de interacción.

Tabla 9. Análisis de varianza (ANOVA) del modelo de superficie de respuesta

Source	Degrees of freedom	Sum of squares	Mean square	F-value	p-value
Model	5	2,372,054.695	474,410.939	19.77	<0.001
Linear	2	160,779.027	80,389.513	3.35	0.063
Etanol	1	145,779.789	145,779.789	6.07	0.026
Tiempo	1	14,999.238	14,999.238	0.62	0.442
Square	2	2,019,797.035	1,009,898.518	42.08	<0.001
Etanol*Etanol	1	2,011,237.918	2,011,237.918	83.80	<0.001
Tiempo*Tiempo	1	347,774.679	347,774.679	14.49	0.002
2-factor interaction	1	191,478.379	191,478.379	7.98	0.013
Etanol*Tiempo	1	191,478.379	191,478.379	7.98	0.013
Error	15	359,987.495	23,999.166		
Lack of fit	3	164,399.806	54,799.935	3.36	0.055
Pure error	12	195,587.689	16,298.974		
Total	20	2,732,042.191			

Nota: R^2 ajustado: 82.42%; Precisión de adecuación: 12.29.

Con lo antes mencionado, la ecuación (10) de regresión incluye los términos significativos y describe el rendimiento de β -caroteno en unidades reales.

$$Y_{\text{Betacaroteno}} = 119208 - 2883 \text{ Etanol} - 56,0 \text{ Tiempo} + 17,66 \text{ Etanol*Etanol} \\ + 0,0510 \text{ Tiempo*Tiempo} + 0,516 \text{ Etanol*Tiempo} \quad (10)$$

En la figura 3, se presentan los gráficos en 3D y 2D para el análisis del diseño central compuesto, en el cual se muestra que en la zona naranja-roja de los gráficos se encuentra el máximo de rendimiento de β -caroteno (1522,53 μg β -caroteno/100 g), cuando la concentración del etanol es del 85% v/v y el tiempo es de 210 minutos.

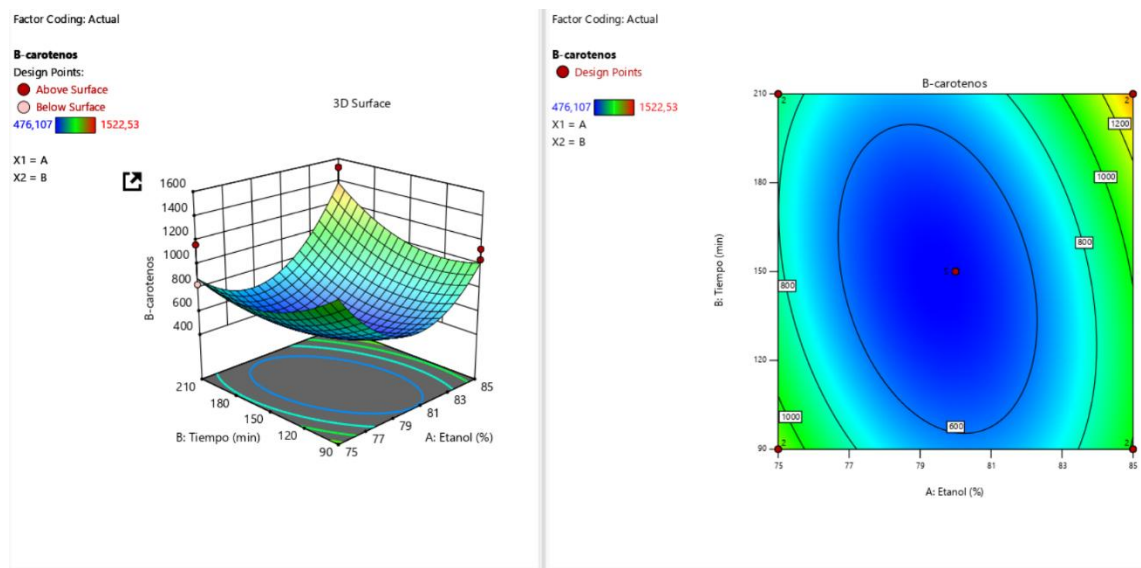


Figura 3. Gráficos de superficie de respuesta en 3D y 2D para la influencia de la concentración de etanol y del tiempo en el rendimiento de β -caroteno.

4.1.2 Características fisicoquímicas del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno

4.1.2.1. Análisis de pH

En la tabla 10, se presentan los valores de pH de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno. Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos cuando se compararon con el tratamiento control (T0) ($p < 0,05$), indicando que la adición de β -caroteno influye significativamente en el pH del yogur tipo griego. El tratamiento control (T0) presentó el mayor valor de pH ($4,45 \pm 0,01$), mientras que los tratamientos con incorporación del extracto presentaron valores inferiores. En los tratamientos (T1 y T3) se presentaron valores bajos de pH ($4,21 \pm 0,00$), sin diferencias estadísticamente significativas entre sí, mientras que el tratamiento (T2) presentó un valor intermedio de pH ($4,43 \pm 0,01$).

Tabla 10. Parámetro pH del yogur tipo griego con β -caroteno.

pH	Unidad	Resultado	Rango
T0	-	$4,45 \pm 0,01$	A
T1	-	$4,21 \pm 0,00$	C
T2	-	$4,43 \pm 0,01$	B
T3	-	$4,21 \pm 0,00$	C

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Letras diferentes en la columna de rangos indican una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

4.1.2.2. Análisis de acidez

En la tabla 11, se presentan los valores de acidez de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno. Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), indicando que la adición de β -caroteno influye significativamente en la acidez del yogur tipo griego. El tratamiento (T1) presentó el mayor valor de acidez ($1,18 \pm 0,009$), mientras que el tratamiento (T0) presentó un valor menor de acidez ($1,01 \pm 0,009$).

Tabla 11. Parámetro de acidez del yogur tipo griego con β -caroteno.

Acidez	Unidad	Resultado	Rango
T0	%	$1,01 \pm 0,009$	C
T1	%	$1,18 \pm 0,009$	A
T2	%	$1,12 \pm 0,016$	B
T3	%	$1,15 \pm 0,018$	AB

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Letras diferentes en la columna de rangos indican una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

4.1.2.3. Grasa total

En la tabla 12, se presentan los valores del contenido de grasa total de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno. Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), indicando que la adición de β -caroteno influye significativamente en la grasa total del yogur tipo griego. El tratamiento (T0) presentó el mayor valor de grasa total ($4,60 \pm 0,10$), mientras que el tratamiento (T3) presentó el menor valor de grasa total ($3,10 \pm 0,10$).

Tabla 12. Parámetro de grasa total del yogur tipo griego con β -caroteno.

Grasa total	Unidad	Resultado	Rango
T0	%	$4,60 \pm 0,10$	A
T1	%	$4,13 \pm 0,15$	B
T2	%	$3,63 \pm 0,15$	C
T3	%	$3,10 \pm 0,10$	D

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Letras diferentes en la columna de rangos indican una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

4.1.2.4. Proteína

En la tabla 13, se presentan los valores del contenido de proteína de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno.

Se evidenció que no existe diferencia significativa en el contenido de proteína entre al menos dos tratamientos. El tratamiento (T0) presentó el mayor valor de proteína ($7,31 \pm 0,10$), mientras que el tratamiento (T3) presentó un valor menor de proteína ($6,59 \pm 0,10$).

Tabla 13. Parámetro de proteína del yogur tipo griego con β -caroteno.

Proteína	Unidad	Resultado	Rango
T0	%	$7,31 \pm 0,10$	A
T1	%	$7,13 \pm 0,10$	AB
T2	%	$6,95 \pm 0,10$	AB
T3	%	$6,59 \pm 0,10$	B

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Letras diferentes en la columna de rangos indican una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

4.1.2.5. Sólidos totales

En la tabla 14, se presentan los valores del contenido de sólidos totales de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno. Se evidenció que no existe diferencia significativa en el contenido de sólidos totales entre los tratamientos. El tratamiento (T1) presentó el mayor valor de sólidos totales ($19,10 \pm 0,18$), mientras que el tratamiento (T3) presentó el menor valor de sólidos totales ($16,60 \pm 0,10$).

Tabla 14. Parámetro de sólidos totales del yogur tipo griego con β -caroteno.

Sólidos totales	Unidad	Resultado	Rango
T0	%	$16,60 \pm 0,10$	A
T1	%	$19,10 \pm 0,10$	A
T2	%	$18,70 \pm 0,10$	A
T3	%	$17,90 \pm 0,10$	A

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar.

4.1.2.6. Ceniza

En la tabla 15, se presentan los valores del contenido de ceniza de los tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno. Se evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), lo que indica que la adición de β -caroteno influye de manera significativa en el yogur tipo griego. El tratamiento (T1) presentó el mayor valor de ceniza ($0,91 \pm 0,01$), mientras que el tratamiento (T3) presentó el menor ($0,81 \pm 0,06$).

Tabla 15. Parámetro de ceniza del yogur tipo griego con β -caroteno.

Ceniza	Unidad	Resultado	Rango
T0	%	$0,83 \pm 0,03$	AB
T1	%	$0,91 \pm 0,02$	A
T2	%	$0,82 \pm 0,01$	AB
T3	%	$0,81 \pm 0,06$	B

Los valores corresponden al promedio de 3 determinaciones $\pm$ la desviación estándar. Letras diferentes en la columna de rangos indican una diferencia significativa con un nivel de confianza del 95%.

4.1.3. Análisis sensorial

En la tabla 16, se indican los resultados del análisis sensorial de los 4 tratamientos del yogur tipo griego con la adición de β -caroteno, donde se evidenció que los atributos color, olor, sabor, textura y aceptabilidad general presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$). El tratamiento T2 presentó la calificación más alta (7), mientras que el tratamiento T0 presentó la calificación más baja (6) en todos los atributos. Los tratamientos T1 y T3 presentan una calificación alta en color y textura, mientras que en los atributos de olor y sabor presentan una calificación baja.

Tabla 16. Análisis sensorial.

Tratamiento	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad
T0/101	6B	6B	6B	6B	6B
T1/123	7A	6B	6B	7A	6B
T2/456	7A	7A	7A	7A	7A
T3/789	7A	6B	6B	7A	7A

4.1.4. Análisis microbiológico

En la tabla 17, se presentan los resultados microbiológicos de los tratamientos: los valores de la carga microbiana de coliformes totales, E. coli y mohos y levaduras del

yogur tipo griego con la adición de β -caroteno, donde se evidenció que no hay diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos ($p>0,05$).

Tabla 17. Análisis microbiológico del yogur tipo griego con β -caroteno.

Resultados							
Parámetro	T0	T1	T2	T3	Unidades	Referencia	Rango
Coliformes totales	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	UFC/g	NTEN INEN ISO 1529-7	m= 10 M= 100
Escherichia coli	Estimado $<1,0 \times 10^1$	Estimado $<1,0 \times 10^1$	Estimado $<1,0 \times 10^1$	Estimado $<1,0 \times 10^1$	UFC/g	NTE INEN ISO 1529-8	m = <1 M = ** m= 200
Mohos y levaduras	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	$<1,0 \times 10^1$	UFC/g	NTE INEN ISO 1529-10	M = 500

Se observa una incidencia de coliformes totales, mohos y levaduras con una carga inferior a 10 UFC/g y una carga estimada de $< 1,0 \times 10^1$ de Escherichia coli.

4.1.5. Capacidad antioxidante del extracto

En la tabla 18, se presentan los resultados de la actividad antioxidante e hidroxilos del extracto en las condiciones óptimas de extracción con 85% de etanol y 210 minutos.

Tabla 18. Actividad antioxidante del extracto de β -caroteno.

Ensayo	Extracto de β -caroteno (%)	Ácido ascórbico control positivo(%)
DPPH	96,39	98,15
Radicales hidroxilos	83,90	91,27

4.2. DISCUSIÓN

4.2.1. Optimización del rendimiento de extracción de β -caroteno

El rendimiento máximo obtenido en condiciones de 85 % de etanol y 210 min fue de 1522,53 μg β -caroteno/100 g, el cual fue estadísticamente significativo ($p<0,05$), respaldado por el modelo cuadrático ($F = 19,77$; $p < 0,0001$; R^2 ajustado = 82,42 %). Este valor es muy similar al reportado por Umair et al. (2021), quienes obtuvieron 1489 μg /100 g de β -caroteno a partir de bagazo de zanahoria mediante extracción asistida por ultrasonido con 59 % de etanol en solo 16 minutos. Un comportamiento relacionado fue observado por Tarazona-Díaz et al. (2020a) en la extracción de compuestos carotenoides de la corteza de maracuyá mediante Soxhlet, donde se evaluaron diferentes concentraciones de etanol y tiempos de extracción, obteniéndose las mejores condiciones con 90 % de etanol y 150 min, alcanzando

2208,53 $\mu\text{g}/100\text{ g}$. La diferencia entre este resultado y el obtenido en la presente investigación puede estar relacionada con las condiciones específicas del proceso, como la concentración del solvente, el tiempo de contacto, la relación solvente y las características de la materia prima. Por tanto, los resultados confirman que la optimización de las variables de extracción es necesaria para maximizar la recuperación de β -caroteno presente en la cáscara de maracuyá.

4.2.2. Características fisicoquímicas del yogur tipo griego

La disminución del pH desde 4,45 en el tratamiento T0 a 4,21 en los tratamientos T1 y T3 con el aumento de la concentración del extracto sigue la misma tendencia reportada por Kim et al. (2023) en yogur tipo griego fortificado con jarabe de subproducto de manzana, donde el pH descendió de 6,85 a 4,28 conforme aumentó la proporción de β -caroteno incorporado. Por su parte, la reducción de grasa y proteína observada entre el tratamiento control T0 y el tratamiento T3 puede estar relacionada con el incremento de la proporción de ingredientes no lácteos en la formulación del yogur descrita por los mismos autores. A pesar de estas variaciones, todos los valores obtenidos (pH 4,21-4,45; grasa 3,10-4,60 %; proteína 6,59-7,31 %; sólidos totales 16,60-19,10 %; ceniza 0,81-0,91 %) se ubican dentro de los rangos reportados por Pappa et al.(2024) para yogures tipo griego comerciales (pH 3,58-4,64; grasa 0-10,8 %; proteína 3,29-10,05 %; sólidos totales 10,75-25,18 %; ceniza 0,5-1,17 %), lo que indica que el producto desarrollado se mantiene dentro de los estándares fisicoquímicos característicos de esta categoría de yogur.

4.2.3. Características sensoriales

El tratamiento T2 (1%) obtuvo las mejores calificaciones en todos los atributos sensoriales, mientras que el tratamiento T1 (0,5%) y el tratamiento T3 (1,5%) presentaron un menor desempeño en olor y sabor. Estos resultados coinciden con Liu et al.(2024b), quienes evaluaron 0,5;1; 1,5; 2 y 2,5 % de polvo de cáscara de maracuyá en yogur y observaron que la formulación con 1% presentó las mejores calificaciones en sabor, aroma y color.

La mayor aceptación del tratamiento T2 se debe a la concentración equilibrada entre los atributos sensoriales del yogur. En comparación, el tratamiento T1 de 0,5% presentó un color menos intenso, mientras que el tratamiento T3 de 1,5% pudo incrementar la percepción del ingrediente y afectar el olor y sabor del yogur.

4.2.4. Características microbiológicas

Todos los tratamientos cumplieron los límites de las normas, sin diferencias relevantes entre el control y los tratamientos con extracto. Esto sugiere que el proceso no comprometió la inocuidad del producto y es consistente con lo señalado por Redfern et al.(2014), quienes reportan que los extractos etanólicos obtenidos por Soxhlet conservan compuestos con actividad antimicrobiana capaces de contribuir a la estabilidad microbiológica de la matriz donde se incorporan.

En conjunto, estos resultados, contrastados con la literatura, confirman que el objetivo general fue alcanzado: se optimizó la extracción de β -caroteno de la cáscara de maracuyá y se desarrolló un yogur tipo griego funcional, siendo T2 la formulación con mejor equilibrio entre calidad fisicoquímica, sensorial y microbiológica.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Se identificaron las condiciones óptimas de extracción (85% de etanol y 210 minutos), obteniendo un rendimiento máximo de 1522,53 µg de β-caroteno por 100 g de muestra, en comparación con los puntos centrales, que fueron de 477,093 µg de β-caroteno por 100 g de muestra. El proceso optimizado incrementó la recuperación de β-caroteno en un 219,37%, lo que indica que la concentración del solvente y el tiempo de extracción influyen en la eficiencia de recuperación del β-caroteno.
- La adición de β-caroteno en el yogur tipo griego permitió elaborar un producto con características funcionales y aceptación sensorial. La concentración del 1% (T2) presentó el mejor comportamiento entre los tratamientos, siendo esta la concentración óptima debido al balance entre la incorporación del compuesto funcional y la conservación de las características sensoriales.
- La evaluación microbiológica del yogur tipo griego con adición de β-caroteno (concentraciones de 0%, 0,5%, 1,0% y 1,5%) demostró que la adición de β-caroteno no comprometió la calidad e inocuidad del producto.
- La adición de β-caroteno en el yogur tipo griego presentó diferencias estadísticas significativas en los análisis fisicoquímicos (grasa, pH, acidez y ceniza), mientras que en proteína y sólidos totales no hubo diferencias significativas. La disminución del pH y el aumento de la acidez pueden relacionarse con la interacción de los componentes adicionados con la fermentación del yogur.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis de estabilidad del yogur tipo griego con la adición de β-caroteno, evaluando el efecto de la temperatura de almacenamiento, la exposición a la luz y el tiempo de vida útil.

- Explorar técnicas de encapsulación y el uso de agentes encapsulantes, con el propósito de evaluar el efecto protector y la eficiencia de encapsulación, facilitando el control de β -caroteno en el tracto gastrointestinal.
- Se sugiere comparar el método de extracción por Soxhlet con técnicas como la extracción por ultrasonido (EAU) y la extracción por microondas (EAM), que pueden ofrecer mayores rendimientos en menor tiempo y con ahorro de consumo de solvente orgánico, favoreciendo la sostenibilidad del proceso.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad, I., Hao, M., Li, Y., Zhang, J., Ding, Y., & Lyu, F. (2022). Fortification of yogurt with bioactive functional foods and ingredients and associated challenges—A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 558-580. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.11.003>
- Azmir, J., Zaidul, I. S. M., Rahman, M. M., Sharif, K. M., Mohamed, A., Sahena, F., Jahurul, M. H. A., Ghafoor, K., Norulaini, N. A. N., & Omar, A. K. M. (2013). Techniques for extraction of bioactive compounds from plant materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 117(4), 426-436. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.01.014>
- Ba, L., Luo, C., Li, X., Cao, S., & Luo, D. (2025). Research Progress on the Nutritional Components, Bioactivity, Health Effects, and Food Applications of Passion Fruit Peel (PFP). *Foods*, 14(19), 3397. <https://doi.org/10.3390/foods14193397>
- Chu, X., Zhu, W., Li, X., Su, E., & Wang, J. (2024). Bitter flavors and bitter compounds in foods: Identification, perception, and reduction techniques. *Food Research International*, 183, 114234. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114234>
- Do Espírito Santo, A. P., Perego, P., Converti, A., & Oliveira, M. N. (2012). Influence of milk type and addition of passion fruit peel powder on fermentation kinetics, texture profile and bacterial viability in probiotic yoghurts. *LWT*, 47(2), 393-399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.038>
- Fonseca, A. M. A., Geraldi, M. V., Junior, M. R. M., Silvestre, A. J. D., & Rocha, S. M. (2022). Purple passion fruit (*Passiflora edulis* f. *edulis*): A comprehensive review on the nutritional value, phytochemical profile and associated health effects. *Food Research International*, 160, 111665. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111665>
- Gao, C., Wang, Y., Wang, C., & Wang, Z. (2013). Antioxidant and immunological activity in vitro of polysaccharides from *Gomphidius rutilus* mycelium. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 2187-2192. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.12.011>
- Kim, J., Kim, M., & Choi, I. (2023). Physicochemical Characteristics, Antioxidant Properties and Consumer Acceptance of Greek Yogurt Fortified with Apple Pomace Syrup. *Foods*, 12(9), 1856. <https://doi.org/10.3390/foods12091856>

- Li, X., Wu, M., Xiao, M., Lu, S., Wang, Z., Yao, J., & Yang, L. (2019). Microencapsulated β -carotene preparation using different drying treatments. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE B*, 20(11), 901-909. <https://doi.org/10.1631/jzus.B1900157>
- Liu, B., Li, N., Chen, F., Zhang, J., Sun, X., Xu, L., & Fang, F. (2022). Review on the release mechanism and debittering technology of bitter peptides from protein hydrolysates. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(6), 5153-5170. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13050>
- Liu, Z., Yang, T., Chen, J., Yang, C., Niu, J., Duan, X., Ren, G., & Li, L. (2024a). The impact of passion fruit peel powder on the physicochemical, sensory properties, and antioxidant activity of goat milk yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(7), 4572-4582. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17181>
- Liu, Z., Yang, T., Chen, J., Yang, C., Niu, J., Duan, X., Ren, G., & Li, L. (2024b). The impact of passion fruit peel powder on the physicochemical, sensory properties, and antioxidant activity of goat milk yoghurt. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(7), 4572-4582. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17181>
- Meléndez-Martínez, A. J., Esquivel, P., & Rodríguez-Amaya, D. B. (2023). Comprehensive review on carotenoid composition: Transformations during processing and storage of foods. *Food Research International*, 169, 112773. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112773>
- Molina, C. V., Lima, J. G., Moraes, I. C. F., & Pinho, S. C. (2019). Physicochemical characterization and sensory evaluation of yogurts incorporated with beta-carotene-loaded solid lipid microparticles stabilized with hydrolyzed soy protein isolate. *Food Science and Biotechnology*, 28(1), 59-66. <https://doi.org/10.1007/s10068-018-0425-y>
- Mukherjee, A., Gómez-Sala, B., O'Connor, E. M., Kenny, J. G., & Cotter, P. D. (2022). Global Regulatory Frameworks for Fermented Foods: A Review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 902642. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.902642>
- Nagata, M., & Yamashita, I. (1992). Simple Method for Simultaneous Determination of Chlorophyll and Carotenoids in Tomato Fruit. *NIPPON SHOKUHIN KOGYO GAKKAISHI*, 39(10), 925-928. <https://doi.org/10.3136/nskkk1962.39.925>
- Neal, W. M., Osman, A. G., Khan, I. A., & Chittiboyina, A. G. (2026). Natural product-based colorants as substitutes for petroleum-based synthetic food dyes: Sources, chemistry, and characteristics. *Food Chemistry*, 501, 147561. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147561>
- Pappa, E. C., Kondyli, E., Pappas, A. C., Kyriakaki, P., Zoidis, E., Papalamprou, L., Karageorgou, A., Simitzis, P., Goliomytis, M., Tsiplakou, E., & Georgiou, C. A. (2024). Physicochemical Characteristics of Commercially Available Greek Yoghurts. *Dairy*, 5(3), 436-450. <https://doi.org/10.3390/dairy5030034>

- Redfern, J., Kinninmonth, M., Burdass, D., & Verran, J. (2014a). Using Soxhlet Ethanol Extraction to Produce and Test Plant Material (Essential Oils) for Their Antimicrobial Properties. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 15(1), 45-46. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v15i1.656>
- Redfern, J., Kinninmonth, M., Burdass, D., & Verran, J. (2014b). Using Soxhlet Ethanol Extraction to Produce and Test Plant Material (Essential Oils) for Their Antimicrobial Properties. *Journal of Microbiology & Biology Education*, 15(1), 45-46. <https://doi.org/10.1128/jmbe.v15i1.656>
- Saini, R. K., Prasad, P., Lokesh, V., Shang, X., Shin, J., Keum, Y.-S., & Lee, J.-H. (2022). Carotenoids: Dietary Sources, Extraction, Encapsulation, Bioavailability, and Health Benefits—A Review of Recent Advancements. *Antioxidants*, 11(4), 795. <https://doi.org/10.3390/antiox11040795>
- Soliman, T. N., & Nasser, S. A. (2022). Characterization of carotenoids double-encapsulated and incorporate in functional stirred yogurt. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, 979252. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.979252>
- Tarazona-Díaz, M., Becerra, N., Piedra, J., & Beltrán, R. (2020a). Obtención de un colorante a partir de corteza de maracuyá con el uso de técnicas convencionales de extracción. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1303>
- Tarazona-Díaz, M., Becerra, N., Piedra, J., & Beltrán, R. (2020b). Obtención de un colorante a partir de corteza de maracuyá con el uso de técnicas convencionales de extracción. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1303>
- Umair, M., Jabbar, S., Nasiru, M. M., Lu, Z., Zhang, J., Abid, M., Murtaza, M. A., Kieliszek, M., & Zhao, L. (2021). Ultrasound-Assisted Extraction of Carotenoids from Carrot Pomace and Their Optimization through Response Surface Methodology. *Molecules*, 26(22), 6763. <https://doi.org/10.3390/molecules26226763>
- Valarezo C, A., Valarezo C, O., Mendoza, A., Álvarez P, H., & Vásquez C, W. (2014). *El Cultivo de Maracuyá Manual técnico para su manejo en el Litoral Ecuatoriano* (Primera). <https://repositorio.iniap.gob.ec/server/api/core/bitstreams/df332687-8473-4547-9d3b-3a813edd223e/content>
- Vasco-Correa, J., & Zapata Zapata, A. D. (2017). Enzymatic extraction of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *Flavicarpa*) at laboratory and bench scale. *LWT*, 80, 280-285. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.02.024>
- Vuolo, M. M., Lima, G. C., & Maróstica Junior, M. R. (2019). *Passiflora edulis* Peel Flour and Health Effects. En *Flour and Breads and their Fortification in Health and Disease Prevention* (pp. 249-258). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814639-2.00020-4>

Wong, Y. S., Sia, C. M., Khoo, H. E., Ang, Y. K., Chang, S. K., & Yim, H. S. (2014). Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora edulis*) peel. En *Influence of extraction conditions on antioxidant properties of passion fruit (Passiflora edulis) peel*. (pp. 257-265). Acta Sci. Pol.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Certificado del abstract por parte de idiomas



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FOREIGN AND
NATIVE LANGUAGES CENTER

ABSTRACT- EVALUATION SHEET				
NAME: Michael Joel Portilla Chugá				
DATE: Tuesday, June the 23rd of 2026				
Topic: "Optimization of the extraction of β -carotenes from passion fruit peel for its use in the development of a Greek-style yogurt."				
MARKS AWARDED QUANTITATIVE AND QUALITATIVE				
VOCABULARY AND WORD USE	Use new learnt vocabulary and precise words related to the topic	Use a little new vocabulary and some appropriate words related to the topic	Use basic vocabulary and simplistic words related to the topic	Limited vocabulary and inadequate words related to the topic
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
WRITING COHESION	Clear and logical progression of ideas and supporting paragraphs.	Adequate progression of ideas and supporting paragraphs.	Some progression of ideas and supporting paragraphs.	Inadequate ideas and supporting paragraphs.
De	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
ARGUMENT	The message has been communicated very well and identify the type of text	The message has been communicated appropriately and identify the type of text	Some of the message has been communicated and the type of text is little confusing	The message hasn't been communicated and the type of text is inadequate
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
CREATIVITY	Outstanding flow of ideas and events	Good flow of ideas and events	Average flow of ideas and events	Poor flow of ideas and events
	EXCELLENT: 2 ☐	GOOD: 1,5 ☒	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
SCIENTIFIC SUSTAINABILITY	Reasonable, specific and supportable opinion or thesis statement	Minor errors when supporting the thesis statement	Some errors when supporting the thesis statement	Lots of errors when supporting the thesis statement
	EXCELLENT: 2 ☒	GOOD: 1,5 ☐	AVERAGE: 1 ☐	LIMITED: 0,5 ☐
TOTAL/AVERAGE	9 - 10: EXCELLENT 7 - 8,9: GOOD 5 - 6,9: AVERAGE 0 - 4,9: LIMITED			
	TOTAL 9			



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL
CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES
CENTER**

**Informe sobre el Abstract de Artículo Científico
o Investigación.**

Autor: Michael Joel Portilla Chugá

Fecha de recepción del abstract: Jueves, 18 de junio de 2026

Fecha de entrega del informe: Martes, 23 de junio de 2026

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

Observaciones:

Tras evaluar el resumen presentado, se concluye que la traducción al inglés es adecuada y fiel al contenido. De acuerdo con la rúbrica aplicada para su valoración, se le asigna una calificación de 9, por lo que el trabajo queda aprobado.

Atentamente



MA. Martha Viveros
RESPONSABLE CIDEN

Anexo 2. Proceso de extracción, análisis fisicoquímicos y sensoriales.



Figura 4. Deshidratación de la cáscara de maracuyá.



Figura 5. Extracto de la cáscara de maracuyá.



Figura 6. Almacenamiento del extracto.



Figura 7. Filtrado del extracto.



Figura 8. Análisis Dpph e hidroxilos del extracto.



Figura 9. Método de Gerber para yogur.



Figura 10. Análisis de grasa del yogur.



Figura 11. Método de Kjeldahl para determinar la proteína del yogur.



Figura 12. Proteína.

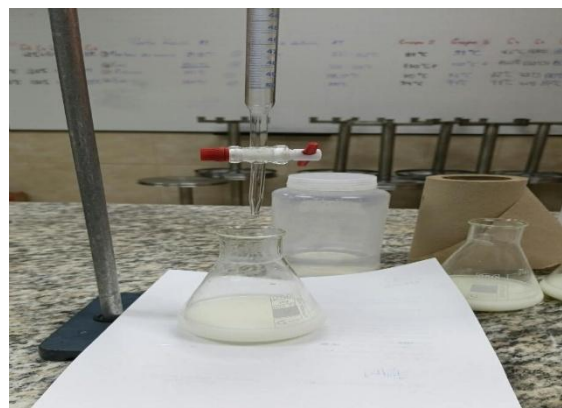


Figura 13. Acidez titulable del yogur.

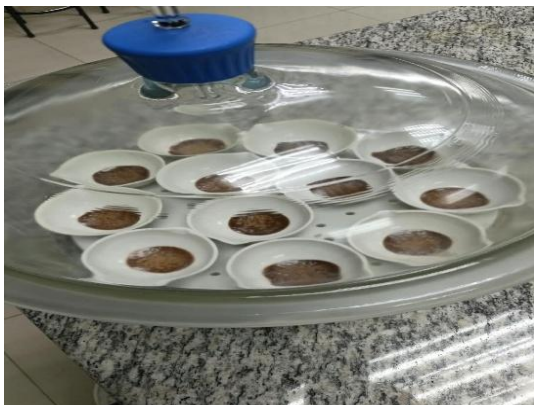


Figura 14. Sólidos totales del yogur.



Figura 15. Preparación de muestras para el sensorial.



Figura 16. Sensorial.

Anexo 3. Ficha de evaluación sensorial

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES CARRERA DE ALIMENTOS FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL																															
Producto: Yogur tipo griego con adición de β -carotenos obtenidos de la cascara de maracuyá																																
Edad:	Sexo:	Fecha:																														
Objetivo: Determinar el grado de aceptación de los atributos sensoriales de muestras de yogur tipo griego elaboradas con diferentes concentraciones de β -carotenos extraídos de la cáscara de maracuyá.																																
Definición: ▪ Color: Evaluar la intensidad, uniformidad y atractivo visual del yogur. ▪ Olor: Evaluar si el aroma es agradable, característico y libre de olores extraños. ▪ Sabor: Evaluar el sabor láctico, dulzor, acidez y aceptación general del producto. ▪ Textura: Evaluar la consistencia, cremosidad y sensación en boca. ▪ Aceptabilidad general: Evaluar la aceptación total del producto considerando todos los atributos.																																
Instrucciones: ▪ Se presentan cuatro muestras identificadas con códigos aleatorios. ▪ Deguste las muestras en el orden indicado (de izquierda a derecha). ▪ Indique su nivel de agrado de acuerdo con la escala establecida. ▪ Enjuague su boca con agua entre cada muestra.																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">Puntaje</th> <th style="width: 50%;">Categoría</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>Me disgusta muchísimo</td></tr> <tr><td>2</td><td>Me disgusta mucho</td></tr> <tr><td>3</td><td>Me disgusta moderadamente</td></tr> <tr><td>4</td><td>Me disgusta ligeramente</td></tr> <tr><td>5</td><td>Ni me gusta ni me disgusta</td></tr> <tr><td>6</td><td>Me gusta ligeramente</td></tr> <tr><td>7</td><td>Me gusta moderadamente</td></tr> <tr><td>8</td><td>Me gusta mucho</td></tr> <tr><td>9</td><td>Me gusta muchísimo</td></tr> </tbody> </table>			Puntaje	Categoría	1	Me disgusta muchísimo	2	Me disgusta mucho	3	Me disgusta moderadamente	4	Me disgusta ligeramente	5	Ni me gusta ni me disgusta	6	Me gusta ligeramente	7	Me gusta moderadamente	8	Me gusta mucho	9	Me gusta muchísimo										
Puntaje	Categoría																															
1	Me disgusta muchísimo																															
2	Me disgusta mucho																															
3	Me disgusta moderadamente																															
4	Me disgusta ligeramente																															
5	Ni me gusta ni me disgusta																															
6	Me gusta ligeramente																															
7	Me gusta moderadamente																															
8	Me gusta mucho																															
9	Me gusta muchísimo																															
A continuación, se presenta la tabla de calificación para cada tratamiento:																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">Código</th> <th style="width: 15%;">Color</th> <th style="width: 15%;">Olor</th> <th style="width: 15%;">Sabor</th> <th style="width: 15%;">Textura</th> <th style="width: 15%;">Aceptabilidad</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>101</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>123</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>456</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>789</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			Código	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad	101						123						456						789					
Código	Color	Olor	Sabor	Textura	Aceptabilidad																											
101																																
123																																
456																																
789																																
Observaciones: 																																

Anexo 4. Análisis estadístico.

ANOVA

Variable	gl tratamiento	gl error	F	p	Decisión
pH	3	8	2230.00	5.01×10^{-12}	Significativo
Acidez	3	8	93.33	1.45×10^{-6}	Significativo
Grasa	3	8	75.07	3.36×10^{-6}	Significativo
Proteína	3	8	35.00	6.00×10^{-5}	Significativo
Sólidos totales	3	8	3.291	0.0790	No significativo
Ceniza	3	8	4.396	0.0417	Significativo

SUPUESTOS

Variable	Shapiro–Wilk p	Levene p	Normalidad	Homogeneidad
pH	0.9829	0.3616	Cumple	Cumple
Acidez	0.2759	0.8630	Cumple	Cumple
Grasa	0.1678	0.9159	Cumple	Cumple
Proteína	0.0125	1.0000	No cumple	Cumple
Sólidos totales	0.6230	0.5743	Cumple	Cumple
Ceniza	0.8227	0.5190	Cumple	Cumple

Kruska- Wallis para proteína

Variable	χ^2	gl	p
Proteína	10.006	3	0.01852

Comparación	Z	p sin ajustar	p ajustado
T0–T1	0.9658	0.3341	1.0000
T0–T2	1.9316	0.0534	0.3204
T1–T2	0.9658	0.3341	1.0000
T0–T3	3.0111	0.0026	0.0156
T1–T3	2.0453	0.0408	0.2450
T2–T3	1.0794	0.2804	1.0000

Post hoc de Tukey

pH

Comparación	Diferencia	LI 95%	LS 95%	<i>p</i> ajustado
T1-T0	-0.2393	-0.2506	-0.2281	0.0000
T2-T0	-0.2233	-0.2346	-0.2121	0.0000
T3-T0	-0.2380	-0.2492	-0.2268	0.0000
T2-T1	0.0160	0.0048	0.0272	0.0079
T3-T1	0.0013	-0.0099	0.0126	0.9799
T3-T2	-0.0147	-0.0259	-0.0034	0.0130

Acidez

Comparación	Diferencia	LI 95%	LS 95%	<i>p</i> ajustado
T1-T0	0.0171	0.0136	0.0206	0.0000014
T2-T0	0.0117	0.0082	0.0152	0.0000254
T3-T0	0.0144	0.0109	0.0179	0.0000053
T2-T1	-0.0054	-0.0089	-0.0019	0.0052
T3-T1	-0.0027	-0.0062	0.0008	0.1442
T3-T2	0.0027	-0.0008	0.0062	0.1442

Grasa

Comparación	Diferencia	LI 95%	LS 95%	<i>p</i> ajustado
T1-T0	-0.4667	-0.8042	-0.1291	0.0095
T2-T0	-0.9667	-1.3042	-0.6291	0.0001
T3-T0	-1.5000	-1.8376	-1.1624	0.0000
T2-T1	-0.5000	-0.8376	-0.1624	0.0063
T3-T1	-1.0333	-1.3709	-0.6958	0.0000
T3-T2	-0.5333	-0.8709	-0.1958	0.0043

Ceniza

Comparación	Diferencia	LI 95%	LS 95%	<i>p</i> ajustado
T1-T0	0.0797	-0.0178	0.1772	0.1142
T2-T0	-0.0083	-0.1058	0.0892	0.9923
T3-T0	-0.0193	-0.1168	0.0782	0.9178
T2-T1	-0.0880	-0.1855	0.0095	0.0777
T3-T1	-0.0990	-0.1965	-0.0015	0.0467
T3-T2	-0.0110	-0.1085	0.0865	0.9827