Universidad Nacional de Ingeniería

Área de Conocimiento de Agricultura

EXTRACCIÓN DE BETACAROTENO A PARTIR DE PEJIBAYE *(BACTRIS GASIPAES)* COMPROBANDO SU UTILIZACIÓN COMO ADITIVO EN CAJETAS NICARAGÜENSES

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Rosemary Alejandra Carballo Largaespada
Carnet: 2018-1124U

Br. Andrea Patricia Maltez Rodríguez
Carnet: 2018-1082U

Tutor:

MSc. Johana Lisseth O'Connor

25 de mayo de 2026
Managua, Nicaragua

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por haberme brindado la sabiduría, fortaleza y perseverancia para poder culminar esta etapa de mi formación profesional.

A mis padres, quienes me han dado su apoyo incondicional, sus consejos y paciencia. Gracias por los valores inculcados y por ser mi principal motivación para seguir adelante. Sus sacrificios y enseñanzas son el fundamento sobre el cual he construido mis sueños, este logro es tan suyo como mío.

A mis amigos de la carrera, gracias por el compañerismo, apoyo académico y momentos compartidos que hicieron más llevadero y significativo este proceso. Especialmente a mi compañera de tesis, agradezco profundamente el trabajo en equipo, dedicación y esfuerzo para la culminación exitosa de este objetivo en común.

A mi mejor amigo Kenneth Muñoz por su motivación constante y apoyo. Gracias por acompañarme, escucharme y recordarme siempre que era capaz de llegar hasta aquí.

Finalmente, agradezco a mi tutora de tesis, MSc. Johana Lisseth O'Connor. Su dedicación, orientación y paciencia han sido fundamentales en este proceso.

Rosemary Alejandra Carballo Largaespada

Agradezco a Dios, por ser mi guía, ayudador, el que me ha brindado fortaleza y sabiduría durante todo este tiempo y quien me ha dado la oportunidad de poder culminar con este proyecto.

A mi familia, quienes me han brindado su amor incondicional y han sido mi soporte y aliento en todo momento, siendo fundamentales en cada etapa que he atravesado a lo largo de mi vida.

A mis amigos, por su apoyo, compañía y buenos momentos que han hecho este camino más llevadero y sobre todo a mi compañera de tesis, por el trabajo en equipo, la dedicación y compromiso durante el desarrollo de este proyecto.

A mi tutora, por su orientación y valiosos conocimientos brindados, los cuales fueron de suma importancia.

A todos, mi más sincero agradecimiento.

Andrea Patricia Maltez Rodríguez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, gracias por sus sacrificios, apoyo y amor para poder convertirme en profesional.

Rosemary Alejandra Carballo Largaespada

Dedico este trabajo con mucho amor y gratitud, a mis padres Belkis Rodríguez y Félix Maltez; a mi hermana, Febel Maltez, y así también a mi mamá Martha y mi papá Nicho, a quienes el corazón me ha enseñado a llamar así. Gracias por ser los pilares de mi formación y por su apoyo incondicional siempre.

En memoria de mi tío Manuel Rodríguez Cruz, a quien llevo presente en cada pensamiento y cuyo recuerdo guardo siempre en mi corazón.

Andrea Patricia Maltez Rodríguez

Resumen

En la actualidad, la creciente demanda por alimentos más naturales y libres de compuestos sintéticos ha impulsado la búsqueda de colorantes naturales como alternativa a los aditivos artificiales. En este contexto, el fruto de pejibaye se presenta como una opción saludable para sustituir los aditivos artificiales en productos alimenticios.

Se llevaron a cabo dos métodos sólido-líquido para valorar la mayor concentración del aditivo, siendo estos el método Soxhlet y método de maceración.

Los resultados evidenciaron que, aunque la maceración presentó un mayor rendimiento de extracto, este contenía una baja concentración de betacaroteno con valores entre 36.83 y 44.85mg/100. En cambio, el método Soxhlet demostró tener una mayor concentración del compuesto de interés alcanzando aproximadamente 61.52 mg/100g, favoreciendo así su uso como aditivo.

Posteriormente, el betacaroteno extraído fue incorporado como colorante natural en cajetas nicaragüenses de naranja, coco y piñonate teniendo como resultado cualitativo una aceptación favorable en términos de color y apariencia, evidenciando una alternativa natural viable frente a los colorantes artificiales en la industria alimentaria.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1
II. OBJETIVOS 3
2.1 Objetivo General 3
2.2 Objetivos específicos 3
III. MARCO TEÓRICO 4
3.1 Colorantes Alimentarios 4
3.2 Colorantes naturales 6
3.3 Colorantes artificiales 7
3.4 Betacaroteno 8
3.5 Funciones del betacaroteno 10
3.6 Maceración 11
3.7 Pejibaye 12
3.8 Intereses de la industria alimentaria por los colorantes naturales 15
3.9 Forma de obtención 16
3.10 Espectroscopia Ultravioleta Visible 18
3.11 Importancia en la industria alimenticia 20
IV. METODOLOGÍA 22
4.1 Diseño de la investigación 22
4.2 Materiales y equipos 23
4.3 Procedimiento experimental 23
4.3.1 Preparación de la muestra 23
4.3.2 Extracción de Betacaroteno 24
4.3.3 Recuperación del extracto 26
4.4 Cuantificación del betacaroteno obtenido. 26
4.5 Aplicación del betacaroteno en el producto alimenticio 28
4.5.1 Cajeta de naranja 28
4.5.2 Cajeta de Piñonate 29
4.5.3 Cajeta de Coco 30
V. RESULTADOS 31
5.1 Eficacia de la extracción sólido-líquido en la obtención de betacaroteno 31
5.2 Análisis del rendimiento y factores de influencia 32
5.3 Cuantificación del betacaroteno obtenido 35

5.4 Aplicación del extracto de pejibaye en diferentes cajetas 37
VI. VALIDACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE BETACAROTENO A PARTIR DE PEJIBAYE A NIVEL DE LABORATORIO 39
VII. CONCLUSIONES 40
VIII. RECOMENDACIONES 41
IX. BIBLIOGRAFÍA 42
X. ANEXOS 46

Índice de tablas

Tabla 1 Clasificación del grado de madurez del fruto de pejibaye (Bactris Gasipaes) según coloración externa 13
Tabla 2 Composición fisicoquímica y nutricional promedio del mesocarpio de pejibaye (Bactris Gasipaes) 14
Tabla 3 Colores absorbidos y reflejados a diferentes longitudes de onda 19
Tabla 4 Matriz de tratamientos experimentales para la extracción de betacaroteno .. 23
Tabla 5 Concentración de betacaroteno (µg/g) y observaciones físicas de los extractos 31
Tabla 6 Datos de rendimiento por método Soxhlet 33
Tabla 7 Datos de rendimiento por método de maceración 34
Tabla 8 Datos espectrofotométricos y factores de dilución 36
Tabla 9 Contenido de betacaroteno en muestras de pejibaye 36
Tabla 10 Materiales y equipos utilizados en el proceso experimental 46
Tabla 11 Reactivos y materia prima utilizados en el proceso experimental 47

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Fruto de pajibaye 12
Ilustración 2 Diagrama de proceso para la extracción de betacaroteno a partir de pejibaye 39
Ilustración 3. Fruto de Pejibaye (Bactris Gasipaes) 50
Ilustración 4. Lavado y selección del fruto 50
Ilustración 5. Cocción del pejibaye 51
Ilustración 6. Pelado y eliminación de semilla 51
Ilustración 7. Reducción de tamaño del fruto 52
Ilustración 8. Pesado de la muestra de pejibaye cocido 52
Ilustración 9. Pesado de la muestra de pejibaye crudo 53
Ilustración 10. Extracción por el método de maceración del pejibaye cocido (izquierda) y pejibaye crudo (derecha) con Hexano como solvente 53
Ilustración 11. Extracción por el método de Soxhlet 54
Ilustración 12. Destilación por arrastre de vapor 54
Ilustración 13. Pesado del balón vacío 55
Ilustración 14. Pesado del balón con el extracto obtenido 55
Ilustración 15. Dilución de muestras 56
Ilustración 16 y 17. Lectura en el espectrofotómetro 56
Ilustración 18. Lavado de cascara de naranja 57
Ilustración 19. Cocción y adición de betacaroteno a cajeta de naranja 57
Ilustración 20. Cajeta de naranja 58
Ilustración 21. Pesado de la papaya 58
Ilustración 22. Cocción de la papaya 59
Ilustración 23. Cajeta de piñonate 59
Ilustración 24. Reducción de tamaño del coco 60
Ilustración 25. Cocción del coco 60
Ilustración 26. Cajeta de coco 61

I. INTRODUCCIÓN

Los colorantes son sustancias de origen natural o artificial que han sido utilizados a lo largo de la historia para conferir o intensificar el color de los alimentos, textiles, cosméticos y otros productos. A diferencia de los colorantes sintéticos, obtenidos mediante procesos químicos industriales, los colorantes naturales provienen de fuentes biológicas como plantas, minerales, insectos y otros organismos (Maldonado, 2024). Estos colorantes no solo aportan tonos vibrantes variados, sino que también son percibidos como una opción más saludable y ecológica debido a su origen y menor impacto ambiental.

Los colorantes naturales presentan beneficios para la salud humana debido a sus propiedades nutracéuticas, lo que impulsa la búsqueda de fuentes alternativas. Sin embargo, su aplicación en la industria alimentaria enfrenta desafíos relacionados con su estabilidad, obtención y sostenibilidad, lo que requiere un estudio más profundo para su optimizar su obtención y aplicación tecnológica (Albuquerque et al., 2021). En este contexto, según Badui (2019), el color constituye uno de los principales atributos sensoriales de los alimentos, ya que es el primer factor evaluado por el consumidor y puede determinar su aceptación o rechazo; no obstante, la calidad de un alimento, sin tomar en cuenta los aspectos sanitarios, toxicológicos y nutricionales, se basa en los parámetros tales como el color, sabor, olor y textura (Chavarría, 2019).

En Nicaragua, la industria nacional presenta una limitada disponibilidad de colorantes obtenidos de forma local, particularmente a partir de materias primas autóctonas como el pejibaye. La incorporación de estos no solo sería una alternativa viable frente a los colorantes sintéticos, cuya materia prima importada no solo aumenta los costos de producción, sino que también genera preocupaciones asociadas a la salud del consumidor y al impacto ambiental, por lo que es de gran importancia investigar y desarrollar métodos que permitan la extracción de colorantes del pejibaye, promoviendo así su uso en diferentes industrias, ya que podría contribuir a la preservación del medio ambiente y al fortalecimiento de la economía local.

En la realización del presente trabajo, el pejibaye es seleccionado como material de estudio debido a su característica e intensa coloración naranja, indicativa de un alto contenido de carotenoides, entre los cuales destaca el betacaroteno, compuesto con actividad provitamina A y propiedades antioxidantes. En este sentido, el trabajo de investigación se orienta a la extracción de betacaroteno a partir de pejibaye mediante métodos de extracción sólido-líquido y a la evaluación de su aplicación como un colorante alimentario natural en la elaboración de cajetas artesanales nicaragüenses.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

- Obtener betacaroteno a partir de pejibaye (*Bactris gasipaes*) comprobando su utilización como aditivo en cajetas nicaragüenses.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar el proceso de extracción de betacaroteno a partir del pejibaye por medio del método sólido-líquido para uso alimentario.
- Determinar la concentración de betacaroteno obtenido a través del análisis cuantitativo con espectros UV-visible.
- Valorar la incorporación del betacaroteno como sustituto de colorantes artificiales en las cajetas nicaragüenses de naranja, coco y piñonate.

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Colorantes Alimentarios

El uso de aditivos en la producción de alimentos ha sido un tema muy controversial en los últimos años. La necesidad de usarlos ha hecho imprescindible la búsqueda del equilibrio entre la estabilidad del color y la inocuidad alimentaria, promoviendo la transición hacia pigmentos de origen natural que cumplan con las expectativas de los consumidores y las normativas internacionales vigentes (Carocho et al., 2019)

Los colorantes son sustancias químicas que se utilizan para dar color a otros materiales, ya sea en alimentos, textiles, cosméticos, o productos industriales. En química, los colorantes pueden absorber longitudes de onda del espectro de luz, ocasionando que el color proporcionado sea estable ante factores como la luz y agentes oxidantes. Por lo tanto, para que un colorante funcione, debe tener en su estructura química grupos funcionales llamados cromóforos, ya que estos permiten la absorción de la luz en la región visible del espectro electromagnético (Maldonado, 2024).

La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), define a los colorantes alimentarios como aditivos alimentarios que son añadidos a los alimentos principalmente para compensar las pérdidas de color tras la exposición a la luz, el aire, la humedad y las variaciones de temperatura; para potenciar los colores naturales y para añadir color a alimentos que de otro modo serían incoloros o tendrían un color distinto.

Como muchos pigmentos son inestables durante el procesado y almacenamiento, se ven alterados por la presencia de luz, oxígeno, metales pesados y agentes oxidantes o reductores, la temperatura, la actividad de agua y el pH, y se añaden colorantes a los alimentos, ya que es difícil prevenir cambios no deseados por esta inestabilidad.

Así, al agregarlos a los alimentos los colorantes ayudan a mejorar la aceptabilidad, ya que les otorgan un color definido, uniforme y constante para un mismo producto, aún en distintos lotes de fabricación y épocas del año (FDA, 2016).

En los últimos años la seguridad de los alimentos y de los aditivos a los que se recurre en su fabricación, ha sido tema de estudio en diversos organismos preocupados por asegurar la inocuidad de los alimentos, como son FAO, OMS y FDA, por citar algunos, lo que ha llevado a ser un tema también presente en la industria.

La Ley Federal de Alimentos, Medicamentos y Cosméticos (Ley FD&C) establece que una sustancia que es capaz de impartir color es un aditivo de color y está sujeta a requisitos de aprobación previa a la comercialización a menos que la sustancia se use en un producto únicamente para un propósito distinto al colorante y claramente no sea importante para la comerciabilidad del producto.

CODEX Alimentarius, el organismo internacional de normas alimentarias de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización Mundial de la Salud, estandariza el uso de aditivos alimentarios.

Numerosos países desarrollados adoptan sus propias normas basadas en las especificaciones del CODEX. Por ejemplo:

- En Europa, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria es la principal agencia reguladora de la seguridad alimentaria. En la UE, los aditivos colorantes deben declararse mediante el nombre de la categoría (color) y el número E del color específico.

- En el Reino Unido, la Agencia de Normas Alimentarias (FSA) evalúa la seguridad de los aditivos alimentarios antes de que puedan utilizarse en los alimentos. La FSA garantiza que se revise estrictamente la nueva ciencia sobre aditivos y que se haga cumplir la ley para garantizar la salud pública. La FSA investiga cualquier información que pueda poner en duda la seguridad de un aditivo alimentario.

- En Japón, las Especificaciones y Normas para Alimentos, Aditivos Alimentarios, etc. Son publicadas por la Organización de Comercio Exterior de Japón (JETRO) y enumeran los colores y aditivos que están permitidos. Los colores pueden considerarse bajo varias categorías que definen su uso en los alimentos.

3.2 Colorantes naturales

Son los preparados obtenidos a partir de alimentos y otras materias naturales obtenidas mediante una extracción física o química que ocasione una selección de los pigmentos. La mayor parte de los colorantes naturales son colorantes vegetales provenientes de plantas (raíces, bayas, cortezas, hojas y madera), y otras fuentes orgánicas como, por ejemplo, los hongos y los líquenes. Se les clasifica como colorantes naturales debido a que contienen materiales que se encuentran en la naturaleza, como el dióxido de titanio, carbonato de calcio y óxido ferroso.

En años recientes, la investigación científica se ha intensificado en la prospección de fuentes alternativas de pigmentos naturales, priorizando el aprovechamiento de frutas exóticas, hortalizas, microorganismos y subproductos de la industria alimentaria para la obtención de compuestos bioactivos (Saini et al., 2022).

Actualmente, los colorantes usados en los alimentos se elaboran para que las propiedades sensoriales y de color se mantengan durante la vida útil del alimento y en los últimos años, la calidad y variedad de colores provenientes de fuentes naturales ha mejorado sustancialmente. Además de ser más inocuos que los sintéticos, algunos otorgan al producto distintos tipos de funcionalidad (Córdoba, 2014).

Tal es el caso de los carotenoides y de las antocianinas, compuestos conocidos por su actividad antioxidante y por su efecto protector en la prevención de ciertas enfermedades crónico-degenerativas y distintos tipos de cáncer (Córdoba, 2014).

Para asegurar la reproducibilidad, los componentes colorantes de estas sustancias se suelen suministrar en formas altamente purificadas, para mayor estabilidad y comodidad, pueden formularse con excipientes adecuados (sólidos y líquidos). El

hexano, la acetona y otros solventes rompen las paredes celulares de las frutas y verduras, permitiendo la máxima extracción del colorante; sin embargo, la presencia de trazas residuales en el producto final ha impulsado el desarrollo de métodos de extracción vere (como fluidos supercríticos o solventes eutécticos), los cuales son más seguros y sostenibles (Saini et al., 2022).

A nivel mundial, los pigmentos naturales gozan de mayor aceptación que los sintéticos, aunque el principal reto en su desarrollo es obtener la estabilidad de color y variedad de tonalidad que se obtienen con los pigmentos sintéticos.

A pesar de que los pigmentos naturales están sometidos a evaluaciones de seguridad toxicológica similares a las de los sintéticos, agencias como la FDA los clasifican como aditivos exentos de certificación. Sin embargo, esto no implica una ausencia de control; por el contrario, están sujetos a especificaciones estrictas de identidad y límites máximos de uso permitidos para garantizar la seguridad del consumidor (Oplatowska-Stachowiak y Elliot, 2017)

3.3 Colorantes artificiales

Se definen como colorantes artificiales a las sustancias de procedencia química, elaboradas en un laboratorio. Pueden ser solubles en agua, debido a la presencia de grupos de ácido sulfónico, y consecuentemente son fáciles de utilizar, generalmente en forma de sales sódicas, en líquidos y materiales pastosos. La selección del colorante idóneo depende de la naturaleza del sistema alimentario y las condiciones térmicas del proceso (Carocho et al., 2019).

Los colorantes artificiales son sintetizados en laboratorios mediante reacciones químicas controladas y ofrecen una amplia gama de colores brillantes y vibrantes. Son más económicos, fáciles de producir y usar, y son más resistentes a tratamientos térmicos, pH extremos y luz en comparación con los naturales. A pesar de estas ventajas, algunos colorantes artificiales han sido objeto de controversia debido a posibles efectos negativos en la salud, como alergias y riesgos

cancerígenos, lo que ha llevado a regulaciones estrictas en varios países (Maldonado, 2024).

Los colorantes artificiales son aditivos de color que se clasifican en tintes o lacas. Los tintes se disuelven en agua y se fabrican en forma de polvos, gránulos, líquidos u otras formas para fines especiales. Se pueden utilizar en bebidas, mezclas secas, productos horneados, dulces, productos lácteos, alimentos para mascotas y una variedad de otros productos (FoodInsight, 2020).

Las lacas son las formas de tintes insolubles en agua y son más estables que los tintes, por lo que son ideales para colorear productos que contienen grasas y aceites o artículos que carecen de suficiente humedad para disolver los tintes. Los usos típicos incluyen tabletas recubiertas, mezclas para pasteles y donas, caramelos duros y chicles (FoodInsight, 2020).

Los colorantes sintéticos, generalmente no aportan sabores extraños a los alimentos que se agregan, mientras que los que se derivan de otros alimentos, pueden producir efectos organolépticos no deseados según su origen y método de extracción. No obstante, la principal desventaja de los colorantes artificiales respecto a los naturales es el riesgo que presenta a la salud de los consumidores y a los riesgos ambientales causados por los efluentes que resultan de su síntesis química (Carocho et al., 2019).

3.4 Betacaroteno

El betacaroteno es un pigmento anaranjado que forma parte del grupo de compuestos llamados carotenos, que son los responsables de los colores amarillos, anaranjados o rojos presentes en muchos alimentos. Estos se encuentran principalmente en las frutas y verduras de tonos rojos y anaranjados tales como el tomate, pimientos o las zanahorias, pero también existen determinados vegetales de color verde que son ricos en este pigmento debido a que la clorofila presente en dichos alimentos enmascara el color anaranjado del betacaroteno (Arrázola, Villalba y Rodríguez, 2021).

Los carotenoides representan el grupo de pigmentos naturales más extendido en la naturaleza, se han caracterizado más de 600 carotenoides, pero se cree que solo entre 30 y 50 tienen actividad de vitamina A, y unos 20 se encuentran en el plasma y los tejidos humanos (Murray, ND y Capelli, 2020).

Estos pigmentos orgánicos, una vez ingeridos, son metabolizados en el hígado y el intestino delgado para su conversión en retinol, esencial para la función visual, el desarrollo óseo y la salud dental. No obstante, su relevancia trasciende su valor nutricional, actuando como potentes agentes antioxidantes que contribuyen a reducir la incidencia de patologías cardiovasculares y diversos tipos de neoplasias (Meléndez-Martínez et al.,2021).

El betacaroteno juega un rol muy importante en la prevención de enfermedades del sistema inmune y otras enfermedades, como el cáncer de mama, próstata, colorrectal y de pulmón; asimismo, evidencia reciente subraya su importancia en el tratamiento de la osteoporosis, la salud visual y la fotoprotección cutánea (González-Peña et al., 2023; Zheng et al., 2022)

La coloración rojo-anaranjada del betacaroteno es consecuencia de su extenso sistema de dobles enlaces conjugados el cual actúa como un cromóforo funcional. Esta estructura permite la deslocalización electrónica y fenómenos de resonancia que absorben energía en la región visible del espectro electromagnético. Químicamente es un metabolito secundario perteneciente al grupo de carotenos (carotenoides no oxigenados), cuya molécula se presenta predominantemente en su configuración all-trans, lo que le otorga una geometría lineal y mayor estabilidad termodinámica (Rodríguez-Amaya, 2019; Meléndez-Martínez, 2021).

Los carotenoides tienen una estructura idéntica a la molécula del retinol, las cuales presentan actividad de vitamina A, en el que, dentro de este grupo, el betacaroteno revela la mayor bioactividad como precursor de la vitamina A (López, 2022).

3.5 Funciones del betacaroteno

La propiedad funcional más importante del betacaroteno es su acción antioxidante capaz de neutralizar la acción negativa de la oxidación de las células; la oxidación hace que se formen en las células radicales libres, responsables del envejecimiento celular, actúan destruyendo esos radicales libres, al contrario de la vitamina E que lo que hace es actuar previniendo su aparición. Pero es fundamental tanto una acción como la otra, así que el betacaroteno ayuda de una forma muy eficaz a la acción de la vitamina E presente por otra parte también en los vegetales (Sheron, 2017).

Por otro lado, el betacaroteno es uno de los más poderosos antioxidantes naturales, que ayudan a proteger el cuerpo de las lesiones provocadas por los dañinos radicales libres de oxígeno que causan daño celular (Eggersdorfer y Wyss, 2018). Además, tiene todas las funciones de la vitamina A, como, por ejemplo, la visión, la reproducción (producción de espermatozoides), el mantenimiento de la integridad epitelial, el crecimiento y el desarrollo.

Además de servir como fuente de vitamina A, ya que los betacarotenos también actúan como antioxidantes naturales y protectores de los radicales libres (sustancias que dañan nuestro ADN y que favorecen el envejecimiento prematuro) tales como la luz solar o en concreto los rayos UV, siendo estos uno de los radicales libres más dañinos y peligrosos a los que estamos expuestos. En este sentido, los betacarotenos son una sustancia fundamental a la hora de proteger frente a los rayos UV, ya que, al llegar a los melanocitos, son los responsables del bronceado y de que la piel se oscurezca para protegerla de los rayos del sol (Valls, 2021).

Este pigmento no solo protege al cuerpo de las radiaciones, también le confiere un tono más o menos marrón, así como también al pelo. La piel produce una cantidad determinada de melanina como respuesta a las radiaciones UV a modo defensivo para proteger las células epiteliales. Por tanto, el betacaroteno y la melanina que produce ayudan a evitar quemaduras y mejor asimilación de la radiación solar de forma equilibrada para poder broncearse.

También se ha demostrado que una dieta rica en los alimentos con betacarotenos previene la aparición de enfermedades cardíacas, ya que sus propiedades antioxidantes contribuyen a que se formen menos colesterol en las arterias, favorecen la circulación e impiden la formación de trombos (Botanical, 2021).

Además, es un importante nutriente para la visión, el crecimiento, la división celular, la función inmune, facilita la comunicación entre las células, estimulando la síntesis proteica y produce la pigmentación dorada en la piel, también son muy convenientes cuando hay problemas digestivos como llagas en la boca, hernia de hiato, acidez de estómago, gastritis o úlceras digestivas debido a que ayudan a proteger las mucosas digestivas.

3.6 Maceración

Es un proceso de extracción sólido-líquido ampliamente utilizado para la obtención de compuestos bioactivos presentes en matrices vegetales. Este proceso consiste en poner en contacto el material vegetal previamente triturado o pulverizado con un solvente adecuado durante un período determinado, a temperatura ambiente o controlada, con el objetivo de favorecer la difusión de metabolitos desde la matriz sólida hacia el medio líquido (Arana, 2019).

El principio fundamental de la maceración se basa en fenómenos de transferencia de masa, específicamente en la difusión del soluto desde el interior de las células vegetales hacia el solvente, impulsada por un gradiente de concentración.

En el caso de compuestos lipofílicos como los carotenoides, la selección de solventes no polares o baja polaridad, como el hexano, resulta adecuada debido a la afinidad entre el solvente y estos pigmentos. Durante el proceso de maceración, el solvente penetra en la estructura celular, disuelve los compuestos de interés y permite su posterior recuperación mediante filtración y evaporación del solvente (Meléndez-Martínez, 2017).

Entre las principales ventajas de este método se encuentran su simplicidad operativa, bajo costo, facilidad de implementación y menos exposición a altas

temperaturas en comparación con métodos como Soxhlet. Sin embargo, presenta desventajas tales como tiempos de extracción más prolongados, y en algunos casos, menos eficiencia si no se optimizan las condiciones experimentales (Meléndez-Martínez, 2017).

La maceración es especialmente útil en investigaciones a escala de laboratorio cuando se busca preservar la integridad estructural de compuestos sensibles al calor y cuando se dispone de tiempos de extracción suficientes para favorecer el equilibrio entre la matriz vegetal y el solvente (Wikiciencias, 2025).

3.7 Pejibaye

El Pejibaye (*Bactris gasipaes*) es una planta originaria del trópico americano, es familia de las Arecaceae (de las palmeras). La palmera de Pejibaye crece hasta 30 metros de alto y tiene espinas en todo su tronco, posee rizoma del que surgen brotes que conforman una cepa. Su proceso evolutivo ha dado resultado de numerosas razas o cultivares que se encuentran distribuidas a través del trópico húmedo americano, desde Nicaragua hasta Bolivia (MEFCCA, 2024). Esta variabilidad genética ha permitido que la especie se adapte a diversas condiciones ecológicas, consolidándose como un recurso clave para la biodiversidad regional.



Ilustración 1. *Fruto de pajibaye*
Fuente: Castrillon, 2022

En Nicaragua esta planta crece en las regiones de la Costa Caribe, Zelaya Central y parte del departamento de Chontales y Río San Juan, donde las condiciones son

adecuadas para su desarrollo. Se encuentra sembrada comúnmente en los patios de las casas, pero casi nunca formando parte de una explotación comercial tecnificada. (MEFCCA, 2024).

La cosecha del pejibaye en Nicaragua ocurre generalmente, en agosto con la maduración fisiológica de los primeros racimos, marcando la apertura de la oferta comercial; sin embargo, es en septiembre cuando se alcanza el máximo rendimiento y mayor concentración de cosecha. Finalmente, teniendo su cierre en noviembre (INTA, 2026).

Los frutos de pejibaye cuando jóvenes son de color verde, pero en su estado adulto tienen diferente coloración: verduzcos, amarillos, anaranjados, rojos y colores intermedios (ver Tabla 1); tienen diversas formas, cónica, ovoide o elipsoide, y son de distintos tamaños, desde muy pequeños (20-30 g) a muy grandes (100 y más g) (Camacho, 2024).

Tabla 1

Clasificación del grado de madurez del fruto de pejibaye (Bactris Gasipaes) según coloración externa

Grado de Madurez	Coloración del Epicarpio (Cáscara)	Descripción fisiológica
Grado 0 (Inmaduro)	100% verde	Fruto con epicarpio totalmente verde
Grado 1 (Pintón inicial)	Verde con trazas amarillas/naranjas	Es la transición
Grado 2 (Pintón medio)	Amarillo o naranja pálido dominante	Alcanza tamaño final y color característico
Grado 3 (Maduro)	Naranja intenso o Rojo brillante	Punto máximo, coloración intensa
Grado 4 (Sobremaduro)	Color oscuro, opaco y piel blanda	Fruto sobremaduro, degradación de tejidos

Fuente: Elaboración propia basada en los criterios de madurez de Mora-Urpí (1999) y Restrepo et al. (2016).

Del pejibaye se aprovechan las flores, los frutos sazones y el tallo tierno, más conocido como palmito. Desde la época precolombina, fue un recurso maderable para construcciones, artesanías y herramientas, y sus espinas fueron utilizadas como puntas de lanza o para otros propósitos (González, Cerdas y Masís, 2021).

El pejibaye se considera uno de los alimentos tropicales de mayor valor nutritivo, siendo un importante aporte vegetal a la dieta humana. Además, los precursores de vitamina A que aporta el pejibaye son muy importantes por la deficiencia en la dieta de los países tropicales, en donde sigue siendo un problema de salud pública que afecta la respuesta inmunológica y la regeneración celular (Santos et al., 2020). En la Tabla 2 se detallan las características fisicoquímicas que confieren este valor nutricional al fruto.

Tabla 2

Composición fisicoquímica y nutricional promedio del mesocarpio de pejibaye (Bactris gasipaes)

Parámetro	Rango de valor (aprox.)	Observaciones
Humedad	45%-65%	Varía según el estado de madurez y la variedad.
Proteínas	2.5%-5.0%	Contiene aminoácidos esenciales.
Lípidos (grasas)	3.0%-12.0%	Predominan los ácidos grasos monoinsaturados.
Carbohidratos	25%-40%	Principalmente almidón; es una fuente alta de energía.
Fibra cruda	1.0%-2.5%	Beneficiosa para la digestión.
Cenizas	0.8%-1.5%	Indica el contenido total de minerales (Potasio, calcio).
pH	5.5-6.2	Es un fruto de baja acidez.
Sólidos solubles (Brix)	10°-18°	Varía significativamente según la concentración de azúcares.
Carotenoides totales	1.0-20.0 mg/100 g	Responsables del color naranja/rojo; alta actividad de provitamina A.

Fuente: Datos compilados de la Tabla de Composición de Alimentos del INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá) y estudios de caracterización del CITA-UCR.

El fruto de esta palmera se presenta en frondosos racimos. Su pulpa es carnosa y la semilla es una especie de coquito, rico en ácidos grasos y fibra. El pejibaye es fuente de vitamina A y carbohidratos; contiene una alta cantidad de carotenoides con elevado poder antioxidante. Además, es rico en fibra y otros nutrientes, tales como niacina, riboflavina y tiamina (González, Cerdas y Masís, 2021).

En vista de la cantidad de variedades de pejibaye, existe una gran variabilidad en la composición química de los frutos debido probablemente a su origen y tiempo de cosecha. Diversos estudios concuerdan que los componentes nutricionales más importantes de este fruto son las grasas, almidones, carotenoides, fibra y el aporte energético (Donayre y Montalván, 2019).

3.8 Intereses de la industria alimentaria por los colorantes naturales

Los colorantes naturales son considerados inocuos y tienen menos limitaciones para usarse que los sintéticos. Estos colorantes presentan alta compatibilidad con los sistemas vitales a diferencia de muchos colorantes sintéticos que se bioacumulan y alteran el metabolismo. No afectan la salud y son biodegradables, para comunidades pequeñas, el consumo de colorantes naturales permite mantener sus nexos culturales con el pasado, dar origen a prácticas productivas novedosas y a una mayor sostenibilidad económica y ecológica. (Aceituno, 2010; Sigurdson et al., 2017)

Los colorantes naturales en la industria alimentaria representan tanto una tendencia como una necesidad. Por un lado, la creciente demanda de productos naturales y saludables por parte de los consumidores ha impulsado la popularidad de los colorantes naturales como una alternativa más segura y atractiva a los colorantes artificiales. Los consumidores están cada vez más preocupados por los posibles efectos negativos para la salud de los aditivos sintéticos, lo que ha llevado a un aumento en la demanda de productos que utilicen ingredientes naturales y minimicen el uso de químicos.

Por otro lado, los colorantes naturales también se han convertido en una necesidad para la industria alimentaria debido a las regulaciones cada vez más estrictas en torno al uso de aditivos artificiales. Muchos países han implementado normativas más rigurosas sobre el etiquetado de alimentos, lo que exige una mayor transparencia en cuanto a los ingredientes utilizados, por lo que los fabricantes de alimentos se ven obligados a buscar alternativas naturales y seguras para cumplir con los estándares regulatorios y satisfacer las expectativas del consumidor.

3.9 Forma de obtención

- **Extracción Sólido-Líquido**

Es una operación unitaria de separación por transporte de masa entre fases, la cual consiste en la disolución de un componente o grupo de componentes que forman parte de un sólido, empleando un disolvente adecuado en el que es insoluble el resto del sólido. El componente que se transfiere de la fase sólida a la líquida recibe el nombre de soluto, mientras que el sólido insoluble se denomina inerte (Noguera, 2020).

La extracción Soxhlet ha sido (y en muchos casos, continúa siendo) el método estándar de extracción de muestras sólidas más utilizado desde su diseño en el siglo pasado, y actualmente, es el principal método de referencia con el que se comparan otros métodos de extracción. Además de muchos métodos de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y de la FDA (Food and Drugs Administration) utilizan esta técnica clásica como método oficial para la extracción continua de sólidos (Arias, Borda y Céspedes, 2022).

En este procedimiento la muestra sólida finamente pulverizada se coloca en un cartucho de material poroso que se sitúa en la cámara del extractor Soxhlet. Se calienta el disolvente extractante, situado en el matraz, se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene la muestra, extrayendo los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos disueltos, asciende

por el sifón y retorna al matraz de ebullición. Este proceso se repite hasta que se completa la extracción de los analitos de la muestra y se concentran en el disolvente (Arias, Borda y Céspedes, 2022).

Para la extracción es necesario, primero, contactar ambas fases hasta conseguir la transferencia de soluto de la mezcla original al disolvente. Una vez finalizada esta etapa de transporte de materia, se procede a la separación de las fases, obteniéndose una mezcla de disolvente y soluto llamada “extracto” y una mezcla de la que se ha extraído el soluto, denominada “refinado”, que está formada por la fase sólida inerte con una parte de la disolución retenida (Moya, 2017).

Factores que afectan la velocidad de extracción:

1. **Tamaño de las Partículas**

Los sólidos de tamaño pequeño tienen una mayor superficie interfacial y la distancia de difusión del soluto en el interior del sólido es más pequeña por lo que es más alta la cantidad de masa transferida, dependiendo la cantidad de masa utilizada en relación con el volumen de solvente. Sin embargo, tamaños excesivamente pequeños pueden hacer que las partículas se apelmacen dificultando la extracción por la anulación del área interfacial.

2. **Tipo de solvente**

El líquido escogido debe ser selectivo y con baja viscosidad (generalmente se usa solvente en estado puro), conforme transcurre la extracción, la concentración del sólido incrementa, el gradiente de concentración disminuye y la viscosidad del líquido aumenta. Este solvente corresponde a un líquido capaz de disolver una sustancia compatible que se halla en un sólido o líquido según sea el caso.

3. **Temperatura**

La temperatura influye de manera positiva la solubilidad del sólido en el líquido, incrementando la velocidad de extracción. Sin embargo, para extracciones de

solutos orgánicos se debe tener cuidado con la influencia de la temperatura en la estructura molecular del sólido.

4. **Agitación del Fluido**

La agitación del solvente es importante, incrementa la difusión de la masa en el líquido, aumentando la transferencia de masa, la agitación de partículas finas evita sedimentaciones y da uso al área interfacial generando mayor efectividad.

3.10 Espectroscopia Ultravioleta Visible

La espectroscopia ultravioleta-visible (UV-VIS) es una potente técnica para diversas aplicaciones de distintas industrias y segmentos de mercado. Cuando una sustancia absorbe el máximo de luz a una determinada longitud de onda, se da una relación única entre la sustancia y su espectro UV-VIS. Esta relación puede servir para Análisis cualitativos, es decir, determinar la presencia de ciertas sustancias. Y Análisis cuantitativos, es decir, determinar las cantidades de ciertas sustancias (Mettler Toledo, 2024).

La espectroscopia ultravioleta-visible es un tipo de espectroscopia de absorción en la que se ilumina una muestra con rayos electromagnéticos de varias longitudes de onda en el rango ultravioleta (UV) y visible (VIS). Según la sustancia, la muestra absorbe parcialmente los rayos de luz ultravioleta o visible. El resto de la luz, es decir, la luz transmitida, se registra como una función de la longitud de onda mediante un detector adecuado. El detector produce entonces el espectro UV-VIS único de la muestra (también conocido como el “espectro de absorción”) (Mettler Toledo, 2024).

El primer paso es seleccionar la fuente de luz y longitud de onda a la que se realizará la medida y luego se mide la absorbancia del disolvente (conocido como blanco), siendo este al que se le asigna el valor de cero ajustando el mando, de forma que la intensidad incidente y transmitida sean iguales, y la absorbancia es cero (Flores, 2022). Después, se agrega la muestra a la celda y se lee la absorbancia de esta en el espectrofotómetro, todos constan de:

1. Una fuente de energía radiante.

2. Un monocromador para la selección de radiaciones de una determinada longitud de onda.

3. Un compartimento donde se aloja un recipiente transparente (cubetas o tubos) que contenga la muestra. Para medir en UV se deben usar las de cuarzo o sílice fundido, porque el vidrio no transmite la radiación UV.

4. Un detector de luz y un amplificador convertidor de las señales luminosas en señales eléctricas.

5. Un registrador o sistema de lectura de datos.

En espectrofotometría de absorbancia se utilizan las regiones de ultravioleta (UV cercano, de 195-400 nm) y el visible (400–780 nm).

Tabla 3

Colores absorbidos y reflejados a diferentes longitudes de onda

Longitud de onda aproximada	Color de luz que se absorbe	Color de luz que se refleja o ve
390-345	Violeta	Amarillo verdoso
435-490	Azul	Amarillo
490-580	Verde	Rojo
580-595	Amarillo	Azul
595-650	Naranja	Azul verdoso
650-780	Rojo	Verde azulada

Fuente: (López, 2016)

El betacaroteno presenta máximos de absorción característicos en la región visible del espectro, generalmente entre 450 y 480 nm, lo que permite su detección y cuantificación mediante esta técnica. La intensidad de la radiación absorbida es

directamente proporcional a la concentración del analito, de acuerdo con la ley de Beer-Lambert. La ley de Beer-Lambert se expresa mediante la ecuación:

$$A = \varepsilon * l * c \qquad \textbf{(Ecuación 1)}$$

Donde A corresponde a la absorbancia, ε al coeficiente de absortividad molar, l a la longitud de paso de la celda (cm) y c a la concentración del analito. Esta relación permite determinar cuantitativamente la concentración del betacaroteno en solución a partir de la medición de su absorbancia.

3.11 Importancia en la industria alimenticia

Son de los colorantes más utilizados en la industria alimentaria, porque además de dar color a los productos, poseen características benéficas para la salud del consumidor, ya que es un precursor de la vitamina A en el cuerpo humano y con una importante actividad antioxidante (Maldonado, 2024).

Entre las principales aplicaciones de estos compuestos se encuentra la elaboración de pastas, pasteles y dulces, galletas, postres refrigerados, productos lácteos congelados, en jugos y sopas instantáneas, así como en los alimentos para aves para mejorar la pigmentación de la piel de los pollos y de la yema de huevo. Para el uso adecuado de este tipo de colorante es necesario considerar el pH de la base, así como también respetar las regulaciones de dosis máximas (Farbe Naturals, 2024).

En los países occidentales, en los que la dieta es relativamente rica en alimentos de origen animal (carne y productos de consumo diario), entre el 66 y el 80 % corresponde a vitamina A preformada proveniente de la dieta. La leche y los productos de consumo diario aportan entre 15 y 20 % de la ingesta total de vitamina A. De otra parte, entre el 20 y el 34 % de la vitamina A consumida en la dieta proviene de los carotenoides precursores de vitamina A. Asumiendo que por lo menos el 50% de los carotenoides precursores de vitamina A es betacaroteno, en los países occidentales el betacaroteno de la dieta contribuye con por lo menos un 10 % a un 17 % de la vitamina A consumida en la dieta. En contraste, la dieta de la mayoría de las personas que habita en los países en vía de desarrollo contiene solo

entre 12 y 22 % de vitamina A preformada y, en consecuencia, requieren entre 78 y 88 % de carotenoides precursores de vitamina A en la dieta. Asumiendo que por lo menos el 50 % de los carotenoides precursores de vitamina A es betacaroteno, en los países en vía de desarrollo, el betacaroteno de la dieta contribuye con por lo menos 39 a 44 % de la vitamina A consumida diariamente en la dieta (Van Loo-Bouwman, 2014).

La creciente demanda de betacaroteno en la industria alimentaria, junto con su intensa aplicación en otras industrias de usuarios finales, como productos farmacéuticos para colorear, fuente de provitamina A en suplementos dietéticos, ingrediente saludable en alimentos para animales, antioxidantes en productos cosméticos, ha sido impulsando el crecimiento del mercado, a nivel mundial (Mordor Intelligence, 2024).

IV. METODOLOGÍA

El presente trabajo consiste en una investigación de enfoque cuantitativo con un diseño experimental descriptivo, orientada a la extracción de betacaroteno a partir de pejibaye (*Bactris gasipaes*) para su uso como colorante natural en la industria alimentaria.

A través de la recopilación y análisis de datos cuantitativos no solo se busca demostrar la viabilidad del aprovechamiento del pejibaye como fuente natural del betacaroteno, sino también contribuir al desarrollo de alternativas más saludables y naturales en los productos alimenticios elaborados a nivel nacional.

En este capítulo se describen detalladamente los procedimientos experimentales que se llevaron a cabo para el desarrollo de la investigación; dicho proceso metodológico comprendió desde la selección y preparación de la materia prima hasta la aplicación del extracto de betacaroteno en el producto alimenticio final, es decir, las cajetas.

4.1 Diseño de la investigación

La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental con un enfoque cuantitativo. El propósito fue evaluar la obtención del betacaroteno mediante la aplicación de los métodos de extracción sólido-líquido: maceración y Soxhlet, para su posterior aplicación.

Dentro del diseño experimental se consideraron parámetros tales como el rendimiento del extracto y la concentración del betacaroteno obtenido en cada método. Como variables controladas para asegurar la reproducibilidad de las extracciones, se mantuvieron constantes la cantidad de muestra, el volumen y tipo de solvente.

Para la ejecución de la fase experimental, se estableció una matriz que detalla las condiciones bajo las cuales se trabajó la materia prima. Cada ensayo se realizó por duplicado para asegurar legitimidad de los datos obtenidos en cada método.

Tabla 4

Matriz de tratamientos experimentales para la extracción de betacaroteno

Ensayo	Método de extracción	Estado de la materia prima (pejibaye)	Objetivo del ensayo
M1	Maceración	Crudo	Obtención del extracto a temperatura ambiente
M2	Maceración	Cocido	Evaluación del método en matriz previamente tratada térmicamente
M3	Soxhlet	Crudo	Extracción continua en matriz cruda
M4	Soxhlet	Cocido	Extracción continua en matriz previamente tratada térmicamente

Fuente: Elaboración propia.

4.2 Materiales y equipos

En este apartado se detallan los materiales, reactivos y equipos que fueron utilizados durante el proceso experimental de los análisis planteados en dicho trabajo monográfico. La descripción de estos elementos se presenta en el **Anexo 1** y permite conocer los recursos empleados en cada etapa del procedimiento metodológico, asegurando la reproducibilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

4.3 Procedimiento experimental

4.3.1 Preparación de la muestra

El proceso inició con la materia prima, la cual presentaba una variabilidad en el estado de madurez, observándose frutos con coloraciones desde verde-amarillentas hasta naranja-rojiza intensas, por lo que se procedió a realizar una selección manual basada en criterios de frescura y grado de madurez determinado mediante la escala visual de coloración del epicarpio, seleccionando ejemplares en Grado 3 (madurez fisiológica completa) caracterizados por una coloración naranja-rojiza intensa y uniforme, descartando aquellos frutos inmaduros o con daños físicos (**Ver Tabla 1**). Este criterio se fundamenta en que dicho estado de madurez

presenta la mayor concentración de compuestos carotenoides en el mesocarpio (Mora-Urpí, 1999; Restrepo et al., 2016). Posteriormente, los pejibayes seleccionados fueron lavados cuidadosamente con agua potable para eliminar residuos de suciedad y garantizar la inocuidad de la materia prima (**ver Ilustración 3 en Anexo 3**).

A continuación, la cantidad total de pejibaye se dividió para trabajar con materia prima cruda y cocida. Para el caso del pejibaye cocido se tomaron 292.27 g, para luego ser sometida a cocción durante aproximadamente 1 hora y media a 84°C (**Ilustración 4**).

Una vez cocidos, los pejibayes fueron pelados y se extrajo la semilla, conservando únicamente la cáscara y la pulpa. En los pejibayes crudos, estos fueron cortados en porciones más pequeñas para aumentar el área superficial y de igual forma se eliminó la semilla (**Ilustración 5**).

Finalmente, el material obtenido fue pesado para determinar la cantidad total recuperada y fue homogenizado inicialmente mediante licuado; seguidamente, se continuó triturando con un mortero (**Ilustración 6**), ya que en el licuado quedaban fragmentos de tamaño considerable y obtener así una pasta homogénea adecuada para las etapas posteriores del proceso experimental.

4.3.2 Extracción de Betacaroteno

Método Soxhlet

El método AOAC 945.16, también conocido como método Soxhlet, se caracteriza por su capacidad de efectuar extracciones continuas y eficientes al mantener el solvente en contacto prolongado con el material sólido. La técnica Soxhlet permite una recuperación efectiva de los compuestos liposolubles, como el betacaroteno, mediante la acción repetida del disolvente sobre la muestra.

El proceso de extracción se realizó utilizando las muestras previamente preparadas, en las que, utilizando una balanza analítica, se pesaron cuatro muestras en total,

correspondientes a dos muestras de pejibaye crudo y dos muestras de pejibaye cocido, manteniendo las mismas condiciones experimentales en todos los casos, utilizando así para cada muestra 40 g de material (**Ilustración 7 y 8**) y cada una fue agregada a un cartucho.

Luego, se colocó el balón sobre la manta calefactora y en un Beaker de vidrio de 150 ml se añadieron 100 ml de hexano que fue el solvente utilizado. Se procedió a agregar el solvente dentro del tubo condensador de flujo continuo, para así colocar el cartucho Soxhlet con la muestra previamente pesada.

Después, se completó el montaje con mangueras de flujo de agua, un sistema de refrigeración continuo en el que se utilizó agua fría en circulación, siendo este de gran importancia porque se encarga de controlar la temperatura del proceso para evitar la ebullición violenta del solvente, y se tapó la parte superior de reflujo con sulfato sódico anhidro envuelto en un pedazo de algodón, se conectó la manta calefactora y se reguló la temperatura de acuerdo a la temperatura de ebullición del solvente, aproximadamente 69 °C (**Ilustración 10**).

Llegada la temperatura de ebullición del solvente, este comenzó a evaporarse y al calentar las paredes del equipo, comenzó a condensar el refrigerante y a caer en forma de gotas sobre el cartucho. A medida que el condensado iba cayendo sobre el cartucho este comenzó a escurrir por la parte inferior del mismo, llenando el recipiente de extracción hasta que llegó a nivel de bajada del sifón, llevando todo el material disuelto hacia el balón inferior. Se realizó la extracción continua durante aproximadamente 3 horas.

Método por Maceración

El proceso de extracción por maceración se realizó con el objetivo de obtener el betacaroteno mediante un método sencillo, de baja temperatura y sin requerimientos de presión o equipos complejos. Este método se fundamenta en la difusión pasiva de los compuestos liposolubles desde la matriz sólida hacia un

solvente orgánico no polar, aprovechando la afinidad del betacaroteno con el hexano.

Dicho proceso se inició pesando las muestras en una balanza analítica, en donde se pesaron 40 g de la materia prima previamente preparada, posteriormente se transfirió a un Beaker de 150 ml y se agregó 100 ml de hexano, dejándose en reposo durante aproximadamente 24 horas para permitir la maceración (**Ilustración 9**).

4.3.3 Recuperación del extracto

Una vez finalizado el proceso de maceración, el extracto obtenido fue sometido a un proceso de recuperación mediante destilación, esto con el objetivo de separar el solvente del extracto concentrado de carotenoides. Para ello, el extracto fue transferido a un balón de 250 ml y se montó un sistema, el cual fue calentado de manera controlada (**Ilustración 11**).

Al alcanzar el hexano su punto de ebullición, este se evaporó y fue separado del extracto, permitiendo así su recuperación y permaneciendo en el balón la cantidad de extracto obtenido. Una vez eliminada la mayor parte del solvente, el extracto fue retirado del sistema y fue transferido a un tubo de ensayo para ser almacenado hasta su análisis y cuantificación.

4.4 Cuantificación del betacaroteno obtenido.

Para la determinación de la concentración de betacaroteno a través del análisis cuantitativo con espectros UV-visible, se utilizó la metodología empleada por Miranda et. al. (2019). La lectura de las muestras se realizó utilizando una longitud de onda de 450 nm, ya que en esta región del espectro el betacaroteno presenta su máxima absorbancia, lo que permite una detección más sensible y precisa del compuesto.

- **Medición de la muestra**

Primeramente, se encendió el espectrofotómetro media hora antes y que calentara (generalmente se recomienda un tiempo entre 15 y 30 minutos) para ayudar a

estabilizar la fuente de luz y otros componentes. Posteriormente, se ajustó a la longitud de onda específica, en este caso fue de 450 nm y se colocó el blanco en la celda de muestra para calibrar el cero de absorbancia. Para la lectura se utilizó el hexano como blanco debido a que es el solvente empleado en la extracción y no presenta absorbancia significativa en esta longitud de onda, lo que permite establecer un punto de referencia adecuado para las mediciones.

A continuación, para la medición de la muestra, esta se colocó en la celda y se midió la absorbancia, asegurando que la muestra estuviese homogenizada y no hubiese burbujas de aire en la celda (**Ilustración 15 y 16 en Anexo 4**).

- **Cálculo de la concentración**

Para determinar la concentración de carotenoides presentes en los extractos obtenidos a partir del pejibaye, se empleó el método espectrofotométrico basado en la medición de la absorbancia a 450 nm, longitud de onda correspondiente al máximo de absorción del betacaroteno.

Debido a la indisponibilidad del patrón de betacaroteno para la realización de una curva de calibración, la concentración se determinó mediante la ley de Beer-Lambert empleando el coeficiente de absortividad específico para el betacaroteno en hexano.

La concentración de carotenoides se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Carotenoides\ (\mu g/g) = \frac{A\ x\ V\ (mL)\ x\ 10^4}{A\ \frac{1\%}{1\ cm}\ x\ P\ (g)} \qquad \textbf{\textit{(Ecuación 2)}}$$

A = absorbancia medida a 450 nm.
V = volumen total del extracto (ml).
P = peso de la muestra (g).
10^4= factor de conversión para expresar los resultados en µg de carotenoides por gramo de muestra.
$A_{1cm}^{1\%}$= 2592 – coeficiente de extinción específico del betacaroteno (en hexano), reportado en la literatura para betacaroteno disuelto en hexano y medido a una

longitud de onda de 450 nm. Este valor es ampliamente utilizado como referencia para la cuantificación espectrofotométrica de betacaroteno en solventes orgánicos no polares, por lo que su aplicación en el presente estudio se considera metodológicamente adecuada bajo las condiciones experimentales empleadas.

4.5 Aplicación del betacaroteno en el producto alimenticio

En este trabajo investigativo con el fin de valorar las características organolépticas del extracto obtenido a partir del pejibaye, este se incorporó en 3 diferentes tipos de cajetas artesanales.

4.5.1 Cajeta de naranja

Basado en el proceso realizado por el Ministerio de Economía Familiar Comunitaria Cooperativa y Asociativa (MEFCCA, 2023), la cajeta de naranja se realizó de la siguiente manera (**Ilustración 17 y 18 en Anexo 5**):

- **Selección de la materia prima:** Se escogieron las naranjas que presentaron las características de calidad requeridas (Sin golpes, sin olor a rancio o que presenten magulladuras).
- **Lavado y desinfectado**: Las naranjas se desinfectaron en una solución de 50 ppm de cloro en un litro de agua durante 5 minutos y luego se enjuagaron con suficiente agua potable para así proceder a retirar las cáscaras.
- **Molienda**: Se procedió a realizar la reducción de tamaño de las cáscaras en un procesador de alimentos.
- **Cocción:** En un recipiente a 90°C en el fuego se realizó la disolución del atado de dulce con 250 ml de agua para luego agregar 1 lb de la masa de maíz y mezclarlo bien con el fin de que no quedaran grumos y así posteriormente se añadió la cáscara de naranja. Se continuó batiendo hasta alcanzar la consistencia apropiada.
- **Enfriado:** Se bajó del fuego y se procedió a enfriar a temperatura ambiente en un lapso de 20 a 30 minutos y, así pues, se realizó el moldeo de la cajeta.

En el proceso de elaboración de la cajeta de naranja, durante la etapa de cocción, al momento de homogenización de los ingredientes, se incorporó 1 ml de colorante (betacaroteno). Esta adición permitió evaluar las variaciones en apariencia y sabor de la cajeta en comparación con una muestra sin la adición de dicho colorante.

4.5.2 Cajeta de Piñonate

Basado en el proceso realizado por el Ministerio de Economía Familiar Comunitaria Cooperativa y Asociativa (MEFCCA, 2023), la cajeta de piñonate se realizó de la siguiente forma (**Ilustración 20 y 21**):

- **Selección de la materia prima:** Se seleccionaron las papayas sanas y con el grado de madurez adecuado para este procedimiento, en este caso, se necesitan papayas verdes.
- **Lavado y cortado**: Se lavaron las papayas con suficiente agua potable para así proceder a retirar la cáscara y con un pelador hacer las tiras delgadas, para luego proceder a lavar las tiras para eliminar la leche o látex de la papaya verde.
- **Cocción:** En una olla se puso a hervir 1 L de agua y se agregó 591 g de las tiras de papaya ya listas anteriormente hasta que se obtuvo una textura blanda de las mismas.
- **Escurrido:** Se utilizó un colador para dejar escurrir los trozos de papaya durante 10 minutos.
- **Preparación de la mezcla:** En un recipiente a 120°C durante 60 minutos, se añadieron los trozos de papaya escurridos, 200 g de azúcar y rajitas de canela para que se formara la miel, y así obtener la textura o cristalización característica de una cajeta.
- **Enfriado:** Se retiró del fuego y se procedió a enfriar a temperatura ambiente en un lapso de 30 a 60 minutos, para finalmente realizar el moldeo de la cajeta.

En el proceso de elaboración de la cajeta de piñonate se añadió en la etapa de preparación de la mezcla (ya cuando se había conservado la miel) 1 ml de colorante

(betacaroteno). Esta incorporación permitió realizar un análisis comparativo para determinar las diferencias en las propiedades visuales y sensoriales de la cajeta de piñonate, en función de la presencia o ausencia del colorante.

4.5.3 Cajeta de Coco

Basado en el proceso de elaboración de programas pre-requisitos de buenas prácticas de manufactura en la pyme dulcería Daliana, la cajeta de coco se realizó de la siguiente forma (**Ilustración 23 y 24**):

- **Selección de la materia prima:** Se seleccionó la materia prima para separar la materia en buen estado de la de mal estado.
- **Pelado:** Luego, se peló el coco y se sacó la copra de la concha del coco.
- **Lavado**: Posteriormente, se lavó la copra con agua potable para eliminar materias extrañas y así obtener materia prima inocua.
- **Reducción de tamaño**: Se procedió a realizar la reducción de tamaño con un rallador de acero inoxidable. Esta operación se hizo en húmedo para así obtener una consistencia apta para hacer la cajeta.
- **Cocción:** En un recipiente a 220°C en el fuego se agregó 240 ml de agua, 240 ml de agua de coco, 400 ml de leche de coco, 100 g de azúcar, 50 g de arroz licuado (preparado con 80 ml de agua), canela y 1 ml del colorante (betacaroteno).
- **Enfriado:** Se retiró del fuego y se procedió a enfriar a temperatura ambiente en un lapso de 20 a 30 minutos para luego realizar el moldeo de la cajeta.

V. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de extracción de betacaroteno a partir de pejibaye (*Bactris gasipaes*) mediante dos métodos: Soxhlet y maceración. Además, se exponen los valores promedios obtenidos para cada tratamiento, el rendimiento y la intensidad de color de los extractos, con el fin de confirmar la presencia del betacaroteno.

5.1 Eficacia de la extracción sólido-líquido en la obtención de betacaroteno

Los análisis espectrofotométricos realizados a una longitud de onda de 450 nm confirmaron la presencia de betacaroteno en todos los extractos obtenidos a partir del pejibaye (*Bactris gasipaes)*. La utilización de hexano como solvente orgánico permitió una recuperación efectiva de los compuestos lipofílicos, validando la metodología sólido-líquido como una técnica funcional para esta matriz vegetal.

En la Tabla 5 se presentan las concentraciones obtenidas, donde se observa que el pretratamiento térmico (cocción) incrementó significativamente la disponibilidad del analito.

Tabla 5

Concentración de betacaroteno (µg/g) y observaciones físicas de los extractos

Tratamiento	Estado	Concentración (µg/100 g)	Aspecto del extracto
Maceración	Cocido	72.60	Naranja rojizo
Soxhlet	Cocido	58.27	Naranja intenso
Maceración	Crudo	44.83	Naranja medio
Soxhlet	Crudo	5.21*	Naranja oscuro

Fuente: Elaboración Propia.

*Nota: los valores en el tratamiento Soxhlet-crudo se asocia a una limitación operativa en la fase de recuperación de masa, no a la capacidad del método.

5.2 Análisis del rendimiento y factores de influencia

La variabilidad observada entre el estado crudo y cocido del pejibaye sugiere que la cocción actúa como un agente de hidrólisis térmica parcial en las estructuras celulares. Este fenómeno facilita la difusión del solvente hacia los cromoplastos donde se almacena el betacaroteno, optimizando la transferencia de masa.

Para la extracción de compuestos carotenoides se emplearon muestras de 40 g de pulpa de pejibaye, tanto crudo como cocido, utilizando los métodos de Soxhlet y maceración con hexano como solvente. El rendimiento de extracción se determinó a partir de la diferencia de peso del balón antes y después del proceso, expresándose como porcentaje de extracto obtenido respecto a la masa de muestra empleada (**Ilustración 12 y 13 en Anexo 3**).

Para calcular el rendimiento de extracción se utilizó la siguiente relación gravimétrica:

$$Rendimiento(\%) = \frac{masa\ de\ extracto\ obtenido}{masa\ de\ muestra\ inicial} * 100 \qquad \textbf{\textit{(Ecuación 3)}}$$

La masa del extracto se obtiene a partir de la diferencia de pesos del balón:

$$masa\ de\ extracto = peso\ final\ del\ balón - peso\ inicial\ del\ balón \quad \textbf{\textit{(Ecuación 4)}}$$

Sustituyendo en la ecuación de rendimiento:

$$\%Rendimiento = \frac{masa\ de\ extracto}{40\ g} * 100$$

Se divide entre 40 g debido a que esa fue la muestra inicial utilizada.

Por lo tanto, tomando los datos obtenidos de la M1 de pejibaye cocido por medio del método Soxhlet, los cálculos serían los siguientes:

$$\%\ Rendimiento = \frac{(106.92 - 106.08)\ g}{40\ g} * 100$$

$$\% \, Rendimiento = \frac{0.84 \, g}{40 \, g} * 100$$

$$Rendimiento = 2.10\%$$

A continuación, en las Tablas 6 y 7 se muestran los datos obtenidos en ambos métodos, tanto para el pejibaye crudo como para el cocido, logrando así el cálculo del rendimiento.

Tabla 6

Datos de rendimiento por método Soxhlet

Estado	Muestra	Masa muestra (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Extracto (g)	Rendimiento (%)
Crudo	M1SCr	40.00	106.08	106.92	0.84	2.1
Crudo	M2SCr	40.09	104.96	105.76	0.8	2
Cocido	M1SCo	40.04	102.27	103.65	1.38	3.45
Cocido	M2SCo	40.00	101.84	103.16	1.32	3.3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados presentados en la tabla anterior evidencian que la extracción mediante Soxhlet alcanzó valores de hasta 3.45% al utilizar pejibaye cocido, mientras que para el pejibaye crudo los rendimientos fueron alrededor del 2.0%. Este comportamiento es una demostración de que el previo tratamiento térmico favoreció la ruptura de las paredes celulares y la liberación de los carotenoides, incrementando su disponibilidad para la extracción. Aunque el método Soxhlet implica la exposición de la muestra a temperaturas elevadas y tiempos prolongados, estos resultados indican que, en matrices previamente tratadas térmicamente, el efecto de la liberación de compuesta compensa las posibles pérdidas por degradación térmica.

Tabla 7

Datos de rendimiento por método de maceración

Estado	Muestra	Masa muestra (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Extracto (g)	Rendimiento (%)
Crudo	M1MCr	40.07	115.85	117.91	2.06	5.14
Crudo	M2MCr	40.04	106.08	107.95	1.87	4.67
Cocido	M1MCo	40.00	115.85	117.34	1.49	3.73
Cocido	M2MCo	40.04	106.08	107.92	1.84	4.6

Fuente: Elaboración propia

En el método de macerado se logró observar mayores rendimientos en las muestras de pejibaye crudo, alcanzando valores de hasta 5.14%, mientras que en las muestras cocidas los rendimientos fueron menores. Este comportamiento puede atribuirse a la estabilidad térmica de los carotenoides en el material crudo y a una mayor integridad de la matriz vegetal, favoreciendo la difusión del solvente hacia los compuestos de interés. Aunque la cocción suele facilitar la ruptura de la matriz vegetal, ciertos estudios han reportado que la sensibilidad de pigmento al calor y la oxidación puede provocar una degradación significativa durante el tratamiento térmico previo.

De manera general, los resultados obtenidos son una confirmación de la viabilidad de la extracción sólido-líquido a partir del pejibaye; además, se logró recuperar un porcentaje de rendimiento significativo en los tratamientos utilizados, lo que demuestra que tanto por el método Soxhlet que es un tratamiento asistido por temperatura, como la maceración, tratamiento basado en tiempo de contacto, son alternativas efectivas para la obtención de este metabolito.

5.3 Cuantificación del betacaroteno obtenido

La cuantificación del betacaroteno presente en los extractos se realizó mediante espectrofotometría UV-Visible. Ya que la posición del máximo de absorción de los carotenoides cambia de acuerdo a la polaridad del solvente, al utilizar hexano y este siendo un solvente no polar, permite que el betacaroteno presente su espectro más estable para su cuantificación a una longitud de onda a 450 nm, obteniendo una detección más sensible y precisa del compuesto.

Esta cuantificación se realizó mediante el uso del coeficiente de absortividad específica ($A_{1cm}^{1\%}$), siendo este un método validado de acuerdo a los protocolos estandarizados por Rodríguez-Amaya (2001) y Britton et al. (2004) en la literatura científica para el análisis de pigmentos vegetales. Para dicho coeficiente fue utilizado el valor constante de 2592, este número representa la absorbancia que tendría una solución teórica al 1% (1 g de betacaroteno en 100 ml de solvente) en una celda de 1 cm. El uso de este coeficiente está reportado para hexano como solvente y ofrece una referencia estandarizada garantizando la comparabilidad de los resultados con otros estudios.

Dicho enfoque elimina un posible error sistemático derivado de alguna degradación que pueda sufrir el estándar o patrón de trabajo y permitir una determinación directa de la concentración basada en las propiedades físicas del betacaroteno.

Debido a que las lecturas iniciales de los extractos superaban valores de 2 en absorbancia, fue necesario realizar diluciones previas de las muestras, con el fin de obtener valores de absorbancia dentro del rango lineal del espectrofotómetro (**Ilustración 14 en Anexo 4**).

Para garantizar la confiabilidad de los resultados, se estableció un criterio de integridad de las muestras. En aquellos casos donde se identificaron limitaciones operativas o pérdidas físicas de material durante las etapas de recuperación del extracto, los datos fueron documentados como incidencias técnicas. Dichos valores fueron analizados de forma independiente para evitar sesgos en la determinación del potencial real de extracción del método aplicado.

En la Tabla 8 se presentan las diluciones realizadas, las absorbancias obtenidas y los factores de dilución.

Tabla 8

Datos espectrofotométricos y factores de dilución

Muestra	Método	Estado	Diluciones (ml)	Abs (450 nm)	Factor de dilución total
$M1_{SCr}$	Soxhlet	Crudo	0.5/25	0.216	50.00*
$M2_{SCr}$	Soxhlet	Crudo	0.5/25	0.230	50.00*
$M1_{SCo}$	Soxhlet	Cocido	1.2/25 → 2.5/50	0.306	416.67
$M2_{SCo}$	Soxhlet	Cocido	1.2/25 → 2.5/50	0.290	416.67
$M1_{MCr}$	Maceración	Crudo	1.2/25 → 3/50	0.220	347.22
$M2_{MCr}$	Maceración	Crudo	1.2/25 → 3/50	0.268	347.22
$M1_{MCo}$	Maceración	Cocido	1.2/25 → 1.5/50	0.150	694.44
$M2_{MCo}$	Maceración	Cocido	1.2/25 → 1.5/50	0.217	694.44

Fuente: Elaboración propia.
*Muestras con pérdida de material durante la recuperación del extracto. No incluidas en el promedio final.

Tabla 9

Contenido de betacaroteno en muestras de pejibaye

Muestra	Método	Estado	µg/g	mg/100 g
$M1_{SCr}$	Soxhlet	Crudo	52.1	5.21*
$M2_{SCr}$	Soxhlet	Crudo	55.3	5.53*
$M1_{SCo}$	Soxhlet	Cocido	614.3	61.43
$M2_{SCo}$	Soxhlet	Cocido	582.7	58.27
$M1_{MCr}$	Maceración	Crudo	367.7	36.77
$M2_{MCr}$	Maceración	Crudo	448.3	44.83
$M1_{MCo}$	Maceración	Cocido	502.3	50.23
$M2_{MCo}$	Maceración	Cocido	726.0	72.60

Fuente: Elaboración propia.
*Muestras con pérdida de material durante la recuperación del extracto. No incluidas en el promedio final.

Los resultados obtenidos demuestran que el contenido de betacaroteno varió en función tanto del método de extracción como del tratamiento previo de la materia prima. Las muestras sometidas a extracción por Soxhlet a partir de pejibaye cocido presentaron valores elevados, alcanzando aproximadamente 61.52 mg/100 g y 58.29 mg/100 g. Este comportamiento puede asociarse al efecto del calentamiento prolongado, el cual favorece la ruptura de las estructuras celulares y facilita la liberación de los carotenoides de la matriz vegetal.

Es importante señalar que se registraron valores significativamente menores en algunas réplicas (rango de 5.21 a 5.55 mg/100 g), dicha disminución drástica en la concentración no corresponde a la naturaleza de la materia prima, sino a una pérdida parcial del extracto durante la fase de separación del solvente. Debido a esta incidencia técnica, dichos resultados se consideran atípicos y fueron excluidos del cálculo de los promedios finales, con el fin de reflejar con mayor exactitud la eficiencia del método sólido-líquido en el pejibaye.

En el caso de la maceración, los valores obtenidos oscilaron entre 36.83 y 44.85 mg/100 g para las muestras crudas, mientras que en el pejibaye cocido se registraron contenidos de hasta 72.67 mg/100 g. Estas variaciones podrían estar relacionadas tanto con la eficiencia del método como con posibles efectos térmicos que influyen en la disponibilidad o estabilidad del β-caroteno.

En conjunto, los resultados evidencian diferencias cuantificables en el contenido de β-caroteno dependiendo del método de extracción y del tratamiento aplicado a la materia prima, lo cual constituye un criterio relevante para la selección del proceso más adecuado según el objetivo tecnológico o nutricional.

5.4 Aplicación del extracto de pejibaye en diferentes cajetas

El extracto obtenido a partir del pejibaye fue aplicado como colorante natural en la elaboración de cajetas de piñonate, coco y naranja, con el objetivo de evaluar su comportamiento y capacidad colorante en distintas matrices alimentarias. En todos

los casos el colorante se incorporó en la etapa final del proceso de cocción, es decir, cuando alcanzaron la consistencia adecuada de una cajeta.

Tras la adición del extracto, la evaluación se realizó mediante observación directa debido a que el objetivo fue valorar preliminarmente la capacidad colorante del extracto y se observó una adecuada dispersión del colorante en las tres cajetas evaluadas, sin evidencia de separación de fases ni formación de grumos. Las cajetas presentaron una coloración anaranjada uniforme, con variaciones leves en la intensidad del color dependiendo de la matriz alimentaria, ya que la cajeta de piñonate fue la que mostró una coloración más intensa, seguida por la de coco y por último la de naranja, lo cual puede atribuirse a las diferencias en la composición del color natural de cada materia prima utilizada.

Durante el enfriamiento, la coloración se mantuvo estable en las tres aplicaciones, sin pérdidas visibles de intensidad ni cambios en la textura del producto final. Asimismo, no se observaron signos de degradación del colorante, lo que indica una buena compatibilidad del extracto de pejibaye con las matrices evaluadas.

Estos resultados evidencian el potencial del betacaroteno extraído del pejibaye como colorante natural aplicable en la elaboración de productos alimentarios tradicionales, manteniendo una coloración homogénea y estable (**Ilustración 19, 22 y 25 en Anexo 5**).

VI. VALIDACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE BETACAROTENO A PARTIR DE PEJIBAYE A NIVEL DE LABORATORIO

Con el propósito de verificar la reproducibilidad de betacaroteno a partir de pejibaye en el entorno de laboratorio y asegurar la conformidad del producto con los estándares de calidad necesarias, se realizó basándose en el trabajo realizado por Chávez, M. R., & Jiménez, R. E. (2023), se describe a continuación cada etapa realizada.

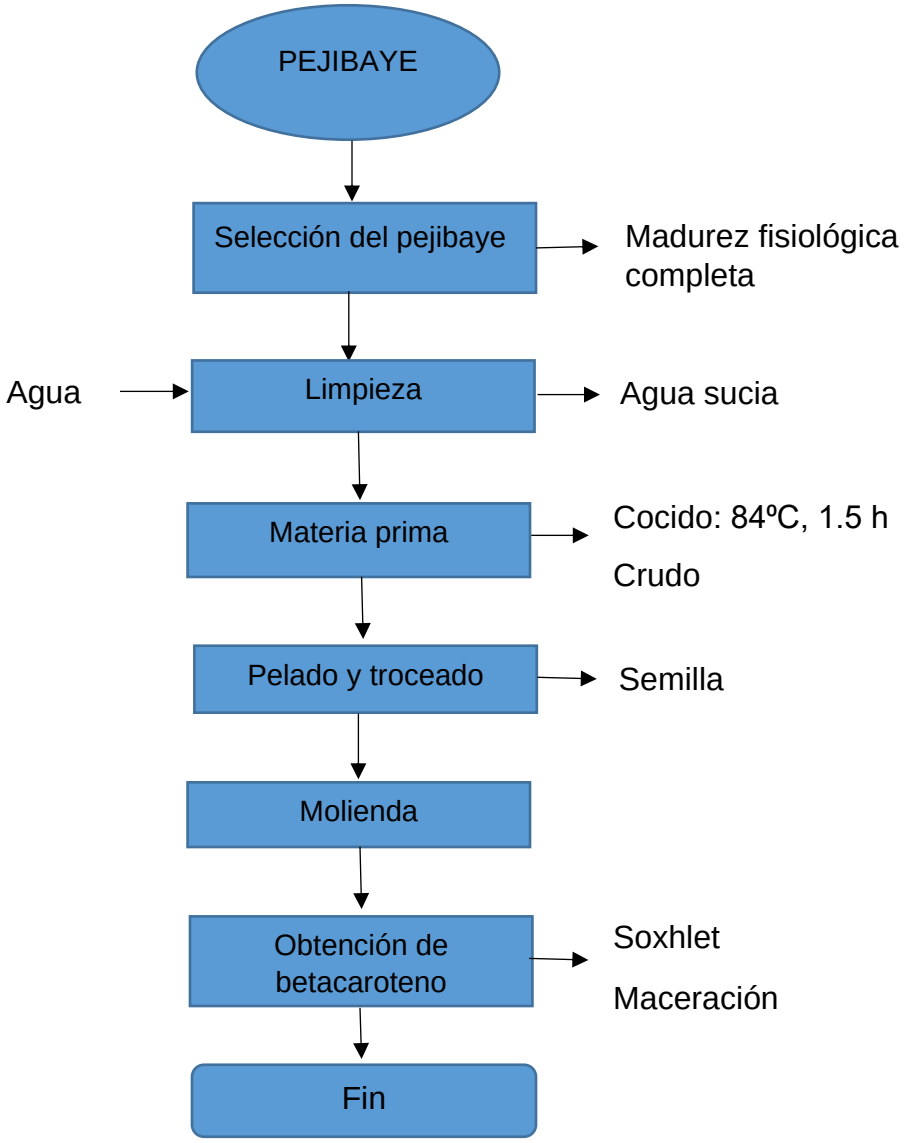


Ilustración 2. *Diagrama de proceso para la extracción de betacaroteno a partir de pejibaye*

Fuente: Elaboración propia

VII. CONCLUSIONES

1. Se determinó que el fruto del pejibaye *(Bactris gasipaes)* es una fuente viable y confiable para la extracción de betacaroteno, ya que se logró con éxito la obtención del pigmento mediante ambos métodos sólidos-líquidos, logrando resultados con rendimientos de hasta un 5.14%, lo que demuestra el alto potencial de esta materia prima para su uso dentro de la industria de aditivos alimentarios.
2. Los resultados obtenidos en la cuantificación espectrofotométrica mediante el uso del coeficiente de absortividad específico permitieron identificar que la cocción previa del fruto es un factor importante para la liberación del pigmento, ya que los valores indican que el tratamiento térmico facilita la desnaturalización, permitiendo recuperar una mayor carga del analito de interés.
3. Se concluye que existe una relación inversa entre el rendimiento de masa y la concentración de pigmento en algunos tratamientos. El alto rendimiento y poca concentración de carotenos en la maceración cruda sugiere una extracción poco selectiva de lípidos totales, mientras que el proceso de Soxhlet actuó con mayor selectividad hacia los carotenoides, obteniendo una mayor concentración del aditivo.
4. La incorporación del betacaroteno extraído como colorante natural en cajetas nicaragüenses de naranja, coco y piñonate permitió evaluar su desempeño como un potencial sustituto de colorantes artificiales, resultando exitoso desde una perspectiva cualitativa. Se observó la integración del extracto obtenido, siendo más evidente en la cajeta de coco debido a su matriz clara, lo que sugiere que dicho pigmento no solo aporta color, sino que también se integra con matrices altas en contenido graso.

VIII. RECOMENDACIONES

- Analizar la estabilidad del betacaroteno extraído frente a factores tales como la luz, el oxígeno y la temperatura, esto con el objetivo de evaluar posibles pérdidas del pigmento durante el almacenamiento y su comportamiento en aplicaciones alimentarias.
- Para futuras aplicaciones se sugiere sustituir el hexano por solventes como el etanol de grado alimentario o aceites vegetales refinados. Esto eliminaría la necesidad de procesos complejos de purificación para asegurar la ausencia de trazas de solventes derivado del petróleo en el producto final.
- En investigaciones posteriores se recomienda el uso de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC), ya que mientras que la espectrofotometría UV-Visible es utilizada para la cuantificación de carotenoides totales, el HPLC permitiría identificar el perfil específico de isómeros presentes, brindando una comprensión más profunda del valor nutricional del extracto.
- Considerar, en estudios futuros, la evaluación del escalamiento del proceso de extracción bajo condiciones controladas, tomando en cuenta criterios de seguridad alimentaria y viabilidad técnica para su posible aplicación a nivel industrial.
- Se sugiere evaluar el potencial de los residuos sólidos resultantes de la extracción (bagazo), los cuales conservan altos niveles de almidón y fibra, así como de los subproductos del acondicionamiento (cáscara y semilla). Estos últimos pueden ser aprovechados para la obtención de harinas funcionales o como fuente de energía térmica (biomasa), minimizando el impacto ambiental del proceso.

IX. BIBLIOGRAFÍA

Administration, U. F. (2016). *Color Additives Information for Consumers*. Obtenido de https://www.fda.gov/food/food-additives-ingredients/color-additives-information-consumers

Albuquerque, B. R. (2021). Could fruits be a reliable source of food colorants? Pros and cons of these natural additives. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 805-835.

Arana, M. (2019). *Extracción de compuestos bioactivos mediante métodos convencionales: Procesos de transferencia de masa en matrices vegetales.*

Areas, E. (noviembre de 2013). Verificación de los parámetros de desempeño analítico del método para determinación de calcio por espectrofotometría visible utilizando el spectroquant nova 60, realizado en el laboratorio de análisis químico de la sección de química industrial de USAC. Guatemala.

Arias, A., Borda, F., & Céspedes, D. (2022). Extracción continua sólido líquido con equipo soxhlet. Callao, Perú.

Arrázola Paternina, G., Villalba Cadavid, M., & Rodríguez Negrette, A. C. (2021). *Pigmentos y antioxidantes de origen vegetal.* Montería : Fondo Editorial Universidad de Córdoba.

Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos (4ta ed.).* México: Pearson Educación.

Camacho, M. (2024). Caracterización física, morfológica y rendimiento postcosecha del fruto de pejibaye (Bactris gasipaes) según su estado de madurez . *Revista iberoamericana de Tecnología Poscosecha*, 25 (1), 112-126.

Cámara Costarricense de la Industria Alimentaria. (2024). Colorantes naturales para la industria alimentaria. *Revista Digital Alimentaria*.

Carmona, I. (abril de 2013). *De colorantes sintéticos a naturales en la industria alimentaria*. Obtenido de chrome-extension://efhttps://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70067/%20Colorantes-naturales-industria-alimentaria.pdf?sequence=1&isAllowed

Carocho, M. M. (2019). Natural foods colorants as additives: Sources, extraction methods, and safety issues. *Food Research International*, 120, 276-293.

Catalán, F. (abril de 2016). Extracción y caracterización de β-caroteno obtenido a partir de la cáscara de banano (Musa paradisiaca L.) evaluando el rendimiento de tres diferentes solventes de distinta polaridad para su utilización como colorante natural, a escala laboratorio. Guatemala.

Charley, H. (1991). *Tecnología de los alimentos, procesos químicos y físicos en la preparación de los alimentos.* México D. F. : Editorial Limusa.

Chávez, M. R., & Jiménez, R. E. (Octubre de 2023). Obtención de harina de pejibaye a escala de laboratorio como alimento funcional para personas veganas. Managua, Nicaragua.

Córdoba Torrez, Z. M. (Junio de 2014). Obtención de un colorante orgánico para la industria alimentaria a partir del fruto pitahaya (Hylocereus undatus), en el laboratorio N° 107 del departamento de química de la universidad nacional autónoma de Nicaragua (UNAN-Managua). Managua, Nicaragua.

Dalgo Flores, V. M., Basantes Rodríguez, A. I., & Brito Molina, H. L. (junio de 2020). Obtención del colorante natural de la Bactris gasipaes. Ecuador.

de castro, M., Londoño, L., de Carvalho, J., Jaramillo, A., & Pacheco, S. (2019). *Análisis de Carotenoides de alimentos fortificados.* Obtenido de CGSpace: https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/dade7902-6c54-417e-a2f6-d084f64129e3/content

Díaz, M., & Pelayo, A. (Septiembre de 2008). Obtención de un colorante natural para alimentos a partir de la zanahoria. Maracaibo, Venezuela.

Eggersdorfer, M. y. (2018). Carotenoids in human nutrition and health. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 652, 18-26.

Farbe Naturals. (2024). *Usos de carotenoides en la industria alimentaria* . Obtenido de https://farbe.com.mx/usos-carotenoides-en-la-industria-alimentaria/#:~:text=Para%20el%20uso%20adecuado%20de,para%20alimentos%20de%20tipo%20carotenoides.

Flores, J. C. (2022). Manual de análisis instrumental y espectrofotometría UV-Vis aplicada al control de calidad de alimentos. Editorial Universitaria.

Food Insight. (2020). *Food Insight*. Obtenido de Hechos sobre colorantes alimentarios: https://spanish.foodinsight.org/wp-content/uploads/2020/02/Translated-Food-Color-Facts_v2_0220.pdf

González Arce, R., Cerdas Núñez, M., & Sedó Masís, P. (Octubre de 2021). *El pejibaye*. Obtenido de El Museo-Universidad de Costa Rica: https://museo.ucr.ac.cr/nutricion/n5.html#:~:text=El%20pejibaye%20es%20fuente%20de,como%20niacina%2C%20riboflavina%20y%20tiamina.

González-Peña, D. C.-C. (2023). Beneficios nutricionales del licopeno y el betacaroteno: una visión integral de sus funciones biológicas. *Journal of Food Science*, 88(2), 540-562.

López, L. F. (abril de 2016). EXTRACCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE β-CAROTENO OBTENIDO DE LA CÁSCARA DE BANANO (Musa paradisiaca

L.) EVALUANDO EL RENDIMIENTO DE TRES DIFERENTES SOLVENTES DE DISTINTA POLARIDAD PARA SU UTILIZACIÓN COMO COLORANTE NATURAL, A ESCALA LABORATORIO. Guatemala.

Maldonado, D. S. (2024). Guía sobre colorantes: regulaciones, tendencias y aplicaciones. *IALIMENTOS*.

MEFFCA. (30 de Agosto de 2023). *Cultivo de pijibay.* Obtenido de MEFFCA: chrome-extension://efaid/https://www.economiafamiliar.gob.ni/backend/vistas/doc/cartilla/documento5546567.pdf

Meléndez-Martínez, A. J. (2017). *Carotenoides en agroalimentación y salud.* Sevilla: Editorial Universidad de Sevilla.

Mettler Toledo. (2024). *Espectroscopia ultravioleta-visible: conceptos básicos*. Obtenido de https://www.mt.com/es/es/home/applications/Application_Browse_Laboratory_Analytics/uv-vis-spectroscopy/uvvis-spectroscopy-explained.html

Miranda de Castro, I., Londoño, L., Carvalho, J., Jaramillo, A., & Pacheco, S. (diciembre de 2019). *Análisis de carotenoides de alimentos biofortificados.* Obtenido de https://hdl.handle.net/10568/132091

Mordor Intelligence. (2024). *Tamaño del mercado de betacaroteno y análisis de participación tendencias de crecimiento y pronósticos (2024-2029)*. Obtenido de https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/beta-carotene-market

Moya, A. (15 de marzo de 2017). Extracción sólido-líquido. México.

Murray, M., ND, & Capelli, B. (2020). 57-Beta-Carotene and Other Carotenoids. En J. E. Pizzorno, & M. Murray, *Textbook of Natural Medicine (5ta edición)* (págs. 443-450). Churchill Livingstone.

Oplatowska-Stachowiak, M. &. (2017). Food colors: Existing and emerging food safety concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 524-548.

Ortiz Vargas, A. C., & Mamani Sullca, M. L. (2015). Obtención del beta-caroteno a partir de la zanahoria y su aplicación en la industria alimentaria. La Paz, Bolivia.

Parra Ortega, V. P. (2004). Estudio comparativo en el uso de colorantes naturales y sintéticos en alimentos, desde el punto de vista funcional y toxicológico. Valdivia, Chile.

Quirónsalud. (5 de mayo de 2020). *La zanahoria*. Obtenido de quirónsalud: https://www.quironsalud.com/es/comunicacion/actualidad/zanahoria

Restrepo, J. I. (2016). Caracterización física y físico-química del fruto de pejibaye (Bactris gasipaes) en diferentes estados de madurez poscosecha. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 63-72.

Rodríguez-Amaya, D. B. (2019). Actualización sobre pigmentos alimentarios naturales - Una revisión. *Food Research International*, 124, 92-105.

Saini, R. K. (2022). Carotenoids: Sources, extraction, and health benefits - A review. *Processes*, 10(6), 1182.

Sanjuán, A. (2013). Uso de tintes naturales propios de la biodiversidad colombiana como factor de valor agregado para la comercialización internacional de la moda nacional en Canadá. Medellín, Colombia.

Santos, R. M. (2020). Deficiencia de vitamina A en regiones tropicales y el potencial de cultivos biofortificados locales como estrategia de salud pública e inmunológica . *Archivos Latinoamericanos de Nutrición (ALAN)*, 70(2), 134-145.

Sheron, M. (2017). Antioxidant properties and functional roles of beta-carotene in cellular protection. *Journal of Food Biochemistry and Nutrition*, 115-128.

Sigurdson, G. T. (2017). Natural colorants: Food colorants from natural sources and their applications. *Annual Review of Food Science and Technology*, 8(1), 261-280.

Singh, A., Ahmad, S., & Ahmad, A. (13 de julio de 2015). Green extraction methods and environmental applications of carotenoids-a review. *RSC Advances, Vol. 5*, págs. 1-95.

Valls, J. I. (14 de Septiembre de 2021). *Qué son los betacarotenos y qué beneficios tienen para la salud*. Obtenido de Clinica Baviera: https://www.clinicabaviera.com/blog/betacaroteno-beneficios-que-alimentos-lo-contienen/#:~:text=Act%C3%BAan%20como%20antioxidantes%20frente%20a,enfermedades%20como%20la%20demencia%20senil.

Van Loo-Bouwman, C. A. (2014). The contribution of beta-carotene to vitamin A status in developing countries: A mathematical modeling approach. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(5), 1054-1062.

Zheng, X. e. (2022). The effects of betacarotene on osteoporosis: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Nutrition*, 9, 874026.

X. ANEXOS

Anexo 1. Materiales, equipos y reactivos utilizados en el proceso experimental

Tabla 10

Materiales y equipos utilizados en el proceso experimental

Método	Materiales y equipos	
Procedimiento experimental	Ollas de aluminio Termómetro Cuchillos Tablas para partir Panas plásticas Cuchillos Mortero Pilón Bote o bandeja de pesaje Cartuchos de extracción Balones fondo redondo 250 ml Condensador Sifón Papel aluminio Tubos de ensayo	Balanza analítica RADWAG AS 220/C/2 precisión 0.0001 g Licuadora marca Oster Plancha de calentamiento Corning PC-320 Soportes universales Mangueras Pinzas metálicas Espátulas Algodón Beaker 250 ml Papel Parafilm Probeta vidrio 100 ml Erlenmeyer 250 ml
Cuantificación del betacaroteno	Pipetas serológicas graduadas 2 ml Balones volumétricos 25 ml Balones volumétricos 50 ml	Tapones para balón Probeta vidrio 50 ml Espectrofotómetro UV-VIS marca Hach DR6000 Celdas de cuarzo
Aplicación del betacaroteno	Panas plásticas Procesador de alimentos Retsch Grindomix Ollas de aluminio Balanza analítica Beaker 250 ml Licuadora Oster	Cucharas metálicas Probeta de vidrio 5 ml Rallador Tablas para picar Pelador

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Reactivos y materia prima utilizados en el proceso experimental

Reactivos	Materia prima	
Agua destilada	Agua	Extracto betacaroteno
Hexano 95%	Agua de coco	Leche de coco
Sulfato sódico anhídrido	Atado de dulce	Masa de maíz
Cloro	Arroz	Naranjas dulces
	Azúcar	Papaya
	Canela	Pejibaye
	Coco	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Ficha de datos de seguridad del n-Hexano (HDS)

La inclusión de esta ficha tiene como objetivo documentar los riesgos identificados, las medidas de seguridad y primero auxilios correspondientes para garantizar los protocolos de bioseguridad utilizados en el laboratorio y el manejo adecuado del reactivo, minimizando posibles riesgos que puedan ocurrir en su manipulación.

- **Identificador del producto**

Descripción del producto	Hexano
N° Index	601-037-00-0
N° CAS	110-54-3
N° CE	203-777-6
Fórmula molecular	C6H14
Número de registro REACH	01-2119480412-44

- **Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados**

Uso recomendado	Productos químicos de laboratorio
Sector de uso	SU3 – Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en preparados en emplazamientos industriales
Categoría del producto	PC21 – Productos químicos de laboratorio
Categorías de procesos	PROC15 – Uso como reactivo de laboratorio
Categoría de emisión al medio ambiente	ERC6a: Uso industrial que da lugar a la fabricación de otra sustancia (uso de sustancias intermedias)

- **Elementos de la etiqueta**



Indicaciones de peligro

H225 - Líquido y vapores muy inflamables
H304 - Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias
H315 - Provoca irritación cutánea
H336 - Puede provocar somnolencia o vértigo
H361f - Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad
H411 - Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos
H372 - Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas

Consejos de prudencia

P210 - Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar
P280 - Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección
P301 + P310 - EN CASO DE INGESTIÓN: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE TOXICOLOGÍA o a un médico
P331 - NO provocar el vómito
P303 + P361 + P353 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar

inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua o ducharse P304 + P340 - EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la persona al aire libre y mantenerla en una posición que le facilite la respiración

- **Descripción de los primeros auxilios**

Consejo general	Si persisten los síntomas, llamar a un médico
Contacto con los ojos	Enjuagar inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Consultar a un médico
Contacto con la piel	Lavar inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos. Si persiste la irritación cutánea, llamar a un médico
Indigestión	Limpiar la boca con agua y beber a continuación abundante agua. NO provocar el vómito. Llamar inmediatamente a un médico o a un centro de información toxicológica. Si se produce el vómito de forma natural, mantener a la víctima inclinada hacia adelante.
Inhalación	Transportar a la víctima al exterior. Si no respira, realizar técnicas de respiración artificial. Consultar a un médico si se producen síntomas. Riesgo de lesiones pulmonares graves (por aspiración).
Equipo de protección para el personal de primeros auxilios	Asegurarse de que el personal médico sea consciente de los materiales implicados, tomando precauciones para protegerse a sí mismos y para evitar extender la contaminación.

- **Controles de la exposición**

Medidas técnicas

Asegurar una ventilación adecuada, especialmente en áreas confinadas. Asegurarse de que haya estaciones de lavado de ojos y duchas de seguridad cerca de la ubicación de la estación de trabajo. Utilizar un material eléctrico/de ventilación/iluminación/ antideflagrante. Siempre que sea posible, deberán adoptarse medidas técnicas de control tales como el aislamiento o confinamiento del proceso, la introducción de cambios en el proceso o los equipos para reducir al mínimo la liberación o el contacto, y el uso de sistemas de ventilación adecuadamente diseñados, dirigidas a controlar los materiales peligrosos en su fuente.

Anexo 3. Proceso de preparación de la muestra y de extracción



Ilustración 3. *Fruto de Pejibaye (Bactris Gasipaes)*



Ilustración 4. *Lavado y selección del fruto*



Ilustración 5. *Cocción del pejibaye*



Ilustración 6. *Pelado y eliminación de semilla*



Ilustración 7. *Reducción de tamaño del fruto*

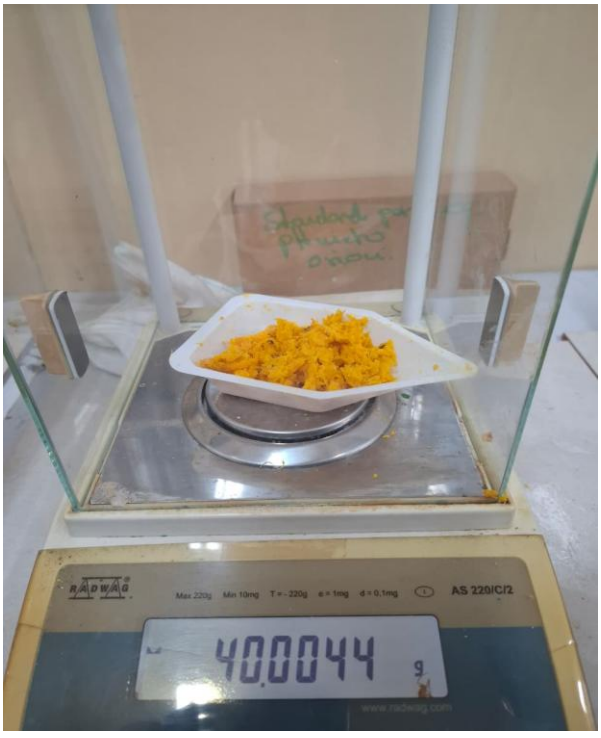


Ilustración 8. *Pesado de la muestra de pejibaye cocido*

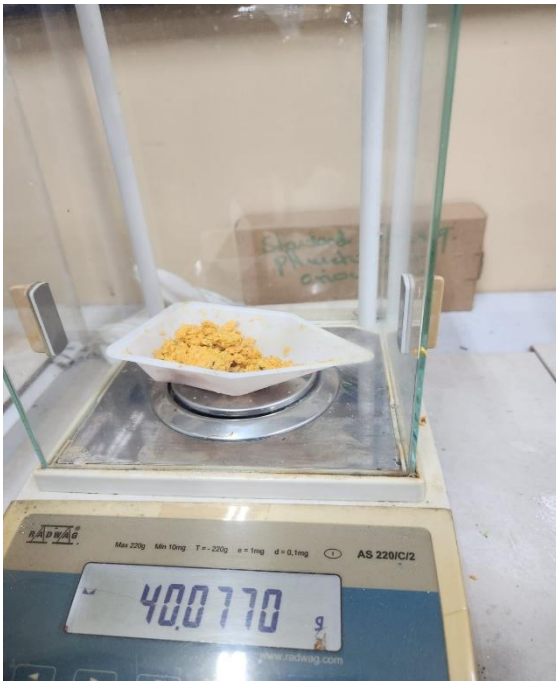


Ilustración 9. *Pesado de la muestra de pejibaye crudo*



Ilustración 10. *Extracción por el método de maceración del pejibaye cocido (izquierda) y pejibaye crudo (derecha) con Hexano como solvente*

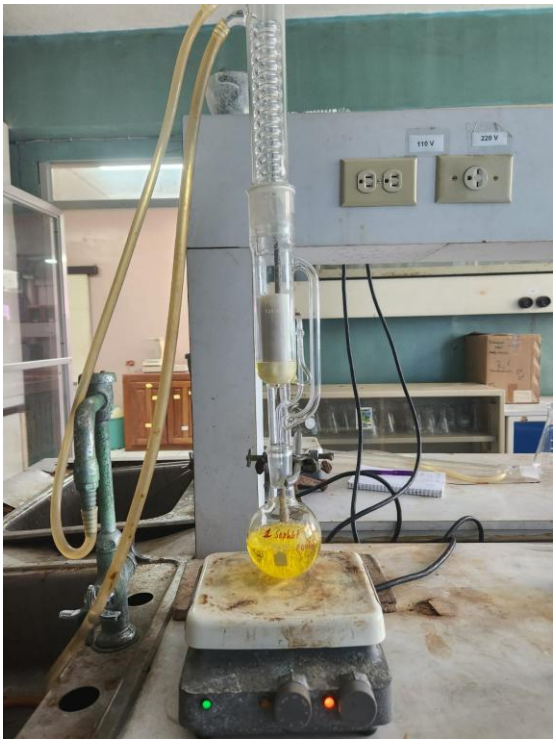


Ilustración 11. *Extracción por el método de Soxhlet*

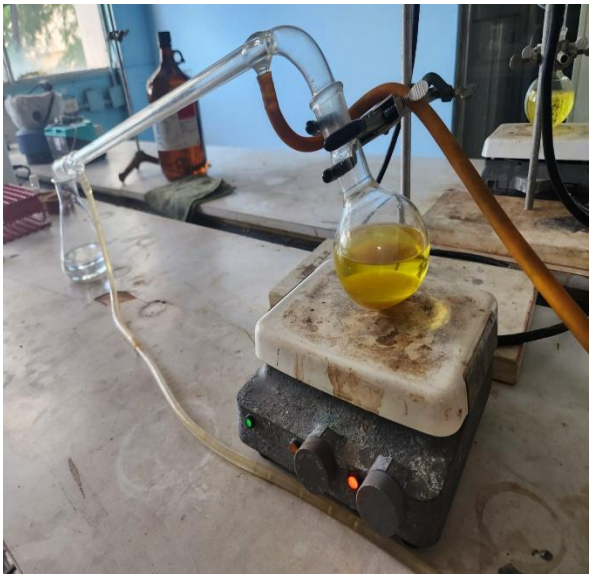


Ilustración 12. *Destilación por arrastre de vapor*



Ilustración 13. *Pesado del balón vacío*

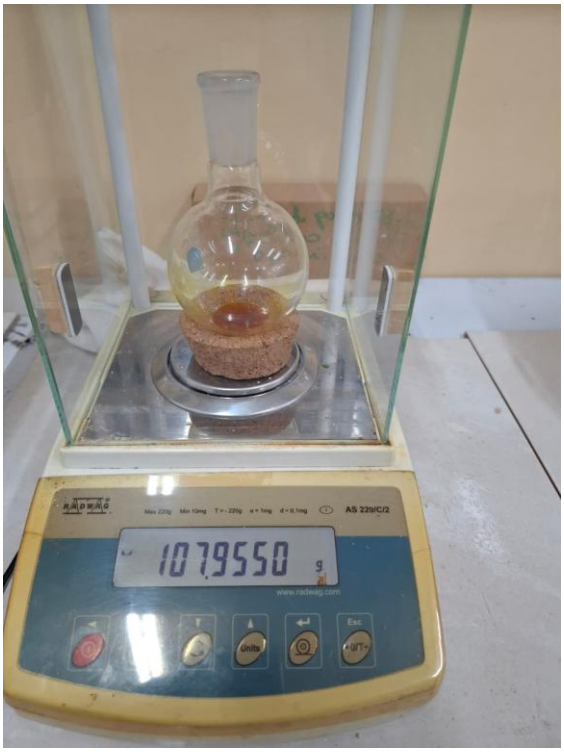


Ilustración 14. *Pesado del balón con el extracto obtenido*

Anexo 4. Proceso de cuantificación del extracto obtenido



Ilustración 15. *Dilución de muestras*



Ilustración 16 y 17. *Lectura en el espectrofotómetro*

Anexo 5. Preparación de las cajetas y aplicación del extracto



Ilustración 18. *Lavado de cascara de naranja*



Ilustración 19. *Cocción y adición de betacaroteno a cajeta de naranja*



Ilustración 20. *Cajeta de naranja*



Ilustración 21. *Pesado de la papaya*



Ilustración 22. *Cocción de la papaya*



Ilustración 23. *Cajeta de piñonate*



Ilustración 24. *Reducción de tamaño del coco*



Ilustración 25. *Cocción del coco*



Ilustración 26. *Cajeta de coco*

Anexo 6. Memoria de cálculo

- Cálculo del factor de dilución (F)
  Representa cuantas veces se redujo la concentración original.
  Aplicando como ejemplo la muestra M1MCo

$$F = \frac{V_{final}}{V_{alícuota}} \qquad \textbf{(Ecuación 5)}$$

$$F = \frac{25\ ml}{1.2\ ml} = 20.833$$

Al realizarse diluciones continuas

$$F = \frac{V_{f1}}{V_{a1}} x \frac{V_{f2}}{V_{a2}} \qquad \textbf{(Ecuación 6)}$$

$$F = \frac{25\ ml}{1.2\ ml} x \frac{50\ ml}{2.5\ ml}$$

$$F = 20.833 * 20 = 416.67$$

- Cálculo de la concentración del extracto obtenido
  Usando la Ley de Beer-Lambert con el coeficiente de absortividad específico.

$$Carotenoides\ (\mu g lg) = \frac{A\ x\ Fx\ V\ x\ 10^4}{A\frac{1\%}{1\ cm}x\ P} \qquad \textbf{(Ecuación 7)}$$

$$Carotenoides\ (\mu g lg) = \frac{0.306 * 416.67 * 0.05\ L * 10^4}{2592 * 40.04\ g}$$

$$Carotenoides = \frac{6{,}375{,}051}{103{,}783.68} = 614.26\ \mu g/g$$

- Conversión a mg/100 g

$$mg/100\ g = \frac{614.26\ \mu g/lg}{10} = 61.43\ mg/100\ g$$