

RESUMEN

El presente trabajo de investigación aplicada tiene como objetivo la obtención experimental de harina a partir de la hoja de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en la región de Tarija, Bolivia. El proceso experimental incluye las etapas de selección, desespinado, lavado, cortado, secado, molienda, tamizado y envasado al vacío. La materia prima, proveniente de la comunidad de Calamuchita, presenta una humedad inicial del 93,53%, así como una composición fisicoquímica caracterizada por un contenido de proteínas del 0,62%, fibra del 0,22%, cenizas del 0,92%, grasa e hidratos de carbono, lo que evidencia su potencial como materia prima para la obtención de productos con valor agregado.

Para la optimización de la etapa de secado por convección forzada, se emplea un secador de marca Binder (Modelo FD53) y se aplica un diseño factorial 2^3 con puntos centrales. Se evalúan las variables de temperatura, tiempo y ancho de corte, lo cual permite determinar que las condiciones óptimas de operación son 65°C de temperatura, un tiempo de 8 horas y un ancho de corte de 0,3 cm. Bajo estos parámetros, se logra reducir la humedad hasta un 6,10%, lo que permite la obtención de un modelo matemático con un coeficiente de determinación R^2 de 0,915, lo que asegurándose así una confiabilidad del 95% en la cinética de secado.

Tras la molienda por impacto, la harina se somete a un tamizado mecánico vibratorio utilizando mallas con aperturas de 0,063 mm a 1 mm, donde se selecciona la malla de 0,063 mm (Tamiz N.º 230 ASTM) para obtener una granulometría homogénea. El análisis fisicoquímico revela una composición de 5,97% de proteína, 4,00% de fibra y un significativo 19,40% de cenizas, mientras que el análisis microbiológico confirma la ausencia de *Salmonella*, garantizando un producto inocuo.

El balance de materia indica un rendimiento de 38,66 g de harina por cada 968,04 g de materia prima, e identifica al secado como la etapa de mayor consumo energético en el balance de energía. La evaluación sensorial se realiza mediante el método hedónico el cual emplea una escala estructurada para determinar el grado de aceptación favorable

en textura (3,49/5) y color (3,38/5). Finalmente, el análisis económico establece un precio de venta proyectado de Bs. 62,10 por cada 100 g, lo cual demuestra la viabilidad técnica y el potencial agroindustrial del proyecto en el departamento de Tarija.

En conjunto, esta investigación permite establecer de manera clara un proceso reproducible para elaborar harina de penca de tuna, lo que demuestra que es técnicamente viable, segura e inocua. Además, se comprueba que este recurso se transforma en un producto de valor agregado, lo que abre oportunidades para su aprovechamiento en comunidades de la región, fomentando la diversificación económica y el uso sostenible de una planta abundante y adaptada al entorno local.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

La *Opuntia ficus-indica*, conocida comúnmente como nopal o tuna, es una planta de la familia de las cactáceas que destaca por su capacidad de adaptación a ambientes áridos y semiáridos. Se cultiva ampliamente en regiones como América Latina, el norte de África y el Mediterráneo, debido a su importancia económica, ecológica y nutricional. (Martins, Ribeiro, & Almeida, 2023)

Las pencas de esta planta, que representan una biomasa significativa, se emplean tradicionalmente empleadas como forraje, alimento humano y fuente de compuestos bioactivos. En los últimos años, el interés por su transformación en productos de valor agregado, como harina, crece significativamente debido a sus propiedades funcionales y su perfil nutricional. (Sepulveda & Saenz, 2007)

La harina es un producto proveniente principalmente de la tritución del trigo, siendo la única para la cual se acepta comúnmente la denominación de harina. Sin embargo, nada impide obtener un producto semejante a partir de otra materia prima no tradicional como es la Penca de tuna. Esta materia prima aporta varios compuestos nutricionales tales como: fibra alimentaria soluble e insoluble; y minerales como es el caso de calcio, potasio, y sodio, los cuales resultan beneficiosos para el consumidor.

La obtención de harina de penca de tuna implica procesos de deshidratación y molienda, lo que permite conservar los nutrientes y extender su vida útil. Estudios reportan que esta harina es rica en fibra dietética, minerales como calcio y magnesio, y compuestos antioxidantes, lo que la hace ideal para aplicaciones en la industria alimentaria y farmacéutica. En México, por ejemplo, se desarrollan productos como pan, tortillas y galletas con harina de nopal, buscando mejorar el perfil nutricional de estos alimentos y fomentar el control de enfermedades metabólicas como la obesidad y la diabetes. (Guerreo & Ochoa, 2016)

La penca de Tuna es originaria de América tropical y subtropical, hoy en día se encuentra en forma silvestre o cultivada, distribuida en todo el continente americano y cubriendo una gran variedad de condiciones agroclimáticas. Además, se difunde a

África, Asia, Europa y Oceanía, donde también se cultiva o se encuentra en forma silvestre.

La producción de harina de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*) a nivel mundial es una actividad emergente que gana atención debido a los múltiples beneficios de la planta. En diversas regiones áridas y semiáridas, donde la tuna es una especie clave para la agricultura sostenible, se promueve su transformación en harina como una forma de aprovechar integralmente las pencas. Este subproducto, rico en fibra, antioxidantes y compuestos bioactivos, tiene aplicaciones en la industria alimentaria, la salud y como suplemento para el ganado. Aunque su producción aún es limitada en comparación con otros derivados de la tuna, los avances tecnológicos y la creciente demanda de productos funcionales impulsan su desarrollo en países como México, Italia y Sudáfrica, entre otros. La harina de penca representa una oportunidad para diversificar los usos de la tuna y promover prácticas agrícolas más sostenibles.

En Bolivia, la producción de harina de tuna aún es limitada, pero crece gracias al interés en aprovechar las pencas de tuna (*Opuntia ficus-indica*) como fuente de alimento y forraje, además de sus propiedades industriales. Aunque la tuna se cultiva principalmente para consumo como fruta y forraje para ganado, existen iniciativas para procesar las pencas en productos derivados como harina.

En Chuquisaca, uno de los principales departamentos productores de tuna, se cultivan alrededor de 300 hectáreas, las cuales generan 2.000 toneladas mensuales de fruta. Las pencas también se utilizan en proyectos de adaptación al cambio climático y recuperación de suelos degradados. En este contexto, se promueven nuevas técnicas como el cultivo in vitro para mejorar la calidad y la disponibilidad de las plantas de tuna forrajera, que tienen usos potenciales en la producción de harina para alimentos y otros fines. (López, 2024)

En Tarija, la producción de tuna (*Opuntia ficus-indica*) se orienta principalmente hacia el consumo humano y usos agrícolas innovadores. Aunque la región no destaca como uno de los mayores productores nacionales, la tuna gana popularidad debido a su adaptabilidad a condiciones climáticas adversas y su potencial en diversos sectores.

En Tarija, Bolivia, aunque el cultivo de tuna crece significativamente como una alternativa económica y sostenible, especialmente para el forraje en regiones áridas como el Chaco, no se registran esfuerzos documentados específicos para la producción de harina de tuna en esta área. La tuna se utiliza principalmente como fruta fresca y forraje para el ganado, aprovechando su resistencia al estrés hídrico y su capacidad para proporcionar agua y energía al ganado en épocas secas. (Farfan, 2021)

En este contexto, el presente proyecto pretende llenar este vacío, enfocándose en la producción de harina de tuna como un producto innovador en Tarija. El objetivo es no solo aprovechar integralmente la planta, reduciendo desperdicios, sino también diversificar las alternativas económicas para los productores locales, promoviendo el uso de un recurso sostenible que contribuye al desarrollo socioeconómico de la región. Además, este enfoque permitirá generar conocimientos que fortalecen la investigación y la implementación de tecnologías en la transformación de pencas en productos de alto valor comercial.

Objetivos

Objetivo general

- Obtener experimentalmente harina a partir de la hoja de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*)

Objetivos específicos

- Caracterizar, la hoja de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*), mediante análisis fisicoquímicos.
- Diseñar y ejecutar la fase experimental del proceso de elaboración de harina de la hoja de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).
- Realizar el balance de materia y de energía de la fase experimental para la obtención de harina de la hoja de penca de tuna (*Opuntia ficus-indica*).
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de la harina de la hoja de penca de tuna.
- Determinar el rendimiento de la harina obtenida.
- Realizar el análisis sensorial organoléptico de la harina obtenida.
- Realizar un análisis de costos identificando y evaluando cada uno de los componentes de costos involucrados en el proceso para la obtención de harina a partir de la hoja de penca de tuna (*Opuntia Ficus-Indica*).

Justificación

Justificación económica

El producto obtenido a partir de la harina de tuna es accesible para una amplia gama de consumidores, ya que la tuna crece abundantemente en regiones tropicales y semiáridas, como Tarija, donde alcanza su máxima producción durante ciertos períodos del año. La abundancia del recurso y la baja inversión requerida para su cultivo en esta región hacen que la producción de harina de tuna sea económicamente viable. Esto permite ofrecer un producto accesible a las comunidades locales, generando ingresos y promoviendo el desarrollo económico en Tarija, donde la demanda de productos innovadores y sostenibles se encuentra en crecimiento.

Justificación social

La producción de harina de tuna representa una oportunidad significativa para mejorar las condiciones sociales de las comunidades locales. Al aprovechar un recurso natural abundante, como la tuna, el proyecto contribuye a la diversificación de ingresos para los agricultores y pequeñas empresas de la región, especialmente en áreas rurales donde el acceso a fuentes alternativas de ingresos es limitado. Además, el desarrollo de un producto innovador como la harina de tuna genera empleo local, tanto en la producción como en el procesamiento, lo que promueve el bienestar social y mejorando la calidad de vida de los habitantes. Esta iniciativa también fortalece la identidad regional al poner en valor un recurso autóctono y fomenta prácticas agrícolas sostenibles que benefician tanto a las personas como al medio ambiente.

Justificación tecnológica

Las tecnologías aplicadas son de carácter innovador y optimizan los procesos de secado, molienda y conservación de la penca de tuna. Estas tecnologías no solo mejoran la eficiencia y calidad del producto, sino que también reducen el desperdicio de materia prima. Asimismo, promueven la transferencia de conocimientos tecnológicos a los productores locales, lo cual mejora su capacidad para generar productos de valor agregado y contribuye a la sostenibilidad agrícola de la región.

Justificación ambiental

La producción de harina de la hoja de tuna genera un impacto ambiental positivo, ya que la tuna es una planta resistente a condiciones climáticas adversas y posee un bajo requerimiento hídrico. Esto la convierte en una opción sostenible para las regiones áridas y semiáridas de la región, donde otros cultivos no resultan viables. Además, el aprovechamiento integral de la planta, incluyendo las pencas, reduce el desperdicio y fomenta el uso eficiente de los recursos naturales. Al promover prácticas agrícolas sostenibles, este proyecto contribuye a la conservación del medio ambiente local, disminuye la presión sobre los ecosistemas y apoya la adaptación al cambio climático al diversificar las fuentes de ingresos en áreas vulnerables.