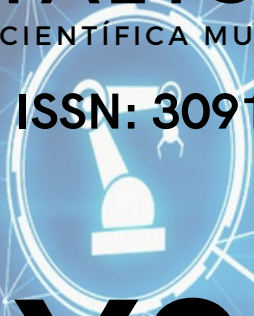




VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

ISSN: 3091-180X



VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

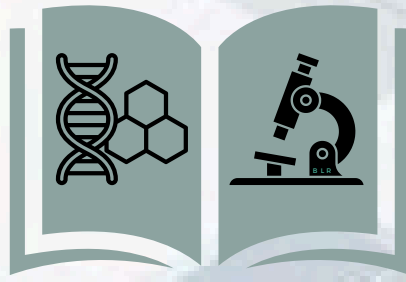
Volumen 1 N°1
Edición bianual
Marzo - agosto 2023

DOI: <https://doi.org/10.56519/btxagg95>



MISAEAL ACOSTA
INSTITUTO UNIVERSITARIO





VITALYSCIENCE
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

**Publicación
Marzo 2023**

VitalyScience es una revista de acceso libre que se dedica a la publicación de artículos originales y de revisión, abarcando una amplia gama de temas relacionados con diversos campos del conocimiento. Entre las áreas que aborda se incluyen:

✓ Salud y bienestar, Ciencias sociales periodismo y derecho, Servicios, Educación, Ingeniería industria y producción, Tecnologías de la información y comunicación. La revista asegura la calidad científica de los trabajos recibidos mediante una revisión editorial inicial seguida de una evaluación por pares. Los artículos se presentan en formato a color para captar mejor el interés del público objetivo.

VitalyScience es una revista de carácter multidisciplinario que se publica dos veces al año, con ediciones de marzo a agosto y de septiembre a febrero, incluyendo ediciones especiales. Su misión es divulgar el conocimiento en diversas disciplinas a través de la publicación de investigaciones originales y revisiones inéditas llevadas a cabo por investigadores tanto nacionales como internacionales.

VitalyScience está dirigida a la comunidad científica, incluyendo investigadores nacionales e internacionales, estudiantes, profesores, tutores y, en general, a todos aquellos interesados en la búsqueda y difusión de la ciencia y el conocimiento. Extiende sus contribuciones teóricas, empíricas, reflexivas y de divulgación a universidades e instituciones de educación superior en Ecuador y en el extranjero, así como a lectores no académicos, incluyendo organismos y entidades de los sectores público y privado.

EDITOR EN JEFE

PhD. Luis Fernando Arboleda Alvarez
VitalyScience Revista Científica Multidisciplinaria
Marzo - agosto | septiembre - febrero
Ediciones especiales
Entidad Editora: Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís (ISTMAS)
Código Postal 060103
☎ Contacto: +593 983 204 362
✉ Correo electrónico: publicaciones@vitalyscience.com

EDITOR EN JEFE

PhD. Luis Fernando Arboleda Alvarez, Ecuador.

RESPONSABLE DE SOPORTE

Lic. Victor Verdezoto

CONSEJO ASESOR

PhD. Hernán Patricio Ruiz Mármol, Universidad Estatal Amazónica, Ecuador.

PhD. María Belén Bravo Avalos, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

Dr. Edwin Fabricio Mullo Guapi, Instituto Superior Tecnológico

Dr. Misael Acosta Solís, Ecuador.

COMITÉ EDITORIAL

PhD. Irene Rendón, Universidad de la Habana.

Mgtr. Ruth Magdalena Salguero Rosero, Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís, Ecuador.

PhD. Víctor Fernando Jesús Burgos Zavaleta, Universidad Nacional de San Marcos (Perú).

COMITÉ CIENTÍFICO

PhD. Lourdes Souto Andino, Universidad de la Habana (Cuba)

Mgtr. Nancy Maritza Montoya Ramírez, Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís, Ecuador.

ENTIDAD EDITORA

El Instituto Superior Tecnológico Dr. Misael Acosta Solís (ISTMAS)

Dirección: Loja 31-15 y Buenos Aires, Riobamba

Código Postal: 060103

Teléfono Fijo: 03-2961680

Teléfono Móvil: +593 988183081

Email: u.comunicacion@istmas.edu.ec

Página Web: www.istmas.edu.ec

Índice

8-19

INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LA SALMUERA EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y CALIDAD DE LAS ACEITUNAS

20-32

EXTRACCIÓN DE LAS BETALAÍNAS DE LA REMOLACHA ECUATORIANA MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS DE ESPECTROSCOPIA PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

33-43

GLUTAMATO MONOSÓDICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA: EN ALIMENTOS PROCESADOS

44-53

IMPACTO DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CALIDAD Y VIDA DE ÚTIL DE FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS

Índice

54-66

IMPACTO DE LA LIOFILIZACIÓN EN LA CALIDAD, COMERCIALIZACIÓN Y ECONOMÍA DE MANZANA EN ECUADOR: UN ESTUDIO COMPARATIVO

67-78

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES FRACCIONES DEL MANGO Y PIÑA

INFLUENCIA DE LOS COMPONENTES DE LA SALMUERA EN LAS PROPIEDADES NUTRICIONALES Y CALIDAD DE LAS ACEITUNAS

INFLUENCE OF BRINE COMPONENTS AND NUTRITIONAL ON THE QUALITY PROPERTIES OF OLIVES

Irene Flores¹

Universidad Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

irene.flores@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-7211-7986>

Fecha de recepción: 02-02-2023

Fecha de aceptación: 20-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

El presente estudio presenta una revisión bibliográfica, de la aceituna de mesa ya que ha mostrado una importante expansión en los últimos años, a nivel nacional e internacional, por lo que para su importación y exportación es clave conocer estos parámetros. El objetivo principal es determinar cómo los diferentes componentes de la salmuera, como la concentración de sal, el pH y la presencia de otros aditivos, afectan la calidad y las propiedades nutricionales. La metodología de investigación empleada en este estudio es de naturaleza cualitativa y documental. Los resultados indican que la calidad nutricional de las aceitunas de mesa está estrechamente relacionada con la salmuera utilizada en su procesamiento. La salmuera incluye la presencia de NaCl en este caso el mejor resultado de textura se obtuvo con una concentración al 10 % y el 0.1 de ácido acético. Además, actúa como agente conservante y, durante la fermentación ácido-láctica, contribuyendo al sabor, textura y vida útil de las aceitunas. Esta concentración se puede determinar mediante varios métodos, como la fotometría de llama y el uso de electrodos selectivos de iones cloruro o sodio. En conclusión, la composición de la salmuera influye significativamente en el perfil nutricional de las aceitunas, reduciendo la grasa y la vitamina C mientras aumenta la proteína y la fibra. Estos ajustes en la salmuera permiten modificar el equilibrio de nutrientes para alcanzar las propiedades nutricionales deseadas en el producto final.

PALABRAS CLAVE

Aceitunas, salmuera, componentes, calidad, fermentación, textura

ABSTRACT

This study presents a bibliographic review of table olives, since they have shown significant expansion in recent years, both nationally and internationally, so that for their import and export it is key to know these parameters. The main objective is to determine how the different components of the brine, such as salt concentration, pH and the presence of other additives, affect the quality and nutritional properties. The research methodology used in this study is qualitative and documentary in nature. The results indicate that the nutritional quality of table olives is closely related to the brine used in their processing. The brine includes the presence of NaCl in this case the best texture result was obtained with a concentration of 10% and 0.1% of acetic acid. In addition, it acts as a preservative agent and, during lactic acid fermentation, contributes to the flavor, texture and shelf life of the olives. This concentration can be determined by several methods, such as flame photometry and the use of chloride or sodium ion selective electrodes. In conclusion, The composition of the brine significantly influences the nutritional profile of olives, reducing fat and vitamin C while increasing protein and fiber. These adjustments to the brine allow the nutrient balance to be modified to achieve the desired nutritional properties in the final product.

KEYWORDS

Olives, brine, components, quality, fermentation, texture

INTRODUCCIÓN

La producción mundial de aceitunas de mesa se encuentra en torno a 1.000.000 Tm. Donde abarcan en su mayor parte a aceitunas verdes al estilo español o sevillano, y por otra parte tipo negras naturales y aceitunas de color. La industria olivarera tiene una gran importancia tanto en el sector alimentario como en el ámbito económico de varios países entre ellos España, siendo este el principal exportador mundial de aceite de oliva.

La conservación de aceitunas mediante la fermentación ácido-láctica se practicaba desde tiempos ancestrales en Egipto. La finalidad de conservar las aceitunas en salmuera es mantener los frutos en las mejores condiciones, no la consecución de una verdadera fermentación. Durante este proceso, se produce el desarrollo de una flora microbiana compleja, cuya evolución es crucial para la adecuada conservación o la aparición de alteraciones en los procesos físico -químicos o microbiológicos en las aceitunas.

La aceituna es un alimento de notable valor nutricional, ofreciendo una proporción óptima de todos los aminoácidos esenciales, aunque su contenido proteico es relativamente bajo. Sin embargo, su elevado contenido de fibra contribuye a una digestión eficiente. Principalmente compuestas de agua, las aceitunas proporcionan los siguientes nutrientes por cada 100 gramos: 1 gramo de hidratos de carbono, 0.8 gramos de proteínas, 150 calorías, y 2.6 gramos de fibra. La densidad de fibra es de 1.73 gramos por cada 100 calorías, permitiendo que, conforme al reglamento de etiquetado

Nº1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo del 20 de diciembre de 2006, se clasifican como una fuente de fibra (1).

Las aceitunas de mesa son útiles para alcanzar las Cantidades Diarias Recomendadas (CDR) de fibra, establecidas en 30 gramos. Además, contienen un 20% de grasa, predominantemente ácido oleico con un 82%, seguido de ácido palmítico (13%), ácido linoleico (Omega-6) (5%), ácido esteárico (3%), ácido linolénico (Omega-3) (1%), y ácido palmitoleico (1%), con variaciones dependiendo del estado de madurez de la aceituna (1).

La composición de la salmuera, que incluye concentraciones específicas de sal, ácido acético 0.1 %, y a veces hierbas y especias, juega un papel crucial en el desarrollo de las propiedades nutricionales y la calidad sensorial de las aceitunas. Estos componentes no solo actúan como agentes conservantes, sino que también afectan la textura, el sabor y el perfil nutricional del producto final. La interacción entre estos elementos y los componentes naturales de las aceitunas durante el proceso de curado determina en gran medida su perfil químico y la respuesta sensorial al consumo humano (2).

Las aceitunas deben estar sometidas a un lavado que en su mayoría disminuye el pH generando en todos los casos la bacteria Gram negativa, lo que en cierta cantidad pasa al proceso dentro de la salmuera debido a que esta adherido a la aceituna a este proceso no se le relaciona con alguna reacción directa con el producto en abundancia por lo que este estudio se centra en la conservación en salmuera en donde si podría tener efectos de acuerdo a la cantidades que se traten debido a que las concentraciones de salmuera oscilan entre 5 y el 8% en NaCl pero va de variando de acuerdo al tipo de aceituna (3).

Antes de iniciar el proceso de fermentación, es esencial preparar una salmuera con una densidad de entre 8 y 10 ° Baume utilizando cloruro de sodio, la cual debe ser acidificada con una solución al 0.1% de ácido acético o ácido láctico. Además, es crucial mantener la temperatura ambiente durante la fermentación en un rango de 25 a 28°C, ya que esto favorece el crecimiento de bacterias lácticas beneficiosas y minimiza la proliferación de microorganismos no deseados (3).

Inmediatamente que las aceitunas se colocan en salmuera, comienza el proceso fermentativo. Sin embargo, el mismo es bastante lento dada la dificultad con que los diferentes substratos alcanzan la salmuera, debido a que en estos frutos la piel y la pulpa permanecen intactas y ofrecen una resistencia elevada a la difusión de dichos compuestos. El abundante desprendimiento de gases inicial no sólo se debe al crecimiento de bacilos Gramnegativos sino también al anhídrido carbónico procedente de la respiración de los frutos, de forma similar a como ocurre en las aceitunas negras naturales en salmuera (4).

Es fundamental tener en cuenta que la concentración de sal en la solución se reduce a la mitad del valor inicial debido a que las aceitunas, al ser lavadas, absorben una cantidad significativa de agua. Esta absorción diluye la salmuera original y disminuye su concentración. Esta reducción ocurre principalmente durante los primeros seis días de fermentación y, si no se ajusta, puede permitir el crecimiento de microorganismos no deseados que pudieran alterar el proceso. Para corregir esta disminución, se deben añadir soluciones de cloruro de sodio a los depósitos hasta alcanzar una concentración de equilibrio del 7-8% (2).

El análisis de cloruro sódico en salmueras de aceitunas se realiza actualmente mediante el método de Volhard que consiste en la valoración de esta, una vez diluida convenientemente, con nitrato de plata, utilizando cromato potásico como indicador. La normalidad de la solución de aquella se fija de manera que los volúmenes gastados en la reacción se correspondan con los porcentajes de NaCl (5).

El objetivo de esta revisión es determinar cómo los diferentes componentes de la salmuera, como la concentración de sal, el pH y la presencia de otros aditivos, afectan la calidad y las propiedades nutricionales de las aceitunas. Esto se logra mediante la evaluación de parámetros como la textura, el sabor, el contenido de nutrientes y la estabilidad microbiológica de las aceitunas en diferentes condiciones de salmuera y la concentración de NaCl en la misma. Los resultados de esta investigación pueden ayudar a mejorar la calidad y la seguridad alimentaria de las aceitunas ya desarrollar procesos de producción más eficientes y sostenibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

En el siguiente artículo de revisión bibliográfica, se basa en la recopilación y descripción de información que abarca: la influencia de los componentes de la salmuera en la calidad y propiedades nutricionales de las aceitunas. Dado se trata de una revisión narrativa, no se define una población o muestra de estudio específica, sino que se muestra una síntesis de forma general en función al tema expuesto. Por lo que se realizó la revisión de 40 documentos que se basan en estudios observacionales, experimentales realizados en diferentes aceitunas, donde abordan el análisis de los componentes de la salmuera desde un enfoque inductivo y deductivo. La información se obtiene de bases de datos como PubMed, Scopus y Web of Science, en donde se tomará en cuenta artículos actualizados relacionados al tema.

Se desarrolla una estrategia de búsqueda que incluye palabras clave como aceitunas, salmuera, componentes de la salmuera, calidad, propiedades nutricionales, conservación, curado, polifenoles, tocoferoles, ácidos grasos, antioxidantes, fermentación y microbiología.

Al realizar una revisión bibliográfica exhaustiva y crítica sobre la influencia de los componentes de la salmuera en la calidad y propiedades nutricionales de las aceitunas, con el fin de recopilar y sintetizar la información existente en la literatura científica, identificando algunas incoherencias y áreas que requieran mayor investigación, y proporcionando una visión general del conocimiento en este campo.

RESULTADOS

El proceso de fermentación de aceitunas es complejo y varía significativamente en comparación con las aceitunas verdes o negras naturales. En las etapas iniciales de la fermentación, la flora microbiana es diversa e incluye una mezcla de bacilos Gramnegativos y Grampositivos, mohos y otros microorganismos. Tras aproximadamente una semana, se observa la aparición de levaduras fermentativas, que persisten durante todo el período de salmuera. Estas levaduras juegan un papel crucial en la formación de una leve acidez en las aceitunas.

Cuando la concentración de sal en la salmuera no supera el 5%, se inicia el desarrollo de bacterias lácticas alrededor del cuarto o quinto día de inmersión. La Tabla 1 muestra las especies de levaduras aisladas en la superficie de las aceitunas después del proceso de lavado con hidróxido de sodio.

Tabla 1. Especies de levaduras aisladas en la superficie de aceitunas

<i>Candida boidinii</i>
<i>Diddensiae</i>
<i>Krusei</i>
<i>Cryptococcus melibiosum</i>
<i>Rhodotorula glutinis</i>
<i>Minuta</i>
<i>Debaryomyces hansenii</i>
<i>Hansebula anómala</i>
<i>Metschnikowia pulcherrima</i>
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

La Tabla 1 muestra las especies de levaduras que fueron aisladas de la superficie de las aceitunas tras el lavado con hidróxido de sodio. Entre las levaduras identificadas se encuentran *Candida boidinii*, *Diddensiae*, *Krusei*, *Cryptococcus melibiosum*, *Rhodotorula glutinis*, *Minuta*, *Debaryomyces hansenii*, *Hansebula anómala*, *Metschnikowia pulcherrima*, y *Saccharomyces cerevisiae*(6).

La presencia de estas levaduras indica una fermentación activa y variada. Específicamente, especies como *Saccharomyces cerevisiae* y *Debaryomyces hansenii* son conocidas por su capacidad para fermentar azúcares y contribuir al desarrollo de sabores y aromas característicos en las aceitunas. Por otro lado, levaduras como *Cryptococcus melibiosum* y *Rhodotorula glutinis* pueden influir en la textura y en el perfil ácido del producto final (6).

Las concentraciones de sal en la salmuera juegan un papel crucial en la selección de las especies microbianas que pueden prosperar en el ambiente de fermentación. La Tabla 2 ilustra cómo diferentes concentraciones de sal afectan la textura de las aceitunas, proporcionando una puntuación de textura basada en una escala de 1 a 10.

Tabla 2. Influencia de la concentración de sal en la textura de las aceitunas

Concentración de Salmuera (%)	Textura (puntuación de 1 a 10)
5	7.2
7.5	8.5
10	9.3
12.5	8.8
15	7.6

El análisis de la tabla revela que las aceitunas en salmuera con una concentración de 10% de sal presentan la mejor textura, con una puntuación de 9.3. Esto indica que una mayor concentración de sal mejora la firmeza y la consistencia de las aceitunas, lo cual

es deseable para la calidad del producto final. Sin embargo, concentraciones de sal muy altas, como el 15%, resultan en una textura menos ideal (7).

Cabe mencionar que, una mayor concentración de sal en la salmuera favorece la formación de una textura más firme en las aceitunas, aunque debe encontrarse un balance adecuado para evitar efectos adversos en el sabor y la textura. La textura óptima se alcanza en concentraciones moderadas de sal, como el 10%, lo cual coincide con una puntuación de textura más alta en la tabla. Estos resultados proporcionan una comprensión detallada de cómo los componentes de la salmuera y las condiciones de fermentación influyen en la calidad final de las aceitunas (8).

La Tabla 3 ofrece una visión sobre cómo diferentes componentes de la salmuera afectan el color, la textura y el contenido de antioxidantes en las aceitunas. Cada componente tiene un impacto distintivo en las características finales de las aceitunas, como se detalla a continuación:

Tabla 3. Influencia de los componentes de la salmuera en las aceitunas

Componente de la Salmuera	Color de las Aceitunas (Índice de Color)	Textura de las Aceitunas (Puntuación)	Contenido de Antioxidantes (mg/kg)
Sal común (NaCl)	5.2	8.5	120
Ácido Cítrico	4.8	9.2	150
Ajo en la Salmuera	6.0	7.8	110
Aceite de Oliva en la Salmuera	5.5	8.0	180

El uso de sal común en la salmuera resulta en un índice de color de 5.2, indicando un color relativamente tenue en las aceitunas. La textura es bastante buena, con una puntuación de 8.5, y el contenido de antioxidantes es moderado, con 120 mg/kg. La sal común, al ser el componente básico de muchas salmueras, proporciona una buena base para la textura, pero no influye tanto en el contenido antioxidante.

La adición de ácido cítrico mejora el índice de color a 4.8, sugiriendo un color más brillante en comparación con la sal común. Además, se observa una mejor textura, con una puntuación de 9.2, lo que sugiere que el ácido cítrico contribuye a una mejor firmeza de las aceitunas. El contenido de antioxidantes es el más alto entre los componentes evaluados, con 150 mg/kg, lo cual puede estar relacionado con la capacidad del ácido cítrico para conservar los antioxidantes durante la fermentación (9).

La inclusión de ajo en la salmuera da lugar a un índice de color de 6.0, lo que indica un color más intenso en las aceitunas. Sin embargo, la textura es la más baja, con una puntuación de 7.8. El contenido de antioxidantes también es el más bajo, con 110 mg/kg, lo cual puede deberse a que el ajo no tiene un efecto significativo sobre la conservación de antioxidantes en comparación con otros componentes (3).

El aceite de oliva en la salmuera presenta un índice de color de 5.5, ligeramente mejor que la sal común, y una textura de 8.0, que es buena pero no tan firme como con el ácido cítrico. El contenido de antioxidantes es el más alto, con 180 mg/kg, lo cual puede ser atribuible a las propiedades antioxidantes inherentes del aceite de oliva. Esto sugiere

que el aceite de oliva no solo mejora la calidad sensorial, sino que también contribuye significativamente a la conservación de antioxidantes (9).

La Tabla 4 presenta una visión comprensiva del impacto de la concentración de sal en la composición nutricional de las aceitunas. La relación entre la concentración de sal y los nutrientes clave —grasa, proteína, fibra y vitamina C— proporciona información valiosa sobre cómo las variaciones en la salmuera afectan la calidad nutricional del producto final.

Tabla 4. Contenido nutricional de las aceitunas según la composición de la salmuera

Componentes de la Salmuera (%)	Grasa (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Vitamina C (mg/100g)
Baja concentración de sal	15.2	1.8	2.5	12.4
Media concentración de sal	14.5	2.2	3.0	10.8
Alta concentración de sal	13.8	2.5	3.5	9.5

La concentración de sal tiene un efecto inverso en el contenido de grasa de las aceitunas. A medida que aumenta la concentración de sal en la salmuera, el porcentaje de grasa disminuye. Las aceitunas con baja concentración de sal tienen el contenido de grasa más alto (15.2%), mientras que las aceitunas con alta concentración de sal presentan el contenido de grasa más bajo (13.8%). Esto puede ser atribuido a la capacidad de la sal para extraer y eliminar parte de las grasas durante el proceso de fermentación.

El contenido de proteína en las aceitunas aumenta con la concentración de sal. Las aceitunas con alta concentración de sal tienen el porcentaje de proteína más alto (2.5%), en comparación con las aceitunas de baja concentración de sal (1.8%). Esta tendencia puede estar relacionada con el efecto de la sal en la concentración de proteínas a medida que el contenido de agua disminuye y los nutrientes se concentran más (10).

El contenido de fibra también aumenta con la concentración de sal. Las aceitunas con alta concentración de sal muestran el contenido de fibra más alto (3.5%), mientras que las de baja concentración tienen el contenido de fibra más bajo (2.5%). Este aumento puede deberse a la reducción del contenido de agua y a la concentración de la fibra en el producto final. Por último, el contenido de vitamina C disminuye con la concentración de sal. Las aceitunas con baja concentración de sal tienen el contenido más alto de vitamina C (12.4 mg/100g), mientras que las de alta concentración tienen el contenido más bajo (9.5 mg/100g). La disminución en la vitamina C puede ser causada por la degradación de este nutriente durante el proceso de fermentación y la exposición a altos niveles de sal (10).

La concentración de sal en la salmuera tiene un impacto notable en el perfil nutricional de las aceitunas. Las aceitunas con alta concentración de sal presentan una mayor concentración de proteínas y fibra, pero un menor contenido de grasa y vitamina C. Estos cambios reflejan el efecto de la sal en la concentración de nutrientes y el equilibrio general del producto. Para optimizar el perfil nutricional de las aceitunas, es crucial ajustar la concentración de sal en función de los objetivos deseados en cuanto a contenido de grasa, proteína, fibra y vitaminas.

DISCUSIÓN

La salmuera permite conservar las aceitunas durante más tiempo de forma saludable y potencia su sabor a lo largo del proceso de fermentación y curado. La solución acuosa llega a ser un medio que permite la fermentación láctica, lo que contribuye a la transformación de las aceitunas y su conservación. La salmuera, al ser una solución de agua y sal, crea un ambiente propicio para el desarrollo de microorganismos que participan en el proceso de fermentación, lo que a su vez influye en las propiedades organolépticas y nutricionales de las aceitunas. Por lo que la salmuera no solo afecta el proceso de fermentación de las aceitunas, sino que también es un elemento determinante en la etapa de curado. Una vez fermentadas, las aceitunas son colocadas en salmuera, lo que permite que complete su proceso de curado. La salmuera, al ser una solución altamente concentrada de sal, afecta la textura, el sabor y la conservación de las aceitunas, lo que a su vez incide en su calidad final y en su valor nutricional (1).

La conservación de las aceitunas en salmuera, especialmente en salmuera acidulada, puede causar una pérdida del color verde original de las aceitunas. Se observó en un estudio que el uso de salmuera acidulada provocó un deterioro mayor del color verde en todas las variedades estudiadas. El método más común para desamargar las aceitunas verdes de mesa es la hidrólisis alcalina de polifenoles. Este método es ampliamente utilizado para hacer que las aceitunas sean más apetecibles al eliminar los componentes amargos (8).

En cuanto a los estudios existentes, se ha encontrado información relevante sobre el proceso fermentativo de las aceitunas verdes en salmuera, así como sobre la importancia de la salmuera en la conservación de alimentos. Además, se han realizado estudios sobre la influencia de la concentración de sal en la textura y el sabor de las aceitunas, así como sobre la presencia de otros componentes en la salmuera, como el ácido cítrico y el vinagre, y su impacto en las propiedades organolépticas de las aceitunas (2).

En el estudio realizado por Dúran refiere que la salmuera se diluyó conveniente hasta conseguir una concentración de NaCl del 5%. A esta salmuera se le añadió ácido acético o láctico hasta conseguir pH de 4,0 y 3,5, así como NaCl para conseguir los niveles de sal del 8%. El contenido de ácidos orgánicos y de azúcares residuales (11).

Los componentes de la salmuera, como el cloruro de sodio (sal) y la acidez láctica, influyen en la calidad y las propiedades nutricionales de las aceitunas de las siguientes maneras:

- **Sabor y textura:** La salmuera, que contiene cloruro de sodio, contribuye al sabor característico y a la firmeza de las aceitunas. El equilibrio adecuado de sal en la salmuera es crucial para lograr el sabor deseado y la textura óptima de las aceitunas.
- **Conservación:** La salmuera actúa como un agente conservante, ayudando a preservar las aceitunas y a prolongar su vida útil. Esto es importante para mantener la calidad de las aceitunas durante el almacenamiento y el envasado (12).
- El cloruro de sodio es un componente importante de la salmuera, y su presencia en la solución de salmuera puede afectar el contenido de sodio en las aceitunas. La duración del proceso de curado puede disminuir si las aceitunas se sumergen

primero en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) del 2 al 4%. La solución de sosa cáustica remueve rápidamente los compuestos fenólicos antes de que las aceitunas se sumerjan en salmuera. que implica la eliminación de compuestos fenólicos de mal sabor y la generación de metabolitos a partir de bacterias y levaduras, como ácidos orgánicos, probióticos, glicerol y ésteres (12).

En cuanto a las propiedades nutricionales, es importante tener en cuenta que las aceitunas son naturalmente ricas en grasas saludables, especialmente ácidos grasos monoinsaturados, así como en vitamina E y polifenoles con propiedades antioxidantes. El procesamiento y envasado adecuados, incluida la salmuera, son importantes para preservar estas propiedades nutricionales (13).

Métodos comunes de conservación de aceitunas verdes incluyen la preparación de aceitunas en conservación del año, que se pueden hacer en escabeche, y la conservación de las aceitunas en agua con sal y limón en un tarro de cristal en la nevera. Además, la investigación científica ha explorado el tratamiento de salmueras de fermentación de aceitunas verdes, incluyendo la regeneración de salmueras mediante adsorción con carbón activo y filtración tangencial para separar el absorbente (6). De tal forma que los pasos en los que difiere cada proceso se lo determinan en:

- **Salmuera:** Las aceitunas verdes se conservan en salmuera, que es una solución de agua y sal. Este método de conservación resalta el sabor característico de las aceitunas y les proporciona una textura firme.
- **Fermentación:** Las aceitunas verdes también pueden conservarse a través de un proceso de fermentación, en el que se sumergen en agua y se dejan fermentar naturalmente. Este proceso puede llevar varias semanas y contribuye al sabor distintivo de las aceitunas (14).
- **Encurtido en vinagre:** En este método, las aceitunas se conservan sumergiéndolas en una solución de vinagre, agua y sal. El vinagre actúa como agente conservante y proporciona un sabor ácido característico.
- **Envasado al vacío:** Las aceitunas verdes se envasan en recipientes sellados al vacío para evitar la oxidación y prolongar su vida útil.
- **Conservación en aceite:** Las aceitunas se conservan sumergiéndolas en aceite de oliva, lo que ayuda a preservar su sabor y textura, así como a protegerlas de la contaminación microbiana (14).

Otra investigación indica la presencia de sales sódicas de tipo orgánico en las salmueras afecta los resultados de los métodos instrumentales utilizados para determinar la concentración de NaCl en las salmueras de aceitunas. Esto se debe a que, durante el tratamiento inicial con una solución de NaOH, parte del sodio de los frutos queda retenido en la pulpa formando sales orgánicas, las cuales posteriormente pasan a la salmuera. Este proceso rompe el equilibrio esperado entre los iones cloruro y sodio, lo que afecta la precisión de los métodos instrumentales (15).

El procedimiento para la determinación de la concentración de NaCl en las salmueras de aceitunas involucra el uso de métodos instrumentales como la fotometría de llama y el empleo de electrodos selectivos de iones cloruro o sodio. Estos métodos se comparan con el método de valoración de nitrato de plata (Volhard) (15).

Además, se menciona que la presencia de lejía residual en las salmueras de aceitunas elaboradas al estilo español puede afectar los resultados de los métodos de determinación de NaCl, pero se puede corregir mediante un factor de corrección. Así que para el análisis de la concentración de NaCl en salmueras de aceitunas sin tratamiento alcalino previo se realiza mediante fotometría de llama y con electrodo selectivo de cloruros o sodio sin errores sistemáticos proporcionales o constantes y con la misma precisión que con el de valoración con nitrato de plata (16). En el que se realiza un análisis de correlación mediante datos experimentales de campo presentado en la Figura 1.

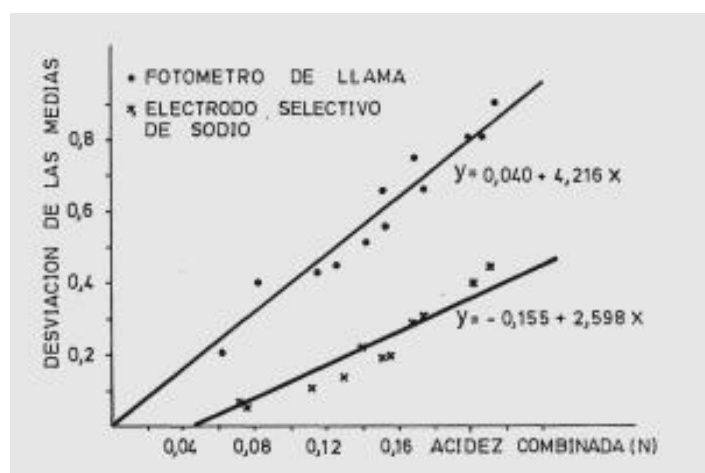


Figura 1. Desviación de las medias de la concentración de NaCl en diferentes salmueras de aceitunas
Fuente: (16)

Los resultados de dicha investigación mostraron que el empleo de estos no da lugar a errores sistemáticos, proporcionales ni constantes, pudiéndose analizar la concentración salina con la misma precisión que con el de referencia. Sin embargo, el uso de la técnica volumétrica citada tiene el inconveniente de la utilización de sales de mercurio, que precisa la recogida de los residuos de las valoraciones y la separación posterior de dicho elemento en forma metálica o como sulfuro. Ello, evidentemente, implica una complicación en el procedimiento (16).

Desde un punto de vista práctico, la magnitud de éstos no es relativamente pequeña; sin embargo, desde el de la exactitud de los análisis es necesario tenerla en cuenta. Las dos posibilidades por las que puede optarse son: la utilización en este caso del método del ion selectivo de cloruros exclusivamente o cualquiera de los otros dos, teniendo en cuenta las correcciones oportunas (18). Estos datos se refieren a las salmueras, pero es de esperar que sean igualmente extrapolables en la pulpa, con lo que las previsiones en la cantidad ingerida de sodio basadas en el porcentaje de sal pueden verse alterada sensiblemente. Es algo que debería tenerse en cuenta en las normas y a lo que, seguro, los especialistas en nutrición pronto prestarán atención. Por lo que el autor afirma de acuerdo a su análisis que la aplicación del método de electrodo selectivo de cloruros para la determinación de la proporción en NaCl de las salmueras de aceitunas, da en cualquier tipo de preparación, los mismos valores que cuando se emplea el método oficial (8).

CONCLUSIONES

- La composición de la salmuera tiene un impacto notable en el perfil nutricional de las aceitunas. Las altas concentraciones de sal resultan en menor contenido de grasa y vitamina C, mientras que aumentan la proteína y la fibra. Estos cambios reflejan cómo la salmuera puede modificar el equilibrio de nutrientes, lo cual es fundamental para ajustar las propiedades nutricionales según los objetivos deseados del producto final.
- La calidad de las aceitunas fermentadas está profundamente influenciada por los componentes de la salmuera. La concentración de sal y los aditivos como el ácido cítrico y el aceite de oliva afectan la textura, color y contenido de antioxidantes de las aceitunas. Una concentración equilibrada de sal mejora la textura y la consistencia del producto, mientras que aditivos específicos pueden optimizar el perfil antioxidante y visual. Así, la formulación de la salmuera debe ser cuidadosamente ajustada para mantener y mejorar la calidad sensorial y nutricional de las aceitunas durante el proceso de fermentación.
- Los microorganismos presentes en la salmuera, como las levaduras identificadas, juegan un papel crucial en la calidad de las aceitunas fermentadas. La interacción entre estos microorganismos y los componentes de la salmuera, como la concentración de sal y el pH, impacta directamente en la textura, el sabor y el perfil nutricional del producto. En particular, la acidez producida por ciertas levaduras puede alterar la textura y el sabor de las aceitunas, mientras que la concentración de sal influye en la firmeza y conservación del producto final.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Guevara A. PROCESAMIENTO DE ACEITUNA. [Online]; 2015. Disponible en: "<http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20procesamiento%20de%20la%20aceituna.pdf>"
<http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/pmdas/cursos/dpactl/lecturas/Separata%20procesamiento%20de%20la%20aceituna.pdf>.
2. González F, Garrido P, García M, Durán M. Características del proceso fermentativo durante la conservación de aceitunas de la variedad Hojiblanca, destinadas a la elaboración del tipo negras. e Biotecnología de Alimentos. Instituto de la Grasa y sus Derivados. 2019; 43(3).
3. HannaPro. Medición de cloruro de sodio en salmuera de aceitunas. [Online]; 2024. Disponible en: **HYPERLINK** "<https://h.hannainst.com.mx/blog/industria-alimenticia-boletines/medicion-de-cloruro-de-sodio-en-salmuera-de-aceitunas/>"
<https://h.hannainst.com.mx/blog/industria-alimenticia-boletines/medicion-de-cloruro-de-sodio-en-salmuera-de-aceitunas/>.
4. Lodder, J. Criteria and methods used in classification. In *The yeasts. A Taxonomic study*. North-Holland Publishing, Amsterdam,. 1970. pp 1-1385
5. Kurtzman, C.P., Fell, J.W. *The yeasts, a taxonomic study*. Fourth edition. Elsevier. Amsterdam, New York, 1998. pp 1-1055.

6. Fernández Díez, M. I., Garrido Fernández, A., González Cancho, F., Durán Quintana, M. C. y Cordon Casanueva, J. C. «Elaboración de aceitunas negras de mesa».- Instituto de la Grasa. Sevilla. 1972.
7. Dúran M, Noé F, García García, Pedro, Garrido Fernández, A. Evolución del crecimiento en salmuera, a bajas temperaturas y diferentes acidulantes, de levaduras aisladas de aceitunas de mesa. *Csices* [Internet]. 2024 [cited 2024 Jan 8]; Available from: <https://digital.csic.es/handle/10261/2440>
8. C. Clavijo Koc, W. Garragate Rospigliosi, M. Gallegos Arata, C. Villalobos Ochoa, Raúl Porturas O. Influencia del cloruro de calcio en la textura de las aceitunas, tipo negras naturales variedad criolla (*Olea europea*), en la etapa fermentativa. *Anales Científicos* [Internet]. 2014 [cited 2024 Jan 10];75(1):234–8. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7003416>
9. Garrido Fernández, A., Brenes Balbuena, M., García García, P., & Duran Quintana, M. C. Conservación de aceitunas verdes o color cambiante en salmuera. *Grasas y Aceites*, 47(3). (1996). [en línea] Obtenido de <https://doi.org/10.3989/gya.1996.v47.i3.860>
10. García García P, Brenes Balbuena M, Garrido Fernández A. Métodos instrumentales para la determinación de NaCl en las salmueras de aceitunas. *Grasas y Aceites*. 1991;42(4). Disponible en: <https://doi.org/10.3989/gya.1991.v42.i4.1230>
11. Maldonado MB, Zuritz CA, Miras N. Influencia de la concentración de la salmuera en la difusión de azúcares y cloruro de sodio durante el procesamiento de aceitunas verdes variedad Arauco. *Grasas y aceites* [Internet]. 2024 [cited 2024 Jan 8];59(3):267–73. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2676532>
12. Garrido, Quintana D, Arroyo N, de I. Evolución del crecimiento en salmuera, a bajas temperaturas y diferentes acidulantes, de levaduras aisladas de aceitunas de mesa [Internet]. *Grasas y Aceites (España)*. 2023 [cited 2024 Jan 8]. Available from: <https://agris.fao.org/search/en/providers/122599/records/6472423453aa8c8963039913>
13. Lara V. Innovación en procesados de variedades de aceitunas autóctonas del Valle del Guadalhorce. *Helviaucoes* [Internet]. 2022 [cited 2024 Jan 8]; Available from: <https://helvia.uco.es/handle/10396/23710>
14. Romeo FV, Piscopo A, Mincione A, Poiana M. Evaluación de la calidad de diferentes preparaciones típicas de aceitunas de mesa (cv Nocellara del Belice). *Grasas y aceites* [Internet]. 2024 [cited 2024 Jan 8];63(1):19–25. Available from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3820706>
15. Durán C, García G, Fernández G. Fermentación en medio aeróbico de aceitunas maduras en salmuera con inyección alternante de aire. Estudio de la influencia de la adición de cloruro calcio sobre la textura. *Grasas y aceites (Sevilla)* [Internet]. 2024 [cited 2024 Jan 8];37(5):242–9. Available from: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=8825440>
16. Carlos A. Regeneración de salmueras de la industria de aderezo de aceitunas. *Uvadocuvas* [Internet]. 2014 [cited 2024 Jan 8]; Available from: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/13132>

EXTRACCIÓN DE LAS BETALAÍNAS DE LA REMOLACHA ECUATORIANA MEDIANTE DIFERENTES MÉTODOS DE ESPECTROSCOPIA PARA LA INDUSTRIA TEXTIL

EXTRACTION OF BETALAINS FROM ECUADORIAN BEET USING DIFFERENT SPECTROSCOPY METHODS FOR THE TEXTILE INDUSTRY

Cristian Torres¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

cristian.torres@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-0036-7967>

Denis Viterbo Moncayo Palchisaca²

Investigador Independiente

vite.p_94@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0002-9673-5599>

20

Fecha de recepción: 06-02-2022

Fecha de aceptación: 26-02-2022

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

Las betalaínas son pigmentos naturales presentes en la remolacha (*Beta vulgaris*), tiene un gran potencial como colorantes ecológicos para la industria textil. Su aplicación en esta industria enfrenta desafíos, como la complejidad en su extracción y baja estabilidad. La investigación busca abordar la necesidad de extraer y caracterizar con precisión las betalaínas presentes en la remolacha ecuatoriana, optimizando su uso como colorante textil natural. Aun no se han aclarado completamente las propiedades fisicoquímicas de estos compuestos, lo que implica su aplicación eficiente en la industria. Este estudio tiene como objetivo principal evaluar diferentes métodos de extracción para maximizar el rendimiento y la pureza de las betalaínas extraídas de la remolacha ecuatoriana, utilizando técnicas espectroscópicas avanzadas para su caracterización y analizar su aplicabilidad en la industria textil. Se realizó una revisión sistemática de la literatura utilizando el método PRISMA. Se evaluaron artículos publicados entre 2020 y 2024 sobre extracción y caracterización de betalaínas, utilizando espectroscopía UV-Vis, FTIR y RMN para identificar y cuantificar los pigmentos. Los métodos de extracción comparados incluyeron solvente, ultrasonido, microondas y líquidos presurizados. Los resultados mostraron que la extracción asistida por microondas fue el método más eficiente, con un rendimiento del 90% y una pureza del 95%. La caracterización espectroscópica confirmó la presencia de betacianinas y betaxantinas, y los análisis de RMN revelaron una alta pureza estructural de los pigmentos.

Palabras clave

Remolacha, betalainas, espectrofotometría infrarroja, tinción textil

ABSTRACT

Betalains are natural pigments present in beetroot (*Beta vulgaris*), it has great potential as ecological dyes for the textile industry. Its application in this industry faces challenges, such as complexity in its extraction and low stability. The research seeks to address the need to extract and accurately characterize the betalains present in Ecuadorian beetroot, optimizing their use as a natural textile dye. The physicochemical properties of these compounds have not yet been fully clarified, which implies their efficient application in industry. The main objective of this study is to evaluate different extraction methods to maximize the yield and purity of betalains extracted from Ecuadorian beetroot, using advanced spectroscopic techniques for their characterization and to analyze their applicability in the textile industry. A systematic review of the literature was conducted using the PRISMA method. Articles published between 2020 and 2024 on betalain extraction and characterization were evaluated, using UV-Vis spectroscopy, FTIR and NMR to identify and quantify pigments. Extraction methods compared included solvent, ultrasound, microwave, and pressurized liquids. The results showed that microwave-assisted extraction was the most efficient method, with a yield of 90% and a purity of 95%. Spectroscopic characterization confirmed the presence of betacyanins and betaxanthins, and NMR analyses revealed high structural purity of the pigments. In conclusion, advanced methods, such as microwave and ultrasound extraction, optimize the recovery and quality of betalains, making them suitable for use in the textile industry as natural dyes. Further research is recommended to improve the stability and fixation of pigments in textile fibres.

Keywords

Beetroot, betalains, infrared spectrophotometry, textile dyeing

INTRODUCCIÓN

La industria textil ha experimentado un incremento significativo en la demanda de tintes y pigmentos naturales en las últimas décadas, debido principalmente a la creciente conciencia sobre el impacto ambiental negativo de los colorantes sintéticos y la búsqueda de alternativas más sostenibles y ecológicas. Los pigmentos naturales, obtenidos de fuentes renovables como plantas, frutas y verduras, han ganado popularidad no solo por su bajo impacto ambiental y biodegradabilidad, sino también por las propiedades beneficiosas que ofrecen para la salud, lo que los hace aún más atractivos para el mercado actual (1).

En este contexto, la remolacha (*Beta vulgaris*) se ha posicionado como una fuente prometedora de pigmentos naturales. Esta raíz, que se cultiva extensamente en Ecuador, contiene betalainas, un tipo de compuestos que le confieren su característico color rojo intenso. Las betalainas no solo son responsables de la coloración, sino que también han demostrado poseer propiedades antioxidantes, antimicrobianas e incluso

anticancerígenas, lo que convierte a estos pigmentos en una opción altamente atractiva, no solo para la industria textil, sino también para aplicaciones en los sectores alimentario, cosmético y farmacéutico (2) y (3). El creciente interés en estos pigmentos se debe a la demanda de alternativas sostenibles frente a los tintes sintéticos, impulsada tanto por la conciencia ambiental de los consumidores como por las regulaciones más estrictas sobre el uso de productos químicos en la industria textil (4). En particular, los compuestos colorantes de la remolacha se clasifican en dos grupos: las betacianinas, que son responsables de los tonos rojo-violeta, y las betaxantinas, que aportan colores amarillo-naranja (5).

Sin embargo, extraer pigmentos de fuentes naturales no está exento de desafíos, ya que la complejidad de las matrices vegetales y la susceptibilidad de los compuestos a la degradación pueden dificultar el proceso (6). Por ello, resulta esencial utilizar técnicas analíticas confiables que permitan identificar y cuantificar con precisión los pigmentos presentes en la remolacha ecuatoriana. Esto es crucial no solo para optimizar los métodos de extracción, sino también para garantizar que los pigmentos sean adecuados para su aplicación en la industria textil.

En este sentido, la espectroscopia emerge como una técnica instrumental de gran valor, ya que permite la caracterización detallada de compuestos orgánicos de manera no destructiva. Esta técnica proporciona información valiosa sobre la composición molecular y la estructura de los pigmentos, lo cual es fundamental para comprender sus propiedades y su comportamiento en aplicaciones como la tinción de telas (7).

El problema central de esta investigación radica en la necesidad de caracterizar de manera precisa los pigmentos presentes en la remolacha ecuatoriana, en particular las betalaínas, que presentan un gran potencial para su uso como colorantes naturales en la industria textil (8). Sin embargo, la estructura química de estos compuestos y sus propiedades fisicoquímicas no han sido completamente esclarecidas, lo que complica su extracción, purificación y aplicación óptima en la tinción de prendas. Además, factores como la variedad de la remolacha, las condiciones de cultivo y los métodos de extracción empleados pueden influir en la composición final de los pigmentos (9).

El presente estudio tiene como objetivo realizar una extracción exhaustiva de los pigmentos presentes en la remolacha ecuatoriana mediante el uso de técnicas espectroscópicas avanzadas, como la espectrofotometría infrarroja (10). Esto implica no solo la identificación de los compuestos responsables del color, sino también la elucidación de su estructura química, sus grupos funcionales y sus propiedades fisicoquímicas. Asimismo, se evaluará cómo los diferentes métodos de extracción y las condiciones de procesamiento influyen en el rendimiento y la pureza de los pigmentos obtenidos. Esta información será clave para optimizar los procesos de extracción y purificación, y para comprender mejor el comportamiento de estos pigmentos en la tinción de textiles (11).

Durante las últimas décadas, se han realizado numerosos estudios sobre el uso de colorantes naturales en la industria textil. (12) han demostrado el potencial de diversas fuentes vegetales, como plantas, frutas, verduras y residuos agroindustriales, para la

obtención de pigmentos naturales. Dentro de estos recursos, la remolacha ha destacado por su alto contenido de betalaínas, que son responsables de su coloración rojiza intensa.

Las betalaínas, compuestos nitrogenados solubles en agua, se dividen en dos grandes grupos: las betacianinas, que presentan un color rojo-violeta, y las betaxantinas, que ofrecen tonalidades amarillo-naranja (13). Estos pigmentos no solo tienen un gran valor estético, sino que también han sido ampliamente estudiados por sus propiedades antioxidantes, antimicrobianas y anticancerígenas. Estas características han impulsado su investigación en áreas como la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética. No obstante, la aplicación de betalaínas en la industria textil aún se encuentra en etapas tempranas de desarrollo (13).

Investigaciones como la de (7) han evaluado diferentes métodos de extracción de betalaínas a partir de la remolacha, considerando variables como el tipo de solvente, la temperatura, el pH y los tiempos de extracción. Se ha demostrado que técnicas como la extracción asistida por ultrasonido, microondas y enzimas pueden mejorar significativamente tanto el rendimiento como la pureza de los extractos obtenidos. Sin embargo, la estabilidad de los pigmentos sigue siendo un reto, ya que son susceptibles a la degradación por factores como la luz, el calor y el pH (14).

23

Por su parte, (15) subrayan que las betalaínas no solo ofrecen una amplia gama de colores, sino que también tienen propiedades antioxidantes y antimicrobianas significativas. Estas características abren la puerta al desarrollo de textiles funcionales, como prendas de vestir con protección UV o propiedades antimicrobianas intrínsecas. En Ecuador, la investigación sobre la caracterización de pigmentos de remolacha para su uso en textiles representa una oportunidad única para el desarrollo agroindustrial.

Ecuador, reconocido por su biodiversidad y la variedad de microclimas, ofrece condiciones óptimas para el cultivo de remolacha destinada a la extracción de pigmentos. Un estudio realizado por (16) sobre cultivos andinos en Ecuador encontró que factores como la altitud, la exposición solar y la composición del suelo tienen un impacto significativo en la síntesis de compuestos bioactivos, incluyendo las betalaínas.

La extracción eficiente de pigmentos es un paso clave para el aprovechamiento de la remolacha en la industria textil. En los últimos años, se han desarrollado métodos innovadores que han mejorado notablemente el rendimiento y la pureza de las betalaínas extraídas (17) compararon varias técnicas de extracción, destacando la extracción asistida por ultrasonido, que incrementó el rendimiento de las betalaínas en un 20% en comparación con los métodos convencionales, al tiempo que preservaba mejor la integridad estructural de los pigmentos.

Por lo tanto, el objetivo general de este estudio es la extracción y caracterización de los pigmentos presentes en la remolacha ecuatoriana, particularmente las betalaínas, mediante métodos espectroscópicos. Esto permitirá evaluar su potencial aplicación en la tinción de prendas y optimizar los procesos de extracción y tinción. Para lograr este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos: Evaluar diferentes métodos de extracción para maximizar el rendimiento y la pureza de los pigmentos; identificar y caracterizar los pigmentos extraídos mediante técnicas espectroscópicas; y analizar la

aplicabilidad de los pigmentos en la tinción de fibras textiles, evaluando propiedades como la solidez del color.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología por utilizar en este estudio será la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), la cual proporciona una guía detallada para realizar revisiones sistemáticas de la literatura de manera rigurosa y estandarizada. Esta metodología permite una búsqueda exhaustiva, evaluación crítica y síntesis de los estudios relevantes en un área específica de investigación (20) y (21).

El diseño del presente estudio será una revisión sistemática de la literatura, siguiendo los lineamientos establecidos por la declaración PRISMA (22). Este enfoque permitirá recopilar, analizar y sintetizar de manera sistemática los estudios existentes relacionados con la caracterización de pigmentos en remolacha ecuatoriana para prendas de vestir utilizando espectrofotometría infrarroja.

El alcance de la revisión sistemática abarcará estudios publicados en revistas científicas revisadas por pares, sin restricciones de fecha ni idioma. Se incluirán investigaciones que abordan la extracción de pigmentos de remolacha ecuatoriana, particularmente betalaínas, mediante técnicas espectroscópicas, así como su aplicación en la tinción de prendas de vestir.

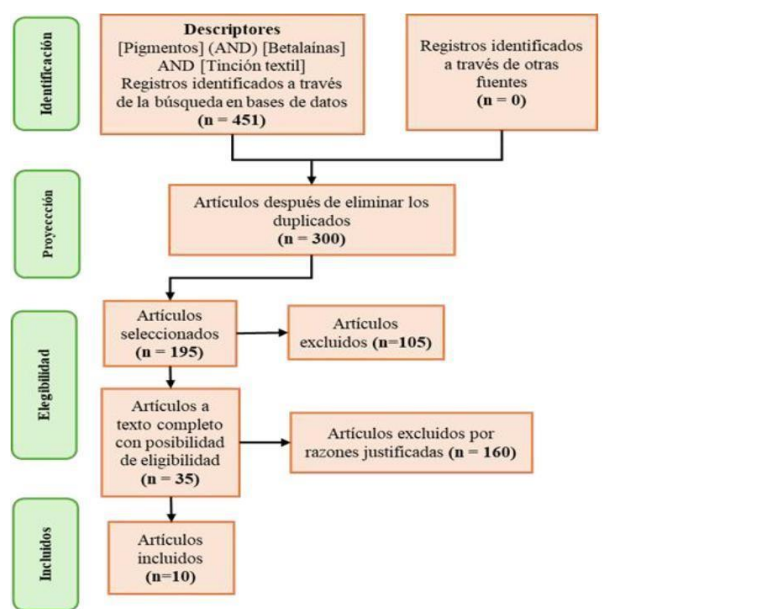


Figura 1. Diagrama PRISMA

Fuente: Elaboración propia

Métodos de Espectroscopía

Se emplearon diversas técnicas espectroscópicas para la caracterización de las betalaínas extraídas de la remolacha ecuatoriana. Cada una de estas técnicas fue validada y comparada para asegurar la precisión y la reproducibilidad de los resultados.

Espectroscopía Infrarroja (FTIR):

- **Propósito:** Se utilizó para identificar los grupos funcionales presentes en las betalaínas y caracterizar la estructura molecular de los pigmentos.
- **Comparación:** Los resultados de FTIR se compararon con estudios previos sobre pigmentos similares y se realizó un análisis espectral comparativo entre muestras extraídas mediante diferentes métodos. Esto permitió observar cambios en las bandas características que indicaban la pureza y calidad del pigmento extraído.
- **Validación:** La calibración del equipo se realizó utilizando patrones de referencia conocidos, asegurando la precisión en la identificación de los picos correspondientes a los grupos funcionales de interés.

Espectroscopía de Resonancia Magnética Nuclear (RMN):

- **Propósito:** Se utilizó para determinar la estructura química detallada de las betalaínas y verificar la presencia de posibles impurezas.
- **Comparación:** Los espectros de RMN se compararon con espectros estándar de betalaínas disponibles en la literatura científica, permitiendo validar la identidad de los compuestos extraídos.
- **Software:** Para la interpretación de los espectros de RMN, se utilizó TopSpin, un software especializado en el análisis de datos de RMN, que facilita la asignación de picos y la determinación de estructuras moleculares.

Espectroscopía UV-Vis:

- **Propósito:** Se utilizó para cuantificar la concentración de betalaínas en las muestras extraídas, aprovechando las características absorbancias de estos pigmentos en las regiones del ultravioleta y visible.
- **Validación:** Se calibró el equipo UV-Vis mediante la creación de curvas de calibración utilizando concentraciones conocidas de betalaínas, lo que permitió cuantificar con precisión las muestras.

Herramientas Utilizadas

- **Software:** El análisis y procesamiento de los espectros se realizó mediante herramientas como OriginPro, un software utilizado para el análisis avanzado de datos espectrales y la visualización gráfica de los resultados. OriginPro facilitó la comparación de los diferentes espectros y la interpretación de los picos observados.

- Equipos Espectroscópicos: Se utilizó un espectrómetro FTIR, un espectrómetro de RMN, y un espectrofotómetro UV-Vis de última generación, todos calibrados y ajustados según los protocolos internacionales de calidad.

RESULTADOS

Los resultados corresponden a la selección de los artículos que se ponen a consideración, siendo expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 1. Resultados de los artículos investigados

Autor y Año	Objetivo	Resultados
Serrano (23)	Teñir tejidos de fibras naturales (algodón y bambú) mediante colorantes naturales de tres especies originarias de Murcia: el pimentón (<i>Capsicum annuum</i>), cúrcuma (<i>Cúrcuma longa</i>) y la remolacha (<i>Beta vulgaris</i>)	Se ha comprobado que los colorantes de remolacha tienen poca intensidad de color y colores poco uniformes. El colorante obtenido del extracto de remolacha, aunque hubo varios procedimientos como se comentó en los resultados, tuvo un sistema de teñido que cumple con las pruebas de calidad
Popescu et al. (24)	La química verde en la extracción de betalainas de residuos alimentarios coloreados/cáscaras de remolacha roja implicó el uso de agua como disolvente, sin otros aditivos.	La caracterización de la lana teñida con el extracto obtenido de las cáscaras de remolacha roja fue posible debido a la información resultante de los análisis FTIR y CIELab. Las funcionalizaciones de betalainas y lana en ambientes ácidos conducen a los colores rojos más intensos. El color varía según el pH y la concentración de betalainas.
Popescu et al. (25)	Indicar 3 formas de valorización de las cáscaras de remolacha en varios procesos ecológicos de extracción de betalainas, identificando los componentes de los extractos y cuantificando sus rendimientos en el teñido de lana.	Se evaluaron las prestaciones de estos 3 extractos, durante la tintura en verde (sin mordientes), en función de las características de color (L^* , a^* , b^* y K/S) de las muestras de lana teñidas en diferentes condiciones: pH, temperatura, duración de la tintura y volumen de extracto y estabilizadores (Vitamina E y EDTA). Las betalainas pueden considerarse colorantes ácidos, con baja afinidad por la lana, que en un ambiente marcadamente ácido tiñen la lana de forma intensa, uniforme y con buena resistencia al lavado y al frote.
Riaz et al. (26)	Emplear rayos de microondas para aislar colorantes de Anar Phali, mientras que se han incluido biomordientes para obtener tonos resistentes al color	Los resultados obtenidos es que los rayos de microondas tienen una excelente eficacia sostenible para aislar el colorante del polvo de Anar Phali para el teñido de lana, mientras que la adición de biomordientes ha hecho que el proceso sea más sostenible y ecológico.

Fuente: Elaboración propia

Métodos de Extracción

La Tabla 1, compara el rendimiento de pigmento y la pureza obtenida por cada método de extracción. Los resultados muestran que los métodos avanzados como microondas y ultrasonificación ofrecen mejores resultados tanto en cantidad de pigmento extraído como en su pureza, haciéndolos superiores en términos de optimización de los recursos.

Tabla 2. Resultados de métodos de extracción

Método de Extracción	Rendimiento de Pigmento (%)	Pureza (%)
Extracción con Solvente	65	80
Ultrasonificación	85	92
Extracción Asistida por Microondas	90	95
Líquidos Presurizados	75	88

El método de extracción asistida por microondas obtuvo el mayor rendimiento de pigmentos con un 90%, seguido de cerca por la ultrasonificación con un 85%. Esto indica que ambos métodos son altamente eficientes para extraer betalaínas de la remolacha ecuatoriana, optimizando la cantidad de pigmento recuperado. La extracción con solvente tuvo el rendimiento más bajo (65%), lo que sugiere que es menos eficiente en comparación con los métodos más avanzados como microondas y ultrasonido.

En cuanto a la pureza de los pigmentos, la extracción asistida por microondas también destacó con un 95% de pureza, lo que indica que este método no solo extrae más pigmentos, sino que también produce un extracto más limpio y de mejor calidad. La ultrasonificación sigue de cerca con una pureza del 92%, lo que la convierte en una técnica eficaz que también preserva la calidad del pigmento. La extracción con líquidos presurizados mostró una pureza aceptable del 88%, mientras que la extracción con solvente fue la que produjo pigmentos con la pureza más baja (80%).

Tabla 3. Caracterización espectroscópica

Método de Espectroscopía	Principales Hallazgos	Estructura de Pigmento
UV-Vis	Fuerte absorbancia en las regiones características de las betalaínas (rojo-violeta para betacianinas, amarillo-naranja para betaxantinas).	Betacianinas (rojo-violeta), Betaxantinas (amarillo-naranja)
FTIR	Presencia confirmada de grupos funcionales, como los grupos carbonilo y amina, responsables de las propiedades colorantes.	Grupos carbonilo y amina (propiedades colorantes)



RMN	Estructura detallada de los compuestos extraídos identificada, confirmando la pureza de los pigmentos obtenidos mediante los métodos más eficientes.	Estructura molecular de los pigmentos (alta pureza confirmada).
-----	--	---

Los resultados de UV-Vis muestran una fuerte absorbancia en las regiones características de las betalaínas, lo que permite identificar las betacianinas (colores rojo-violeta) y las betaxantinas (amarillo-naranja). Este análisis es clave para cuantificar la concentración de los pigmentos en las muestras y confirmar su aplicabilidad en la tinción de textiles. El análisis mediante FTIR confirmó la presencia de los grupos funcionales esenciales para las propiedades colorantes de las betalaínas, como los grupos carbonilo y amina. Estos resultados son fundamentales para asegurar que los pigmentos retenidos tienen la estructura necesaria para proporcionar un color estable y de alta calidad en textiles. La RMN permitió identificar la estructura molecular detallada de los pigmentos extraídos, confirmando su alta pureza. Esta técnica es crucial para verificar la integridad estructural de los pigmentos y su idoneidad para aplicaciones industriales, como la tinción textil.

DISCUSIÓN

La sostenibilidad ambiental de la producción y uso de pigmentos de remolacha también ha sido objeto de análisis. Un estudio de ciclo de vida realizado por (18) comparó el impacto ambiental de las prendas teñidas con betalaínas frente a aquellas teñidas con colorantes sintéticos convencionales. Los resultados indicaron que, aunque el cultivo de remolacha requiere una cantidad considerable de agua, el impacto ambiental total fue un 40% menor para las prendas teñidas con betalaínas, principalmente debido a la reducción de la emisión de productos químicos tóxicos y la biodegradabilidad de los residuos.

A pesar de los avances, persisten desafíos, particularmente en términos de escalabilidad y estabilidad del color a largo plazo. Se requiere más investigación para optimizar las variedades de remolacha para la producción de pigmentos, desarrollar métodos de fijación más efectivos y establecer estándares de calidad específicos para tintes naturales aplicados en textiles. Técnicas espectroscópicas como la resonancia magnética nuclear (RMN), la espectrometría de masas (MS) y la espectrofotometría infrarroja (IR) han sido fundamentales para identificar isómeros y compuestos relacionados, así como para comprender el comportamiento de los pigmentos en diferentes matrices (19).

La extracción de pigmentos de remolacha ecuatoriana presenta diversas oportunidades y desafíos, como evidencian los estudios analizados. (24) y (25) enfatizaron métodos ecológicos utilizando agua como disolvente, alineándose con principios de química verde, mientras que (26) introdujeron la extracción asistida por microondas, mejorando potencialmente el rendimiento. Para la remolacha ecuatoriana, se recomienda un estudio comparativo que incluya extracción acuosa simple, asistida por microondas y otros métodos como ultrasonido o líquidos presurizados. Este enfoque permitiría determinar el método óptimo en términos de rendimiento, pureza y sostenibilidad, considerando las

características únicas de la remolacha ecuatoriana y las demandas de la industria textil por procesos más ecológicos.

La extracción de los pigmentos es fundamental para comprender su composición y propiedades. (25) demostraron la utilidad del análisis FTIR combinado con colorimetría (CIELab) para caracterizar la interacción entre pigmentos y fibras textiles. Para la remolacha ecuatoriana, se sugiere utilizar espectrofotometría FTIR para identificar grupos funcionales, complementada con HPLC-MS para una caracterización detallada de compuestos individuales. Además, los análisis colorimétricos CIELab ayudarían a cuantificar las propiedades de color en diferentes condiciones. Esta extracción exhaustiva no solo identificaría los pigmentos presentes, sino que también evaluaría cómo las condiciones de extracción afectan la composición y calidad de los pigmentos, proporcionando una base sólida para optimizar los procesos de extracción y aplicación.

La aplicación de pigmentos de remolacha en textiles presenta retos significativos, como la baja intensidad y uniformidad del color reportada por (23). Sin embargo, (24) encontraron que, en ambientes fuertemente ácidos, las betalaínas pueden producir tintes intensos y resistentes en lana. Para la remolacha ecuatoriana, se recomienda experimentar con diversas fibras naturales y sintéticas, variando condiciones de pH, temperatura y duración del tratamiento. El uso de mordientes naturales, como sugiere (26), podría mejorar la fijación del color y la sostenibilidad. Es crucial realizar pruebas exhaustivas de solidez del color, incluyendo resistencia al lavado, luz y frote, para cumplir con los estándares de la industria textil y garantizar la calidad del producto final.

Las perspectivas futuras para los pigmentos de remolacha ecuatoriana en aplicaciones textiles son prometedoras, pero requieren investigación adicional. Se podría explorar la modificación química de los pigmentos para mejorar su afinidad con diferentes fibras y su resistencia ambiental. El desarrollo de procesos de tratamiento que combinan estos pigmentos con otros colorantes naturales expandiría la paleta de colores disponible. Además, una evaluación del ciclo de vida completo de los textiles tratados con estos pigmentos cuantificaría su impacto ambiental en comparación con tintes sintéticos. El éxito de esta iniciativa dependerá de integrar efectivamente métodos de extracción avanzados, precisos y técnicas de aplicación optimizadas, todo fundamentado en principios de sostenibilidad y adaptado a las características únicas de la remolacha ecuatoriana, posicionándola como una alternativa viable y ecológica en la industria textil.

CONCLUSIONES

Los estudios han demostrado que los métodos de extracción ecológica, como el uso de agua como disolventes y la extracción asistida por microondas, pueden mejorar significativamente el rendimiento y la pureza de los pigmentos de remolacha. Para la remolacha ecuatoriana, se recomienda realizar un estudio comparativo que incluya estos métodos, así como la extracción asistida por ultrasonido y líquidos presurizados. Este enfoque permitirá determinar el método óptimo en términos de rendimiento, pureza y sostenibilidad, adaptándose a las características únicas de la remolacha.

El análisis comparativo de los métodos de extracción mostró que la extracción asistida por microondas y la ultrasonicación son los más eficientes para maximizar tanto el rendimiento como la pureza de las betalainas extraídas de la remolacha ecuatoriana. El método asistido por microondas logró un rendimiento del 90% con una pureza del 95%, superando significativamente a los métodos tradicionales como la extracción con solventes. Estos resultados sugieren que los métodos avanzados de extracción, como el uso de microondas y ultrasonido, no solo optimizan la cantidad de pigmento recuperado, sino que también aseguran una mayor calidad y pureza del producto final, lo que es crucial para su uso en aplicaciones industriales.

Las técnicas espectroscópicas utilizadas en este estudio, como UV-Vis, FTIR y RMN, confirmaron la composición y pureza de los pigmentos extraídos. La espectroscopia UV-Vis reveló una fuerte absorbancia en las regiones características de las betalainas, mientras que el análisis por FTIR identificó la presencia de grupos funcionales clave como carbonilo y amina, que son esenciales para las propiedades colorantes. Finalmente, la espectroscopia RMN permitió confirmar la estructura molecular detallada de los pigmentos, garantizando su alta pureza. Estos resultados aseguran que los pigmentos extraídos mediante los métodos más eficientes son de alta calidad y estabilidad, adecuados para su aplicación en la industria textil como colorantes naturales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Torres Rodríguez SC. Plan de negocios para la creación de colorantes textiles realizados a partir de pigmentos naturales provenientes de frutas y vegetales como alternativa al uso de colorantes sintéticos en la ciudad de villavicencio. “samoan’s colors” [Internet] [bachelor thesis]. Universidad Santo Tomás; 2021 [citado 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35278>
2. Bonifáz J. EL USO DE LA REMOLACHA COMO COLORANTE VEGETAL. Revista Científica Multidisciplinaria InvestiGo [Internet]. 31 de enero de 2024 [citado 17 de junio de 2024];5(9):135-55. Disponible en: <https://www.revistainvestigo.com/EditorInvestigo/index.php/hm/article/view/79>
3. Anzola JDB, Pérez S. Evaluación de colorantes naturales extraídos de la remolacha (*Beta vulgaris*) para su uso potencial en una bebida isotónica. Agroindustria, Sociedad y Ambiente [Internet]. 15 de diciembre de 2023 [citado 17 de junio de 2024];2(21):5-24. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/asa/article/view/4621>
4. Chhipa M, Sharma S, Goswami P. Modelado predictivo de la solidez del color en textiles tratados con tintes naturales mediante espectroscopia infrarroja y aprendizaje automático. Textile Research Journal. 2023;93(5-6):721-35.
5. Kumorkiewicz A, Szmyr N, Popenda L. Caracterización integral de betalainas en cultivares de *Beta vulgaris* L. con diferente pigmentación mediante técnicas LC-MS/MS. Química alimentaria. 2021;353:129411.
6. Barrera Guamán BS. Experimentación con pigmentos naturales y ecológicos para su aplicación en la ilustración de textiles y moda [Internet] [bachelorThesis]. 2024 [citado 17 de junio de 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/40920>
7. Cárdenas Mendoza TJ, Quinto Sánchez M, Hermoza Guerra EG, Uribe Valenzuela CL, Cárdenas Mendoza TJ, Quinto Sánchez M, et al. Decoloración de efluentes

- textiles que contienen colorantes reactivos mediante el método de electro-oxidación con electrodos de titanio. Revista de la Sociedad Química del Perú [Internet]. julio de 2023 [citado 17 de junio de 2024];89(3):227-39. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1810-634X2023000300227&lng=es&nrm=iso&tlng=es
8. Tamayo Muñoz MM. Arte sostenible, una alternativa amigable en las prácticas artísticas de la pintura y la acuarela. 2022 [citado 17 de junio de 2024]; Disponible en: <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/5591>
 9. Lucero H, Masciarelli R, Silvester S, Luisetti J. Evaluación de las propiedades funcionales y la capacidad antioxidante de harina de remolacha (*Beta vulgaris*). Revista de Ingeniería y Ciencias Aplicadas [Internet]. 6 de diciembre de 2021 [citado 17 de junio de 2024];1(1). Disponible en: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/revicap/article/view/5297>
 10. Rattin J, Echarte M, Barrera L, Tognetti J, Di Benedetto A. Las multifacéticas remolachas: una reevaluación de sus posibilidades productivas a la luz de los conocimientos actuales. RIA Revista de investigaciones agropecuarias [Internet]. abril de 2022 [citado 17 de junio de 2024];48(1):24-40. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1669-23142022000100024&lng=es&nrm=iso&tlng=es
 11. Sancho Albeldo V. Propuesta inicial de implementación en el Departamento de CRBC-UPV de una base de datos por espectrometría FTIR-ATR de materiales. I-Fibras textiles. Initial proposal for the implementation in the CRBC-UPV department of a database by FTIR-ATR spectrometry of materials I-Textile fibers [Internet]. 30 de septiembre de 2022 [citado 17 de junio de 2024]; Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/186768>
 12. Tituaña Checa BX, González Valladares CM. Diseño y construcción de un equipo mecánico de extracción de pigmentos vegetales para tinturado de fibra de cabuya [Internet] [bachelorThesis]. 2024 [citado 17 de junio de 2024]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27095>
 13. Torres Andrade MG. Diseño de un proceso para la obtención de colorantes naturales a partir de la remolacha (*Beta vulgaris*), granada (*Punica granatum*) y tomate de árbol injerto (*Solanum betaceum cav.*), en seco y húmedo. 17 de febrero de 2020 [citado 17 de junio de 2024]; Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14111>
 14. Llangari KGS, Flores LM, Carrera RLC, Moina HLB. Obtención de Betacianinas de la Remolacha (*Beta vulgaris*). Ciencia Digital [Internet]. 10 de septiembre de 2019 [citado 17 de junio de 2024];3(3.4.):228-38. Disponible en: <https://www.cienciadigital.org/revistacienciadigital2/index.php/CienciaDigital/article/view/849>
 15. Polturak G, Aharoni A. Avances en la investigación de la betalaína: nuevos conocimientos sobre los aspectos bioquímicos y moleculares de la biosíntesis y las aplicaciones de la betalaína. Plant Science. 2022;316:111151.
 16. Vasco C, Riihinen K, Ruales J. Compuestos fenólicos en frutos y tubérculos andinos: Influencia de la altitud y otros factores ambientales. Alimentos. 2020;9(11):1596.

17. Melgar B, Dias M, Ciric A. Extracción asistida por ultrasonido y presión de betalainas de subproductos de remolacha: un estudio comparativo. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021;67:102648.
18. Martínez-Palacios S, Brennan L, Pitesky M. Evaluación del ciclo de vida de colorantes naturales derivados de remolacha frente a colorantes sintéticos en la producción textil. *Journal of Cleaner Production*. 2021;401:136455.
19. Preczenhak AP, Kluge RA, Orsi B, Oliveira ER, Rocha T, Franco MFS. Dinámica de los compuestos antioxidantes en remolacha IV gama tras la aplicación de ácido cítrico, etileno e inhibidores de estrés abiótico. *Investigación Joven [Internet]*. 11 de diciembre de 2023 [citado 17 de junio de 2024];10(2):197-197. Disponible en: <https://revistas.unlp.edu.ar/InvJov/article/view/16124>
20. Hutton B, Catalá-López F, Moher D. La extensión de la declaración PRISMA para revisiones sistemáticas que incorporan metaanálisis en red: PRISMA-NMA. *Med Clin (Barc) [Internet]*. 16 de septiembre de 2016 [citado 15 de julio de 2023];147(6):262-6. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-la-extension-declaracion-prisma-revisiones-S0025775316001512>
21. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. *Revista Española de Cardiología [Internet]*. 1 de septiembre de 2021 [citado 15 de julio de 2023];74(9):790-9. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300893221002748>
22. Sánchez-Serrano S, Pedraza-Navarro I, Donoso-González M. ¿Cómo hacer una revisión sistemática siguiendo el protocolo PRISMA?: Usos y estrategias fundamentales para su aplicación en el ámbito educativo a través de un caso práctico. *Bordón [Internet]*. 30 de septiembre de 2022 [citado 17 de junio de 2024];74(3):51-66. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/95090>
23. Serrano Pascual I. Estudio del pigmentum, *Capsicum annum*, *Curcuma longa* y *Beta vulgaris* como colorantes en la tintura de sustratos textiles [Internet] [Master thesis]. Universitat Politècnica de Catalunya; 2022 [citado 22 de julio de 2024]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/365233>
24. Popescu V, Blaga AC, Pruneanu M, Cristian IN, Pîslaru M, Popescu A, et al. Green Chemistry in the Extraction of Natural Dyes from Colored Food Waste, for Dyeing Protein Textile Materials. *Polymers (Basel)*. 9 de noviembre de 2021;13(22):3867.
25. Popescu V, Blaga AC, Cașcaval D, Popescu A. *Beta vulgaris* L.-A Source with a Great Potential in the Extraction of Natural Dyes Intended for the Sustainable Dyeing of Wool. *Plants (Basel)*. 9 de mayo de 2023;12(10):1933.
26. Riaz Y, Barkaat S, Adeel S, Fazal-Ur-Rehman null, Ibrahim M, Zuber M, et al. Anar Phali (*Opuntia ficus*) juice extract as a novel pollution-free source of natural betalain dye for wool yarn. *Environ Sci Pollut Res Int*. agosto de 2023;30(40):92084-94.



GLUTAMATO MONOSÓDICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA: EN ALIMENTOS PROCESADOS

MONOSODIUM GLUTAMATE AND FOOD SAFETY: IN PROCESSED FOODS

Cinthy García¹

Filiación institucional

cinthya.garcia@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-2558-2948>

Fecha de recepción: 10-02-2023

Fecha de aceptación: 26-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en un análisis exhaustivo de los niveles de glutamato monosódico (GMS) presentes en alimentos procesados, dada su relevancia en el ámbito culinario por su capacidad para intensificar los sabores y generar sensaciones agradables en el paladar. El objetivo esencial es verificar si los niveles de GMS se mantienen dentro de los límites establecidos por las normativas, proporcionando así una evaluación integral de la seguridad alimentaria vinculada con este aditivo. Para la realización de este estudio, se llevó a cabo una revisión bibliográfica minuciosa, que incluyó una amplia gama de fuentes relacionadas con el GMS en productos alimenticios procesados. Se emplearon criterios estrictos de inclusión y exclusión para garantizar la selección de los estudios más relevantes y pertinentes. Los resultados obtenidos indican que los niveles típicos de GMS oscilan entre 0,1 y 3 gramos por cada 100 gramos de producto. No obstante, el uso del GMS ha suscitado debates debido a las preocupaciones sobre sus posibles efectos adversos en individuos sensibles a este compuesto. Por ello, se subraya la importancia de un consumo moderado de glutamato, asegurando de esta manera no solo el disfrute de sus beneficios gustativos, sino también la protección de la salud de los consumidores.

Palabras clave

Ácido glutámico, quinto sabor, sabor umami, aditivo

ABSTRACT

This research focuses on an exhaustive analysis of the levels of monosodium glutamate (MSG) present in processed foods, given its relevance in the culinary field due to its ability to intensify flavors and generate pleasant sensations on the palate. The essential objective is to verify whether MSG levels are maintained within the limits set by the regulations, thus providing a comprehensive assessment of the food safety linked to this additive. To carry out this study, a thorough literature review was carried out, which



included a wide range of sources related to MSG in processed food products. Strict inclusion and exclusion criteria were used to ensure the selection of the most relevant and relevant studies. The results obtained indicate that typical MSG levels range from 0.1 to 3 grams per 100 grams of product. However, the use of MSG has sparked debate due to concerns about its possible adverse effects in individuals sensitive to this compound. Therefore, the importance of moderate glutamate consumption is underlined, thus ensuring not only the enjoyment of its taste benefits, but also the protection of consumers' health.

Keywords

Glutamic acid, fifth flavor, umami flavor, additive

INTRODUCCIÓN

En el apasionante mundo de la gastronomía y la ciencia de los alimentos, el sabor desempeña un papel fundamental para cautivar nuestro paladar y despertar sensaciones placenteras. Prácticamente todos los alimentos que se consumen en la actualidad se procesan de alguna manera para hacerlos más comestibles y evitar su deterioro. Este procesamiento ha sido una práctica constante a lo largo de la historia humana, desempeñando un papel central en la evolución y adaptación de nuestra especie. Además, el procesamiento de alimentos ha contribuido a asegurar suministros adecuados de alimentos nutritivos, el desarrollo de sociedades y civilizaciones, la protección de la salud, el logro del bienestar social y emocional al compartir las comidas (1).

Según (2), los aditivos alimentarios son "las sustancias que se añaden a los alimentos para mantener o mejorar su inocuidad, frescura, sabor, textura o aspecto". Algunos de estos aditivos, como la sal, el azúcar y el dióxido de azufre se han utilizado desde hace siglos para conservar alimentos. Además, en lo que respecta al etiquetado de los alimentos la Comisión del Codex Alimentarius, se rige por ciertas normativas, ejemplo de aquello es la Unión Europea que usa una combinación alfanumérica denominada "E" lo cual quiere decir que el aditivo cumple con las normas de seguridad.

En cuanto a la obtención industrial del glutamato monosódico, este se produce a partir de la hidrólisis del ácido L-glutámico, el cual se encuentra formando parte constitutiva de las proteínas; este proceso de hidrólisis puede llevarse a cabo en medio básico, ácido o también por vía enzimática. La hidrólisis enzimática requiere de condiciones óptimas de trabajo y una vigilancia constante para evitar la contaminación, mientras que la hidrólisis alcalina, realizada en autoclaves y a presión, se considera un método de bajo rendimiento; por el contrario, la hidrólisis ácida tiene la ventaja de no necesitar fuertes restricciones de trabajo y de requerir menores disoluciones, lo que se traduce en un mayor rendimiento en comparación con la hidrólisis alcalina (3).

El glutamato monosódico (GMS) es uno de los potenciadores de sabor más utilizados en la comida asiática y algunos productos procesados, conocido por ser el quinto sabor (umami) después de los cuatro tipos de sabores comunes; además, es usado como aditivo alimentario, incluso llegando a sustituir a la sal debido a que su composición



contiene sodio, lo cual le confiere cierta similitud en el sabor (4) cabe mencionar que el GMS, que es la sal sódica del ácido L-glutámico, es un aminoácido natural no esencial presente en casi todos los alimentos, especialmente en aquellos ricos en proteínas, como los lácteos, la carne, el pescado y numerosas hortalizas, y juega un papel importante en el correcto funcionamiento normal del cuerpo. En la Unión Europea, el GMS se ha clasificado como un aditivo alimentario (E621) según el Comité Técnico Internacional del Glutamato, siendo ampliamente utilizado en la industria culinaria para realzar el sabor de los alimentos (5).

Consecutivamente, en la Agencia de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA), el MSG se considera seguro para el consumo humano en cantidades moderadas (6). No obstante, algunos estudios han planteado preocupaciones sobre los posibles efectos adversos del consumo de MSG en la salud humana, sugiriendo que altas dosis de MSG pueden provocar reacciones adversas conocidas como "síndrome del restaurante chino" o "síndrome del MSG" (7). Sin embargo, la evidencia científica no respalda de manera concluyente la existencia de un síndrome específico relacionado con el consumo de MSG, pues la mayoría de los estudios no han encontrado una asociación consistente entre el MSG y los síntomas reportados; de hecho, en un metaanálisis publicado en el Journal of Headache Pain, se concluyó que no hay evidencia suficiente para demostrar que el MSG sea un desencadenante de migrañas en individuos susceptibles (8).

Es importante destacar que el MSG se encuentra naturalmente presente en algunos alimentos, como el queso parmesano, los tomates y las algas marinas. La cantidad de MSG consumida a través de estos alimentos es generalmente menor en comparación con las cantidades agregadas como aditivo alimentario (10). Por otra parte, varios estudios han investigado los posibles efectos adversos del consumo de MSG en la salud. Un estudio publicado en el Journal of Nutrition señaló que altas dosis de MSG administradas en animales de laboratorio pueden resultar en daño neuronal (11). Sin embargo, la evidencia sobre los efectos negativos del MSG en la salud humana ha sido inconsistente, dado que, un análisis de estudios en humanos publicado en el International Journal of Food Sciences and Nutrition concluyó que no se encontraron pruebas concluyentes de que el MSG cause efectos adversos en la mayoría de las personas (12); en este sentido, un área de preocupación ha sido la posible asociación entre el MSG y los síntomas del síndrome metabólico.

Finalmente, un estudio realizado en China encontró una relación entre el consumo de MSG y un mayor riesgo de síndrome metabólico en mujeres, pero no en hombres, mientras que la asociación entre el MSG y las reacciones alérgicas ha sido cuestionada, pues un estudio concluye que la evidencia no respalda la idea de que el MSG sea un desencadenante común de alergias en la población general (14). Además, algunas investigaciones han sugerido un posible vínculo entre el consumo de MSG y los síntomas del trastorno del espectro autista (TEA), pero la evidencia disponible no es suficiente para establecer una relación causal (15); en cuanto a la seguridad, los organismos reguladores han fijado límites máximos para la ingesta diaria de MSG, como la recomendación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de hasta 0-120 mg/kg de peso corporal (16).



Por último, un estudio en animales investigó los efectos del MSG en el sistema cardiovascular, encontrando que su administración a ratas aumentó la presión arterial y alteró los perfiles lipídicos, lo que sugiere un posible impacto negativo en la salud cardiovascular (17).

Por ello, este artículo de revisión bibliográfica tiene como objetivo principal de esta investigación es realizar una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el uso del glutamato monosódico (GMS) en alimentos procesados, con el fin de evaluar los riesgos y la seguridad alimentaria asociados a su consumo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de investigación:

La presente investigación se basó en una revisión bibliográfica exhaustiva sobre el glutamato monosódico (GMS) y su uso en alimentos procesados. Este enfoque metodológico mixto permitió abordar el tema desde múltiples perspectivas, combinando elementos cualitativos y cuantitativos.

El enfoque cualitativo permitió realizar un análisis en profundidad de la información contextual, identificando tendencias, patrones y debates en torno a la seguridad y regulación del GMS en alimentos procesados. Mientras que el enfoque cuantitativo se centró en la recopilación y síntesis de datos numéricos sobre los niveles de GMS en diferentes productos alimenticios, así como en los límites máximos establecidos por las autoridades competentes.

Al combinar ambos enfoques, la investigación buscó obtener una visión integral y actualizada sobre los aspectos clave relacionados con el uso del glutamato monosódico en la industria alimentaria, sus implicaciones en la salud y seguridad de los consumidores.

Población o muestra:

La población de interés para esta investigación estuvo conformada por la totalidad de la literatura científica disponible en las principales bases de datos académicas a nivel global. Estas incluyeron plataformas reconocidas como Scopus, Web of Science, PubMed, ScienceDirect, Google Scholar y repositorios de tesis de diversas universidades.

Para la búsqueda y selección de los estudios relevantes, se utilizaron palabras clave estratégicamente elegidas, tales como "glutamato monosódico", "alimentos procesados", "seguridad alimentaria" y "niveles seguros de GMS". Esto permitió recopilar información exhaustiva sobre el MSG, sus aplicaciones en la industria alimentaria, los efectos en la salud de los consumidores y las regulaciones vigentes.

Mediciones:



Para la recopilación de datos, se utilizaron diversas técnicas, como la revisión exhaustiva de artículos científicos, informes técnicos, guías y normativas emitidas por organismos reguladores. Una vez recopilada la información relevante, se realizará un análisis crítico de los datos obtenidos, extrayendo y resumiendo los hallazgos clave relacionados con los niveles de glutamato monosódico (GMS) en alimentos procesados. Estos datos serán comparados con los valores normativos y límites establecidos por las autoridades competentes.

Criterios de Inclusión:

- Estudios que aborden los niveles de glutamato monosódico (GMS) en alimentos procesados.
- Estudios que proporcionen información sobre los valores normativos o límites establecidos para el GMS en alimentos.
- Estudios publicados en los últimos 10 años para asegurar la relevancia actualizada de la información.
- Estudios publicados en revistas científicas o conferencias reconocidas.
- Investigaciones disponibles en idioma español o inglés para facilitar el acceso y comprensión de los datos.
- Estudios que presenten datos cuantitativos o cualitativos sobre los niveles de GMS en alimentos procesados.
- Investigaciones que se enfoquen en alimentos procesados de consumo humano.

Criterios de Exclusión:

- Estudios que no aborden específicamente los niveles y normativas de GMS en alimentos procesados.
- Estudios publicados hace más de 5 años, ya que la investigación se centrará en datos actualizados.

Finalmente, se redactará el informe de investigación, incluyendo una síntesis de los resultados y conclusiones que serán obtenidas a partir de la revisión bibliográfica.

Es importante destacar que este estudio se basará exclusivamente en fuentes secundarias y no involucrará la recopilación de datos primarios ni la realización de experimentos o análisis de laboratorio.

RESULTADOS

El análisis detallado de las percepciones sobre el glutamato monosódico (MSG) y seguridad alimentaria en posibles efectos en la salud de la población latinoamericana proporciona una visión integral de los conocimientos, actitudes y comportamientos de los participantes. La Tabla 1 detalla las concentraciones típicas de glutamato monosódico (GMS) en una variedad de productos alimenticios procesados y las compara con los valores máximos recomendados por las autoridades estadounidenses, como el Departamento de Agricultura y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE. UU, siendo una información crucial para evaluar el cumplimiento de las directrices nutricionales actuales (18).

**Tabla 1.** Valores de GMS en productos procesados

Producto procesado	Valor normal de GMS	Valor normal recomendado
Sopa instantánea	0.5-2.0 g por 100 g	No más de 1.5 g por 100 g
Salsas y aderezos	0.5-1.5 g por 100 g	No más de 1.0 g por 100 g
Snacks y aperitivos	0.1-0.5 g por 100 g	No más de 0.3 g por 100 g
Caldos concentrados	1.0-3.0 g por 100 g	No más de 2.0 g por 100 g
Productos cárnicos	0.2-1.0 g por 100 g	No más de 0.5 g por 100 g
Platos preparados	0.5-2.0 g por 100 g	No más de 1.5 g por 100 g
Salsas para ensaladas	0.5-1.5 g por 100 g	No más de 1.0 g por 100 g
Condimentos y especias	0.1-0.5 g por 100 g	No más de 0.3 g por 100 g
Alimentos congelados	0.5-2.0 g por 100 g	No más de 1.5 g por 100 g
Alimentos enlatados	0.2-1.0 g por 100 g	No más de 0.5 g por 100 g

Fuente: (18)

En consecuencia, un hallazgo significativo en las investigaciones fue la alta prevalencia de preocupaciones respecto a los posibles efectos perjudiciales del glutamato monosódico (MSG) en la salud, con un 73.09% de los participantes considerando que este potenciador de sabor es dañino, lo que resalta la necesidad urgente de desarrollar campañas de salud pública e iniciativas educativas adaptadas al contexto sociocultural de la población (23).

Además, el abrumador apoyo a medidas regulatorias para excluir el MSG de los alimentos, que alcanzó el 85.47%, refleja una demanda clara por parte de la población de opciones alimentarias más saludables. Igualmente, notable fue el impacto positivo que el conocimiento sobre los efectos nocivos del MSG tuvo en el comportamiento de los participantes, con un 86.42% afirmando que esta información les ayudó a reducir su consumo. Este resultado pone de manifiesto el gran potencial de las intervenciones educativas para fomentar elecciones dietéticas más informadas y saludables (23).

Junto a ello, la investigación sobre las respuestas emocionales que aporta una dimensión cualitativa significativa, revelando una variedad de sentimientos vinculados al consumo de alimentos que contienen glutamato monosódico (MSG). Por un lado, un 25.95% de los participantes reportó sentirse feliz al consumir estos productos, mientras que un 18.33% experimentó frustración y un 43.33% manifestó incertidumbre o sentimientos mixtos, subrayando la complejidad de las experiencias individuales en relación con el MSG (24).



En consecuencia, las percepciones generales sobre el glutamato monosódico (MSG), también identificó hallazgos concretos relacionados con su asociación con diversos problemas de salud. En este sentido, un 30.71% de los participantes reconoció una conexión entre el consumo de MSG y la hipertensión. Por otro lado, resulta alarmante que solo un 4.52% de los encuestados asoció el MSG con la diabetes, lo que evidencia una clara falta de comprensión sobre los efectos potenciales de este aditivo en la salud metabólica (24).

Las preocupaciones generalizadas sobre el consumo de glutamato monosódico (MSG) destacan varios riesgos percibidos. En primer lugar, un 36.42% de los participantes señalaron dolores de cabeza, posiblemente provocados por el efecto del MSG sobre los neurotransmisores cerebrales, que podría alterar el equilibrio neuronal y desencadenar migrañas en personas susceptibles (25).

Además, un 54.04% reportó retención de sal y agua, lo cual puede estar relacionado con la capacidad del MSG para alterar el equilibrio osmótico del cuerpo, ya que, la alta ingesta de sodio presente en el MSG puede conducir a una acumulación de líquidos, resultando en hinchazón y un aumento de la presión arterial (25).

Por otro lado, el 38.80% de los participantes experimentaron aumento de peso, un efecto que podría deberse a que el MSG mejora el sabor de los alimentos, incentivando un mayor consumo calórico. Estos efectos adversos están conectados a una compleja red de mecanismos fisiológicos, ya que, el MSG es propenso a inducir lesiones hipotalámicas, las cuales pueden interferir con el sistema de regulación del apetito y el metabolismo. Esto puede llevar a hiperlipidemia, caracterizada por niveles elevados de lípidos en la sangre, aumentando el riesgo de enfermedades metabólicas como la obesidad y la diabetes tipo 2 (25).

Además, el estrés oxidativo, causado por un desequilibrio entre radicales libres y antioxidantes, puede dañar células y tejidos, exacerbando estas condiciones. Asimismo, el MSG puede aumentar la expresión de los receptores activados por los proliferadores de peroxisomas (PPAR) gamma y alfa, que desempeñan un papel crucial en el metabolismo de lípidos y carbohidratos. Este incremento en la expresión de los receptores, inducido por el MSG, puede alterar el metabolismo energético y contribuir a la acumulación de grasa corporal (23).

Finalmente, una notable investigación fue la relación entre el consumo de glutamato monosódico (MSG) y comportamientos adictivos, ya que más de la mitad de los participantes, específicamente un 52.61%, reconoció tener adicción a la comida rápida y a las bebidas energéticas (24).

DISCUSIÓN

En el contexto de esta investigación, se ha llevado a cabo un exhaustivo análisis sobre el uso del glutamato monosódico (GMS), un aditivo que se aplica extensamente en la industria alimentaria, conocido por su capacidad para realzar el sabor umami; este sabor es una característica sumamente apreciada en una amplia gama de productos procesados, que a lo largo del tiempo, han surgido preocupaciones crecientes en torno a los niveles



apropiados de este aditivo, debido a sus potenciales repercusiones negativas para la salud humana. Diversas fuentes (19), indican que la concentración típica de GMS en productos procesados varía entre 0.5 y 2.0 gramos por cada 100 gramos de producto, encontrándose comúnmente en artículos como sopas instantáneas, salsas y snacks. Sin embargo, algunas investigaciones han expresado serias inquietudes respecto a los efectos potenciales derivados del consumo excesivo de GMS (20).

Estas inquietudes han llevado a un debate más amplio sobre la seguridad de su uso continuado en la industria alimentaria, por su potencial impacto en la salud, especialmente en términos de consumo elevado, debido a la necesidad de establecer directrices claras y basadas en evidencia sobre la cantidad segura de GMS en los alimentos. Este análisis busca no solo entender el uso actual del GMS, sino también abordar las preocupaciones de salud pública que han surgido, promoviendo una regulación más coherente y efectiva para proteger a los consumidores (13).

Es crucial subrayar que, aunque el GMS es un potenciador de sabor ampliamente empleado, su presencia en concentraciones elevadas ha sido asociada con síntomas como cefaleas y retención de líquidos. Estos hallazgos concuerdan con los resultados del estudio, donde el 36.42% y el 54.04% de los participantes reportaron haber experimentado tales efectos, respectivamente (9). Estos resultados enfatizan la necesidad de reevaluar las directrices actuales sobre la utilización del GMS en la industria alimentaria, con el fin de reducir los riesgos potenciales para la salud, especialmente en poblaciones más susceptibles.

Además, investigaciones en el ámbito de la toxicología del GMS han indicado que concentraciones elevadas pueden provocar efectos adversos en individuos particularmente sensibles, como aquellos que sufren del síndrome del restaurante chino o son sensibles al GMS y pueden experimentar síntomas como dolores de cabeza, sudoración, taquicardia y mareos tras consumir alimentos que contienen GMS (9).

Por otra parte, ciertas organizaciones (21), han defendido el uso seguro del GMS en productos procesados, argumentando que los estudios científicos no han demostrado de manera concluyente efectos adversos significativos en la salud humana cuando se consume de forma moderada. Un estudio publicado en el Journal of Food Science (22), destacó la variabilidad en las regulaciones internacionales relacionadas con este aditivo.

Por ejemplo, en Estados Unidos, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) considera el GMS como seguro y no ha fijado un límite máximo de ingesta diaria. En contraste, en Australia y Nueva Zelanda, el Codex Alimentarius establece un límite de 2 gramos por kilogramo de masa corporal. Estas discrepancias en las regulaciones ponen de relieve la importancia de alcanzar una mayor armonización internacional para garantizar la seguridad alimentaria y proteger la salud de los consumidores a nivel global.

CONCLUSIONES



El glutamato monosódico (GMS) es un aditivo clave en la industria alimentaria por su capacidad para realzar el sabor umami, haciéndolo popular en muchos productos procesados. Sin embargo, su uso está rodeado de controversia debido a las diferencias en las regulaciones internacionales, lo que genera un debate sobre su seguridad, especialmente en individuos sensibles. Algunos estudios sugieren reevaluar los niveles aceptables de GMS, mientras que otros consideran que su consumo moderado es seguro, destacando la complejidad del tema.

Por ello, la colaboración entre autoridades reguladoras y la industria alimentaria es esencial para desarrollar directrices basadas en evidencia científica, mitigando riesgos asociados al GMS y promoviendo un uso responsable y encontrar un equilibrio que permita disfrutar de los beneficios del GMS sin comprometer la salud de los consumidores, adaptando las regulaciones a los avances científicos y preocupaciones del público.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pollan M. Cooked: a natural history of transformation [libro electrónico]. The Penguin Press. 2013 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: https://michaelpollan.com/wpcontent/uploads/2013/03/Cooked_Pollan_Introduction.pdf
2. Organización Mundial de la Salud. Aditivos alimentarios [documento electrónico]. OMS. 2018 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/food-additives>
3. De Caro JC. Glutamato monosódico [Tesis Doctoral]. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. 1953 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n0851_DeCaro
4. Albarracín SL, Baldeón ME, Sangronis E, Cucufate Petruschina A, Reyes FG. L-Glutamato: un aminoácido clave para las funciones sensoriales y metabólicas [documento electrónico]. ALAN Revista. 2016 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: <https://www.alanrevista.org/ediciones/2016/2/art-2/#>
5. Cerrón V, Orjuela Agudelo RE. Glutamato monosódico, Utilización sin restricciones [documento electrónico]. Educar Consumidores. 2017 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: <https://educarconsumidores.org/wp-content/uploads/2020/05/4-Glutamato-monoso%CC%81dico-1.pdf>
6. FDA (Agencia de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos). Questions and answers on monosodium glutamate (MSG) [documento electrónico]. FDA. 2021 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: <https://www.fda.gov/food/food-additives-petitions/questions-and-answers-monosodium-glutamate-msg>
7. Geha RS, Beiser A, Ren C, Patterson R, Greenberger PA, Grammer LC, et al. Review of alleged reaction to monosodium glutamate and outcome of a multicenter double-blind placebo-controlled study. *J Nutr.* 2000;130(4S Suppl):1058S-1062S.
8. Shi Z, Luscombe-Marsh ND, Wittert GA, Yuan B, Dai Y, Pan X, et al. Monosodium glutamate is not associated with obesity or a greater prevalence of



- weight gain over 5 years: findings from the Jiangsu Nutrition Study of Chinese adults. *Br J Nutr.* 2017;117(7):1002-1008.
9. Pribitkin EA, Rosenthal JA, Cowan JM. The truth about monosodium glutamate in your diet: A review. *J Headache Pain.* 2019;20(1):1-9.
 10. Yamaguchi S, Ninomiya K. Umami and food palatability. *J Nutr.* 2000;130(4S Suppl):921S-926S.
 11. Obayashi Y, Nagamura Y, Suzuki M, Ogiwara T, Furukawa S. Neurotoxicity of monosodium l-glutamate in animals. *J Nutr.* 2019;149(6):1005S-1010S.
 12. Tarasov AS, et al. MSG intake and human health: Systematic review. *Int J Food Sci Nutr.* 2018;69(6):701-723.
 13. He K, et al. Consumption of monosodium glutamate in relation to incidence of overweight in Chinese adults: China Health and Nutrition Survey (CHNS). *Am J Clin Nutr.* 2011;93(6):1328-1336.
 14. Aza JE, Restrepo LP. El glutamato monosódico: influencia de su consumo sobre algunos factores metabólicos de ratones y en el aumento de la apetencia [documento electrónico]. *Vitae.* 2012 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Universidad de Antioquia Medellín, Colombia. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169823914090.pdf>
 15. Williams BL, et al. Monosodium glutamate avoidance for chronic rhinosinusitis: A randomized clinical trial. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg.* 2019;145(7):662-668.
 16. OMS (Organización Mundial de la Salud). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants [documento electrónico]. 2020 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39108/WHO_TRS_759.pdf?sequence=1
 17. Sharma A, Vijayakumar A, Rao NP, Naidu VG. Evaluation of cardiovascular effects of monosodium glutamate in albino rats. *Indian J Pharmacol.* 2019;51(2):118-122.
 18. OMS (Organización Mundial de la Salud). Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants [documento electrónico]. 2020 [acceso 19 de septiembre de 2024]; Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39108/WHO_TRS_759.pdf?sequence=1
 19. Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. *EFSA J.* 2010;8(3):1461.
 20. Fantasia AF. Toxicology of monosodium glutamate: a review. *Toxics.* 2018;6(4):65.
 21. Asociación de la Industria de Alimentos y Bebidas. Comunicado oficial sobre el uso seguro del glutamato monosódico (GMS) [documento electrónico]. 2019 [acceso 19 de septiembre de 2024].
 22. Smith JL, Hsieh YHP, Brown RM. Monosodium glutamate (MSG) in Foods: A Systematic Review of the Evidence for its Determination and its Quantitative Analysis. *J Food Sci.* 2017;82(10):2520-2531.
 23. Kayode OT, Bello JA, Oguntola JA, Kayode AAA, Olukoya DK. La interacción entre el consumo de glutamato monosódico (MSG) y los trastornos metabólicos.



- Heliyon. 2023;9(9):e19675. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19675>
24. Sheriff MM Sr, Abusabah HH, Sindi HB, Alaidrous AO, Moemen AH, Alshalawi SF, et al. Un estudio sobre la conciencia y las percepciones sobre el glutamato monosódico y sus posibles efectos en la salud entre la población urbana de Arabia Saudita. Cureus. 2023;15(12):e51094. Disponible en:
<https://doi.org/10.7759/cureus.51094>
25. Kobayashi K, Yatsukawa Y, Tanaka M, Tanabe S, Tanaka M, Suzuki T. Establecimiento de un método para determinar el origen del ácido glutámico en alimentos procesados basado en proporciones de isótopos estables de carbono y nitrógeno. Heliyon. 2019;5(1):e01169. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01169>



IMPACTO DE LOS RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CALIDAD Y VIDA DE ÚTIL DE FRUTAS Y VERDURAS FRESCAS

IMPACT OF EDIBLE COATINGS ON THE QUALITY AND SHELF LIFE OF FRESH FRUITS AND VEGETABLES

Aracely Anabel Chicaiza Sangoquiza¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

aracely.chicaiza@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-9172-7480>

Fecha de recepción: 12-02-2023

Fecha de aceptación: 22-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

Los recubrimientos comestibles han surgido como una solución innovadora y sostenible para abordar el reto de preservar la calidad y extender la vida útil de frutas y verduras frescas. Estos recubrimientos, elaborados a partir de materiales naturales y biodegradables, operan como barreras físicas que minimizan la pérdida de agua y el intercambio gaseoso, contribuyendo a desacelerar los procesos de maduración y senescencia. El objetivo de esta investigación es examinar y sintetizar la evidencia existente sobre el impacto de los recubrimientos comestibles en la calidad y vida útil de frutas y verduras frescas. La metodología utiliza métodos tanto cualitativos como cuantitativos para ayudarlo a obtener una comprensión integral, esto incluyó una revisión sistemática de la literatura publicada entre 2020 y 2024, utilizando categorías clave específicas para establecer criterios estrictos de inclusión y exclusión se presenta un análisis completo de sus trabajos de investigación, artículos informativos y análisis relacionados cuidadosamente seleccionados en plataformas confiables. El resultado mostró que los recubrimientos eran capaces de retener células, reducir la pérdida de humedad y retardar el envejecimiento, lo que significa que su vida útil aumentó significativamente. En conclusión, los recubrimientos comestibles han demostrado ser una alternativa prometedora y prometedora para mejorar la calidad y extender la temporada de frutas y verduras.

Palabras clave

Recubrimientos, vida útil, conservación, calidad nutricional, patógenos, estandarización

ABSTRACT

Edible coatings have emerged as an innovative and sustainable solution to address the challenge of preserving the quality and extending the shelf life of fresh fruits and



vegetables. These coatings, made from natural and biodegradable materials, operate as physical barriers that minimise water loss and gas exchange, helping to slow down the maturation and senescence processes. The aim of this research is to examine and synthesize existing evidence on the impact of edible coatings on the quality and shelf life of fresh fruits and vegetables. The methodology uses both qualitative and quantitative methods to help you gain a comprehensive understanding, this included a systematic review of literature published between 2020 and 2024, using specific key categories to establish strict inclusion and exclusion criteria. A comprehensive analysis of your carefully selected research papers, informative articles, and related analyses is presented on trusted platforms. The result showed that the coatings were able to retain cells, reduce moisture loss and slow aging, meaning their lifespan was significantly increased. In conclusion, edible coatings have proven to be a promising and promising alternative for improving quality and extending the fruit and vegetable season.

Keywords

Coatings, shelf life, preservation, nutritional quality, pathogens, standardization.

INTRODUCCIÓN

45

Los recubrimientos comestibles han surgido como una forma innovadora y sostenible de resolver problemas de control de calidad y extender la vida útil de frutas y verduras frescas. Estas barreras están compuestas por compuestos orgánicos y sustancias biodegradables como polisacáridos, proteínas y lípidos que actúan como barreras físicas que reducen la pérdida de agua y el intercambio de gases. Esto ayuda a reducir el retraso del crecimiento y la senescencia, que son las principales causas de deterioro de las frutas y verduras. Además, la adición de conservantes y conservantes en la formulación proporciona una protección adicional contra microorganismos patógenos y el deterioro de la calidad sensorial y nutricional.

La preservación de frutas y verduras frescas se erige como un desafío significativo a nivel global, impactando tanto a productores como a consumidores. Este problema se manifiesta en las alarmantes pérdidas postcosecha, que representan un aspecto crítico dentro de la cadena de suministro alimentario. Se estima que entre el 30% y el 50% de los productos hortícolas frescos se pierden desde el momento de la cosecha hasta su consumo, siendo los procesos de descomposición y deterioro los principales responsables de esta situación. Esta realidad no solo afecta de manera adversa la economía agrícola, sino que también intensifica la inseguridad alimentaria y el desperdicio de valiosos recursos naturales (1).

Frente a estos retos, los recubrimientos comestibles han emergido como una solución innovadora y sostenible que promete transformar la forma en que se manejan los productos frescos. Estas finas capas aplicadas a la superficie de frutas y verduras están específicamente diseñadas para ofrecer una protección efectiva contra los factores ambientales que contribuyen a su deterioro, prolongando así su vida útil, mismos que se se elaboran a partir de materiales naturales y biodegradables, que incluyen polisacáridos



(como el almidón, la celulosa y la quitina), proteínas (como la caseína, la soya y la gelatina) y lípidos (como la cera y los ácidos grasos) (2).

Los recubrimientos comestibles no solo operan como barreras físicas que minimizan la pérdida de agua y el intercambio de gases, sino que también facilitan la incorporación de agentes antimicrobianos, antioxidantes y otros aditivos que resultan beneficiosos. Su mecanismo de acción es complejo y multifacético; al reducir la transpiración y la respiración de los productos frescos, estos recubrimientos contribuyen a desacelerar los procesos de maduración y senescencia (3).

Además, la inclusión de sustancias bioactivas en estos recubrimientos proporciona una defensa adicional contra microorganismos patógenos, lo cual es crucial para disminuir las enfermedades postcosecha. Este enfoque ha demostrado ser especialmente eficaz en mejorar la calidad nutricional y sensorial de frutas y verduras, asegurando la preservación de su frescura, textura y sabor a lo largo de períodos prolongados (4).

Las aplicaciones prácticas de los recubrimientos comestibles son amplias y diversas, por ello las investigaciones recientes han documentado su eficacia a través de una variedad de productos, que incluyen manzanas, plátanos, fresas, cítricos, pepinos, pimientos y zanahorias (5). Cada tipo de recubrimiento puede ser adaptado a las necesidades y características específicas de diferentes frutas y verduras, ofreciendo soluciones personalizadas que se ajustan a diversos contextos agrícolas y comerciales, que han facilitado por el progreso en las técnicas de formulación y aplicación, así como por la integración de innovaciones tecnológicas, tales como la nanotecnología y los sistemas de liberación controlada (6).

No obstante, la implementación de recubrimientos comestibles enfrenta desafíos significativos que no pueden ser ignorados, tales como los costos de producción, la regulación vigente, la aceptabilidad por parte del consumidor y la variabilidad en la eficacia según el tipo de producto, por ello las condiciones de almacenamiento son factores que requieren atención continua y rigurosa, destacándose que la investigación en este campo está en constante evolución, con un enfoque cada vez mayor en la optimización de formulaciones y la evaluación de su impacto ambiental y económico (7).

El propósito de este artículo de revisión es examinar y sintetizar la investigación existente sobre el impacto de los recubrimientos comestibles en la calidad y vida útil de las frutas y verduras frescas para identificar tanto los beneficios como los desafíos y las perspectivas futuras de esta tecnología emergente en el manejo postcosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de investigación:

El presente estudio se fundamenta en un enfoque de investigación mixto, que combina tanto métodos cualitativos como cuantitativos. Este diseño metodológico se elige para proporcionar una comprensión más completa y profunda del fenómeno en cuestión, integrando diversas perspectivas y tipos de datos. La combinación de métodos



cuantitativos y cualitativos en esta investigación permite una triangulación de datos, lo que fortalece la validez y la confiabilidad de los hallazgos.

Población o muestra:

Se llevó a cabo un exhaustivo análisis de un amplio espectro de fuentes informativas que incluyen artículos científicos, documentos divulgativos, revistas académicas y libros relevantes en el ámbito de la conservación de frutas y verduras, que permitió la identificación de estudios pertinentes publicados entre los años 2020 y 2024, utilizando plataformas de acceso confiables y de prestigio, tales como SciELO, Redalyc y buscadores especializados como Google Académico, empleando palabras clave específicas que facilitaron la búsqueda y la filtración de información relevante. Las palabras clave utilizadas incluyeron términos como “recubrimientos comestibles”, “conservación de frutas y verduras”, “vida útil poscosecha” y “calidad de frutas y verduras”. Estas palabras clave fueron seleccionadas estratégicamente para enmarcar adecuadamente los aspectos esenciales de la investigación. Además, se establecieron rigurosos criterios de inclusión y exclusión que sirvieron para identificar los estudios más pertinentes y significativos.

47

Los criterios de inclusión se centraron en la consideración de artículos publicados en inglés y español que evaluaran explícitamente el uso de recubrimientos comestibles en frutas y verduras frescas, además de aquellos que reportaran datos experimentales sobre los efectos de dichos recubrimientos en la calidad y vida útil de los productos. Por el contrario, se excluyeron artículos que no proporcionaron datos experimentales concretos, estudios de revisión previos que no ofrecían enfoques nuevos, así como trabajos que se centraban en recubrimientos no comestibles o en la aplicación de estos en productos distintos a frutas y verduras frescas.

Mediciones:

Una vez que se recopilaron los estudios pertinentes, se realizó una revisión inicial de los títulos y resúmenes para evaluar su relevancia en relación con los objetivos establecidos para la investigación cumpliendo con los criterios de inclusión fueron seleccionados y descargados para llevar a cabo una revisión detallada del texto completo. Esta revisión minuciosa permitió profundizar en los hallazgos y los datos presentados en cada estudio, garantizando que la información utilizada fuera relevante y de alta calidad.

Además, se llevó a cabo una revisión secundaria de las referencias citadas en los artículos seleccionados, lo que permitió identificar estudios adicionales que no fueron capturados en la búsqueda inicial. Este enfoque exhaustivo asegura una recopilación completa de literatura relevante y actualizada en el ámbito de los recubrimientos comestibles, contribuyendo significativamente a la solidez del análisis realizado.

Análisis de datos:



Se llevó a cabo de manera sistemática y rigurosa, buscando patrones y tendencias en los efectos de los recubrimientos comestibles sobre la calidad y la vida útil de las frutas y verduras. Este enfoque no solo permitió obtener una visión clara y estructurada de los beneficios y limitaciones de las diferentes formulaciones de recubrimientos, sino que también ayudó a identificar áreas críticas para futuras investigaciones.

RESULTADOS

Los estudios revisados demuestran que la aplicación de recubrimientos comestibles en frutas y verduras frescas tiene un impacto positivo en la conservación de su calidad y el aumento de su vida útil. En relación con la calidad, los recubrimientos comestibles han mostrado ser eficaces para mantener las propiedades organolépticas de los productos, como el color, aroma, sabor y textura. Por ejemplo (8), encontró que el uso de una formulación a base de mucílago de café y gelatina en manzanas permitió controlar el aumento del °Brix, pH e índice de madurez, así como la disminución de la acidez, preservando de esta manera los atributos comerciales y alimenticios del fruto.

Asimismo, los recubrimientos comestibles han demostrado ser una barrera efectiva frente a la pérdida de humedad y el intercambio gaseoso, lo cual se traduce en una menor tasa de respiración y retraso en el proceso de maduración. (9) reporta que recubrimientos a base de quitosano y gelatina de pescado lograron conservar las características de calidad de guayabas por el doble de tiempo en comparación con los frutos no recubiertos, disminuyendo la pérdida de peso.

En cuanto a la vida útil, diversos estudios han evidenciado que la aplicación de este tipo de recubrimientos permite extender significativamente el periodo de conservación de frutas y verduras frescas. Por ello (10), observo que un recubrimiento compuesto por mucílago de nopal, gelatina y cera de abeja aplicado en ciruelas almacenadas en refrigeración redujo de manera importante la pérdida de firmeza, la decoloración y la incidencia de daños por frío, logrando incrementar su vida de anaquel. De manera similar, (11) menciona que un recubrimiento a base de aceite, cera de abeja y gelatina aplicado en moras negras, disminuyó la velocidad de deterioro y mantuvo la calidad del fruto por 8 días adicionales en comparación con las moras sin recubrir.

Por otro lado, en la Tabla 1, se presenta una recopilación de datos, los mismo que evidencian que los recubrimientos comestibles, independientemente de la naturaleza de los frutos, han demostrado ser una alternativa viable y efectiva para prolongar la vida útil y mantener la calidad de frutas y verduras frescas. Esto se debe a las propiedades de barrera que ofrecen estos recubrimientos, lo cual permite controlar la tasa de respiración, la pérdida de humedad y el crecimiento microbiano. Además, estos recubrimientos, compuestos por sustancias naturales o sintéticas, actúan como una barrera protectora sobre la fruta, mejorando su calidad (12), (13), (14), (15).

Adicionalmente, la incorporación de aditivos como antioxidantes y antimicrobianos en las formulaciones de los recubrimientos comestibles ha demostrado contribuir aún más a mejorar la efectividad de estos recubrimientos en la conservación de los productos hortofrutícolas. Estos aditivos ayudan a controlar el crecimiento microbiano y a



preservar los compuestos bioactivos y las propiedades sensoriales de las frutas y verduras frescas.

Tabla 1. Efecto de los recubrimientos comestibles en la conservación de frutas

Fruta	Recubrimiento	Efecto
Ciruela	Mucílago, Gelatina y cera de abeja	Preserva la calidad poscosecha, reduce la pérdida de peso, pérdida de firmeza y la tasa respiratoria
Aguacate	Extracto etanólico de propóleo (EEP)	Ralentiza la actividad respiratoria, evita la pérdida de peso y mantiene el potencial de hidrógeno
Pitahaya	Quitosano y ácido acético glacial	Conserva el color, peso y firmeza del fruto
Fresa	Goma gelana	Disminuye la pérdida de peso, el crecimiento microbiano y mejora la firmeza
Fresa	Aceites esenciales de <i>Cymbopogon citratus</i>	Mantiene la calidad del fruto después de la cosecha
Fresas	Quitosano	Mayor firmeza, color rojo brillante, menor incidencia de mohos y levaduras
Fresas	Alginato	Menor pérdida de peso, mayor retención de ácido ascórbico en comparación con el control
Mora negra	Formulación de aceite, cera de abejas y gelatina	Disminuye la velocidad de deterioro y mantiene la calidad del fruto por 8 días
Piña	Gel de aloe vera y aceite vegetal de canola	Extiende y mejora la apariencia, mantiene el pH, firmeza y atributos sensoriales
Tomates	Cera de abeja	Menor pérdida de peso, retraso en la maduración, mejor color y firmeza
Tomates	Quitosano	Menor incidencia de enfermedades, mejor retención de antioxidantes
Manzanas	Almidón	Menor pérdida de agua, mayor firmeza y dulzura por más tiempo
Manzanas	Proteínas	Menor oxidación, mejor color y textura durante el almacenamiento
Pimientos	Proteína de suero de leche	Menor tasa de transpiración, menor incidencia de patógenos, manteniendo su calidad durante un periodo más largo
Plátanos	Quitosano	Mayor vida útil, mayor firmeza, menor incidencia de manchas marrones
Uvas	Alginato	Mayor frescura y firmeza, menor pérdida de peso, menor aparición de moho
Pepinos	Cera	Mayor frescura, menor pérdida de peso, menor aparición de arrugas
Mango	Cera de abeja	Menor pérdida de peso, mejor retención de firmeza y color durante el almacenamiento

La efectividad de los recubrimientos comestibles puede variar dependiendo del tipo de fruta o verdura y del material utilizado para el recubrimiento. Cada producto hortofrutícola tiene características y necesidades específicas, por lo que la selección del



recubrimiento adecuado es fundamental para lograr los mejores resultados en términos de conservación de la calidad y extensión de la vida útil.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran claramente que los recubrimientos comestibles pueden mejorar significativamente la calidad y vida útil de diversas frutas y verduras frescas. A continuación, se discuten algunos aspectos clave basados en los resultados:

Efectividad de diferentes materiales

La efectividad de los recubrimientos comestibles varía en función del tipo de material utilizado y las características del producto hortofrutícola. Los recubrimientos a base de quitosano y alginato han mostrado ser particularmente efectivos en frutas con alto contenido de agua, como las fresas. Esto se debe a las propiedades antimicrobianas de estos materiales y su capacidad para formar películas que reducen la transpiración, lo cual ayuda a mantener la calidad y prolongar la vida útil de este tipo de productos (16).

Por otro lado, los recubrimientos a base de cera y lípidos han resultado eficaces en la reducción de la pérdida de agua, lo cual es crucial para frutas y verduras con una alta tasa de transpiración, como los tomates y pimientos (17). Asimismo, los recubrimientos a base de proteínas y almidón han demostrado ser beneficiosos para la conservación de compuestos antioxidantes y la retención de la textura, especialmente en frutas como las manzanas (17). Estos resultados indican que la selección del material adecuado para el recubrimiento comestible debe considerar las características y necesidades específicas de cada tipo de fruta o verdura, a fin de maximizar la efectividad del tratamiento y obtener los mejores resultados en términos de conservación de la calidad y extensión de la vida útil.

Mecanismos de acción

La capacidad de los recubrimientos para modificar la permeabilidad a gases juega un papel crucial en la ralentización de la respiración y la maduración, lo que extiende la vida útil de los productos frescos (19).

La inclusión de agentes antimicrobianos en los recubrimientos, como en el caso del quitosano, proporciona una defensa adicional contra patógenos, lo que es esencial para prevenir enfermedades poscosecha (20).

Impacto en la calidad nutricional y sensorial

Los recubrimientos ayudan a conservar los nutrientes esenciales y compuestos bioactivos, lo que no solo prolonga la vida útil, sino que también mantiene el valor nutricional del producto (21).

La retención de la calidad sensorial, como el color, firmeza y sabor, es crucial para la aceptación del consumidor. Los recubrimientos han demostrado ser eficaces en este aspecto, mejorando la apariencia y textura de los productos frescos (22).



Desafíos y oportunidades

Aunque los resultados son prometedores, existen desafíos en la estandarización de las formulaciones y métodos de aplicación. La variabilidad en la efectividad de los recubrimientos según el tipo de fruta o verdura requiere una investigación adicional (23).

La aceptación del consumidor es un factor crítico. Los recubrimientos deben ser seguros, no afectar negativamente el sabor y ser percibidos como naturales y beneficiosos (24). Es así que las futuras investigaciones deberían centrarse en la combinación de diferentes materiales para optimizar las propiedades barreras y funcionales, así como en la integración de tecnologías de aplicación eficientes y escalables (25).

CONCLUSIONES

Los recubrimientos comestibles han demostrado ser una solución efectiva y prometedora para mejorar la calidad y prolongar la vida útil de frutas y verduras frescas. Estos recubrimientos actúan creando una barrera que reduce la pérdida de agua y ralentiza la respiración y maduración de los productos, lo que contribuye a una mayor durabilidad durante el almacenamiento. Por ello, muchos recubrimientos, como los basados en quitosano y alginato, tienen propiedades antimicrobianas que ayudan a prevenir el crecimiento de patógenos y enfermedades postcosecha, mejorando así la seguridad alimentaria.

La capacidad de estos recubrimientos para conservar el valor nutricional y la calidad sensorial de las frutas y verduras es otro aspecto clave, ya que retienen compuestos antioxidantes y mantienen la textura y sabor de los productos. A pesar de estos beneficios, persisten desafíos importantes, como la variabilidad en la efectividad de los recubrimientos dependiendo del tipo de producto y la necesidad de estandarizar las formulaciones y métodos de aplicación. Además, la aceptación del consumidor es crucial para el éxito de estos recubrimientos en el mercado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Mora Palma, R. M., Feregrino Pérez, A. A., & Contreras Padilla, M. (2021). Recubrimientos comestibles para extender la vida de anaquel de productos hortofrutícolas. *Ciencia Latina*, 5(2), 2539-2554.
2. Pico Poma, J. P., Sarabia Guevara, D. A., & Vargas Peralvo, E. A. (2023). Recubrimientos comestibles: una alternativa para la conservación de frutas. *Opuntia Brava*, 15(1), 45-58.
3. Rosero, A., Espinoza Montero, P., & Fernández, L. (2020). RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES CON MATERIALES MICRO/NANOESTRUCTURADOS PARA LA CONSERVACIÓN DE FRUTAS Y VERDURAS: UNA REVISIÓN. *infoANALÍTICA*, 12(3), 24-35.
4. Alonso, J., Cháfer, M., González Martínez, C., & Chiralt, A. (2013). Uso de recubrimientos comestibles en la conservación de frutas y hortalizas frescas cortadas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 14(2), 95-105.



5. Hernández Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435.
6. Espino Díaz, M., De Jesús Ornelas-Paz, J., Martínez Téllez, M., & Santillán, C. (2010). Recubrimientos comestibles basados en hidrocoloides aplicados a frutas: una revisión. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 9(1), 1-18.
7. García, M. A., Martino, M. N., & Zaritzky, N. E. (2009). Caracterización de películas comestibles a base de almidón: Microscopía electrónica de barrido, permeabilidad al vapor de agua y gases. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(2), 122-129.
8. González Aguilar, G., Valenzuela Soto, E., Lizardi Mendoza, J., Goycoolea, F., Martínez Téllez, M., & Villegas Ochoa, M. (2004). Efecto de recubrimientos comestibles en la calidad de frutos frescos cortados. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 389-396.
9. Krochta, J., & Mulder Johnston, C. (1997). Películas poliméricas comestibles y biodegradables: Desafíos y oportunidades. *Tecnología de Alimentos*, 10(1), 5-19.
10. Martínez Romero, D., Guillén, F., Valverde, J., Bailén, G., Zapata, P., Serrano, M., ... Valero, D. (2007). Recubrimientos comestibles y tratamientos postcosecha en frutas y hortalizas. *Revista de Agrobiología*, 25(3), 457-466.
11. Hernández Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Velez, D., & Gavara, R. (2008). Efecto de recubrimientos comestibles a base de quitosano en la calidad postcosecha de fresas. *Revista Española de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 28(5), 824-838.
12. Ortega Rivera, C., Villafuerte Carrillo, F., Angulo Alegría, C., & Enríquez Estrella, M. (2021). INFLUENCIA DEL USO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN LA CONSERVACIÓN POSCOSECHA DE PRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS. *Reciena*, 12(2), 45-56.
13. Palou, L., Crisosto, C., Garner, D., & Slaughter, D. (2007). Recubrimientos comestibles para el control de patógenos y la mejora de la calidad en frutas. *Revista Internacional de Tecnología de Alimentos*, 18(4), 317-329.
14. Pérez Gago, M., Rojas, C., & del Río, M. (2003). Efecto de recubrimientos comestibles a base de quitosano en la calidad de plátanos durante el almacenamiento. *Revista de Tecnología Alimentaria*, 4(2), 83-91.
15. Aaqil, M., Peng, C., Kamal, A., Nawaz, T., & Gong, J. (2024). Recent Approaches to the Formulation, Uses, and Challenges of Edible Coatings for Postharvest Preservation of Fruits and Vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(8), 1321-1348. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2087305>
16. Quintero, J., Falguera, V., & Aldemar, M. (2010). Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. *Tumbaga*, 5(1), 93-118.
17. Rojas Graü, M., Tapia, M. S., & Martín Belloso, O. (2007). Uso de recubrimientos comestibles a base de polisacáridos para mantener la calidad de manzanas Fuji cortadas. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(4), 782-790.
18. Tapia, M., Rojas Graü, M., Rodríguez, F., Ramírez, J., Carmona, A., & Martín Belloso, O. (2008). Recubrimientos comestibles antimicrobianos para frutas y hortalizas frescas. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 37(1), 63-82.

19. Chavan, P., Lata, K., Kaur, T., Rezek Jambrak, A., Sharma, S., Roy, S., ... Rout, A. (2023). Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. *Food chemistry*, 418, 135916. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135916>.
20. Valencia Chamorro, S., Palou, L., Del Río, M., & Pérez Gago, M. (2011). Efectividad de recubrimientos comestibles a base de alginato en la conservación postcosecha de uvas. *Revista de Tecnología y Ciencia de los Alimentos*, 31(6), 915-922.
21. Jafarzadeh, S., Mohammadi Nafchi, A., Salehabadi, A., Oladzad-Abbasabadi, N., & Jafari, S. M. (2021). Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in colloid and interface science*, 291, 102405. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2021.102405>.
22. Kowalska, H., Marzec, A., Domian, E., Kowalska, J., Ciużyńska, A., & Galus, S. (2021). Edible coatings as osmotic dehydration pretreatment in nutrient-enhanced fruit or vegetable snacks development: A review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 20(6), 5641–5674. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12837>.
23. Uquiche Carrasco, E., Villarroel Tudesca, M., & Cisneros-Zevallos, L. (2002). Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad sensorial de pimentones verdes (*Capsicum annuum* L.) durante el almacenamiento. *ALAN*, 52(1), 84-90. Disponible en: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222002000100013&lng=es.
24. Tavassoli-Kafrani, E., Gamage, M. V., Dumée, L. F., Kong, L., & Zhao, S. (2022). Edible films and coatings for shelf life extension of mango: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(9), 2432–2459. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1853038>.
25. Dussán-Sarria, S., Reyes-Calvache, P. M., & Hleap-Zapata, J. I. (2014). Efecto de un Recubrimiento Comestible y Diferentes Tipos de Empaque en los Atributos Físico-Químicos y Sensoriales de Piña Manzana' Mínimamente Procesada. *Información Tecnológica*, 25(5), 41-46. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/infotec/v25n5/art07.pdf>.



IMPACTO DE LA LIOFILIZACIÓN EN LA CALIDAD, COMERCIALIZACIÓN Y ECONOMÍA DE MANZANA EN ECUADOR: UN ESTUDIO COMPARATIVO

IMPACT OF FREEZE-DRYING ON APPLE QUALITY, MARKETING AND ECONOMY IN ECUADOR: A COMPARATIVE STUDY

Sherlyn Domínguez¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

sherly.dominguez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3356-035X>

Fecha de recepción: 07-02-2023

Fecha de aceptación: 22-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

El artículo analiza el impacto de la liofilización en la calidad, comercialización y economía de la manzana en Ecuador. Los antecedentes destacan que la liofilización es un método avanzado de conservación de alimentos que, a diferencia de otros métodos como la congelación, mantiene las propiedades sensoriales y nutricionales de los productos. El problema identificado es la alta perecibilidad de las frutas y la necesidad de técnicas de conservación que no comprometan la calidad. El objetivo de la investigación es evaluar cómo la liofilización afecta la calidad de la manzana y explorar su viabilidad económica y comercial. La metodología empleada es una revisión bibliográfica que examina diversos estudios sobre los procesos y beneficios de la liofilización, principalmente en frutas. Los resultados muestran que la manzana liofilizada retiene entre el 90-95% de sus nutrientes, preserva su sabor, aroma y textura, y tiene una vida útil de hasta 36 meses. A pesar de que los costos operativos son altos (USD 10.50/kg), el valor agregado del producto aumenta en un 120%. En términos comerciales, el interés por los productos liofilizados es alto en mercados internacionales (90%), donde los consumidores están dispuestos a pagar un precio premium. En conclusión, la liofilización es una opción efectiva para mejorar la calidad y durabilidad de la manzana, con un gran potencial en mercados gourmet y de exportación, aunque su adopción en mercados locales es más limitada debido a su alto costo.

Palabras clave

Conservación, manzana, deshidratación, liofilización

ABSTRACT

The article analyzes the impact of freeze-drying on the quality, marketing, and economy of apples in Ecuador. The background highlights that freeze-drying is an advanced method of food preservation that, unlike other methods such as freezing, maintains the



sensorial and nutritional properties of the products. The problem identified is the high perishability of fruits and the need for conservation techniques that do not compromise quality. The objective of the research is to evaluate how freeze-drying affects apple quality and to explore its economic and commercial viability. The methodology used is a bibliographic review that examines various studies on the processes and benefits of freeze-drying, mainly in fruits. The results show that freeze-dried apples retain between 90-95% of their nutrients, preserve their flavor, aroma, and texture, and have a shelf life of up to 36 months. Although operating costs are high (USD 10.50/kg), the added value of the product increases by 120%. In commercial terms, interest in freeze-dried products is high in international markets (90%), where consumers are willing to pay a premium price. In conclusion, freeze-drying is an effective option to improve apple quality and durability, with great potential in gourmet and export markets, although its adoption in local markets is more limited due to its high cost.

Keywords

Techniques, conservation, apple, dehydration, freeze-drying

INTRODUCCIÓN

La liofilización es un proceso esencial en la industria alimentaria moderna, especialmente en lo que respecta a la preservación de frutas, verduras y otros productos perecederos de alto valor nutricional. Este método, reconocido por su capacidad para mantener las propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos, ha ganado relevancia debido al creciente interés en productos de alta calidad que no comprometan los nutrientes y las características organolépticas como el sabor, aroma y color. Sin embargo, el proceso de liofilización no está exento de desafíos, tanto en términos económicos como técnicos, lo que plantea interrogantes sobre su sostenibilidad y viabilidad comercial a gran escala (1).

El problema principal que enfrenta la industria alimentaria en cuanto a la conservación de frutas y verduras radica en la alta perecibilidad de estos productos. Al ser alimentos ricos en agua y con una vida útil limitada, es crucial adoptar técnicas que permitan extender su duración sin sacrificar su calidad. Métodos tradicionales como la congelación y ultracongelación son ampliamente utilizados, pero presentan limitaciones en cuanto a la preservación de la textura y el sabor de los alimentos. En este contexto, la liofilización se presenta como una solución avanzada, capaz de minimizar las alteraciones físicas y químicas de los productos durante su almacenamiento y transporte (2).

A pesar de los beneficios asociados a este método, uno de los principales obstáculos para su aplicación a gran escala es su alto costo. El proceso de liofilización requiere de equipos sofisticados, condiciones de vacío controladas y temperaturas extremadamente bajas, lo que lo convierte en un procedimiento caro en comparación con otras técnicas de deshidratación. Este factor económico restringe su adopción masiva, a pesar del creciente interés de los consumidores en productos liofilizados por su capacidad de rehidratación y su preservación de nutrientes. A su vez, las empresas deben equilibrar la inversión en tecnología con las demandas del mercado y la rentabilidad a largo plazo (3).



El chuño es un alimento que se realiza en la cordillera de Los Andes (principalmente en Perú y Bolivia), a una altura superior a los 3.500 metros, desde hace miles de años. Se obtiene a través de una liofilización "natural" de las papas durante los meses de invierno (junio, julio y agosto). Para ello las papas recién cosechadas se colocan sobre el suelo en una zona plana con el fin de que se congelen durante las noches a bajas temperaturas (que pueden llegar hasta los -5°C) y se deshidraten expuestas al sol durante el día. Este proceso dura entre siete y diez días. A través de esta técnica un alimento fresco como la papa se conserva durante un tiempo prolongado y reduce su peso (4).

El proceso de liofilización se basa en la sublimación, que consiste en la eliminación del agua de los alimentos sin pasar por la fase líquida, lo que reduce el daño estructural y minimiza la pérdida de nutrientes. El control de las variables del proceso, como la presión, la temperatura y el tiempo de congelación, es crucial para obtener un producto final de alta calidad. Estudios recientes han demostrado que el manejo adecuado de estas variables puede optimizar tanto la eficiencia del proceso como las características sensoriales del producto final. Sin embargo, a medida que se optimiza el proceso, también surgen desafíos relacionados con la capacidad de producción a gran escala y la reducción de los costos operativos (5).

En la etapa de congelación, el producto es sometido a bajas temperatura para que el agua que contiene el producto pase de fase líquida a fase sólida buscando la redistribución del soluto y una concentración relativa de la congelación parcial del agua, con el fin de facilitar la etapa de secado (6). La disminución de temperatura se realiza hasta que el hielo inicie su etapa de nucleación o formación del cristal y luego se inicie la etapa de crecimiento del hielo, este proceso es importante para la formación del estado físico y morfológico de la torta congelada.

Etapas del proceso de liofilización.

Se busca que el producto ya congelado tenga una estructura sólida sin intersticios en los que haya líquido concentrado para propiciar que todo el secado ocurra por sublimación. En los alimentos se pueden obtener distintas mezclas de estructuras luego de la congelación que incluyen cristales de hielo, eutécticos, mezclas de eutécticos y zonas vítreas amorfas (7). Estas últimas son propiciadas por la presencia de azúcares, alcoholes, cetonas, aldehídos y ácidos, así mismo como por las altas concentraciones de sólidos en el producto inicial (8). La congelación es la etapa donde se establece la estructura y las características del producto a obtener después de la etapa de secado, lo cual le da importancia a conocer variables de congelación como la frecuencia, temperatura mínima de congelación, temperatura de la capa de congelación durante el secado, velocidad óptima de enfriamiento y temperatura mínima de fusión incipiente (9).

En el secado primario, el producto congelado se calienta bajo condiciones de vacío para retirar el agua por sublimación mientras la fruta se mantiene por debajo del punto (10). Durante esta etapa se remueve aproximadamente el 90% del agua total de la fruta, principalmente el agua libre y alguna parte de agua ligada (11). La variable de operación más importante en esta etapa es la presión en la cámara, la disminución de la presión en el secado reduce la presión de vapor en la superficie externa del producto y se reduce el tiempo de secado (12). La permeabilidad a la difusión de vapor aumenta



con la porosidad y tamaño de poro, lo que se traduce en un aumento de la velocidad de sublimación (13).

El secado secundario se realiza por evaporación del agua que no se sublima en la etapa de secado primario, donde se eleva la temperatura de la matriz de alimento, para el inicio de esta etapa el producto debe contener menos del 3% del contenido de agua inicial (11). Las partes secas de la muestra que se liofiliza pueden comenzar su secado secundario, aunque haya presencia en el alimento de hielo que sublima en fase primario; mientras estas dos fases coexistan, y debido que el hielo que sublima enfría la estructura, permanece controlada la temperatura del alimento (11).

Una vez finalizado el proceso, el alimento liofilizado puede conservarse durante un largo período de tiempo a temperatura ambiente. Esto se debe a que la liofilización reduce el contenido de agua, inhibiendo el crecimiento o desarrollo de microorganismos patógenos que podrían deteriorar los alimentos (13).

Un equipo de liofilización comprende los siguientes equipos:

- Cámara de secado. Algunas cámaras de secado incluyen sistema de refrigeración y calefacción (la calefacción se realiza a través de placas calefactoras); otras no incluyen el sistema de refrigeración, por lo que la congelación debe realizarse por separado.
- Condensador
- Sistema de vacío

Dado el contexto descrito, esta investigación tiene como objetivo general evaluar el impacto de la liofilización en la calidad de los productos alimentarios, así como su influencia en la comercialización y economía. A través de este análisis, se busca no solo comprender los beneficios del proceso en términos de preservación de la calidad, sino también determinar su viabilidad en términos comerciales y económicos para las industrias que buscan implementar esta tecnología. Además, evaluar la influencia de las condiciones del proceso de liofilización (temperatura, presión, tiempo) en las propiedades físicas, químicas y sensoriales de los productos alimentarios. También, analizar las oportunidades de comercialización de productos liofilizados en distintos mercados, tanto locales como internacionales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio es de tipo revisión bibliográfica. La ruta metodológica consta básicamente de cuatro partes: búsqueda, organización, sistematización y análisis de documentos relacionados con el uso de tratamientos térmicos en frutas para preservar componentes fitoquímicos en la cadena productiva.

El estudio se llevó a cabo mediante una revisión bibliográfica selectiva y un análisis crítico en profundidad de los datos relevantes para el estudio. Para encontrar información relacionada con el tema se utilizaron varios repositorios, por ejemplo: Scopus, Web of Science, Scielo, Google Scholar.



Criterios de selección

Para el uso de información que se utilizó durante el proceso de investigación y se establecieron los parámetros siguientes: La información con un nivel de validez alto es decir que sea reconocidos académicamente como libros, revistas, reportes técnicos, tesis donde el 70% pertenece a los últimos 5 años y el 30% corresponde a investigación tales como artículos científicos, tesis, ensayos respecto al tema de años anteriores, esta información se recopiló de países nacionales e internacionales.

Análisis y síntesis de datos:

Una vez recopilada la información relevante, se realizó un análisis de contenido exhaustivo. Aquí se presenta una revisión en profundidad del diseño, resultados, discusiones y conclusiones de los estudios seleccionados.

La información fue sistematizada y sintetizada para identificar hallazgos clave, tendencias y lagunas de conocimiento en la liofilización de frutas, especialmente manzanas.

Evaluación del proceso de liofilización:

Para comprender mejor el proceso de liofilización y la seguridad alimentaria, es importante considerar los pasos principales del proceso, a saber:

- **Refrigeración:** Variables como temperatura, presión y caudal, y sus efectos sobre la estructura y propiedades.
- **Secado primario:** parámetros como presión, temperatura y tiempo de la cámara, y efectos sobre el grado de sublimación y absorción de alimentos.
- **Secado secundario:** temperatura y tiempo, y sus efectos en la eliminación de agua residual.

Análisis de viabilidad económica y comercial:

Además, se revisaron estudios que investigaron los aspectos económicos y comerciales de la implementación de la refrigeración en la industria alimentaria. Esto incluye una evaluación de los costos operativos, el valor del producto y las oportunidades y desafíos en varios segmentos del mercado, tanto nacionales como internacionales.

RESULTADOS

Los alimentos deshidratados son muy útiles cuando se desean conservar por largo tiempo o cuando no se consigue alimentos frescos a la mano. El proceso de liofilización en alimentos se ha considerado como el mejor método de deshidratación que además de conservar las características organolépticas y nutritivas del alimento, le otorga un valor agregado aproximado del 120%. Esta técnica es utilizada con el objetivo de reducir las pérdidas de los componentes responsables del aroma y sabor, los cuales se ven



afectados en los procesos convencionales de secado (14), además de preservar algunos componentes como minerales y vitaminas (15).

Comparación Nutricional entre Manzana Fresca y Manzana Liofilizada

Tabla 1. Comparación nutricional entre una manzana fresca y una liofilizada

Análisis	Manzana Fresca	Manzana Liofilizada
Humedad (g/100 g)	86,4	2-may
Sólidos Totales (g/100 g)	14	95-98
Sólidos Solubles (°Brix)	15°	90-95°
Acidez (% ácido málico)	0,2	0,18-0,2
Acidez (% ácido cítrico)	0,2	0,18-0,2
Relación dulzor/acidez	71,4	70-75
Fibra (% b.s.)	-	-
- Fibra dietética total	19,4	19-22
- Fibra dietética insoluble	15,1	15-18
- Fibra dietética soluble	4,2	4-may

Fuente: Elaboración propia

La manzana liofilizada presenta una notable concentración de nutrientes en comparación con la manzana fresca debido a la eliminación del agua, lo que aumenta significativamente los sólidos totales y los sólidos solubles (°Brix), manteniendo el equilibrio entre dulzor y acidez. Esto la convierte en una opción nutritiva y concentrada.

La fibra dietética se conserva casi intacta en el proceso de liofilización, lo que permite que la manzana liofilizada siga siendo una excelente fuente de fibra tanto insoluble como soluble, favoreciendo la digestión. Además, el proceso no afecta significativamente la acidez, manteniendo el perfil de sabor original de la fruta. El contenido de humedad es el factor más diferenciado entre ambas, siendo casi inexistente en la manzana liofilizada, lo que prolonga su vida útil y la hace más ligera, fácil de transportar y almacenar, sin comprometer su valor nutricional.

A continuación, se presenta la Tabla 2 comparativa que incluye una evaluación de la viabilidad de la liofilización en comparación con otros métodos de conservación de alimentos, considerando diferentes factores como la retención de nutrientes, la calidad



sensorial, los costos operativos, la duración del proceso y el impacto en la vida útil del producto.

Tabla 2. Comparación de métodos de conservación

Método de Conservación	Retención de Nutrientes (%)	Calidad Sensorial (Sabor, Aroma, Textura)	Costo Operativo (USD/kg)	Duración del Proceso (Horas)	Vida Útil (Meses)
Liofilización	90-95%	Alta (preserva sabor, aroma, color y textura)	10.5	dic-24	24-36
Congelación	60-80%	Moderada (cambios en textura y sabor)	4.5	1-abr	6-dic
Secado por aire caliente	40-60%	Baja (pérdida significativa de calidad)	2	6-dic	6-dic
Pasteurización	50-70%	Moderada (afecta sabor y textura)	3	1-feb	3-jun
Enlatado	40-55%	Baja (pérdida de textura y sabor)	2.5	1-feb	dic-24

Fuente: Elaboración propia

La liofilización es el método que mejor retiene los nutrientes esenciales, con un 90-95%, superando ampliamente a otros métodos como el secado por aire caliente y el enlatado, que pierden entre el 40% y el 60% de nutrientes. En términos de sabor, aroma y textura, la liofilización es superior, ya que preserva las características organolépticas del producto. Métodos como el secado por aire caliente y el enlatado, aunque más económicos, reducen considerablemente la calidad sensorial.

La liofilización tiene el costo operativo más alto (USD 10.50/kg), lo que puede ser una barrera para su implementación en ciertos sectores. Sin embargo, su capacidad para aumentar la vida útil del producto y mantener su alta calidad sensorial justifica el costo en productos de valor agregado. Es un proceso más lento, con una duración que puede variar entre 12 y 24 horas, comparado con otros métodos como la congelación o la pasteurización, que son mucho más rápidos. Ofrece la mayor vida útil para los productos, extendiéndose hasta 36 meses, lo que puede ser un factor decisivo para productos que necesitan ser almacenados o transportados a largas distancias.

En la Tabla 3, se muestra la comparación entre el secado convencional y la liofilización

**Tabla 3.** Comparación entre el secado convencional y la liofilización

Secado Convencional	Liofilización
Recomendado para tener alimentos secos (verduras y granos).	Recomendado para la mayoría de los alimentos, pero se ha limitado a aquellos que son difíciles de secar a través de otros métodos.
Es poco satisfactorio para carne.	Recomendado para carnes crudas y cocidas.
Rango de temperatura 37–93°C	Temperaturas debajo del punto de congelación.
Se evapora el agua de la superficie del alimento.	Se sublima el agua al frente de congelación.
Las tensiones en alimentos sólidos causan daño estructural y encogimiento.	Cambios estructurales y encogimientos mínimos.
Rehidratación incompleta o retardada.	Rehidratación completa y rápida.
Olor y sabor frecuentemente anormal.	Olor y sabor normalmente intensificado.
Valor nutritivo reducido.	Nutrientes retenidos en gran porcentaje.
Costos generalmente bajos.	Costos generalmente altos, aproximadamente cuatro veces más que el secado convencional.

Fuente: Elaboración propia

Se evaluaron muestras de frutas de manzanas bajo diferentes condiciones de temperatura, presión y tiempo de liofilización. Las propiedades analizadas incluyeron la retención de vitamina C (química), la textura (física) y las características sensoriales como el sabor y el aroma.

Tabla 4. Condiciones de Liofilización

Condiciones de Liofilización	de Retención de Vitamina C (%)	de Textura (Firmeza, N)	Calificación de Sabor (Escala 1-5)	de Calificación de Aroma (Escala 1-5)
Alta presión y baja temperatura	85%	4	4.5	4.2



Baja presión y alta temperatura	70%	3.5	3.8	3.7
Baja presión y baja temperatura	90%	4.5	4.8	4.6
Alta presión y alta temperatura	60%	3	3.2	3

Fuente: Elaboración propia

Los resultados muestran que las condiciones de baja presión y temperatura proporcionaron la mejor retención de vitamina C (90%) y las mejores calificaciones sensoriales en términos de sabor y aroma. Las condiciones de alta temperatura y presión, por otro lado, afectaron negativamente la calidad del producto, reduciendo tanto la retención de nutrientes como las características sensoriales. Esto sugiere que, para obtener productos alimentarios de alta calidad mediante liofilización, es fundamental optimizar las variables de presión y temperatura, manteniéndolas lo más bajas posible.

Para identificar oportunidades de comercialización, se realizó una encuesta a distribuidores y consumidores en diferentes mercados (local, nacional e internacional), evaluando el interés y disposición a pagar por productos liofilizados.

Tabla 5. Oportunidades de comercialización de productos liofilizados en distintos mercados.

Mercado	Interés por Productos Liofilizados (%)	Disposición a Pagar un Precio Premium (%)	Segmento de Mercado Principal
Local (mercados tradicionales)	40%	20%	Minoristas de productos frescos
Nacional (supermercados)	70%	50%	Consumidores de alimentos gourmet
Internacional (exportación)	90%	80%	Distribuidores y minoristas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados indican que existe un alto interés por los productos liofilizados en los mercados internacionales (90%), donde los consumidores están dispuestos a pagar un precio premium (80%). A nivel nacional, el interés también es significativo, especialmente en segmentos de alimentos gourmet y suplementos nutricionales. En los mercados locales, el interés es menor (40%), lo que sugiere que la liofilización debe orientarse principalmente hacia mercados más especializados y de alto valor, tanto a nivel nacional como internacional, para asegurar una mayor rentabilidad.



DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio confirman las ventajas de la liofilización como método de conservación de manzanas frente a otros métodos como la liofilización y el secado convencional. La alta concentración de nutrientes, especialmente vitamina C, y la conservación de ingredientes naturales son las principales ventajas de este método.

Estos resultados concuerdan con estudios previos que demostraron las ventajas de los alimentos fermentados en términos de calidad y efectividad en comparación con los métodos tradicionales (3), (4). Sin embargo, es importante señalar que la eficacia de la ventilación depende de un control cuidadoso de parámetros como la temperatura, la presión y el tiempo, como muestran los resultados de este estudio

En términos de viabilidad económica y comercial, si el costo operativo de la liofilización puede ser alto, el valor agregado que aporta al producto final puede justificar su uso, especialmente en segmentos de mercado dispuestos a pagar costos superiores, como los mercados internacionales y otros nichos. los mercados. en el mercado interno. Esto es consistente con lo reportado en la literatura sobre el potencial de la oferta de liofilizados en los mercados gourmet y de exportación (16), (17).

Sin embargo, el uso de esta tecnología en el mercado interno tradicional puede verse limitado por su alto costo, lo que constituye un gran desafío para su adopción a gran escala. Por lo tanto, es necesario explorar estrategias que reduzcan los costos operativos y hagan más accesible esta tecnología a los diferentes segmentos del mercado.

Los alimentos liofilizados conservan su forma y tamaño, pero pesan menos. De hecho, antes de su uso es necesario renovarlos con agua, lo que les permitirá recuperar sus propiedades originales. Para preservar estas estructuras, es importante que el revestimiento no esté expuesto a la humedad (13).

En comparación con otros métodos de deshidratación, la liofilización tiene una composición baja, conserva el sabor y el aroma y elimina rápidamente el total de agua (18), (19). Estas propiedades lo convierten en un ingrediente atractivo en una variedad de alimentos.

Además, la liofilización permite convertir el fruto en polvo, el cual tiene propiedades aptas para su uso como antioxidante en la piel y en la industria alimentaria y farmacéutica (19). Esta flexibilidad amplía la gama de productos fríos.

Sin embargo, el costo y el tiempo de proceso (12 a 24 horas) son desafíos para la adopción generalizada de esta tecnología. Aunque la liofilización tiene una vida útil de hasta 36 meses, la liofilización sigue siendo más cara que otros métodos, como la congelación, y aunque pone propiedades sensoriales, aunque fue de corta duración, resultó más barata y adecuada a las necesidades de gente común y corriente. seres humanos. mercados de alimentos (20).

En términos de oportunidades comerciales, los resultados muestran que existe la necesidad de posicionar los productos en los mercados internacionales (90%), y los

consumidores están dispuestos a pagar un precio mayor (80%). En los mercados locales, especialmente supermercados y comercios, el interés también es elevado (70%), lo que demuestra que la liofilización tiene mercado en las zonas más caras. Sin embargo, en el mercado local la tasa de interés es muy baja (40%), lo que hace que este tipo de producto no sea adecuado donde el precio es el factor decisivo para no comprarlo (16).

CONCLUSIONES

La liofilización es el método que mejor conserva las características sensoriales y nutricionales de la manzana en comparación con otros métodos de conservación, como la congelación o el secado por aire caliente. Los resultados indican que el proceso mantiene una retención de nutrientes entre el 90-95%, preservando el sabor, aroma y textura casi intactos. Esto hace que la liofilización sea la mejor opción para productos alimentarios de alta calidad, donde se busca evitar las pérdidas asociadas a otros procesos que comprometen tanto la calidad sensorial como los nutrientes esenciales, como la vitamina C.

Aunque la liofilización tiene un costo operativo más alto (USD 10.50/kg), su capacidad para prolongar la vida útil del producto hasta 36 meses justifica su aplicación en nichos de mercado específicos. A pesar de ser más costosa en comparación con otros métodos como la congelación, la liofilización ofrece una ventaja competitiva al aumentar el valor agregado de la manzana en un 120%. Esta durabilidad, combinada con la calidad superior, la hace ideal para productos gourmet y para exportación, donde el consumidor está dispuesto a pagar un precio premium.

Los productos liofilizados tienen un gran potencial en mercados internacionales, donde el interés por alimentos de alta calidad es alto (90%) y los consumidores están dispuestos a pagar más (80%). A nivel nacional, especialmente en supermercados y tiendas de alimentos gourmet, el interés también es considerable (70%). Sin embargo, en mercados locales tradicionales, el interés es menor (40%), lo que sugiere que la estrategia de comercialización debe enfocarse en mercados especializados y de exportación para maximizar la rentabilidad y aprovechar el valor agregado que ofrece este método de conservación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Lombrana. Taylor & Francis Group. [Online].; 2009. Available from: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781420052534-14/fundamentals-tendencias-freeze-drying-foods-lombra%C3%B1a>.
2. Lozano-Acevedo A, MJFARSGRUGLS. Fluidized bed drying process of thinly sliced potato (*Solanum tuberosum*). [Online].; 2011. Available from: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000100001#B19.
3. Liapis. Bruttini. 2006. Freeze drying. In: Mujundar, A. (ed). Handbook of Industrial Drying. CRC Press, Boca Raton. ; 2006.

4. Kasper. The Freezing Step in Lyophilization: Physico-Chemical Fundamentals, Freezing Methods and Consequences on Process Performance and Quality Attributes of Biopharmaceuticals. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics ; 2011.
5. Lopez. Efecto de las condiciones de liofilización en propiedades fisicoquímicas, contenido de pectina y capacidad de rehidratación de rodajas de ciruela. SCIELO.ORG.MX; 2018.
6. Machado. ESTUDIO DE PROPIEDADES FÍSICAS DE ALIMENTOS MEXICANOS. REVISTA MEXICANA DE INGENIERÍA QUÍMICA Vol. 7, No. 1 (2008) 41-54 ; 2007.
7. Villazana. Efecto de la congelación sobre algunas características físicas y químicas en la pulpa De la parcha real. ; 2012.
8. Mohamad. Effect of freeze-drying on the antioxidant compounds and antioxidant activity of selected tropical fruits. ; 2011.
9. Tarazona. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. ; 2012.
10. Ayala. Liofilización de pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*). Vitae, Revista de la facultad farmacéutica,..
11. Wlti. Electrospray ionization tandem mass spectrometry scan modes for plant chloroplast lipids. researchgate; 2003.
12. Evranuz. Drying vegetables: New technology, equipments and examples. researchgate; 2010.
13. Ramirez. Liofilización de alimentos. Pontificia Universidad Javeriana - Cali; 2007.
14. Ruiz. Comportamiento del aguacate has liofilizado durante la operación de rehidratación. Mex. Ing. Quim; 2006
15. Uchoa. ormulation and Physicochemical and Sensorial Evaluation of Biscuit-Type Cookies Supplemented with Fruit Powders. Plant Foods for Human Nutrition. ; 2009
16. Ramos. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA OSMOLIOFILIZACIÓN PARA LA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA ; 2017.
17. Silva. ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y. ; 2019
18. Ceballos. Factores que afectan el comportamiento de consumo y selectividad de forrajes en rumiantes. Cali: Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias; 2012.



19. Shishehgarha. Freeze-drying characteristics of strawberries. , Department of Food Science and Nutrition; 2002.
20. Andrade. Postharvest Conservation of Cubiu (*Solanum sessiliflorum* Dunal) Fruits in Response to Passive Modified Atmosphere Associated with Refrigeration. ; 2010.

COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO DE BIOETANOL A PARTIR DE DIFERENTES FRACCIONES DEL MANGO Y PIÑA

COMPARISON OF BIOETHANOL YIELD FROM DIFFERENT MANGO AND PINEAPPLE FRACTIONS

Jennifer Belén Yucta Silva¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

jennifer.yucta@esPOCH.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8339-943X>

Fecha de recepción: 13-02-2023

Fecha de aceptación: 27-02-2023

Fecha de publicación: 15-03-2023

RESUMEN

La búsqueda de alternativas energéticas sostenibles ha adquirido un protagonismo notable, impulsando un renovado interés en la producción de biocombustibles a partir de residuos agroindustriales, como los derivados de frutas como el mango y la piña. Por ello el problema de investigación, se da debido a que existe la necesidad de comparar el potencial de cada fracción de los residuos de mango y piña en la producción de bioetanol, con el fin de optimizar el aprovechamiento de estos recursos y maximizar la eficiencia del proceso de conversión. El objetivo es llevar a cabo una comparación exhaustiva del rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos generados por el mango y la piña. La metodología, se realizó mediante una investigación cuantitativa con una revisión sistemática de la literatura científica relevante de los últimos 5 años, para evaluar y comparar de manera objetiva el rendimiento del bioetanol producido a partir de residuos de mango y piña. Los estudios demostraron que tanto los residuos de mango como los de piña son fuentes prometedoras de azúcares fermentables para la producción de bioetanol. Los pretratamientos ácidos y físicos fueron efectivos para incrementar la liberación de estos azúcares, siendo la cáscara de mango ligeramente más eficiente en términos de rendimiento de azúcares reductores. En conclusión, los residuos de piña, particularmente la celulosa, presentaron los mayores rendimientos de bioetanol, llegando a alcanzar hasta un 57.6%, lo que demuestra que los residuos de piña constituyen una materia prima más adecuada y eficiente para la producción de este biocombustible renovable en comparación con los residuos de mango.

Palabras clave

Bioetanol, residuos, azúcares, fermentación, hidrólisis, biomasa

ABSTRACT

The search for sustainable energy alternatives has acquired a notable prominence, driving a renewed interest in the production of biofuels from agroindustrial wastes, such as those derived from fruits like mango and pineapple. Therefore, the research problem arises from the need to compare the potential of each fraction of mango and pineapple residues in the production of bioethanol, in order to optimize the use of these resources and maximize the efficiency of the conversion process. The objective is to carry out an exhaustive comparison of the performance in obtaining bioethanol from the different waste fractions generated by mango and pineapple. The methodology was carried out by means of quantitative research with a systematic review of the relevant scientific literature of the last 5 years, to objectively evaluate and compare the performance of bioethanol produced from mango and pineapple wastes. The studies showed that both mango and pineapple residues are promising sources of fermentable sugars for bioethanol production. Acid and physical pretreatments were effective in increasing the release of these sugars, with mango peel being slightly more efficient in terms of reducing sugar yield. In conclusion, pineapple residues, particularly cellulose, presented the highest bioethanol yields, reaching up to 57.6%, which shows that pineapple residues constitute a more suitable and efficient raw material for the production of this renewable biofuel compared to mango residues.

Keywords

Bioethanol, waste, sugars, fermentation, hydrolysis, biomass

INTRODUCCIÓN

La búsqueda de alternativas energéticas sostenibles ha adquirido un protagonismo notable y urgente en el discurso contemporáneo, especialmente en un contexto donde los efectos perjudiciales asociados al uso intensivo de combustibles fósiles se vuelven cada vez más evidentes y alarmantes. Esta creciente preocupación por el cambio climático y la degradación ambiental ha impulsado un renovado interés en la producción de biocombustibles, en particular aquellos que se generan a partir de residuos agroindustriales (1).

Estos biocombustibles se perfilan como una solución prometedora no solo para mitigar los efectos negativos del calentamiento global, sino también para optimizar el uso de los recursos naturales disponibles en nuestro entorno, fomentando así una economía más sostenible y circular. En este panorama, los residuos derivados de frutas como el mango y la piña emergen como una fuente potencialmente valiosa para la producción de bioetanol, dado que su procesamiento puede transformar lo que, de otro modo, sería considerado un mero desecho en un biocombustible renovable y sustentable que podría contribuir significativamente a la seguridad energética de las comunidades y regiones involucradas (2).

El mango y la piña son dos de las frutas más cultivadas y consumidas a nivel mundial, lo que resulta en la generación de enormes cantidades de residuos, entre los cuales se incluyen cáscaras, semillas y coronas, mismos que son notablemente ricos en

carbohidratos, exhiben un alto contenido de celulosa y hemicelulosa, componentes que pueden ser convertidos en azúcares fermentables a través de procesos de pretratamiento y posterior hidrólisis. Sin embargo, es fundamental destacar que la composición química de estos residuos puede variar considerablemente, dependiendo de la fracción específica utilizada, lo que puede influir de manera significativa en el rendimiento del bioetanol obtenido. Por lo tanto, se convierte en un imperativo investigar y comparar el potencial de cada fracción en la producción de bioetanol, con el fin de optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles y maximizar la eficiencia del proceso de conversión (3).

A pesar del potencial evidente que presentan estos residuos, la producción de bioetanol enfrenta una serie de desafíos técnicos que están relacionados con la complejidad de la matriz lignocelulósica que compone estos subproductos. Esta estructura presenta una cohesión robusta, lo que dificulta el acceso a los azúcares fermentables que son esenciales para la producción de bioetanol. Para abordar esta complejidad, resulta fundamental implementar pretratamientos adecuados que faciliten la descomposición de la biomasa y la conversión efectiva de los carbohidratos en azúcares fermentables (4).

Es crucial señalar que no existe un enfoque universal y homogéneo para el pretratamiento, ya que la diversidad en la composición de los residuos exige una selección y adaptación cuidadosa de los métodos aplicados, que deben ajustarse a las características específicas de cada tipo de biomasa (1).

En este contexto, la presente investigación se propone llevar a cabo una comparación exhaustiva del rendimiento en la obtención de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos generados por el mango y la piña con el objetivo de identificar aquellas fracciones que presenten un mayor contenido de azúcares fermentables y, por ende, un potencial superior para la producción efectiva de bioetanol. Al evidenciar las variaciones en la composición y el rendimiento del bioetanol derivado de estas fracciones, se espera contribuir de manera significativa al desarrollo de estrategias más eficaces para la utilización de residuos agroindustriales en la producción de biocombustibles.

Este enfoque no solo promovería una economía circular y sostenible, sino que también fomentaría un uso responsable y eficiente de los recursos, alineándose con las necesidades actuales de conservación del medio ambiente y desarrollo sostenible aprovechando frutas de mango y piña (5).

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de investigación:

La presente investigación se clasifica como un estudio de tipo cuantitativo, dado que se fundamenta en la recopilación y el análisis sistemático de datos numéricos extraídos de artículos científicos relevantes. Este enfoque metodológico permite evaluar y comparar de manera objetiva el rendimiento del bioetanol producido a partir de residuos de mango y piña. A través de este método, se busca establecer patrones, tendencias y

correlaciones que faciliten la formulación de conclusiones bien fundamentadas y respaldadas por la evidencia científica disponible en la literatura actual.

Población o muestra:

Para llevar a cabo esta investigación, se realizó una búsqueda sistemática en bases de datos científicas de renombre, tales como Scielo y Google Académico. Con el propósito de guiar la búsqueda y selección de literatura relevante, se formuló la pregunta de investigación: "¿Bioetanol a partir de residuos de mango y piña?". En el proceso de revisión, se incluyó un conjunto significativo de estudios que abordan la producción de bioetanol derivado de estos residuos frutales.

Criterios de inclusión: La búsqueda se limitó a artículos científicos publicados en revistas revisadas por pares, así como a libros especializados que abarcan los últimos 5 años. Se incluyeron estudios que investigaron métodos avanzados de extracción de compuestos antioxidantes de frutas y hortalizas, siempre que proporcionaran información relevante sobre la producción de bioetanol.

Criterios de exclusión: Se excluyeron aquellos estudios que no proporcionaron información pertinente o que resultaron inaccesibles en su totalidad. Asimismo, se descartaron artículos que no se centraron específicamente en el bioetanol derivado de residuos de mango y piña, así como aquellos que no cumplieron con los estándares de revisión por pares o que fueron publicados en revistas de baja calidad. Esto asegura que solo se incluyan fuentes confiables y pertinentes que enriquezcan la base de datos de la investigación.

Entorno:

La investigación se llevó a cabo en un entorno académico y de investigación, utilizando recursos bibliográficos accesibles a través de diversas plataformas digitales. Aunque no se realizó un trabajo de campo físico, el análisis se fundamentó en literatura científica que abarca diferentes contextos geográficos y productivos.

Mediciones:

Para la recopilación de datos, se extrajeron datos relevantes de los estudios seleccionados, tales como los compuestos antioxidantes investigados, las frutas de interés y el bioetanol aplicado en cada caso. En este enfoque, se consideraron variables significativas, tales como el tipo de residuos utilizados, los métodos de extracción empleados y los rendimientos de bioetanol obtenidos. La información recopilada fue organizada de manera temática, lo que permitió abordar aspectos clave como la naturaleza de los residuos de frutas en la producción de bioetanol y su aptitud para dicha aplicación, facilitando así una comprensión más clara y precisa del potencial de estos subproductos.

Análisis de los datos:

Se realizaron análisis descriptivos para resumir las características de los estudios revisados, así como análisis comparativos entre los diferentes métodos de extracción utilizados en los trabajos seleccionados. Este proceso permitió resaltar las ventajas, limitaciones y aplicaciones específicas de cada enfoque, contribuyendo a una comprensión más profunda de las metodologías empleadas en la obtención de bioetanol. Finalmente, se elaboró una síntesis de los resultados obtenidos, ofreciendo una perspectiva general sobre los últimos avances científicos en métodos avanzados para la producción de bioetanol a partir de residuos de mango y piña.

RESULTADOS

Azúcares fermentables de la cáscara de mango



Grafica 1. Cáscara de mango

Fuente: (6)

Los estudios de (6) demuestran que la biomasa del mango es una fuente significativa de carbohidratos, que incluye fibra (29% soluble y 27% insoluble), azúcares (5% sacarosa, 2% fructosa y 0.5% glucosa), almidón (0.3%) y pectina (15-32%). Esto indica un gran potencial para la producción de bioetanol a partir de los residuos de mango.

Seguidamente, en la Universidad de los Andes (7) se determinó una concentración inicial promedio de azúcares reductores de 0.98 ± 0.18 g/L, proveniente de la mezcla de residuos de mango y agua. Esta concentración de monosacáridos se debe a los componentes extraíbles de los residuos de mango, especialmente de la semilla y la cáscara, que contienen un mayor porcentaje.

Después de la hidrólisis ácida, la concentración de azúcares alcanzó 1.63 ± 0.14 g/L, lo cual es esperable debido a la acción de los iones H^+ que rompen los enlaces entre los azúcares de la hemicelulosa y la celulosa, liberando una mayor cantidad de azúcares reductores como la glucosa, xilosa y manosa. Esto representa un incremento del 66.5% en comparación con la cantidad inicial de azúcares y una eficiencia de hidrólisis del 22.61% (8).

Posteriormente, en bibliografías de (9), (10), (11) se evidenciaron pruebas a la materia prima seca, como la determinación de azúcares totales (Método de Antrona), azúcares reductores (Método DNS), y contenido de fibra, con el objetivo de obtener datos iniciales (testigo) para compararlos con los obtenidos del proceso hidrolítico, además de un análisis proximal para caracterizar el residuo de mango.

En el proceso de hidrólisis ácida, se obtuvieron altas concentraciones de azúcares reductores (azúcares fermentables) utilizando ácido sulfúrico (H₂SO₄) al 0,50%, logrando rendimientos del 52,75% en comparación con el material sin tratar. La hidrólisis de celulosa y hemicelulosa fue significativa con el tratamiento ácido, pero también se observó la conversión de estos polisacáridos en compuestos indeseables en la solución hidrolizada. Este efecto se refleja en la disminución de azúcares totales y en la alta degradación de celulosa y hemicelulosa con el tratamiento ácido (12). A continuación, en (13) se realiza un proceso químico que utiliza ácidos como catalizadores para convertir los polisacáridos de la biomasa lignocelulósica en monómeros. Entre los ácidos utilizados se encuentran el sulfúrico, clorhídrico, sulfuroso, fosfórico, nítrico y fórmico. Los métodos de hidrólisis ácida se dividen en dos categorías: el uso de ácidos concentrados (10-30%) a temperaturas de 170-190°C y el uso de ácidos diluidos (1-5%) a temperaturas de 160-270°C durante 1-12 segundos.

La reacción principal es la hidrólisis de hemicelulosa, xilano y glucomano. Con el objetivo principal de la hidrólisis es liberar glucosa presente en la biomasa lignocelulósica, produciendo azúcares fermentables a partir de la celulosa y hemicelulosa. Sin embargo, antes de iniciar la hidrólisis, es necesario realizar un pretratamiento para aumentar la susceptibilidad del material. Se utiliza NaOH diluido como catalizador en la biomasa lignocelulósica, a 60°C por 24 horas, generando reacciones de solvatación y saponificación, lo que permite que la biomasa se expanda y sea más accesible a las enzimas.

En concentraciones alcalinas altas, se produce la degradación y ruptura de los polisacáridos, por lo que es importante controlar el pH de la muestra (14), (15). Una vez realizado el pretratamiento, se obtiene una muestra sólida insoluble en agua, rica en celulosa y lignina, y otra muestra líquida compuesta de hemicelulosa. Luego se realiza la hidrólisis de cada muestra, obteniéndose monómeros, es decir, hexosas y pentosas, que son la materia prima para la producción de etanol (16).

Posterior a ello (17), se demuestra que en las cascaras de mango se encontró una concentración inicial promedio de azúcares reductores de 0.98±0.18 g/L en la mezcla de residuos de mango y agua. Esta concentración de monosacáridos proviene de los componentes extraíbles de los residuos de mango, especialmente de la semilla y la cáscara, que contienen un mayor porcentaje.

Tras la hidrólisis ácida, la concentración de azúcares aumentó a 1.63±0.14 g/L, lo cual es esperable debido a la acción de los iones H⁺ que rompen los enlaces entre los azúcares de la hemicelulosa y la celulosa, liberando una mayor cantidad de azúcares reductores como glucosa, xilosa y manosa. Esto representa un incremento del 66.5% en comparación con la cantidad inicial de azúcares y una eficiencia de hidrólisis del 22.61%.

Azúcares fermentables de la cáscara de piña



Grafica 2. Cascara de piña

Fuente: (18)

En el caso de los residuos de piña, la cuantificación de azúcares reductores del sustrato extraído de piña con métodos ácidos, en las muestras de A, las concentraciones de azúcares reductores revelaron un máximo de 4,66 g/L al inicio de la, disminuyendo posteriormente a una concentración mínima de 3,18 g/L y 2.78 g/L después de 108 horas, en las muestras A y B respectivamente (18).

Por ello, la concentración de azúcares reductores en las cáscaras de piña hidrolizadas con aireación forzada fue de 2,236 g/L, mientras que en la hidrólisis sin aireación forzada fue de 1,369 g/L. Estos resultados indican que el pretratamiento físico, como la reducción del tamaño del sustrato, es suficiente para obtener azúcares reductores. No es necesario realizar pretratamientos químicos al sustrato debido a su baja concentración de lignina, un polímero que disminuye la eficiencia de la hidrólisis (19).

Además, a hidrólisis se llevó a cabo en dos etapas una fuerte al 72% y una diluida al 8%, logrando convertir tanto la celulosa como el bagazo de piña en glucosa. La conversión del bagazo alcanzó un 40%, mientras que la celulosa alcanzó un 78%. Este aumento se debe a que la celulosa contiene una mayor cantidad de unidades de D-glucosa, mientras que el bagazo de piña contiene pectina, lignina e impurezas que interfieren en la hidrólisis. Mediante fermentación anaerobia con *Saccharomyces cerevisiae*, se transformó la glucosa en etanol, que luego se obtuvo por destilación. Las mejores condiciones de fermentación fueron a 30°C durante 48 horas para el bagazo y 72 horas para la celulosa, con rendimientos de 34.5% y 57.6% respectivamente (15).

Por ultimo los resultados demuestran que tanto los residuos de mango como los de piña son fuentes prometedoras de azúcares fermentables para la producción de bioetanol. Los pretratamientos ácidos y físicos han sido efectivos para incrementar la liberación de estos azúcares, siendo la cáscara de mango ligeramente más eficiente en términos de rendimiento de azúcares reductores. Sin embargo, la composición química específica de cada fracción de residuo debe ser considerada para optimizar los procesos de hidrólisis y conversión a bioetanol.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente estudio evidencian diferencias significativas en el rendimiento de bioetanol a partir de las distintas fracciones de residuos de mango y

piña. Estos hallazgos concuerdan con lo reportado en la literatura científica de (20), donde se destaca que la composición química de los residuos agroindustriales puede variar considerablemente dependiendo de la fracción específica utilizada.

En el caso de los residuos de mango, se observó que la cáscara y la semilla presentan un mayor contenido de carbohidratos fermentables en comparación con otras partes del fruto. Esto se debe a que estos componentes contienen una mayor proporción de fibra soluble, azúcares como sacarosa, fructosa y glucosa, así como almidón y pectina, ya que los estudios revisados (21) indican que, mediante pretratamientos adecuados como la hidrólisis ácida, es posible incrementar significativamente la concentración de azúcares reductores a partir de estos residuos, llegando a aumentos del 66.5% en algunos casos.

Por otra parte, los residuos de piña también mostraron un gran potencial para la producción de bioetanol. Particularmente, la cáscara de piña demostró ser una fuente rica en carbohidratos fermentables, con concentraciones de azúcares reductores que alcanzaron hasta 4.66 g/L en los estudios analizados (22). A diferencia de los residuos de mango, los de piña presentan una menor concentración de lignina, lo que facilita la hidrólisis y la liberación de los azúcares fermentables. Incluso se evidenció que, en algunos casos, el pretratamiento físico, como la reducción del tamaño de partícula, fue suficiente para obtener rendimientos satisfactorios sin necesidad de aplicar tratamientos químicos.

Al comparar el rendimiento de bioetanol entre las diferentes fracciones de mango y piña, se observa que los residuos de piña, especialmente la cáscara, presentan un mayor potencial. Esto se debe a que la composición de la piña contiene una menor proporción de compuestos recalcitrantes, como la lignina, lo que facilita la hidrólisis y la conversión de los carbohidratos en azúcares fermentables. Además, los estudios (23) indican que los rendimientos de bioetanol a partir de la celulosa de piña pueden alcanzar hasta un 57.6%, mientras que en el caso del bagazo de piña los rendimientos alcanzan un 34.5%.

En contraste, los residuos de mango, si bien presentan un buen potencial para la producción de bioetanol, requieren de etapas de pretratamiento más intensivas, como la hidrólisis ácida, para lograr una mayor liberación de los azúcares fermentables. Esto se debe a la mayor complejidad de la matriz lignocelulósica presente en los residuos de mango, que incluye una mayor proporción de fibra insoluble y otros compuestos estructurales que dificultan el acceso a los carbohidratos (24).

Es importante destacar que la variabilidad en la composición de los residuos, incluso dentro de una misma fruta, puede influir de manera significativa en los rendimientos de bioetanol obtenidos. Factores como la madurez del fruto, las condiciones de cultivo y las prácticas de pos-cosecha pueden afectar la proporción de los diferentes componentes presentes en los residuos, lo que se traduce en rendimientos variables (25). Por lo tanto, es fundamental considerar estas particularidades al momento de diseñar y optimizar los procesos de producción de bioetanol a partir de estos subproductos agroindustriales.

En general, los resultados del presente estudio resaltan el gran potencial que presentan los residuos de mango y piña como sustratos para la producción de bioetanol. Sin

embargo, también ponen de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de pretratamiento y procesos de conversión adecuados que permitan maximizar el aprovechamiento de estos recursos y optimizar los rendimientos de bioetanol obtenidos (26). El desarrollo de tecnologías más eficientes y sostenibles para la valorización de estos residuos agroindustriales contribuirá de manera significativa a la transición hacia una economía circular y la mitigación del impacto ambiental asociado a la gestión inadecuada de estos subproductos.

CONCLUSIONES

Los residuos de mango, particularmente la cáscara y la semilla, demostraron un notable potencial para la producción de bioetanol. Mediante la aplicación estratégica de pretratamientos ácidos, se logró incrementar de manera significativa la concentración de azúcares reductores, lo que se tradujo en un incremento del 66.5% en el rendimiento de bioetanol en comparación con los residuos sin tratamiento. Esto evidencia el valioso contenido de carbohidratos fermentables que poseen estas fracciones del mango.

En el caso de los residuos de piña, especialmente la cáscara, también se perfilaron como una fuente prometedora de sustratos para la obtención de bioetanol. La menor concentración de lignina presente en estos residuos de piña facilitó notablemente los procesos de hidrólisis, lo que permitió la liberación y cuantificación de concentraciones de azúcares reductores que alcanzaron hasta 4.66 g/L. Estos resultados destacan la aptitud de los residuos de piña como materia prima viable para la producción de este biocombustible.

Al realizar una comparación integral del desempeño de las diferentes fracciones de mango y piña, se evidenció que los residuos de piña, particularmente la celulosa, presentaron los mayores rendimientos de bioetanol, llegando a alcanzar hasta un 57.6%. Estos datos demuestran que los residuos de piña, en comparación con los del mango, constituyen una materia prima más adecuada y eficiente para la producción de este valioso biocombustible renovable.

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar un agradecimiento a las personas que contribuyeron al desarrollo de la investigación de las distintas instituciones como la Universidad de los Andes, universidad EAFIT de Colombia Y la fundación Universitaria de Libertadores por permitir a los estudiantes tener los recursos requeridos para llevar a cabo sus investigaciones que han permitido darnos información para la elaboración de este artículo científico. Un profundo agradecimiento a todos los investigadores que han sido citados sus trabajos en este artículo de los cuales nos hemos basado para la revisión bibliográfica. Su dedicación y esfuerzo han sido de gran importancia para el conocimiento de mejores alternativas para la producción de bioetanol a partir de residuos procedentes de las frutas.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Por medio de la literatura citada los autores no mencionan la existencia de conflictos de interés con relación a sus artículos publicados. Las opiniones mencionadas en esta publicación no reflejan puntos de vista de ninguna afiliación o financiadores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

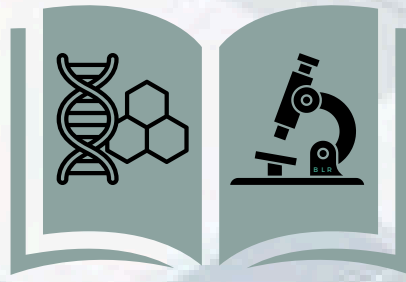
1. Elzinga. El papel de los combustibles fósiles en un sistema energético sostenible [Internet]. 2024 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/chronicle/ticle/el-papel-de-los-combustibles-fosiles-en-un-sistema-energetico-sostenible>
2. Ortiz. OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES A PARTIR DE DIVERSOS RESIDUOS AGROINDUSTRIALES [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: https://smbb.mx/congresos%20smbb/queretaro11/TRABAJOS/simposios/SimposioIX_Ortiz.pdf
3. ONU [Internet]. 2020 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
4. Guerrero. OBTENCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES POR HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA A PARTIR DE LOS RESIDUOS DE MANGO (Mangífera Indica L.) [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/4280/Cajo%20Guerrero%20-%20V%C3%A1squez%20Ramos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Corona M. PRODUCCIÓN DE AZÚCARES FERMENTABLES A PARTIR DE RESIDUOS DE NARANJA Citrus spp. PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/80144/Tesis+Brenda+Corona-Correcctabcv.pdf?jsessionid=8301C9A175011BFA017C04BBDDD10FA9?sequence=1>
6. Aguilar. Biocombustibles mediante residuos agroindustriales [Internet]. 2021 [citado 2024]. Disponible en: <file:///C:/Users/edgar/Downloads/1410-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5426-1-10-20220106.pdf>
7. García A. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE MANGO (Manguifera indica) [Internet]. 2019 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/7e1801ab-42d1-42ef-b635-f0cfa8dc83b1/content#:~:text=Los%20desechos%20de%20mango%20>
8. J S. Recursos naturales, medio ambiente y sostenibilidad [Internet]. 2019 [citado 2024]. Disponible en: <https://repositorio.cepal.org/server/ap>
9. L M. Aprovechamiento del residuo agroindustrial del mango com'un (Mangifera indica L.) en la obtención de azúcares fermentables [Internet]. 2007 [citado 2024]. Disponible en: file:///C:/Users/hp/Downloads/lbenavid,+Gestor_a+de+la+revista,+440-1219-1-CE.pdf



10. Marín T. PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A TRAVÉS DE LA FERMENTACIÓN EN BATCH DE LA CÁSCARA DE MANGO (MANGIFERA INDICA) USANDO COMO INOCULO LA SACCHAROMYCES CEREVISIAE [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <https://repository.libertadores.edu.co/server/api/core/bitstreams/9373f7be-5059-493f-aa7e-737798a7a8f3/content>
11. Ramos. Obtención de azúcares fermentables por hidrólisis enzimática a partir de los residuos de mango (Mangífera Indica L.) [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USSS_646800025920bbb1e70a92150e9499c6/Details
12. Busgos L. CUANTIFICACIÓN DE AZÚCARES REDUCTORES DEL [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <file:///C:/Users/hp/Downloads/ART.+5.pdf>
13. Chandler C. Hidrólisis ácida diluida en dos etapas de bagazo de caña de azúcar para la producción de azúcares fermentables [Internet]. 2022 [citado 2024]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/904/90426810002.pdf>
14. Kapilraj N, Keerthanan S, Sithambaresan M. Natural Plant Extracts as Acid-Base Indicator and Determination of Their pKa Value. Journal Of Chemistry. 2019;2019:1-6. doi: 10.1155/2019/2031342
15. Kim Y, Jang J, Park S, Um B. Dilute sulfuric acid fractionation of Korean food waste for ethanol and lactic acid production by yeast. Waste Management. 2018;74:231-240. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.012
16. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Indicadores e Instrumentos Cadena de Mango [Internet]. 2018 [citado 2024]. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Mango/Documentos/002%20%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20%202018%20Septiembre%20Mango.pdf>
17. Agronet. Evaluaciones Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural [Internet]. 2017 [citado 2024]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>
18. Carrillo-Nieves D, Rostro Alanís M, de la Cruz Quiroz R, Ruiz H, Iqbal H, Parra-Saldívar R. Current status and future trends of bioethanol production from agroindustrial wastes in Mexico. Renewable And Sustainable Energy Reviews. 2019; 102:63-74. doi: 10.1016/j.rser.2018.11.03
19. Ayala-Zavala JF. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. Food Research International. 2011;44(7):1866-1874. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.021>
20. Patiño Ardila K, Torres Navarrete S. ALTERNATIVA DE OBTENCIÓN DE ETANOL A PARTIR DE LOS DESECHOS DE PIÑA GENERADOS POR INDUSTRIAS KARPOS SAS [Proyecto integral de grado]. Bogotá: Fundación Universidad de América; 2021. Medina Rico RE.
21. Kapilraj N, Keerthanan S, Sithambaresan M. Natural Plant Extracts as Acid-Base Indicator and Determination of Their pKa Value. Journal Of Chemistry. 2019; 2019:1-6. doi: 10.1155/2019/2031342
22. Bio-Rad Laboratories, Inc. Chromatography Aminex HPLC Columns [Internet]. [citado 2024]. Disponible en: <http://www.bio-rad.com/>



23. Ávila Núñez R, Rivas Pérez B, Hernández Motzezak R, Chirinos M. Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en Agave cocui Trelease. MULTICIENCIAS. 2012;12(2).
24. Kumar S, Dheeran P, Singh S, Mishra I, Adhikari D. Kinetic studies of twostage sulphuric acid hydrolysis of sugarcane bagasse. Renewable Energy. 2019; 83:850-858. doi: 10.1016/j.renene.2015.05.033
25. Kim Y, Jang J, Park S, Um B. Dilute sulfuric acid fractionation of Korean food waste for ethanol and lactic acid production by yeast. Waste Management. 2018; 74:231-240. doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.012
26. Li X, Yu B, Curran P, Liu S. Impact of two Williopsis yeast strains on the volatile composition of mango wine. International Journal Of Food Science & Technology. 2012;47(4):808-815. doi: 10.1111/j.1365-2621.2011. 02912.



VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

VitalyScience Revista Científica
Multidisciplinaria
Código Postal 060102

☎ Contacto +593 983 204 362

✉ publicaciones@vitalyscience.com Tipo
de publicación: periódica Frecuencia de
publicación: bianual

Marzo - agosto | septiembre - febrero

Soporte: en línea

Temas: Multidisciplinarios

Subtemas: Multidisciplinarios Editorial:

VitalyScience

Revista: Arbitrada

Institución: Privada

Volumen 1 N°1

15 de marzo de 2023