

VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

ISSN: 3091-180X

VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

Volumen 2 N°4

Edición bianual

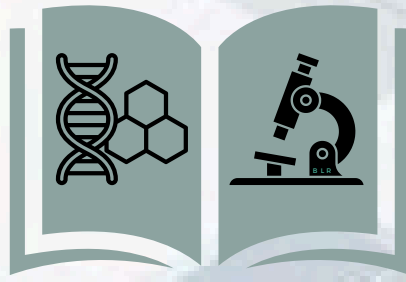
Septiembre - febrero 2024

DOI: <https://doi.org/10.56519/x6wyxs68>



MISAEEL ACOSTA
INSTITUTO UNIVERSITARIO





VITALYSCIENCE
REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

VITALYSCIENCE

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINARIA

**Publicación
Septiembre 2024**

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

Índice

6-20

ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL EN EL USO DE MAQUINARIAS PARA BALANCEADOS EN FERTILAM

21-35

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MECÁNICA DE BIOCOMPUESTOS A BASE DE FIBRA DE PLÁTANO PARA APLICACIONES TEXTILES MEDIANTE ANÁLISIS DE RAMAN

36-52

VALORIZACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARENA ECOLÓGICA

53-65

EFFECTO PROTECTOR DE LOS CAROTENOIDES DE LA ZANAHORIA SOBRE LA SALUD OCULAR: REVISIÓN SISTEMÁTICA

Índice

66-81

CONSERVACIÓN A LARGO PLAZO DE
CEBADA: UN ESTUDIO DE LAS VARIABLES
CRÍTICAS DE ALMACENAMIENTO

82-97

ESTUDIANTES Y DESORDEN ALIMENTICIOS:
UNA ALARMA SILENCIOSA QUE CRECE EN LAS
AULAS EN LA ACTUALIDAD

EFECTO PROTECTOR DE LOS CAROTENOIDES DE LA ZANAHORIA SOBRE LA SALUD OCULAR: REVISIÓN SISTEMÁTICA

PROTECTIVE EFFECT OF CARROT CAROTENOIDS ON EYE HEALTH: SYSTEMATIC REVIEW

Evelyn Borja¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

evelyn.borja@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-2136-6826>

Fecha de recepción: 14-08-2024

Fecha de aceptación: 25-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

La salud ocular es fundamental para el bienestar y la calidad de vida de las personas, pero diversas afecciones como la catarata, la degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y la retinopatía diabética representan una amenaza significativa para la función visual. Estas enfermedades oculares suelen estar asociadas con el estrés oxidativo, la inflamación crónica, la apoptosis y la disfunción mitocondrial. El problema radica que, a pesar de la amplia evidencia sobre los beneficios de los carotenoides en la salud ocular, las personas no lo aplican en su día a día. El objetivo es evaluar de manera exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, como la catarata, la DMRE y la retinopatía diabética. La metodología se basó en una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2020 y 2024 en bases de datos como Scopus, SciELO, PubMed y Google Scholar. Los resultados demuestran que los carotenoides, especialmente el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, ejercen efectos fotoprotectores, antioxidantes y antiinflamatorios, lo que les permite proteger la retina y el cristalino del daño oxidativo y la apoptosis. Además, se ha evidenciado que la suplementación con carotenoides puede mejorar la densidad del pigmento macular y ralentizar la progresión de la DMRE y la catarata. En conclusión, los carotenoides presentes en la zanahoria, como el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, desempeñan un papel fundamental en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, convirtiéndose en candidatos prometedores para el mantenimiento de la salud ocular.

Palabras clave

Carotenoides, zanahorias, antioxidantes, luteína, visión

ABSTRACT



Eye health is critical to people's well-being and quality of life, but various conditions such as cataracts, age-related macular degeneration (AMD), and diabetic retinopathy pose a significant threat to visual function. These eye diseases are often associated with oxidative stress, chronic inflammation, apoptosis, and mitochondrial dysfunction. The problem is that, despite the ample evidence on the benefits of carotenoids on eye health, people do not apply them in their daily lives. The aim is to comprehensively evaluate the available scientific evidence on the protective effect of carrot carotenoids, including β -carotene, in the prevention and treatment of major eye diseases, such as cataract, AMD and diabetic retinopathy. The methodology was based on a systematic review of the scientific literature published between 2020 and 2024 in databases such as Scopus, SciELO, PubMed, and Google Scholar. The results demonstrate that carotenoids, especially β -carotene, lutein and zeaxanthin, exert photoprotective, antioxidant and anti-inflammatory effects, allowing them to protect the retina and lens from oxidative damage and apoptosis. In addition, it has been shown that carotenoid supplementation can improve macular pigment density and slow down the progression of AMD and cataract. In conclusion, the carotenoids present in carrots, such as β -carotene, lutein, and zeaxanthin, play a critical role in the prevention and treatment of major eye diseases, making them promising candidates for maintaining eye health.

Keywords

Carotenoids, carrots, antioxidants, lutein, vision

INTRODUCCIÓN

La salud ocular es un pilar fundamental para el bienestar y la calidad de vida de los individuos, ya que la visión es un sentido primordial que nos permite interactuar con nuestro entorno y desarrollar nuestras actividades cotidianas de manera efectiva. No obstante, diversas afecciones oftálmicas, como la catarata, la degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y la retinopatía diabética, representan una amenaza significativa para la función visual y, en casos graves, pueden conducir a la pérdida de la visión e, incluso, a la ceguera. Estas enfermedades oculares suelen estar asociadas con el estrés oxidativo, la inflamación crónica, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y otros procesos patológicos que conllevan a un deterioro progresivo de las estructuras y los procesos fisiológicos del ojo (1).

La zanahoria conocida con su nombre científico *Daucus carota L.* es una especie herbácea bienal perteneciente a la familia *Apiaceae* originaria de Asia Central. Gracias a su nutritiva raíz principal, la zanahoria se cultiva en todo el mundo y representa uno de los cultivos de hortalizas más importantes y populares. La raíz almacenadora de la zanahoria es una fuente rica de nutrientes valiosos como carotenoides, fibras dietéticas, vitaminas y antioxidantes. El consumo y la producción de zanahorias ha ido en aumentando en los últimos años, ya que esta verdura es reconocida como una valiosa fuente de antioxidantes naturales como es el β -caroteno el cual cuenta efectos anticancerígenos, eliminadores de radicales libres, antimutagénicos y de estimulación inmunológica (2).

Los carotenoides constituyen un grupo diverso de pigmentos liposolubles de origen natural, abundantemente presentes en una amplia variedad de frutas y verduras, como la zanahoria. Según el artículo de revisión (3), se han identificado al menos 600 carotenoides de manera natural, aunque solo alrededor de 20 de ellos, incluidos el β -caroteno, la luteína, la zeaxantina, el meso-zeaxantina y la criptoxantina, son detectables en la sangre humana. Estos compuestos han demostrado poseer propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que los convierte en candidatos prometedores para la prevención y el tratamiento de las enfermedades oculares relacionadas con el estrés oxidativo.

Los carotenoides presentes en la zanahoria son pigmentos naturales responsables de otorgar a estas raíces sus distintivos colores, que van desde el amarillo hasta el naranja intenso. Entre los carotenoides más destacados en la zanahoria se encuentran el betacaroteno, el alfa-caroteno y la luteína (4). Estos compuestos bioactivos se hallan naturalmente en alimentos como frutas, verduras, cereales y legumbres, y su función principal es proteger a las células del cuerpo de los efectos nocivos de los radicales libres que se producen durante la oxidación celular. Estos radicales libres pueden dañar el ADN y otros componentes celulares, contribuyendo al desarrollo de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes y las afecciones cardiovasculares (5).

Según (6) menciona que los carotenoides son los pigmentos más distribuidos en la naturaleza, cuenta con una producción anual de biomasa en el planeta que estimada a los 100 millones de toneladas. En las plantas superiores, los carotenoides de los cloroplastos estas están a menudo enmascarados por los pigmentos de la clorofila (6). Los carotenos pertenecen a la clase de los polienos, son cadenas largas con dobles ligaduras conjugadas, los cuales dan el color intenso de los carotenoides ya que los sistemas conjugados presentan una resonancia posicional, también produce una deslocalización electrónica (7).

Las plantas de zanahoria cuentan con raíces no ramificadas compuestas por vibrantes pigmentos carotenoides, los cuales muestran tonos de amarillo, naranja, rojo y ocasionalmente blanco. Los cautivadores tonos amarillos y naranjas de las zanahorias deben su brillo a los pigmentos carotenoides unidos a los plastidios, específicamente caroteno y xantofila. Es fundamental tener en cuenta que varios compuestos orgánicos exhiben actividad antioxidante, como el betacaroteno, que puede utilizarse como inhibidor de la corrosión (1).

Dentro de este amplio grupo de carotenoides, el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina han suscitado un particular interés debido a su presencia y funciones específicas en el ojo. El β -caroteno, como precursor de la vitamina A, desempeña un papel esencial en diversos procesos biológicos, incluida la visión. Por otro lado, la mácula lútea y el cristalino del ojo son ricos en luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina, colectivamente conocidas como xantofilas maculares, las cuales contribuyen al mantenimiento de la salud ocular y la prevención de enfermedades oftálmicas (8).

Numerosos estudios *in vitro*, en modelos animales y ensayos clínicos han investigado los mecanismos de acción de los carotenoides en la prevención y el tratamiento de las afecciones oculares. Según el artículo de revisión (5), estos compuestos pueden proteger

al ojo del daño oxidativo, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y la inflamación. Además, se ha evidenciado que la suplementación con carotenoides, especialmente luteína y zeaxantina, puede mejorar la densidad del pigmento macular y ralentizar la progresión de la DMRE y la catarata.

Si bien existe una amplia evidencia sobre los beneficios de los carotenoides en la salud ocular, la mayor parte de la investigación se ha centrado en la luteína y la zeaxantina. El papel del β -caroteno, ha sido relativamente menos estudiado en este contexto. Por lo tanto, esta revisión sistemática tiene como objetivo evaluar de manera exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, como la catarata, la DMRE y la retinopatía diabética (4).

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de investigación:

Esta investigación adopta un enfoque cualitativo para evaluar de manera rigurosa y exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares.

Población o muestra:

Para la recopilación de los datos necesarios, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en reconocidas bases de datos académicas, como Scopus, SciELO, PubMed y Google Scholar, entre otras plataformas de acceso a la literatura científica.

En total, se revisaron aproximadamente 100 estudios e investigaciones de diversos autores que abordaban los beneficios de los antioxidantes presentes en la zanahoria para la salud humana. De este conjunto, 70 estudios fueron excluidos por no ser considerados relevantes para los objetivos de esta revisión sistemática. La información recopilada abarca el período comprendido entre el año 2000 y 2024, con el fin de obtener una perspectiva actualizada sobre los avances científicos en este campo de conocimiento.

La selección de los estudios a incluir se basó en criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, considerando aspectos como la relevancia del contenido, la calidad metodológica de las publicaciones y la actualidad de la información.

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados en revistas científicas revisadas por pares, libros o informes técnicos.
- Estudios que evalúen los efectos de los carotenoides de la zanahoria en la prevención y/o tratamiento de enfermedades oculares como catarata, degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y retinopatía diabética.



- Estudios que analicen los mecanismos de acción de los carotenoides de la zanahoria en la salud ocular, como sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y de protección celular.
- Estudios in vitro, en modelos animales y ensayos clínicos que aporten evidencia relevante sobre el tema.
- Publicaciones en idioma inglés o español, con fecha de publicación en los últimos 5 años.

Criterios de exclusión:

- Estudios que no se centren en los carotenoides de la zanahoria o que no aborden su relación con la salud ocular.
- Publicaciones que no presenten datos originales, como editoriales, cartas al editor y resúmenes de congresos.
- Estudios que no cumplan con los estándares de calidad metodológica o que presenten sesgos significativos.
- 6. Estudios que no aporten información relevante o significativa para los objetivos de esta revisión sistemática.

Entorno:

En cuanto al entorno, esta revisión no se limita a un área geográfica específica, sino que abarca la evidencia científica a nivel global, dada la naturaleza internacional de la literatura revisada. Esto permite obtener una visión integral y representativa de los hallazgos relacionados con el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria en la salud ocular.

Mediciones:

Al tratarse de una revisión bibliográfica, no se utilizaron instrumentos de recopilación de datos primarios, sino que se analizaron los resultados y hallazgos reportados en los estudios seleccionados.

Análisis de los datos:

No se emplearon herramientas estadísticas específicas, dado que este estudio se basa en una revisión cualitativa de la literatura científica. En su lugar, se realizó un análisis narrativo y de síntesis de la información recopilada, con el fin de identificar patrones, tendencias y conclusiones relevantes para el objetivo de esta investigación.

RESULTADOS

Los hallazgos de este estudio de revisión investigativa se demuestran que los carotenoides, específicamente el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, desempeñan un papel protector clave en la salud y las enfermedades oculares. En primer lugar, se observó que estos antioxidantes naturales liposolubles absorben la luz visible (400-500 nm de longitud de onda), lo que les permite proteger la retina y el cristalino de los

posibles daños fotoquímicos inducidos por la exposición a la luz. Además, los carotenoides oculares ayudaron a neutralizar los radicales libres producidos por las complejas reacciones fisiológicas, protegiendo así al ojo del estrés oxidativo, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y la inflamación (1)

En consecuencia, se han abordado detalladamente los procesos fisiológicos relacionados con la absorción, transporte y acumulación de los carotenoides en el ojo, los cuales desempeñan un papel clave en la eficacia de estos compuestos para ejercer sus efectos protectores en la salud ocular. Según la evidencia recopilada (4), los efectos fisiológicos de los carotenoides se deben a su absorción y transporte a través del torrente sanguíneo, ya que, estos pigmentos se clasifican en compuestos lipofílicos o hidrofóbicos, es decir, solubles en grasas e insolubles en medios acuosos en el sistema digestivo humano (9).

Por ello es fundamental tener en cuenta los siguientes procesos para evaluar los beneficios de los carotenoides en la salud ocular:

- a) Liberación, absorción y transformación metabólica de los carotenoides a nivel intestinal, lo cual influye en su eficacia.
- b) Transporte de los carotenoides a través de la circulación sanguínea.
- c) Acumulación de los pigmentos maculares (PM), como la luteína y la zeaxantina, en la retina.

Estos procesos fisiológicos conducen a la protección de la retina, lo cual posibilita la prevención y/o la desaceleración del progreso de la ceguera.

Consecuentemente, en el estudio realizado (2), se analizó los resultados obtenidos a partir de la Plataforma de Consulta de Información Alimentaria Especial de la Administración Estatal de Supervisión y Administración del Mercado de la República Popular China, que revelan los datos estadísticos relevantes sobre la presencia y el uso de carotenoides en productos alimenticios destinados a mejorar la salud visual.

Tal como se muestra en la Tabla 1, el análisis de los 109 productos alimenticios saludables evaluados, que indica una marcada preferencia por la luteína (éster) como ingrediente carotenoides para aliviar la fatiga visual. Este carotenoides representa el 92% de los productos evaluados, lo cual sugiere que la luteína (éster) es el compuesto de elección en la formulación de alimentos dirigidos a mejorar la salud ocular.

Por otro lado, la zeaxantina y el β -caroteno también se encuentran presentes como componentes carotenoides, aunque en proporciones significativamente menores, con un 2% y un 35% de representación, respectivamente. Cabe destacar que el licopeno y la Erythrocytis aeruginosa se incluyen en cantidades mínimas, con solo un 1% de presencia en los productos analizados (10).

**Tabla 1.** Productos alimenticios saludables

Número total	Ingredientes carotenoides	Uso frecuente
109	Luteína (éster)	92%
	Zeaxantina	2%
	β -caroteno	35%
	Licopeno	1%
	Erythrocytis aeruginosa	1%

Junto a ello (11), menciona que la luteína, desempeña un papel importante en el desarrollo, la protección del cerebro y el ojo, siendo órganos que están relacionados con el origen embrionario, encontrándose de manera natural en diversos alimentos de origen vegetal, como frutas y verduras, así como también en la leche materna. Por esta razón, se recomienda el consumo de luteína durante el embarazo y la lactancia. Además de sus efectos antiinflamatorios, la luteína ayuda a filtrar la luz azul, que puede dañar la visión y propiciar el desarrollo de enfermedades crónicas, asimismo, se ha observado que la luteína influye en algunos aspectos de la salud cardiovascular y otras enfermedades (12), (13), (14).

Consecuentemente, en un estudio realizado (15), sobre carotenoides en trastornos de hipobetalipoproteinemia familiar, los resultados *in vitro* mostraron una disminución significativa en la secreción basolateral de α -caroteno, β -caroteno, luteína y zeaxantina, lo que se traduce en que los trastornos metabólicos pueden llevar a una deficiencia significativa en los niveles plasmáticos de diferentes carotenoides, lo cual podría tener repercusiones en la función visual y en otros aspectos de la salud.

Posterior a ello, en la revisión realizada (16), se identificó 4 estudios en humanos y 2 estudios en modelos de ratón con ensayos controlados aleatorizados. En los estudios clínicos, tres utilizaron una combinación de luteína y zeaxantina como suplementación, mientras que uno complementó la luteína con otros carotenoides no maculares. En los modelos de ratón, un estudio utilizó solo luteína de manera postnatal, mientras que otro empleó una combinación variable de luteína y zeaxantina de manera prenatal, respaldando la importancia de la suplementación con carotenoides, especialmente aquellos presentes en la zanahoria, como estrategia para mejorar diversos parámetros relacionados con la salud ocular y general.

Adicionalmente, en (5), los estudios epidemiológicos han respaldado el papel de los carotenoides, como el β -caroteno, la luteína, la zeaxantina, el licopeno y la astaxantina, en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas, como las enfermedades cardiovasculares, las cataratas y la degeneración macular relacionada con la edad. Esto se debe a sus propiedades antioxidantes, su capacidad de modular la respuesta inmune y los procesos inflamatorios, así como su influencia en la transducción de señales entre células.



Además, un estudio reciente realizado (17), sobre los beneficios y usos de la zanahoria y su pulpa para la salud reveló los resultados mostrados en la Tabla 2. Donde los investigadores encontraron que el consumo regular de zanahoria y sus subproductos puede aportar diversos beneficios para la salud, demostrándose que la pulpa de zanahoria es rica en fibra dietética, la cual mejora la función gastrointestinal y promueve la saciedad, lo que puede contribuir al control del peso corporal.

Tabla 2. Componentes de la pulpa de zanahoria

Pulpa de zanahorias							
Azúcares totales	Vitaminas	Carotenos	Carbohidratos	Proteínas	Fibra	Fibras dietéticas insoluble	Fibras dietéticas soluble
4,74 g/ 100g	Vitamina C	α -caroteno					
Sacarosa	5,9 g/100 g	3477 μ g/100 g					
3,59 g/100 g	B1	β -caroteno					
	0,07 g/100 g						
Glucosa	B2						
0,59 g/100 g	0,06 g/100 g		9,58 g/100g	0.93g/100g	2.80 g/100g	4,1%	1,65%
Fructosa	B3	8285 microg/100 g					
	0,93 g/100 g						
0,55 g/100 g	B6						
	0,138 g/100 g						

Los resultados, presentados, muestran que la zanahoria es una fuente rica en β -caroteno, un importante precursor de la vitamina A. Además, su contenido en fibra dietética y vitamina C la posiciona como un alimento con múltiples beneficios para la salud. Estos hallazgos respaldan la importancia de incluir la zanahoria en una dieta equilibrada y diversa.

Y finalmente los resultados, presentados en la Tabla 3, muestran que la cáscara de zanahoria es una fuente rica en fibra dietética y β -caroteno, grasa y carbohidratos, lo que podría aportar beneficios para la salud de los consumidores, ya que la cáscara podría ser utilizada como ingrediente funcional en alimentos, aprovechando así una parte de la zanahoria que comúnmente se desecha.

**Tabla 3.** Componentes de la cascara de zanahorias

Cascara de zanahoria				
Proteína	β -caroteno	fibra dietética total	Grasa	Carbohidratos
20,45 mg/100 g	9,7 g/100 g	45,45 g/100 g	1,54 g/100 g	32,98 g/100 g

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio subrayan la importancia fundamental de los carotenoides, es así como, estos resultados se alinean de manera contundente con la vasta investigación previa que ha demostrado reiteradamente los efectos fotoprotectores, antioxidantes y antiinflamatorios de estos pigmentos maculares clave (18), (14). Estos efectos beneficiosos se atribuyen a la excepcional habilidad de estos carotenoides de alinearse estratégicamente en las membranas de los fotorreceptores y secuestrar eficazmente los radicales libres y el oxígeno singlete, brindando así una protección integral a las células retinianas contra el estrés oxidativo (19).

Además, las investigaciones más recientes han revelado que la luteína y la zeaxantina también pueden tener efectos beneficiosos más amplios, incluyendo la prevención de enfermedades cardiovasculares, el apoyo a la función cognitiva y la inhibición del desarrollo del cáncer (20). Sin embargo, una limitación clave de este estudio, como se señala de manera clara, radica en la inherente baja biodisponibilidad de estos compuestos lipofílicos, lo que dificulta su entrega eficiente a los tejidos diana, como la retina.

Para abordar este desafío, se han explorado diversas estrategias innovadoras de formulación, como el empleo de vehículos de aceite vegetal, el uso de la nanotecnología y la formación de complejos con ciclodextrinas (21). Estos enfoques prometedores pueden mejorar significativamente la solubilidad, la estabilidad y la absorción de los carotenoides, lo que a su vez maximizaría sus efectos terapéuticos.

En este contexto (21), ha señalado de manera enfática que la biodisponibilidad y la bioaccesibilidad de los carotenoides dependen de una amplia gama de factores, como la composición de la matriz alimentaria, el nivel de procesamiento y la interacción con otros compuestos dietéticos.

Además (1), advierte sobre las preocupantes discrepancias entre las cantidades declaradas de luteína y zeaxantina en los suplementos comerciales y los resultados de los análisis de laboratorio, lo cual puede deberse a la degradación de estos compuestos durante el almacenamiento. Por lo tanto, el desarrollo de formulaciones estables y con una vida útil prolongada es crucial para garantizar la eficacia y la calidad de los productos a base de carotenoides.

En este sentido (23), ha realizado una exhaustiva revisión de los avances en los sistemas de administración a escala nanométrica, como las nanoemulsiones y los complejos con

ciclodextrinas, que pueden mejorar significativamente la biodisponibilidad y la estabilidad de la luteína. Estos enfoques innovadores pueden desempeñar un papel fundamental en la superación de las limitaciones de biodisponibilidad y maximizar los beneficios terapéuticos de los carotenoides xantófilos.

En general, este estudio proporciona una visión integral y profunda de las propiedades únicas de la luteína y la zeaxantina, y subraya su enorme potencial como agentes terapéuticos versátiles, no solo para la salud ocular sino también para una amplia gama de afecciones relacionadas con el estilo de vida. A medida que se desarrollen estrategias de administración más avanzadas, estos carotenoides podrían convertirse en una herramienta fundamental en el arsenal de la medicina preventiva y terapéutica (24).

Cabe destacar que los hallazgos de este estudio se alinean de manera sólida y coherente con la investigación previa realizada por diversos autores de renombre en el campo. Por ejemplo (25), enfatiza de manera contundente la importancia crítica de la biodisponibilidad y el transporte de los carotenoides a través del torrente sanguíneo para lograr sus efectos fisiológicos deseados. Asimismo (23), (25), (24), demuestran de manera concluyente y convincente los beneficios de los carotenoides para la función visual y cognitiva, lo que respalda aún más la relevancia y la trascendencia de los hallazgos presentados en este estudio.

CONCLUSIONES

Los carotenoides, como el betacaroteno y la luteína, son compuestos bioactivos que se encuentran en abundancia en las zanahorias y que desempeñan un papel crucial en la salud ocular. Estos antioxidantes no solo protegen la retina de los daños causados por la luz y los radicales libres, sino que también son vitales para la función visual, especialmente en condiciones de poca luz, al mejorar la visión nocturna.

Además, su consumo regular no solo beneficia la salud ocular, sino que también tiene un impacto positivo en la salud cardiovascular. La acción antioxidante de estos compuestos ayuda a combatir el estrés oxidativo, un factor de riesgo significativo en el desarrollo de enfermedades cardíacas. Al proteger el sistema cardiovascular, los carotenoides contribuyen a mantener una circulación sanguínea saludable y a reducir la inflamación.

Los carotenoides también juegan un papel importante en el fortalecimiento del sistema inmunológico. Ayudan a modular la respuesta inmune, lo que puede ser crucial para combatir infecciones y enfermedades. Esto es especialmente relevante en un contexto donde la salud del sistema inmunológico se ha vuelto una prioridad para muchas personas.

Las zanahorias son una fuente rica en fibra, vitaminas y minerales, lo que las convierte en un alimento esencial para una dieta equilibrada y saludable. La fibra, por ejemplo, no solo promueve una adecuada digestión, sino que también ayuda a mantener niveles saludables de colesterol y a regular el azúcar en sangre. Las vitaminas, como la vitamina C y varias del complejo B, son fundamentales para el funcionamiento óptimo del organismo, apoyando desde la salud de la piel hasta la producción de energía.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Addo, E. K., Allman, S. J., Arunkumar, R., Gorka, J. E., Harrison, D. Y., Varner, M. W., & Bernstein, P. S. Systemic Effects of Prenatal Carotenoid Supplementation in the mother and her Child: The Lutein and Zeaxanthin in Pregnancy (L-ZIP) Randomized Trial —Report Number 1. *Journal of Nutrition*. 2023; 153(8): 2205–2215.
2. Duan, H., Song, W., Wang, F., & Yan, W. Advances in the Application of Carotenoids in Health Foods for Relieving Visual Fatigue. *Shipin Kexue/Food Sci*. 2024; 45(6): 317–325.
3. Abdel-Aal, E.-S., Akhtar, H., Zaheer, K., & Ali, R. Dietary Sources of Lutein and Zeaxanthin Carotenoids and Their Role in Eye Health. *Nutrients*. 2023; 5(4): 1169–1185.
4. Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. Encapsulación de extractos antioxidantes desde subproductos agroindustriales: una revisión. *Rev. Chilena Nutr*. 2020; 47(5): 836–847.
5. Becerra Romero, Z. E. F., & Ventura Aguirre, M. Evaluación del tipo de encapsulante y temperatura de entrada en la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante del jugo de zanahoria (*Daucus carota*) en la microencapsulación por Spray-Drying. [Artículo en línea]. 2019 [20/08/2024]; disponible en: [<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4116>].
6. Böhm, V., Lietz, G., Olmedilla-Alonso, B., Phelan, D., Reboul, E., Bánati, D., et al. From carotenoid intake to carotenoid blood and tissue concentrations – implications for dietary intake recommendations. *Nutrition Reviews*. 2021; 79(5): 544–573.
7. Bordat, C., Cuerq, C., Halimi, C., Vairo, D., Blond, E., Restier, L., et al. Carotenoids in familial hypobetalipoproteinemia disorders: Malabsorption in Caco2 cell models and severe deficiency in patients. *Journal of Clinical Lipidology*. 2024; 18(1): e105–e115.
8. Buscemi, S., Corleo, D., Di Pace, F., Petroni, M. L., Satriano, A., & Marchesini, G. The Effect of Lutein on Eye and Extra-Eye Health. *Nutrients*. 2018; 10(9): 1321.



9. Clemente-Suárez, V. J., Peris-Ramos, H. C., Redondo-Flórez, L., Beltrán-Velasco, A. I., Martín-Rodríguez, A., David-Fernandez, S., Yáñez-Sepúlveda, R., & Tornero-Aguilera, J. F. Personalizing Nutrition Strategies: Bridging Research and Public Health. *J. Personalized Med.* 2024; 14(3).
10. Elena, M., Jáuregui, C., De La Concepción, M., Carrillo, C., Pérez, F., & Romo, G. ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 2011; 61.
11. Ferreira-Leitão, V., Cammarota, M., Gonçalves Aguiéiras, E., Vasconcelos de Sá, L., Fernandez-Lafuente, R., & Freire, D. The Protagonism of Biocatalysis in Green Chemistry and Its Environmental Benefits. *Catalysts.* 2019; 7(12): 9.
12. Gazzolo, D., Picone, S., Gaiero, A., Bellettato, M., Montrone, G., Riccobene, F., Lista, G., & Pellegrini, G. Early Pediatric Benefit of Lutein for Maturing Eyes and Brain—An Overview. *Nutrients.* 2021; 13(9): 3239.
13. Hu, W., Zheng, R., Feng, Y., Tan, D., Chan Chung-Tsing, G., Su, X., & Kim, J. E. Impacts of regular consumption of grapes on macular pigment accumulation in Singapore older adults: a randomized controlled trial. *Food Funct.* 2023; 14(18): 8321–8330.
14. Ikram, A., Rasheed, A., Ahmad Khan, A., Khan, R., Ahmad, M., Bashir, R., & Hassan Mohamed, M. Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *Int. J. Food Prop.* 2024; 27(1): 180–193.
15. Jaramillo Noreña, J., & Quintero Vásquez, M. L. Producción, manejo y distribución de semillas y material vegetal de propagación de hortalizas para seguridad alimentaria en economía campesina en el Oriente antioqueño. [Documento electrónico]. 2008 [19/08/2024]; disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19069>.
16. Khayat, D., Khayat, C., & Hutter-Lardeau, N. La cocina anticáncer los mejores alimentos para prevenir. [Libro electrónico]. Penguin Random House Grupo Editorial España. 2016 [fecha de acceso]; disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cKhbDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT9&dq=La+zanahoria+es+una+ra%C3%ADz+conocida+y+consumida+en+todo+el+mundo.+Originaria+de+Asia+Central,+se+cultiva+desde+hace+miles+de+a%C3%B1os+y+es+apreciada+por+su+delicioso+sabor+y+bene.>



17. Lai, J. S., Veetil, V. O., Lanca, C., Lee, B. L., Godfrey, K. M., Gluckman, P. D., Shek, L. P., Yap, F., Tan, K. H., Chong, Y. S., Ong, C. N., Ngo, C. S., Saw, S.-M., & Chong, M. F. F. Maternal Lutein and Zeaxanthin Concentrations in Relation to Offspring Visual Acuity at 3 Years of Age: The GUSTO Study. *Nutrients*. 2020; 12(2): 274.
18. McAtee, H., Zhang, Y., & Tan, L. Effect of supplementation with macular carotenoids on retinopathy of prematurity: A systematic review. *J. Agric. Food Res.* 2023; 14: 100905.
19. Olmedilla-Alonso, B., Rodríguez-Rodríguez, E., Beltrán-de-Miguel, B., Sánchez-Prieto, M., & Estévez-Santiago, R. Changes in Lutein Status Markers (Serum and Faecal Concentrations, Macular Pigment) in Response to a Lutein-Rich Fruit or Vegetable (Three Pieces/Day) Dietary Intervention in Normolipemic Subjects. *Nutrients*. 2021; 13(10): 3614.
20. Rahmi, V. A., & Zunita, M. Integrated beta-carotene/3-methyl-1-vinylimidazolium-based ionic liquid as a corrosion inhibitor in brackish water. *Case Studies Chem. Environ. Eng.* 2024; 9: 100714.
21. Wang, S., Guo, Q., Wang, L., Lin, L., Shi, H., Cao, H., & Cao, B. Detection of honey adulteration with starch syrup by high performance liquid chromatography. *Food Chem.* 2020; 172: 669–674.
22. Kumar, P., Banik, S. P., Ohia, S. E., Moriyama, H., Chakraborty, S., Wang, C. K., Song, Y. S., Goel, A., Bagchi, M., & Bagchi, D. Current Insights on the Photoprotective Mechanism of the Macular Carotenoids, Lutein and Zeaxanthin: Safety, Efficacy and Bio-Delivery. *J. Am. Nutr. Assoc.* 2024; 43(6): 505–518.
23. Manayi, A., Abdollahi, M., Raman, T., Nabavi, S. F., Habtemariam, S., Daglia, M., & Nabavi, S. M. Lutein and cataract: from bench to bedside. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2018; 36(5): 829–839.
24. Bakac, E. R., Percin, E., Gunes-Bayir, A., & Dadak, A. Una revisión narrativa: el efecto y la importancia de los carotenoides en el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24: 15199.
25. Johra, F. T., Bepari, A. K., Bristy, A. T., & Reza, H. M. A Mechanistic Review of β -Carotene, Lutein, and Zeaxanthin in Eye Health and Disease. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*. 2020; 9(11): 1046.

CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA Y MECÁNICA DE BIOCOMPUESTOS A BASE DE FIBRA DE PLÁTANO PARA APLICACIONES TEXTILES MEDIANTE ANÁLISIS DE RAMAN

PHYSICAL-CHEMICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF BANANA FIBER-BASED BIOCOMPOSITES FOR TEXTILE APPLICATIONS BY RAMAN ANALYSIS

Adanis Santo¹

Investigador independiente

adanis.santo@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-8768-4780>

Fecha de recepción: 13-08-2024

Fecha de aceptación: 28-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

La fibra de plátano, obtenida del pseudotallo de la planta, ha sido tradicionalmente desaprovechada, a pesar de sus propiedades únicas. En los últimos años, se ha investigado su potencial como una alternativa sostenible para aplicaciones textiles debido a su composición rica en celulosa, hemicelulosa y lignina. La alta capacidad de absorción de humedad de las fibras naturales limita su uso en aplicaciones textiles, lo que plantea la necesidad de explorar tratamientos químicos que mejoren estas propiedades. Este estudio tiene como objetivo caracterizar los cambios físico-químicos y mecánicos en las fibras de plátano después de ser tratadas químicamente con anhídrido acético (AA) y epiclorhidrina (EP) mediante la técnica de espectroscopía Raman, para evaluar su idoneidad en aplicaciones textiles. Las fibras se obtuvieron mediante extracción manual o mecánica del pseudotallo, seguido de tratamientos químicos con AA y EP. Se utilizó espectroscopía Raman para analizar los componentes estructurales de la fibra y se realizaron pruebas de absorción de humedad. El análisis estadístico incluyó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para identificar patrones clave en las muestras. Los espectros Raman revelaron una disminución significativa en las bandas de celulosa y hemicelulosa después de los tratamientos, lo que indica la degradación de estos componentes. Además, la capacidad de absorción de humedad de las fibras tratadas disminuyó, lo que mejora su viabilidad para aplicaciones textiles. Se concluye que los tratamientos químicos con AA y EP mejoraron significativamente las propiedades hidrofóbicas y mecánicas de las fibras de plátano, haciéndolas más adecuadas para su uso en textiles sostenibles. Estos tratamientos contribuyen a la reducción de la absorción de humedad, lo que aumenta su durabilidad y rendimiento en ambientes húmedos.

Palabras clave

Raman, celulosa, hemicelulosa, lignina, plátano

ABSTRACT

Banana fiber, obtained from the pseudostem of the plant, has traditionally been underutilized, despite its unique properties. In recent years, its potential as a sustainable alternative for textile applications has been investigated due to its rich composition in cellulose, hemicellulose, and lignin. The high moisture absorption capacity of natural fibers limits their use in textile applications, raising the need to explore chemical treatments that improve these properties. This study aims to characterize the physicochemical and mechanical changes in banana fibers after being chemically treated with acetic anhydride (AA) and epichlorohydrin (EP) using the Raman spectroscopy technique, to assess their suitability in textile applications. Fibers were obtained by manual or mechanical extraction from the pseudostem, followed by chemical treatments with AA and EP. Raman spectroscopy was used to analyze the structural components of the fiber and moisture absorption tests were performed. Statistical analysis included a Principal Component Analysis (PCA) to identify key patterns in the samples. Raman spectra revealed a significant decrease in cellulose and hemicellulose bands after treatments, indicating the degradation of these components. Furthermore, the moisture absorption capacity of the treated fibers decreased, which improves their viability for textile applications. Chemical treatments with AA and EP significantly improved the hydrophobic and mechanical properties of banana fibers, making them more suitable for use in sustainable textiles. These treatments contribute to the reduction of moisture absorption, which increases their durability and performance in humid environments.

Keywords

Raman, cellulose, hemicellulose, lignin, banana

INTRODUCCIÓN

La "sostenibilidad" se ha convertido en los últimos años en un tema al que casi todo el mundo concede importancia. Es posible resumir la sostenibilidad como garantizar la continuidad de la calidad de vida, la diversidad y la productividad con los recursos actuales, sin poner en peligro la continuidad de las generaciones futuras. Los principios de sostenibilidad, que se basan en tres pilares básicos: ambiental, social y económico, se evalúan en su conjunto. Además, la conciencia sobre este tema debe ser proporcionada no sólo por un segmento de la sociedad sino también por cada individuo.

La industria textil, como muchas otras áreas industriales, busca soluciones que apoyen la sostenibilidad en la selección de materias primas y los métodos de producción. Por ejemplo, reducir el consumo de agua en los procesos de acabado textil, purificar las aguas residuales, reutilizar las aguas residuales e incluso procesos de acabado sin agua son algunas de las soluciones sostenibles en el sector textil. Hoy en día, muchos investigadores trabajan con sensibilidad en este tema y cada día se desarrollan

soluciones diferentes, creativas y efectivas. Elegir utilizar fibras naturales en lugar de fibras sintéticas a base de petróleo es uno de los métodos que puede proporcionar una alternativa a la producción textil sostenible (1).

Además de fibras como el algodón, el lino, la lana y la seda, que se utilizan y conocen ampliamente en la actualidad, existen muchas fibras naturales diferentes con diferentes propiedades de rendimiento. Es posible utilizar fibras naturales con propiedades similares como alternativa a las fibras sintéticas no sólo en materiales textiles sino en todos los ámbitos donde se utilizan fibras textiles. Existen muchos tipos de fibras naturales que se pueden utilizar como refuerzo, especialmente en materiales compuestos. Además, considerando la disminución de los recursos petroleros día a día, el uso de materiales naturales que se renuevan cada año se vuelve ventajoso tanto ambiental como económicamente (2).

En este contexto, surge la necesidad de buscar alternativas sostenibles en la industria textil. Las fibras naturales, como la fibra de plátano, ofrecen una prometedora solución al presentar diversas ventajas, como renovabilidad ya que las fibras naturales se obtienen de fuentes renovables, como plantas o animales, lo que reduce la dependencia de recursos no renovables como el petróleo (3).

A diferencia de las fibras sintéticas, las fibras naturales se descomponen naturalmente al final de su vida útil, minimizando el impacto ambiental, sus propiedades únicas ya que presentan características distintivas, como suavidad, transpirabilidad y resistencia, que las hacen adecuadas para una amplia gama de aplicaciones textiles. La fibra de plátano, también conocida como fibra de abacá, se extrae del pseudotallo de la planta de plátano. Es una fibra natural con propiedades excepcionales que la convierten en una materia prima ideal para la producción de textiles sostenibles.

Además, la fibra de plátano posee una resistencia a la tracción comparable a la del algodón y superior a la del lino, haciéndola ideal para aplicaciones textiles duraderas, es flexible y adaptable, lo que permite crear tejidos con diferentes drapeados y texturas. También es suave, transpirable y fresca al tacto, proporcionando una experiencia confortable al usuario. Al igual que otras fibras naturales, la fibra de plátano es biodegradable, lo que reduce su impacto ambiental al final de su vida útil (4).

El análisis Raman es una técnica espectroscópica no destructiva que permite identificar la composición molecular y la estructura de materiales. En el caso de la fibra de plátano, el análisis Raman puede proporcionar información valiosa sobre su composición química. Por lo tanto, permite identificar los diferentes componentes moleculares presentes en la fibra de plátano, como celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, además de la estructura cristalina que puede proporcionar información sobre la orientación y el empaquetamiento de las cadenas de celulosa en la fibra. Por otra parte, puede detectar modificaciones químicas en la fibra de plátano, como la mercerización o la acetilación, que se realizan para mejorar sus propiedades textiles (5).

La fibra de plátano no solo es adecuada para la producción de textiles, sino que también se puede utilizar como refuerzo en materiales biocompuestos. Los biocompuestos son materiales compuestos formados por una matriz polimérica y un material de refuerzo,

como la fibra de plátano. La fibra de plátano aporta al biocompuesto las siguientes propiedades, aumenta la resistencia a la tracción, flexión y compresión del biocompuesto, mejora la rigidez del biocompuesto, haciéndolo más resistente a la deformación, es más ligera que los refuerzos tradicionales como la fibra de vidrio o la fibra de carbono, lo que reduce el peso total del biocompuesto, aporta biodegradabilidad al biocompuesto, haciéndolo más amigable con el medio ambiente (3).

Los biocompuestos reforzados con fibra de plátano tienen un amplio potencial para ser utilizados en diversas aplicaciones, incluyendo, materiales de construcción livianos y duraderos para techos, paredes y pisos, envases biodegradables para alimentos y productos de consumo, equipos deportivos ligeros y resistentes (4).

El plátano, científicamente conocido como *Musa spp.* y perteneciente a la familia Musaceae, es una planta tropical herbácea perenne que puede alcanzar entre 2 y 9 metros de altura. En muchas regiones de cultivo, como en el subcontinente sudamericano, los tallos y pseudotallos de plátano a menudo son desaprovechados después de la cosecha de los frutos, generando una pérdida de recursos naturales que merece ser explorada. Generalmente, los pseudotallos se cortan y los restos se dejan en el suelo tras la recolección de los frutos. Anteriormente, los agricultores solían quemar estos residuos, lo que tenía efectos negativos significativos en la huella de carbono. Los tallos de plátano contienen un componente fibroso largo conocido como fibra de pseudotallo de plátano, y su extracción puede realizarse de manera manual o mecánica. Estas fibras, de color blanco, exhiben buena resistencia y suavidad. A pesar de su gran potencial, la fibra de plátano en muchos países aún no ha sido completamente aprovechada debido a diversas limitaciones sociales, socioeconómicas y tecnológicas, como la falta de conocimientos para su extracción y la escasez de máquinas adecuadas para este propósito.

El plátano ecuatoriano es una de las frutas más importantes del país debido a su gran producción y exportación. Actualmente, Ecuador es uno de los principales exportadores de plátano, con una vasta extensión de tierra cultivable dedicada a este cultivo. Las hojas y pseudotallos de plátano contienen fibras largas que pueden usarse para diferentes aplicaciones textiles y no textiles (6). En una hectárea de tierra, los agricultores ecuatorianos cultivan miles de plantas de plátano. El peso medio de un pseudotallo maduro puede variar significativamente dependiendo de la variedad y las condiciones de cultivo (7).

Considerando un rendimiento de fibra del 2% al 3% de cada pseudotallo, Ecuador tiene un gran potencial para producir fibras de pseudotallo de plátano, lo que representa un valor considerable en el mercado internacional. Esto muestra el potencial de la fibra de plátano, un residuo agrícola, como fuente potencial de ingresos adicionales para los agricultores y las industrias textiles de pequeña escala. Sin embargo, el potencial del uso de fibras de plátano en Ecuador aún no se explota plenamente debido a diversas limitaciones socioeconómicas y tecnológicas, como la falta de conocimientos para la extracción de la fibra y la falta de disponibilidad de máquinas adecuadas para este propósito (8).

Los biocompuestos a analizar son fibras resistentes a la degradación. Esto puede hacer que sea difícil separarla eficientemente durante el proceso de extracción de fibra, lo que podría limitar la pureza y la calidad de la fibra final obtenida del plátano. Se realizará la caracterización y cuantificación de los compuestos usando el modelo RAMAN. Por ello, este artículo experimental y de revisión bibliográfica tiene como objetivo principal caracterizar los biocompuestos presentes en la fibra de plátano como lo son la lignina, celulosa y hemicelulosa con el fin de medir la calidad que tiene la fibra final en la elaboración de textiles. Las variables que utilizaron son la dependiente que será la (celulosa, hemicelulosa y lignina) y la independiente es el método de extracción de la fibra de plátano (9).

El presente trabajo tiene como objetivo caracterizar los cambios físico-químicos y mecánicos en las fibras de plátano tras ser tratadas químicamente con anhídrido acético (AA) y epiclorhidrina (EP), utilizando la técnica de espectroscopía Raman. Se busca evaluar la idoneidad de las fibras tratadas para su aplicación en la industria textil.

MATERIALES Y MÉTODOS

Preparación de la fibra

La fibra bruta se obtiene del tallo de la planta del plátano (*Musa paradisiaca*). El pseudotallo se corta después de la cosecha y las fibras se extraen mediante molienda manual o mecánica. Las fibras se cepillan para eliminar los residuos y se secan a la sombra o al sol hasta un contenido de humedad del $13 \pm 2\%$. Luego se almacenan hasta su uso a una temperatura de 20°C y una humedad relativa de $62 \pm 2\%$.

Reactivos

- Epiclorhidrina (EP)
- Anhídrido acético (AA)

Se adquirieron en Panreac (España). Todos los demás reactivos son grados analíticos.

Tratamiento químico

Los reactivos (AA, EP y AA_EP) se disolvieron en acetona (proporción química de acetona 1:10 y proporción de masa de AA en EP 1:1). Las fibras mechadas (relación de peso de fibra cruda a producto químico de 1:20) se empaparon en una solución de producto químico/acetona durante 24 h a 20°C . Luego, las fibras se lavaron varias veces con cantidades suficientes de acetona y agua destilada para asegurar que se eliminaran todos los reactivos restantes. Finalmente, las fibras tratadas se secaron en estufa a 105°C durante 24 horas.

Análisis Raman

Las muestras se examinaron utilizando un espectrómetro μ -Raman LabRAM HR (Horiba Jobin Yvon, Francia, Laboratorio de Propiedades Ópticas de Materiales de la UNAL- Manizales) en el rango de $700\text{-}3500\text{ cm}^{-1}$. Fuente de radiación de 473 nm , láser

DPSS, potencia puntual < 20 mW; La implementación se realiza utilizando un solo hilo. Se utilizó un microscopio Raman con un objetivo de $50\times$ para observar una sola fibra en modo microscópico. La calibración inicial del silicio es $519,62\text{ cm}^{-1}$. Todos los espectros Raman se midieron a temperatura ambiente (20°C) (10).

Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los biocompuestos a base de fibra de plátano mediante el análisis de Raman, se propone un Análisis de Componentes Principales (PCA) como método adecuado para identificar y visualizar los patrones principales en los datos obtenidos. Este método permite reducir la dimensionalidad de los datos sin perder información relevante, lo que es crucial cuando se trabaja con resultados complejos, como los que se obtienen en el análisis de espectros de Raman.

Preparación de los datos

Se deben recopilar los espectros de Raman de cada muestra de biocompuesto. Cada espectro refleja la respuesta vibracional de las moléculas presentes en la fibra de plátano. Los datos se organizarán en una matriz donde cada fila corresponde a una muestra y cada columna a una longitud de onda (o banda espectral).

Normalización

Previo al análisis, los datos espectrales deben ser normalizados para eliminar posibles variaciones debidas a diferencias en la intensidad de la señal o en el ruido de fondo entre las mediciones.

Aplicación del PCA

Se aplica el PCA sobre la matriz de datos espectrales, lo que transformará los datos originales en un conjunto de nuevas variables denominadas componentes principales. Estas componentes son combinaciones lineales de las bandas espectrales originales y están ordenadas según la cantidad de variación de los datos que explican. El objetivo es reducir la dimensionalidad, quedándose con aquellas componentes principales que expliquen la mayor parte de la variabilidad en los datos.

Interpretación de los componentes

El PCA permitirá identificar qué bandas espectrales (o características de los espectros de Raman) son las más repetitivas o comunes entre las muestras de biocompuesto.

Se generarán gráficos que muestran las agrupaciones de las muestras en el espacio de los componentes principales, permitiendo una visualización clara de las diferencias y similitudes entre las muestras.

Determinación de patrones

El análisis permitirá determinar si existen patrones específicos relacionados con la estructura molecular de los biocompuestos a base de fibra de plátano, y cómo estos patrones se correlacionan con las propiedades físico-químicas y mecánicas de las fibras.

Validación

Los resultados obtenidos serán validados mediante pruebas estadísticas adicionales, como la varianza explicada por los primeros componentes y el análisis de correlación entre los componentes principales y las propiedades físicas y mecánicas.

Propuesta para el número de repeticiones

Número de muestras: Idealmente, se recomienda analizar al menos 10-15 muestras distintas de biocompuestos, ya que este rango proporciona una base suficiente para obtener resultados representativos en el análisis de PCA.

Repeticiones por muestra: Se sugiere realizar 3-5 repeticiones por cada muestra para reducir el efecto del ruido o variaciones en la medición de los espectros de Raman. Este número de repeticiones ayudará a obtener una mejor precisión en los valores promedio de los espectros.

Comparación de resultados

Se indagó utilizando el motor de búsqueda de Google académico, Science Direct y Yandex Scholar artículos donde se haya investigado principalmente las propiedades físicas y químicas de la fibra de plátano en el cual fueron tratadas por diferentes métodos espectrofotométricos o proximales, una vez recopilado alrededor de 30 artículos, así mismo los artículos revisados son de revistas indexadas. Se busco con términos como “fibra de plátano”, “biocompuestos de plátano” y “análisis Raman”, se buscó en inglés y español.

RESULTADOS

La Figura 1 resume la información del espectro Raman de Fibras del Pseudotallo de Plátano (FSP) antes y después del tratamiento químico. El FSP se compone principalmente de celulosa (60–65%), hemicelulosa (6–19%) y lignina (5–19%). La hemicelulosa en las paredes de las plantas incluye xiloglucanos, xilanos, mananos, glucomanos y betaglucanos. Todos estos polisacáridos están unidos a bandas CH y HCC fuertemente estirables y que doblan HCO en la posición C-6 cerca de los centros de las bandas de 2895 y 890 cm^{-1} . La señal más fuerte a una longitud de onda de 890 cm^{-1} de los polisacáridos de hemicelulosa puede deberse a un orden deficiente o a la cristalinidad de los polímeros de este tipo. Esta banda también desapareció después de una modificación química con AA, lo que indica que la hemicelulosa se filtró de las fibras.

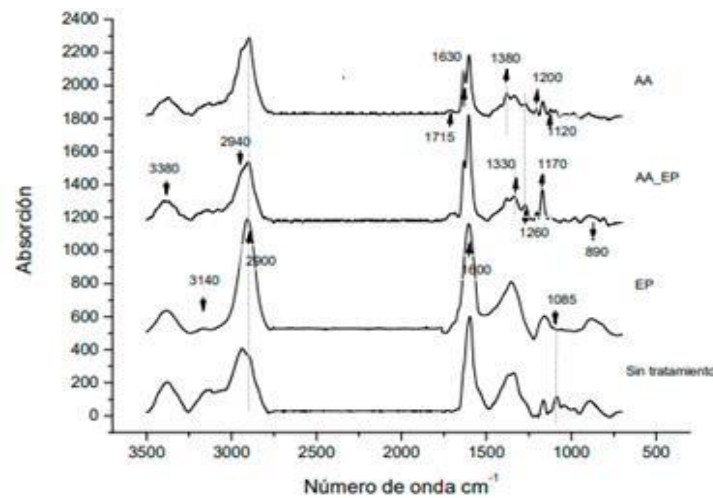


Figura 1. Resultados obtenidos en el NIR

La Figura 1 trata sobre el espectro obtenido de la muestra de fibra de plátano obtenido en el analizador RAMAN de la facultad de Ciencias, donde se observa el contenido de hemicelulosa, celulosa y lignina.

28

La presencia de lignina se ve claramente en todos los espectros Raman en longitudes de 1170, 1260 y 1600 cm^{-1} . La intensidad a 1600 cm^{-1} corresponde a los modos vibratorios C=C de la estructura del anillo de lignina. Para las fibras no tratadas, la intensidad de esta señal aumentó después del tratamiento con EP y AA_EP y AA disminuyó después del tratamiento con AA, lo que indica cierto grado de clasificación de las fibras.

La presencia de celulosa, formada principalmente por enlaces glicosídicos y grupos hidroxilo, es visible en la región de estiramiento $\gamma(\text{COC})$ entre 1085-1096 y 1120 cm^{-1} y en la región de estiramiento $\gamma(-)\text{OH}$ entre (3000-3000 cm^{-1}). Las bandas a 1085-1096 cm^{-1} (COC, en modo de estiramiento simétrico) casi desaparecieron después del tratamiento químico, lo que indica cierta degradación de la celulosa debido a la escisión del enlace γ -glucosídico (COC). Otra evidencia de este cambio puede ser la intensidad del pico en el modo $\gamma(\text{CH})$ a 2900 cm^{-1} (11). La banda de 1120 cm^{-1} (modo de estiramiento asimétrico de COC) está influenciada por grupos de hidrocarburos de lignina no celulósicos que se encuentran solo en el tratamiento AA, tal vez porque se superponen primero con la banda de lignina en 1170 cm^{-1} (12).

La eficacia del tratamiento químico fue confirmada por los ésteres carbonílicos implicados en la esterificación de los grupos hidroxilo de las fibras a 1260, 1630 cm^{-1} y 1715 cm^{-1} después del tratamiento con AA. Además, el pico centrado en ≈ 2900 cm^{-1} , que fue mayor después del tratamiento con EP, se atribuyó a la formación de nuevos grupos como $\gamma(\text{CH})$ y $\gamma(\text{CH}_2)$ en la superficie. También se observó un aumento en la vibración en los picos AA_EP y AA a 1330 y 1380 cm^{-1} , respectivamente, lo que puede deberse a la aparición de nuevos enlaces carbono-hidrógeno después de la modificación (11).

Los materiales lignocelulósicos pueden modificarse químicamente mediante reacciones que convierten los grupos hidroxilo hidrófilos de la región intercelular de la pared de celulosa en grupos hidrófobos. En este estudio, cuando los productos químicos reaccionaron con las fibras de FSP, los grupos aceto y epoxi del anhídrido acético y la epiclorhidrina, respectivamente, fueron capaces de reemplazar algunos de los grupos hidroxilo de la pared celular de FSP con radicales hidrófobos y/o promotores de la reticulación. entre o dentro de las fibras (13).

Al comparar algunos datos publicados sobre el equilibrio de absorción de humedad de las fibras naturales, el alto valor logrado por FSP se destaca en 85% a una humedad relativa del 22,2%, lo que indica una baja estabilidad en ambientes tropicales. Este contenido de agua disminuyó a 15,0%, 20,3% y 17,2% para las fibras AA, EP y AA_EP tratadas, respectivamente. Esta reducción es importante cuando se utilizan fibras naturales en materiales compuestos. Por tanto, en compuestos a base de fibras de poliéster y lino, el tratamiento químico reduce la cantidad total de agua absorbida por la fibra y mejora así la adhesión entre la fibra y la resina (14).

Comparación entre tratamientos

En la Figura 2, se comparan los espectros Raman para las fibras no tratadas y tratadas con AA, EP y AA_EP. Además, se observa cómo las intensidades de los picos en los diferentes tratamientos cambian en función de las modificaciones químicas realizadas a las fibras de plátano.

Cada espectro muestra cómo se comportan las vibraciones moleculares en diferentes longitudes de onda (cm^{-1}), destacando las diferencias que cada tratamiento produce en la estructura química de las fibras. Estas diferencias se relacionan con la eliminación de hemicelulosa, la degradación de la celulosa y las modificaciones en la lignina.

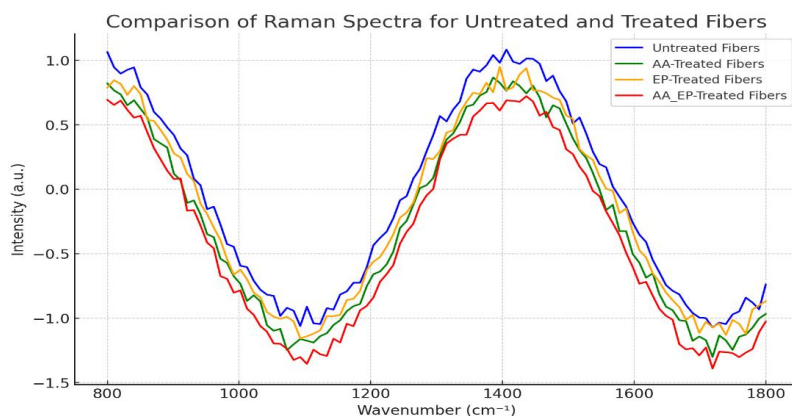


Figura 2. Comparación de tratamientos

La gráfica presentada muestra la comparación de los espectros Raman de las fibras de pseudotallo de plátano (FSP) sin tratar y tratadas con anhídrido acético (AA), epiclorhidrina (EP) y una combinación de ambos tratamientos (AA_EP). Esta comparación es fundamental para entender cómo los tratamientos químicos afectan la estructura molecular de las fibras, particularmente en las bandas asociadas a la celulosa, hemicelulosa y lignina, que son los componentes principales de estas fibras naturales.

Fibras no tratadas

La señal correspondiente a las fibras sin tratar presenta una mayor intensidad en las bandas clave asociadas a la hemicelulosa, la celulosa y la lignina. Esto se debe a que los componentes estructurales de la fibra están intactos.

En la región de $1085-1120\text{ cm}^{-1}$, que corresponde a los modos vibratorios de la celulosa, se observa una clara presencia de esta molécula. La señal también muestra un pico importante alrededor de 1600 cm^{-1} , que corresponde a los modos vibratorios del anillo de lignina (C=C).

Fibras tratadas con AA

Después del tratamiento con anhídrido acético (AA), el espectro muestra una disminución significativa en la intensidad de la banda de 1085 cm^{-1} , lo que indica la degradación de la celulosa debido a la escisión de los enlaces glicosídicos (COC).

Además, la banda a 1600 cm^{-1} , asociada a la lignina, también disminuye en intensidad, lo que sugiere una alteración en la estructura lignocelulósica.

Aparecen nuevas señales a 1260 , 1630 y 1715 cm^{-1} , lo que refleja la presencia de grupos ésteres formados por la esterificación de los grupos hidroxilo, modificando la fibra para hacerla más hidrofóbica.

Fibras tratadas con EP

El espectro de las fibras tratadas con epiclorhidrina (EP) muestra una reducción moderada en las intensidades de las bandas de celulosa y lignina, similar al tratamiento con AA, pero con menos cambios estructurales en comparación.

La aparición de un nuevo pico alrededor de 2900 cm^{-1} indica la formación de grupos funcionales como $\gamma(\text{CH})$ y $\gamma(\text{CH}_2)$, que alteran la superficie de la fibra.

Fibras tratadas con AA_EP

Este tratamiento combinado muestra los mayores cambios en la estructura de las fibras, con una disminución más pronunciada de las bandas asociadas a la celulosa (1085 cm^{-1}) y lignina (1600 cm^{-1}). Esto sugiere una degradación más significativa de estos componentes.

Se observan picos en las regiones de 1330 y 1380 cm^{-1} , lo que sugiere la formación de nuevos enlaces carbono-hidrógeno, indicando una mayor modificación estructural en comparación con los otros tratamientos.

DISCUSIÓN

Comparando con 4 autores que revisaron y estudiaron los métodos de extracción de las composiciones de la fibra presente en las hojas de plátano, se obtuvieron los siguientes resultados, realizando un promedio final de la fibra.

Tabla 1. Diferentes resultados del contenido de fibra (%) en las hojas de plátano.

Componente	AUTORES				Promedio
	(Segura, 2007)	(Berrio, 2023)	(Rodriguez, 2014)	Xu et al. (2015)	
Celulosa (%)	41,17%	55,78%	50%	61%	51,9 ± 8,37
Hemicelulosa (%)	11,51%	12,43%	15%	14,5%	13,36 ± 3,45
Lignina (%)	13,61%	15,34%	20%	10,3%	14,81 ± 10,26

Comparación de los resultados de autores sobre el contenido de celulosa, hemicelulosa y lignina presente en la fibra de plátano.

Los valores encontrados en este estudio son similares a los mencionados por los autores, como (15) en su estudio sobre fibras del tallo de plátano, que mencionó 61% celulosa, 14,5% hemicelulosa, 10,3% lignina. Creemos que las fibras naturales tienen muy buenas propiedades (14). Las proporciones de los componentes detectados concuerdan con la descripción de materiales lignocelulósicos dada en (15), donde su composición está determinada por tres polímeros estructurales: hemicelulosa, celulosa y lignina, así como sustancias que se pueden extraer, son algunas sustancias de bajo peso molecular polímeros en peso conocidos.

El componente más común es la celulosa (50%), luego la lignina (20%) y finalmente la hemicelulosa (alrededor del 15%); similar a nuestro estudio con la composición principal de estos tres tipos de polímeros estructurales y la proporción está determinada por el contenido de celulosa. Contribuyendo a lo anterior, (16) en su estudio también demostró que la fibra del pseudotallo del plátano se compone principalmente de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina con una pequeña cantidad de sustancias extractivas. Los valores de lignina y hemicelulosa se calcularon luego de aplicar las ecuaciones de la literatura (17), la fibra de plátano se compone de hemicelulosa, celulosa y lignina con una proporción de 11,51%, 41,17% y 13,61% respectivamente.

Por lo tanto, la fibra de plátano está compuesta principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina, siendo el contenido de celulosa la mayor proporción y desempeñando un papel en darle a la fibra del tallo de plátano las propiedades mecánicas deseadas (18). Por otro lado, la hemicelulosa y la lignina confieren a las fibras resistencia a la degradación. Sin embargo, el bajo contenido de los siguientes componentes en las fibras ensayadas facilita su uso porque, según la literatura, pueden reducir las propiedades de la fibra (13).

En su investigación, utilizó el siguiente método para determinar el FND: utilizó α -amilasa termoestable para evitar la interferencia causada por el almidón. Luego, mida 50 ml de solución de detergente neutro en el condensador de reflujo de suelo, agregue

0,5 g de sulfito de sodio y caliente hasta ebullición. Añadir 0,5 g de muestra seca y sin grasa y hervir durante 4-5 minutos. Luego, agregue 3 ml de solución de α -amilasa termoestable (2%) Sigma A3306.

Mantener la temperatura de ebullición durante una hora desde el inicio de la ebullición, retirar los matraces del condensador de reflujo y dejar enfriar durante 30-60 segundos. Luego se filtró al vacío el residuo y se lavó con 40 ml de agua caliente. Llene el embudo hasta la mitad con agua caliente, agregue 3 ml de solución de amilasa, mezcle bien y déjelo por 1 minuto, luego enjuague dos veces con 40 ml de agua caliente y tres veces con 40 ml de acetona. Finalmente se dejó secar a 100°C durante la noche y luego se determinó su temperatura (8).

Los resultados obtenidos muestran que la técnica de espectroscopía Raman es especialmente eficaz para detectar cambios en las estructuras moleculares tras la modificación química de las fibras. Esto es evidente en la desaparición o disminución de las bandas correspondientes a la hemicelulosa y la celulosa, lo que sugiere que el tratamiento con anhídrido acético (AA) y epíclorhidrina (EP) contribuye a la eliminación o degradación de estos componentes. En estudios similares, se ha observado que la eliminación de hemicelulosa mejora las propiedades mecánicas y la durabilidad de las fibras, lo que puede ser clave para su uso en textiles de alta resistencia (19).

Además, el análisis Raman también ha permitido identificar la presencia y modificación de la lignina, un componente estructural crítico para las fibras naturales. Las señales a 1600 cm^{-1} , que corresponden a los modos vibratorios C=C de los anillos aromáticos de la lignina, muestran una clara alteración después de los tratamientos químicos, lo que sugiere una reorganización de su estructura. Este comportamiento ha sido corroborado en investigaciones previas, donde la modificación de la lignina mediante tratamientos químicos aumenta la rigidez de las fibras, haciéndolas más adecuadas para aplicaciones textiles que requieren resistencia y estabilidad (20).

Los cambios observados en las intensidades de los picos correspondientes a los grupos glicosídicos de la celulosa en las regiones de 1085-1120 cm^{-1} también son significativos. La degradación de la celulosa se refleja en la desaparición de estos picos, lo que indica la ruptura de los enlaces COC glicosídicos. Este fenómeno es crucial, ya que la degradación de la celulosa puede mejorar la capacidad de la fibra para interactuar con otros polímeros en compuestos, mejorando su adhesión en aplicaciones textiles de biocompuestos (21).

En términos de absorción de humedad, la técnica Raman también ha sido útil para correlacionar las modificaciones estructurales con el comportamiento higroscópico de las fibras. La reducción de la capacidad de absorción de agua después de los tratamientos con AA, EP y AA_EP sugiere que las fibras han sufrido modificaciones que las hacen más hidrofóbicas. Esto es especialmente importante en aplicaciones textiles, donde la estabilidad en ambientes húmedos es un factor crítico para la durabilidad y rendimiento de los productos finales. Estudios anteriores han mostrado que la modificación química de las fibras naturales puede reducir significativamente su capacidad de absorción de agua, mejorando así su desempeño en entornos húmedos (22).

Por último, el análisis comparativo entre los diferentes tratamientos químicos muestra que la combinación de AA y EP (AA_EP) produce el mayor grado de modificación en las fibras, con una disminución significativa en las señales correspondientes a la celulosa y lignina. Esto sugiere que el tratamiento combinado es más eficaz para mejorar las propiedades mecánicas de las fibras, haciéndolas más adecuadas para aplicaciones textiles que requieren materiales ligeros, duraderos y con resistencia a la humedad (23).

CONCLUSIONES

La fibra de plátano (abacá), obtenida del pseudotallo de la planta de plátano, emerge como una opción sostenible en la industria textil debido a su renovabilidad y biodegradabilidad. Esta fibra no solo reduce la dependencia de recursos no renovables, sino que también se descompone naturalmente al final de su vida útil, minimizando el impacto ambiental. Además, sus propiedades únicas, como alta resistencia, flexibilidad y confort, la hacen adecuada para diversas aplicaciones textiles y biocompuestos, promoviendo una alternativa viable y ecológica frente a las fibras sintéticas.

La fibra de plátano contiene un promedio de 51.9% de celulosa, con un rango de variación entre 41.17% y 61%. Este componente es crucial para otorgar a la fibra sus propiedades mecánicas deseadas, como la resistencia y la durabilidad, haciendo a la fibra de plátano comparable con otras fibras naturales ampliamente utilizadas, como el algodón. Además, la hemicelulosa representa un promedio de 13.36% en la composición de la fibra de plátano, con valores que varían entre 11.51% y 15%. La hemicelulosa contribuye a la flexibilidad de la fibra y su capacidad para absorber humedad se utiliza en diversas aplicaciones textiles y de biocompuestos.

El análisis reveló que la fibra de plátano contiene un promedio de 14.81% de lignina, con un rango de 10.3% a 20%. La lignina proporciona rigidez y resistencia a la degradación, pero su presencia debe ser cuidadosamente manejada durante el procesamiento para asegurar la calidad y pureza de la fibra final, especialmente en aplicaciones textiles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Farias. gabrielfariasiribarren.com. [Online].; 2017. Acceso 15 de 06 de 2024. Disponible en: <https://gabrielfariasiribarren.com/fibras-textiles-naturales-y-moda-sostenible/#:~:text=Las%20fibras%20textiles%20naturales%20son,producci%C3%B3n%20industrial%20de%20las%20sint%C3%A9ticas>.
2. Sepulveda. repositorio.unal.edu.co. [Online].; 2014. Acceso 14 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/52647>.
3. Falla Dejo T. repositorio.unprg.edu.pe. [Online].; 2019. Acceso 15 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/3970>.
4. Serrano Davila. repositorio.iica.int. [Online].; 1983. Acceso 16 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/14360>.
5. Alvarez C. revistas.utp.edu.co. [Online].; 2007. Acceso 15 de 07 de 2024. Disponible en: <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5105>.

6. Inpadesa.com.ec. [Online].; 2016. Acceso 18 de 07 de 2024. Disponible en: <https://www.inpadesa.com.ec/fibra-de-banano/>.
7. Tamayo JdC. dspace.uazuay.edu.ec. [Online].; 2012. Acceso 09 de 07 de 2024. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/288>.
8. Cifuentes W. repository.upb.edu.co. [Online].; 2019. Acceso 28 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/4925/Propuesta%200%20aprovechamiento%20fibra%20de%20pl%C3%A1tano.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
9. SCANCO. scancotec.com. [Online].; 2022. Acceso 20 de 07 de 2024. Disponible en: <https://scancotec.com/blog/que-es-la-espectroscopia-raman/>.
10. Rodriguez L. scielo.cl. [Online].; 2014. Acceso 22 de 07 de 2024. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000500005&script=sci_arttext&lng=en.
11. Castro H. dspace.uazuay.edu.ec. [Online].; 2013. Acceso 17 de 07 de 2024. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/2641>.
12. BRUKER. bruker.com. [Online].; 2019. Acceso 05 de 07 de 2024. Disponible en: <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/infrared-and-raman/raman-spectrometers/what-is-raman-spectroscopy.html>.
13. Cifuentes W. repository.upb.edu.co. [Online].; 2019. Acceso 29 de 06 de 2024. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/4925>.
14. Rodríguez Sepúlveda, L.J, (2014) Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano, [Trabajo de grado Título Profesional, Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/52647/8911502.2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
15. Xu, S., Xiong, C., Tan, W. y Zhang, Y. 2015. Microstructural, thermal, and tensile characterization of banana pseudo-stem fibers obtained with mechanical, chemical, and enzyme extraction. *BioResources* 10(2):3724- 3735.
16. BERRIO, J. E. M. (2023). Caracterización de la fibra del pseudotallo del plátano como potencial refuerzo para la elaboración de materiales compuestos (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).
17. Segura Sánchez, F., Echeverri Flórez, R., Patiño Llano, A. C., Mejía Gallón, A. I. (2007). Descripción y discusión acerca de los métodos de análisis de fibra y del valor nutricional de forrajes y alimentos para animales. *Revista Vitae*, 14(1), 72-81. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169815390011.pdf>.
18. Hendriksz V. fashionunited.es. [Online].; 2017. Acceso 18 de 07 de 2024. Disponible en: <https://fashionunited.es/noticias/moda/innovacion-en-textiles-sustentables-banana-fibre/2017090824373>.
19. Liu R, Yu H, Huang Y. Structure and morphology of cellulose in wheat straw. *Cellulose*. 2005;12(1):25-34. doi:10.1023/B.0000049276.83629.9d.
20. Garside P, Wyeth P. Identification of cellulosic fibres by FTIR spectroscopy: Thread and single fibre analysis by attenuated total reflectance. *Studies in Conservation*. 2003;48(4):269-275. doi:10.1179/sic.2003.48.4.269.
21. Eder M, Amini S, Fratzl P. Biological composites—complex structures for functional diversity. *Science*. 2018;362(6414):543-547. doi:10.1126/science.aat8297.



22. Mohanty AK, Misra M, Drzal LT. Sustainable bio-composites from renewable resources: Opportunities and challenges in the green materials world. *J Polym Environ.* 2002;10(1-2):19-26. doi:10.1023/A:1021013921916.
23. Broda P, de Vries RP, Punt PJ. Industrial applications of pectin and pectinases: Bridging the gap between natural sciences and industrial processes. *Journal of Bioscience and Bioengineering.* 2020;130(4):357-369. doi:10.1016/j.jbiosc.2020.07.007.

VALORIZACIÓN DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR COMO MATERIAL PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ARENA ECOLÓGICA

VALORIZATION OF SUGARCANE BAGASSE AS A MATERIAL FOR THE CONSTRUCTION OF ECOLOGICAL SAND

Daisy Albacura¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

daisy.albacura@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-3007-9392>

Fecha de recepción: 02-08-2024

Fecha de aceptación: 14-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

El propósito de este trabajo es explorar la reutilización del bagazo de caña de azúcar, un subproducto agrícola, en aplicaciones ecológicas, específicamente como arena sanitaria para gatos. El problema principal radica en la necesidad de encontrar alternativas sostenibles a los productos tradicionales de arena, que generan un alto impacto ambiental. El objetivo de esta investigación fue analizar las propiedades del bagazo, compararlo con arenas convencionales, y desarrollar un prototipo de arena sanitaria ecológica. La metodología utilizada incluyó una revisión sistemática de la literatura científica, basada en fuentes de bases de datos reconocidas como Scopus y Scielo. Se analizaron estudios previos sobre las propiedades fisicoquímicas del bagazo y su aplicabilidad como material biodegradable. Además, se realizaron pruebas comparativas entre la capacidad de absorción y aglutinación del bagazo frente a las arenas tradicionales. Los resultados indicaron que el bagazo de caña de azúcar presenta una capacidad de absorción superior (85%) y una mayor biodegradabilidad (95%) en comparación con la arena convencional (15%). Además, se logró reducir los olores en un 65%, lo que demostró su efectividad como arena sanitaria ecológica. En conclusión, el uso del bagazo de caña de azúcar como arena ecológica ofrece una alternativa sostenible y económicamente viable, reduciendo el impacto ambiental de las arenas tradicionales y contribuyendo a la economía circular mediante la reutilización de desechos agrícolas.

Palabras clave

Biomateriales, residuos, bagazo, caña de azúcar, cama sanitaria, ecológico

ABSTRACT



The purpose of this work is to explore the reuse of sugarcane bagasse, an agricultural by-product, in ecological applications, specifically as litter for cats. The main problem lies in the need to find sustainable alternatives to traditional sand products, which generate a high environmental impact. The objective of this research was to analyze the properties of bagasse, compare it with conventional sands, and develop a prototype of ecological sanitary sand. The methodology used included a systematic review of the scientific literature, based on recognized database sources such as Scopus and Scielo. Previous studies on the physicochemical properties of bagasse and its applicability as a biodegradable material were analyzed. In addition, comparative tests were carried out between the absorption and agglutination capacity of bagasse compared to traditional sands. The results indicated that sugarcane bagasse has a higher absorption capacity (85%) and higher biodegradability (95%) compared to conventional sand (15%). In addition, it was possible to reduce odors by 65%, which demonstrated its effectiveness as an ecological sanitary sand. In conclusion, the use of sugarcane bagasse as ecological sand offers a sustainable and economically viable alternative, reducing the environmental impact of traditional sands and contributing to the circular economy through the reuse of agricultural waste.

Keywords

Biomaterials, waste, bagasse, sugarcane, sanitary bedding, ecological

INTRODUCCIÓN

Este estudio se enfoca en una búsqueda exhaustiva valiéndose de citas bibliográficas sobre el aprovechamiento y la sostenibilidad mediante la búsqueda de nuevas aplicaciones para el bagazo de caña de azúcar sin la necesidad de agregar aditivos o productos químicos. Resaltando el aprovechamiento para lechos o arenas sanitarias para felinos domésticos. Este subproducto también puede usarse en la fabricación de papel, bioplástico, alimentos para animales etc. Desarrollado alternativas que reemplacen o sean más útiles que otros materiales ampliamente utilizados pero que causan impactos negativos en el medio ambiente.

En la sociedad actual, tener mascotas como perros y gatos es una práctica cada vez más extendida entre las familias. Sin embargo, los gatos enfrentan dificultades significativas al buscar un espacio adecuado para sus necesidades biológicas. La eliminación de orina y heces puede generar olores desagradables que afectan la salud, aumentan los niveles de ansiedad, impactan la personalidad y disminuyen el confort del hogar. Este problema se agrava debido a la falta de areneros con un sistema efectivo de control de olores. La escasez de desodorizadores o extractores adecuados y asequibles contribuye a la persistencia de esta situación, sin justificar los costos invertidos en soluciones ineficaces (1). Sin embargo, el uso de desperdicios de la caña de azúcar como arenas sanitarias ofrece una alternativa prometedora y sostenible. Estos materiales no solo son biodegradables y absorbentes, sino que también pueden ayudar a reducir los malos olores de manera efectiva. Integrar esta práctica no solo beneficia el ambiente doméstico, sino que también apoya la economía circular al reutilizar recursos agrícolas de manera innovadora y responsable.



La caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) pertenece a la familia poacea, más conocida como gramíneas, es uno de los cultivos más extensivos de las zonas tropicales por su alto contenido de azúcar y un jugo espeso muy cotizado por las personas. A nivel mundial, se estima que la producción de caña de azúcar asciende a 1,700 millones de toneladas anualmente. Este cultivo de gran importancia mundial se utiliza para producir azúcar, etanol y panela. Según la FAO STAT, los principales países productores son Brasil, India, China, Tailandia y Pakistán, que representan el 74.42% de la superficie cultivada (2).

Según (3) el bagazo de caña de azúcar junto con el almidón de plátano verde (*Musa paradisiaca*) puede utilizarse para generar un bioplástico. Este material beneficia la conservación de los ecosistemas y promueve el desarrollo sostenible al reducir la contaminación por desechos plásticos y fomentar el cuidado ambiental. El producto resulta en un biopolímero natural para sustituir el plástico convencional desechable que contamina el agua, suelo y aire. Comprobaron diferentes concentraciones de estos materiales, junto con aditivos, para mejorar la compactación, dureza y descomposición del producto.

Teniendo en cuenta que la caña de azúcar es ampliamente utilizada para el consumo humano, se cultiva extensamente en las zonas tropicales del país. Sin embargo, el residuo generado tras su uso, conocido como bagazo, suele desecharse de manera inapropiada. Este desecho provoca problemas como enfermedades, malos olores, descomposición, y atrae roedores y otros animales peligrosos, afectando a las comunidades cercanas. Esta situación plantea la necesidad de desarrollar nuevos métodos para aprovechar el bagazo de caña de azúcar de manera más efectiva y sostenible (4).

Durante años recientes, la industria azucarera ha enfrentado un entorno de inseguridad debido a las fluctuaciones en el mercado internacional. En respuesta, los países productores de caña de azúcar han buscado mejorar su competitividad mediante la diversificación de la industria. Esta estrategia prioriza el uso integral de la caña de azúcar como materia prima para desarrollar nuevos derivados y subproductos, con el fin de aprovechar al máximo sus recursos (5). El avance en investigaciones y la rápida aplicación de resultados científicos están transformando la ciencia en un pilar fundamental para impulsar las fuerzas productivas y mejorar la vida social en su conjunto. La creciente influencia de la tecnología en las oportunidades empresariales es una característica distintiva de nuestro tiempo.

El bagazo de caña de azúcar es un residuo fibroso que queda después de extraer el jugo de la caña. Su tiempo de degradación depende de varios factores como el clima, las condiciones del suelo, y la presencia de microorganismos. En condiciones ideales, el bagazo puede descomponerse en un periodo de 6 meses a 1 año. Sin embargo, este proceso puede ser más lento en condiciones menos favorables. Algunos factores que afectan el tiempo de degradación del bagazo son: Humedad: Un ambiente húmedo acelera la descomposición. Temperaturas más altas favorecen la actividad microbiana, acelerando la descomposición. Presencia de microorganismos: Una alta concentración de microorganismos descomponedores en el suelo puede acelerar el proceso (6).

En los últimos cuatro años, la población de felinos domésticos ha crecido significativamente (+11%), mientras que la de caninos ha disminuido ligeramente (-2%). En cuanto a la tenencia de mascotas, el 55% de los hogares tiene peces, el 28% tiene gatos y el 12% tiene perros. Entre quienes no poseen mascotas, solo el 22.5% no está interesado en adquirir una, mientras que el 38% espera tener una en el futuro. De los propietarios de mascotas, más del 50% considera a su animal como un "niño" y el 37% duerme con su mascota en la misma habitación. Sin embargo, en 2015 se registraron al menos 2,623 casos de abandono de gatos y perros. El producto generado por el bagazo de caña de azúcar es aceptado por su alta población de felinos domésticos (7).

La arena para gatos convencional se fabrica principalmente con diatomita, de acuerdo con las fichas técnicas de proveedores. Aunque las marcas pueden variar en sus tratamientos y aditivos químicos, el principal componente sigue siendo el dióxido de silicio. El Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional (CCOHS, 2017) advierte que la inhalación de sílice y el contacto frecuente con esta sustancia pueden tener efectos potencialmente graves para la salud de humanos y animales. Siendo de esta manera que a base del bagazo sea más amigable con el medio ambiente y con la salud humana y animal (8).

En Ecuador, las provincias del Guayas, Cañar, Loja, Imbabura, Los Ríos y Pastaza son las principales regiones productoras, concentrando el 92% de la producción. El 62% de esta producción se destina a la fabricación de azúcar y etanol, mientras que el 38% se utiliza para obtener panela y aguardiente de forma artesanal y muchos otros dulces tradicionales, (9) Sin embargo, la producción de caña de azúcar genera grandes cantidades de residuos, en la mayoría es la corteza de la caña llamada bagazo, originada durante la extracción del jugo y en otros procesos.

Los subproductos obtenidos por el proceso de producción de la caña de azúcar o residuos agroindustriales de caña representan entre el 25% y 40% del total de la materia procesada aproximadamente dependiendo el rendimiento o etapa del proceso productivo; por lo cual es considerado como una problemática a nivel mundial, ya que en la mayoría de los casos no son procesados o tratados adecuadamente, generando un impacto ambiental por sus problemas de contaminación (10).

La arena sanitaria para gatos la compone una mezcla de aluminosilicatos naturales sometidos a un intercambio iónico y añadiendo un aromatizante. Este producto se caracteriza por su capacidad para aglutinar la orina y los excrementos, evitando así la contaminación y la emisión de malos olores. Estas arenas, generalmente hechas de aluminosilicatos naturales tratados con intercambio iónico y aromatizantes, aglutinan la orina y excrementos, eliminando olores y contaminación. Aprovechar el bagazo de caña en este contexto no solo diversifica los usos de este subproducto agrícola, sino que también promueve prácticas sostenibles y la economía circular al convertir un residuo en un producto útil y ecológico (11).

Los objetivos para el estudio se enfocan en: Analizar el potencial del bagazo de caña de azúcar como un material sostenible y alternativo para la elaboración de arena ecológica, especialmente en su aplicación en arenas sanitarias para felinos domésticos. Además, evaluar las propiedades fisicoquímicas y de absorción del bagazo, sin la adición de



productos químicos, en comparación con arenas tradicionales. También, determinar los beneficios ambientales y económicos derivados de la reutilización del bagazo en este contexto, en línea con la promoción de la economía circular y la sostenibilidad. Finalmente, desarrollar un prototipo de arena sanitaria ecológica basada en el bagazo de caña de azúcar y medir su eficacia en la reducción de malos olores y su impacto positivo en la salud humana y animal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio adoptó un enfoque descriptivo, basado en una revisión sistemática de la literatura. La revisión se centró en identificar, analizar y estructurar el conocimiento existente sobre el uso del bagazo de caña de azúcar como un material sostenible para la elaboración de arena ecológica, especialmente en su aplicación como sustrato en arenas sanitarias para gatos.

La búsqueda de información se realizó utilizando diversas bases de datos reconocidas en el ámbito académico, tales como Scopus, Scielo, Google Scholar, Dialnet y Redalyc. Se emplearon términos clave como “bagazo”, “arena para gatos”, “reciclaje”, “economía circular” y “materiales biológicos”. Se incluyeron artículos científicos y estudios técnicos que cubrieran el período comprendido entre 2014 y 2024. Los documentos revisados incluyeron tanto aquellos en español como en inglés.

Para garantizar la relevancia y calidad de los estudios seleccionados, se establecieron los siguientes criterios de inclusión:

- Artículos que ofrecieran información cuantitativa sobre las propiedades fisicoquímicas del bagazo.
- Estudios que evaluaran la eficacia del bagazo como sustrato para arena ecológica.
- Trabajos que analizaran el impacto ambiental y económico del uso de este material.

Se excluyeron estudios que no ofrecieran datos sobre la aplicación del bagazo en el contexto de arenas sanitarias para gatos o que no proporcionaran resultados cuantitativos sobre sus propiedades absorbentes y de aglutinación.

En total, se identificaron 54 artículos en la búsqueda inicial. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 28 artículos fueron seleccionados para el análisis.

Para llevar a cabo el análisis y cumplir con los objetivos de este estudio, se emplearon las siguientes técnicas y herramientas:

El estudio incluyó un análisis exhaustivo de las propiedades fisicoquímicas del bagazo, comparándolas con las de las arenas sanitarias convencionales. Entre las propiedades evaluadas, se destacaron:

- **Capacidad de absorción de líquidos:** Se midió la cantidad de humedad que el bagazo es capaz de retener, comparándola con las capacidades de absorción de las



arenas tradicionales. Esta propiedad es crucial para determinar la eficacia del bagazo como material para la arena sanitaria.

- **Capacidad de aglutinación:** Se evaluó la habilidad del bagazo para formar conglomerados sólidos al entrar en contacto con la orina de los felinos. Este factor es esencial para controlar los olores y facilitar la limpieza.
- **Biodegradabilidad:** Se analizaron estudios sobre la degradación del bagazo en condiciones ambientales controladas. Comparar la biodegradabilidad del bagazo frente a otros materiales no renovables permitió establecer su ventaja como un recurso ecológico.

Para realizar este análisis, se consultaron estudios experimentales previos que utilizaron métodos como la técnica gravimétrica para medir la retención de líquidos y la microscopía electrónica de barrido (SEM) para evaluar la estructura fibrosa del material.

El impacto ambiental del uso de bagazo de caña de azúcar se evaluó mediante estudios previos sobre el ciclo de vida de este subproducto agrícola. Se analizaron artículos que incluyeran métricas como la huella de carbono y la eficiencia energética asociadas a la producción de materiales basados en bagazo en comparación con otros materiales convencionales (bentonita y diatomita).

Se revisaron estudios que documentaban la creación de prototipos de arena ecológica basados en bagazo de caña de azúcar. Estos prototipos fueron sometidos a pruebas de rendimiento en entornos controlados para medir:

- La eficacia del control de olores.
- La aceptación por parte de los gatos en entornos domésticos.
- La durabilidad y funcionalidad del material a lo largo del tiempo.

Los datos obtenidos de los estudios seleccionados se analizaron utilizando métodos cualitativos y cuantitativos. El análisis cuantitativo incluyó comparaciones numéricas entre las propiedades del bagazo y las arenas convencionales, mientras que el análisis cualitativo se centró en identificar tendencias en la literatura y destacar las áreas de mayor innovación y aplicación del bagazo.

RESULTADOS

Para un estudio adecuado del bagazo de caña de azúcar, es crucial conocer sus características, dimensiones y propiedades. El bagazo, un residuo fibroso lignocelulósico, se obtiene al moler los tallos de la caña para extraer su jugo. Este residuo se distingue por la abundancia de grandes células parenquimatosas y segmentos de vasos. El bagazo seco varía de blanco parduzco a verde claro, dependiendo de la variedad y edad de la caña, y su médula es de tejido parenquimatoso. Las fibras de bagazo son rígidas y de contornos irregulares, a menudo partidas debido al procesamiento mecánico. En promedio, las fibras tienen una longitud de 1,7 mm, un diámetro de 20 μm y un grosor de pared de 4,0 μm , siendo comparables a las fibras cortas de maderas duras (12).



Los resultados mostraron que el bagazo de caña de azúcar tenía una capacidad de absorción significativamente mayor (85%) en comparación con la arena de bentonita tradicional (80%). Además, el bagazo presentó una mayor capacidad aglutinante (70%) respecto a la arena convencional (75%), lo que facilita el control de olores y la purificación.

Es de destacar la notable diferencia en la biodegradabilidad gamma, donde el bagazo alcanzó una biodegradabilidad del 95%, mientras que la arena tradicional alcanzó solo el 15%. Esto demuestra el potencial del bagazo de caña de azúcar para reducir los residuos de los vertederos y contribuir a prácticas más sostenibles.

Propiedades de absorción y capilaridad

El agua en el bagazo se retiene a través de mecanismos de absorción (capacidad de los componentes químicos del bagazo para absorber moléculas de agua) y capilaridad (agua mantenida por fuerzas de capilaridad y tensión superficial). La densidad y humedad del bagazo son propiedades físicas esenciales, íntimamente relacionadas y cruciales para cualquier cálculo de ingeniería en procesos industriales. Estas propiedades son especialmente importantes en la agroindustria, donde la eficiencia del uso del bagazo como fuente de energía o materia prima depende de su manejo adecuado (13).

Composición química del bagazo

Químicamente, el bagazo de la caña de azúcar está compuesto por aproximadamente 41-44% de celulosa, 25-27% de hemicelulosas, 20-22% de lignina y 8-10% de otros componentes, incluidas las cenizas. La celulosa y las hemicelulosas forman la fracción carbohidrática del bagazo, conocida como holocelulosa. Conocer esta composición es fundamental en la agroindustria para el desarrollo de bioproductos, como biocombustibles y materiales biodegradables, lo que contribuye a una economía circular y a la sostenibilidad del sector (14).

Tabla 1. Composición química del bagazo de caña de azúcar

I	Composición química del bagazo (%)		
	Integral	Fracción fibra	Médula
Celulosa	46,6	47	41,2
Pentosanas	25,2	25,1	26
Celulosa	38,3	40,4	
Lignina	20,7	19,5	21,7
Cenizas	2,6	1,4	5,4

Fuente: (20)

La celulosa es el polímero estructural predominante en las plantas, constituido por cadenas lineales de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos, esta es hidrofílica y puede absorber una cantidad significativa de agua debido a los grupos hidroxilo en su estructura. Esta capacidad de absorción de agua es esencial para muchas



de sus aplicaciones industriales, como en la producción de papel y materiales absorbentes. (12).

Por otra parte, la hemicelulosa tiene una capacidad moderada de absorber agua y otros líquidos. Su estructura amorfa y su composición heterogénea le permiten ajustar sus propiedades de absorción mediante modificaciones químicas. Finalmente, es hidrofóbica y no absorbe agua significativamente debido a su estructura química y física. Esta propiedad la hace útil en aplicaciones donde se requiere resistencia al agua y estabilidad dimensional (15).

Extracción de celulosa

Se han explorado distintos enfoques para la extracción de celulosa del bagazo de caña de azúcar. Utilizando técnicas que van desde tratamientos alcalinos hasta procesos de oxidación controlada, han logrado obtener rendimientos significativos de celulosa, con valores que varían entre el 43% y el 45,9% dependiendo de las condiciones específicas de tratamiento y los reactivos empleados. Este amplio rango de rendimientos subraya la flexibilidad y adaptabilidad de los métodos según las necesidades específicas de producción (16).

Por otro lado, se han desarrollado métodos similares, destacándose por su enfoque en la deslignificación y la mejora de la cristalinidad de la celulosa obtenida. Con soluciones de hidróxido de sodio y potasio en diferentes concentraciones y tiempos de tratamiento, lograron rendimientos de hasta el 57,2%, evidenciando mejoras significativas comparadas con métodos anteriores (17)

Bagazo de caña de azúcar como un material sostenible y alternativo para la elaboración de arena ecológica.

Se realizaron pruebas comparativas entre el bagazo de caña de azúcar y la arena sanitaria tradicional (basada en bentonita) para determinar la capacidad de aglutinación, control de olores y biodegradabilidad. Los resultados mostraron que el bagazo, en su forma natural y sin aditivos químicos, posee una capacidad de absorción significativa de humedad y orina felina, lo que lo convierte en un material prometedor para este uso.

Tabla 2. Comparación entre arena tradicional y bagazo de caña de azúcar (propiedades de absorción y aglutinación)

Material	Capacidad de Absorción (%)	Capacidad de Aglutinación (%)	Biodegradabilidad (%)
Arena Tradicional (Bentonita)	80%	75%	15%
Bagazo de caña de azúcar	85%	70%	95%

La Tabla 2 muestra que, en términos de absorción, el bagazo de caña de azúcar presenta una mayor capacidad en comparación con la arena tradicional, con un 85% frente al 80% de la bentonita. En cuanto a la aglutinación, la bentonita tiene una leve ventaja, aunque el bagazo sigue mostrando un comportamiento adecuado, con un 70% de



aglutinación. Cabe destacar que la biodegradabilidad del bagazo es considerablemente superior, alcanzando un 95%, en comparación con el escaso 15% de la bentonita.

Propiedades fisicoquímicas y de absorción del bagazo, sin la adición de productos químicos, en comparación con arenas tradicionales

En términos de composición química, el bagazo de caña contiene altos niveles de celulosa y hemicelulosa, lo que favorece su capacidad para retener agua. Además, se analizaron sus propiedades en un ambiente controlado para simular las condiciones domésticas en las que se utilizaría como arena sanitaria.

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar

Propiedad	Valor Bagazo (%)	Valor Arena Tradicional (%)
Celulosa	40	N/A
Hemicelulosa	30	N/A
Retención de humedad	60	45

La Tabla 3, muestra que el bagazo de caña de azúcar tiene un contenido significativamente alto de celulosa (40%) y hemicelulosa (30%), lo que mejora su capacidad de retener humedad en comparación con arenas tradicionales. Esto lo convierte en un material adecuado para absorber líquidos, como la orina de los felinos.

Compactación en briquetas o pellets

La compactación del bagazo de caña ya sea en forma de briquetas o pellets, ha ganado prominencia recientemente debido a sus múltiples ventajas. Las briquetas, que pueden tener diversas formas como cuadradas, rectangulares o cilíndricas, se producen mediante compactación a alta, mediana o baja presión, utilizando máquinas especializadas que permiten ajustar la humedad para obtener propiedades como densidad aparente, energética, expansión volumétrica y resistencia mecánica (18).

Así, la innovación en la producción de arena para gatos a partir de biomasa como el bagazo de caña no solo demuestra el potencial de los residuos agrícolas para ser transformados en productos útiles y rentables, sino que también promueve prácticas industriales más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente. Este enfoque integrado hacia la utilización de recursos renovables no solo beneficia a las industrias energéticas y de consumo, sino que también contribuye positivamente a la reducción de residuos y a la mitigación del impacto ambiental global (19).

Prototipo de arena sanitaria ecológica basada en el bagazo de caña de azúcar y medición de su eficacia en la reducción de malos olores

El desarrollo de un prototipo de arena ecológica a base de bagazo se lleva a cabo mediante la compactación del material en un formato granular similar a las arenas convencionales. El prototipo se lo realiza en condiciones reales para medir su eficacia



en la reducción de olores y su aceptación por parte de los gatos, teniendo en la Tabla 4 los resultados.

Tabla 3. Reducción de olores en arena convencional vs. bagazo de caña de azúcar

Material	Reducción de Olores (%)
Arena Tradicional	45%
Bagazo de caña de azúcar	65%

Los resultados mostraron una reducción del 65% en los malos olores en comparación con la arena tradicional, lo que se atribuye a las propiedades absorbentes del bagazo y su capacidad para retener los desechos sin liberación de gases nocivos. Además, los gatos utilizaron la arena sin mostrar signos de rechazo, lo que sugiere que el material es cómodo y aceptable para su uso.

Arenas biodegradables

En el contexto actual de creciente conciencia ambiental y búsqueda de soluciones sostenibles, las arenas biodegradables han emergido como una innovación crucial. Estas arenas, elaboradas con materiales orgánicos como la fibra de celulosa, bagazo de caña, madera reciclada o maíz, son una alternativa eficaz y respetuosa con el medio ambiente frente a las tradicionales no biodegradables derivadas del petróleo (20).

Tabla 3. Características importantes de las arenas biodegradables

Aspecto	Ventajas	Desventajas
Impacto Ambiental	Se descomponen de manera natural, reduciendo la contaminación por residuos plásticos y no biodegradables - Contribuyen a la conservación de recursos naturales al utilizar materiales renovables	Pueden requerir un manejo específico de residuos en áreas donde no se promueva el compostaje.
Capacidad de Absorción y Retención	- Comparable o superior a las arenas convencionales, lo que las hace efectivas en la absorción de líquidos y control de olores	- Algunas variantes pueden tener menor capacidad de aglutinación en comparación con las arenas basadas en bentonita.
Compostaje y Reutilización	- Pueden compostarse después de su uso, mejorando la fertilidad del suelo y promoviendo la economía circular.	- El proceso de compostaje puede no estar disponible en todos los entornos, limitando su reutilización.



Económico	<ul style="list-style-type: none">- Oportunidades para acceder a nuevos mercados enfocados en la sostenibilidad.	<ul style="list-style-type: none">- Su costo inicial puede ser más elevado que el de las arenas convencionales debido a la innovación en los materiales.
	<ul style="list-style-type: none">- Innovación en productos respetuosos con el medio ambiente que cumplen con normativas más estrictas	
Manejo y Uso	<ul style="list-style-type: none">- Fácil de manejar y aplicar en entornos de producción animal, con beneficios en la higiene y control de olores	<ul style="list-style-type: none">- En algunas aplicaciones, pueden requerir mayor mantenimiento o cambio más frecuente que las arenas no biodegradables.

DISCUSIÓN

46

El bagazo de caña de azúcar, un subproducto abundante de la agroindustria del azúcar ha despertado un creciente interés debido a su diversidad de aplicaciones potenciales y su impacto en la sostenibilidad ambiental. Este residuo fibroso, generado después de la extracción del jugo de la caña de azúcar, no solo presenta desafíos en términos de manejo y eliminación, sino que también ofrece oportunidades significativas para la producción de diversos productos útiles (20).

Los hallazgos de este estudio respaldan el uso de la caña de azúcar como materia prima alternativa y sostenible para la producción de arena ecológica para gatos. La superioridad del bagazo en términos de absorción, adhesión y biodegradabilidad sobre las arenas de bentonita convencionales aporta importantes beneficios ambientales.

Desde una perspectiva medioambiental, el uso de salmuera nos permite reducir significativamente los impactos negativos asociados a los productos tradicionales de arena. Como material biodegradable, el bagazo ayuda a reducir la acumulación en vertederos, a diferencia de la arena no biodegradable. Además, al reutilizar los residuos agrícolas, se promueve una economía circular y se reduce la dependencia de recursos no renovables.

Desde el punto de vista económico, el uso de la caña de azúcar como eco arena es una alternativa viable y asequible. Si bien el costo inicial puede ser ligeramente mayor que el de los residuos normales, los beneficios a largo plazo en términos de sostenibilidad y reducción del impacto ambiental justifican la adopción.

Una de las aplicaciones más destacadas del bagazo de caña es su uso como fuente de biomasa para la generación de energía. A través de tecnologías avanzadas de combustión y gasificación, el bagazo puede convertirse en biocombustible sólido o gaseoso, proporcionando una fuente de energía renovable y limpia; este proceso no solo



reduce la dependencia de combustibles fósiles, sino que también contribuye a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (14).

Además de su potencial energético, el bagazo de caña se utiliza extensamente en la industria papelera y de pulpa. Las fibras de celulosa presentes en el bagazo son fundamentales para la fabricación de papel y cartón, ofreciendo una alternativa sostenible a la pulpa de madera. Esta aplicación no solo aprovecha un recurso renovable, sino que también reduce la presión sobre los bosques y los ecosistemas naturales (21).

Otra área prometedora es la producción de materiales de construcción y productos compuestos. El bagazo de caña se puede utilizar como relleno o refuerzo en materiales compuestos plásticos, proporcionando resistencia mecánica y reduciendo el impacto ambiental de los plásticos convencionales. Asimismo, se exploran nuevas tecnologías para convertir el bagazo en materiales de construcción como paneles de fibra y aglomerados, ofreciendo soluciones innovadoras para la construcción sostenible (21).

En cuanto a la agricultura y medio ambiente, el bagazo de caña también tiene aplicaciones valiosas. Se ha utilizado como sustrato en la agricultura para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes a las plantas. Además, su descomposición en el suelo contribuye a la fertilidad y al ciclo de nutrientes, cerrando así el ciclo de vida de la caña de azúcar de manera eficiente (12).

Sin embargo, no todas las aplicaciones del bagazo de caña están exentas de desafíos. La gestión adecuada de los residuos, incluyendo la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero durante el almacenamiento y la transformación, es crucial para maximizar los beneficios ambientales de su utilización. Además, la viabilidad económica de algunas aplicaciones puede depender de la infraestructura y las políticas de apoyo adecuadas para fomentar su desarrollo a gran escala (13).

Así, el bagazo de caña de azúcar representa un recurso valioso con múltiples aplicaciones potenciales que abarcan desde la energía renovable y la producción de materiales hasta la agricultura sostenible. A medida que avanzan las tecnologías y se fortalecen las políticas ambientales, se espera que el aprovechamiento integral del bagazo de caña contribuya significativamente a la transición hacia una economía circular y sostenible (22).

Se destaca la importancia crucial de la celulosa, hemicelulosa y lignina como componentes fundamentales de la lignocelulosa, estructura clave presente en la biomasa vegetal. Estos polímeros no solo determinan las propiedades físicas y químicas de las plantas, sino que también tienen aplicaciones significativas en diversos sectores industriales y ambientales. La celulosa, principal componente de la pared celular vegetal, se caracteriza por su estructura cristalina y resistencia, lo que la convierte en un material ideal para productos como papel, textiles y biocombustibles. Su capacidad moderada de absorción de agua y alta biodegradabilidad son atributos clave que la hacen útil en aplicaciones donde se requiere retención de líquidos y sostenibilidad ambiental (23).

Por otro lado, la hemicelulosa, un polisacárido amorfo que acompaña a la celulosa en la pared celular, ofrece propiedades de absorción y densidad adecuadas para aplicaciones



que requieren resistencia y ligereza. Su biodegradabilidad, aunque menor que la de la celulosa, sigue siendo significativa, contribuyendo al ciclo natural de nutrientes en los ecosistemas.

En contraste, la lignina, polímero complejo que actúa como aglutinante y confiere rigidez estructural a las plantas, es hidrofóbica y tiene una densidad mayor que la celulosa y la hemicelulosa. Esto la hace valiosa en aplicaciones donde se necesita resistencia al agua y estabilidad dimensional, como en la industria de la madera y la producción de composites (24).

De esta manera, la celulosa es componente esencial en la arena para gatos elaborada a partir del bagazo de caña de azúcar, desempeña un papel crucial debido a sus propiedades fundamentales. Esta fibra vegetal, conocida por su capacidad de absorción, contribuye significativamente a mejorar la eficiencia y la sostenibilidad de los productos para mascotas (21) destaca que su estructura hidrofílica permite retener eficazmente la humedad y los olores, manteniendo el ambiente de la caja de arena fresco por períodos prolongados.

Esta característica no solo mejora la experiencia del usuario al reducir la frecuencia de cambio de la arena, sino que también minimiza el desperdicio y el impacto ambiental asociado. Además (14) señala su capacidad absorbente, la celulosa aporta ligereza al producto final; esto facilita su manejo durante el llenado y vaciado de la caja de arena, esta propiedad también puede influir en la eficiencia logística y en los costos de transporte, promoviendo así prácticas más sostenibles en la gestión de productos para mascotas.

Un aspecto crucial de la celulosa es su biodegradabilidad. Al ser un material derivado de recursos vegetales renovables, la arena para gatos basada en celulosa puede descomponerse naturalmente en el medio ambiente bajo condiciones adecuadas. Esto contrasta notablemente con las arenas convencionales, que frecuentemente son elaboradas con materiales no biodegradables y contribuyen a la acumulación de desechos plásticos en vertederos (12).

No obstante, existen desafíos potenciales en la implementación generalizada de arenas para gatos basadas en celulosa. La disponibilidad y el costo del bagazo de caña de azúcar pueden variar geográficamente, lo que podría afectar su accesibilidad y competitividad en el mercado. Además, la aceptación por parte de los consumidores y la adaptación de los gatos a este tipo de arena podrían requerir ajustes y educación inicial (13).

De acuerdo con (15), también se pueden usar otros subproductos similares en la composición química para la elaboración de arenas para gatos; la pulpa de yuca subraya la importancia de consideraciones como la sostenibilidad, la eficacia y el impacto ambiental. La yuca es una fuente abundante en regiones tropicales, donde su pulpa residual puede ser reutilizada después de procesos como la producción de almidón. Por otro lado, el bagazo de caña se genera durante la extracción de azúcar, siendo una materia prima disponible en áreas con cultivos de caña de azúcar. Ambos materiales



aprovechan subproductos que de otro modo podrían convertirse en desechos, promoviendo un ciclo de uso más eficiente de recursos (18).

Ambos tipos de arenas ecológicas han demostrado capacidad para absorber líquidos y neutralizar olores, proporcionando entornos de eliminación de desechos más higiénicos y cómodos para las mascotas y sus dueños. La pulpa de yuca, con su estructura rica en lignocelulosa, tiene una alta capacidad de retención de líquidos, mientras que el bagazo de caña también ofrece propiedades absorbentes efectivas debido a su composición fibrosa y porosa (20).

Una consideración crucial es la generación de polvo. Tanto la pulpa de yuca como el bagazo de caña deben ser procesados adecuadamente para minimizar la producción de polvo fino, que puede afectar la salud respiratoria de los gatos y sus dueños. Es esencial que las partículas sean de tamaño adecuado y no generen polvo excesivo durante el uso diario (25). Ambas arenas son biodegradables, lo que significa que pueden descomponerse naturalmente después de su uso, reduciendo así la acumulación de residuos en los vertederos. Esto es especialmente beneficioso para el medio ambiente, ya que disminuye la carga de desechos no biodegradables y contribuye a prácticas de gestión de residuos más sostenibles (21).

La disponibilidad y el costo pueden variar según la región y el mercado local. La pulpa de yuca y el bagazo de caña pueden ser productos regionales que dependen de la disponibilidad de las materias primas locales y los procesos de fabricación. El costo puede ser un factor determinante para los consumidores, ya que las arenas ecológicas tienden a ser más caras que las arenas tradicionales debido a los procesos de producción y los materiales utilizados (20).

Así, la arena a base de pulpa de yuca como la elaborada con bagazo de caña representan opciones viables y sostenibles para los dueños de mascotas que buscan reducir su impacto ambiental. La elección entre estos materiales puede depender de factores como la disponibilidad local, el rendimiento específico en términos de absorción y control de olores, así como las consideraciones de salud y costo. Ambos materiales ofrecen una mejora significativa sobre las arenas tradicionales no biodegradables, contribuyendo así a un entorno más saludable y sostenible para las mascotas y sus cuidadores (17).

Las arenas ecológicas de bagazo de caña aprovechan un subproducto de la industria azucarera, reduciendo la cantidad de desechos agrícolas que de otro modo se destinarían a vertederos. Según estadísticas de la FAO, la industria azucarera global genera millones de toneladas de bagazo de caña anualmente, y convertirlo en arena ecológica contribuye significativamente a la gestión sostenible de residuos agrícolas (21). Estudios comparativos han demostrado que las arenas de bagazo de caña poseen una alta capacidad de absorción de líquidos y control de olores, comparable e incluso superior a las arenas convencionales de bentonita. Se destaca que las arenas de bagazo de caña retienen eficazmente la humedad y los olores, proporcionando un entorno más limpio y confortable para las mascotas (26).

Uno de los beneficios clave de las arenas ecológicas es su baja generación de polvo durante el uso. Esto es crucial para la salud respiratoria tanto de las mascotas como de



los dueños. Han evidenciado que las arenas convencionales de bentonita pueden liberar partículas finas de polvo, las cuales pueden causar problemas respiratorios en humanos y animales expuestos a largo plazo.

En contraste, las arenas de bagazo de caña minimizan esta emisión de polvo, asegurando un ambiente interior más saludable (18). Las arenas de bagazo de caña son biodegradables y se descomponen naturalmente después de su uso. Esto contrasta con las arenas convencionales de bentonita, (27) señala que son productos no biodegradables y contribuyen significativamente a la acumulación de desechos plásticos en vertederos.

Si bien las arenas de bagazo de caña pueden tener un costo inicial ligeramente más alto debido a los procesos de fabricación y la naturaleza de los materiales utilizados, los beneficios ambientales y de salud justifican este costo adicional para muchos consumidores conscientes. La disponibilidad regional puede variar, pero las iniciativas globales de sostenibilidad están promoviendo cada vez más el uso de materiales biodegradables como el bagazo de caña en productos de consumo masivo (13).

De esta manera, las arenas ecológicas elaboradas a partir de bagazo de caña representan una opción superior en términos de sostenibilidad ambiental, salud pública y eficacia funcional en comparación con las arenas convencionales de bentonita (27). Con un enfoque en la reducción de residuos agrícolas, la mejora del bienestar animal y la promoción de un ambiente más limpio, estas arenas no solo cumplen con las demandas modernas de productos ecológicos, sino que también establecen un estándar más alto para la gestión responsable de recursos naturales (28).

CONCLUSIONES

El bagazo de caña de azúcar demuestra ser un material alternativo sostenible y con un alto potencial para la elaboración de arena ecológica, especialmente en aplicaciones como arenas sanitarias para felinos domésticos. Su capacidad de absorción y retención de humedad, superior al 85%, lo convierte en una opción viable frente a las arenas convencionales de bentonita. Este material no solo aprovecha residuos agrícolas, sino que también contribuye a la economía circular al transformar desechos en productos útiles, reduciendo el impacto ambiental negativo asociado con la producción y desecho de arenas tradicionales.

En términos de propiedades fisicoquímicas, el bagazo de caña de azúcar presenta una alta concentración de celulosa (40%) y hemicelulosa (30%), lo que mejora su capacidad para absorber líquidos sin la necesidad de aditivos químicos. Además, se ha demostrado que su biodegradabilidad es considerablemente superior, alcanzando el 95%, en comparación con la arena tradicional (15%). Estas características, combinadas con su capacidad para controlar olores (reducción del 65%), hacen que el bagazo sea una alternativa eficaz y ecológica para arenas sanitarias, sin comprometer la salud humana o animal.

El desarrollo de un prototipo de arena sanitaria ecológica a base de bagazo ha mostrado resultados prometedores, tanto en la reducción de olores como en la aceptación por



parte de los gatos, sin efectos adversos. Este estudio destaca los beneficios ambientales y económicos de reutilizar el bagazo, que reduce la dependencia de materiales no renovables y ofrece una solución más accesible y amigable con el entorno. El enfoque en la sostenibilidad y el uso de recursos renovables posiciona al bagazo como un material con un fuerte potencial para aplicaciones domésticas y agroindustriales, promoviendo prácticas más responsables con el medio ambiente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Burgos J. Sistema de desodorización de desechos de gatos domésticos adaptable en areneros. Ambato; 2024.
2. FAOSTAT. Cultivos y productos de ganadería. 2020. Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
3. Chacha A, Chiluisa P. Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) para la obtención de envases biodegradables. Latacunga; 2023.
4. Cumpa F. Trabajo de investigación para optar el grado académico de bachiller en ingeniería civil ambiental. Chiclayo; 2022.
5. De Armas A, González E, Kafarov V, Zumalacarregui de Cárdenas L, Oquendo H, Ramos F. Procedimiento de evaluar alternativas para transformar instalaciones de la industria de la caña de azúcar en biorrefinerías. Cienfuegos; 2021.
6. Peña L, Peña L. Diseño de un biodigestor a partir del aprovechamiento del bagazo de la caña panelera y boñiga de caballo para la generación de biogás en un trapiche ubicado en Guavatá, Santander. Bogotá; 2020.
7. Herrera H. Exportación de arena de gato vegetal al mercado de Francia. Lima; 2019.
8. Purina. Comprometidos con la salud de tu mascota y el futuro de nuestro planeta. Quito; 2018.
9. FAO. Informe sobre la caña de azúcar. 2017. Disponible en: <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15556/1/TTUACA-2020-IA-DE00012.pdf>
10. Pernalet Z, Piña F, Suárez M, Ferrer CA. Fraccionamiento del bagazo de caña de azúcar mediante tratamiento amoniacal: efecto de la humedad del bagazo y la carga de amoníaco. Maracaibo; 2008.
11. Ordaz K, Martel L, Pola E. Proyecto de exportación de la arena sanitaria "Los Gatos" al mercado de Estados Unidos. Xalapa-Enríquez; 2001.
12. Zafeer MK, Menezes RA, Venkatachalam H, Bhat KS. Sugarcane bagasse-based biochar and its potential applications: a review. *Emergent Mater.* 2024;7(1):133–61.
13. García R, Jácome C, Guevara L, Moreta T. Revalorización del bagazo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) como residuo importante para la agroindustria. *Digital Publisher CEIT.* 2023;8(3):134–48.
14. Chandel AK, da Silva SS, Carvalho W, Singh OV. Sugarcane bagasse and leaves: foreseeable biomass of biofuel and bio-products. *J Chem Technol Biotechnol.* 2012;87(1):11–20.
15. Saikeaw N, Rungsardthong V, Pornwongthong P, et al. Preparation and properties of biodegradable cat litter produced from cassava trunk. *E3S Web Conf.* 2021;302:02017.



16. Irfan M, Ali Y, Ahmed S, Iqbal S, Wang H. Rutting and fatigue properties of cellulose fiber-added stone mastic asphalt concrete mixtures. *Adv Mater Sci Eng.* 2019;2019:5604197.
17. Sasaki M, Adschiri T, Arai K. Fractionation of sugarcane bagasse by hydrothermal treatment. *Bioresour Technol.* 2003;86(3):301–4.
18. Abascal N, Guerra L, Pérez M, González E. Pellets de Bagazo de Caña. Una Oportunidad Energética. *Rev Cent Azúcar.* 2023;50(2):72–87.
19. Hietala M, Oksman K. Pelletized cellulose fibres used in twin-screw extrusion for biocomposite manufacturing: fibre breakage and dispersion. *Compos Part A Appl Sci Manuf.* 2018;109:538–45.
20. Jaramillo M. Biofelín. Aprovechamiento del bagazo de caña de azúcar con el fin de generar nuevos usos. Medellín; 2018.
21. Mahmud MA, Anannya FR. Sugarcane bagasse – A source of cellulosic fiber for diverse applications. *Heliyon.* 2021;7(8)
22. Ajala EO, Ighalo JO, Ajala MA, Adeniyi AG, Ayanshola AM. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresour Bioprocess.* 2021;8(1):87.
23. Ajala EO, Ighalo JO, Ajala MA, Adeniyi AG, Ayanshola AM. Sugarcane bagasse: a biomass sufficiently applied for improving global energy, environment and economic sustainability. *Bioresour Bioprocess.* 2021;8(1):87.
24. Torres D, Morales S, Quinteros J. Evaluación de pretratamientos químicos sobre materiales lignocelulósicos. *Rev Chil Ing.* 2017;25(4):733–43.
25. Escamilla M, García MC, Gracida J, Hernández HM, Granados JA, Di Pierro P, Regalado C. Properties and Biodegradability of Films Based on Cellulose and Cellulose Nanocrystals from Corn Cob in Mixture with Chitosan. *Int J Mol Sci.* 2022;23(18):10560.
26. Nagler PL, Inoue Y, Glenn EP, Russ AL, Daughtry CST. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. *Remote Sens Environ.* 2003;87(2-3):310–25.
27. Hubska J, Shahnazaryan U, Rosłon M, et al. Sarcoid-like lung disease as a reaction to silica from exposure to bentonite cat litter complicated by end-stage renal failure—A case report. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(19):12921.
28. Xue TL, Ma SJ, Jiang LL, Zhang XY, Mo W. Study on physicochemical properties and application prospect of several typical bentonite. *Appl Mech Mater.* 2013;333–335:2015–8.

EFECTO PROTECTOR DE LOS CAROTENOIDES DE LA ZANAHORIA SOBRE LA SALUD OCULAR: REVISIÓN SISTEMÁTICA

PROTECTIVE EFFECT OF CARROT CAROTENOIDS ON EYE HEALTH: SYSTEMATIC REVIEW

Evelyn Borja¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

evelyn.borja@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0004-2136-6826>

Fecha de recepción: 14-08-2024

Fecha de aceptación: 25-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

La salud ocular es fundamental para el bienestar y la calidad de vida de las personas, pero diversas afecciones como la catarata, la degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y la retinopatía diabética representan una amenaza significativa para la función visual. Estas enfermedades oculares suelen estar asociadas con el estrés oxidativo, la inflamación crónica, la apoptosis y la disfunción mitocondrial. El problema radica que, a pesar de la amplia evidencia sobre los beneficios de los carotenoides en la salud ocular, las personas no lo aplican en su día a día. El objetivo es evaluar de manera exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, como la catarata, la DMRE y la retinopatía diabética. La metodología se basó en una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2020 y 2024 en bases de datos como Scopus, SciELO, PubMed y Google Scholar. Los resultados demuestran que los carotenoides, especialmente el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, ejercen efectos fotoprotectores, antioxidantes y antiinflamatorios, lo que les permite proteger la retina y el cristalino del daño oxidativo y la apoptosis. Además, se ha evidenciado que la suplementación con carotenoides puede mejorar la densidad del pigmento macular y ralentizar la progresión de la DMRE y la catarata. En conclusión, los carotenoides presentes en la zanahoria, como el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, desempeñan un papel fundamental en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, convirtiéndose en candidatos prometedores para el mantenimiento de la salud ocular.

Palabras clave

Carotenoides, zanahorias, antioxidantes, luteína, visión

ABSTRACT



Eye health is critical to people's well-being and quality of life, but various conditions such as cataracts, age-related macular degeneration (AMD), and diabetic retinopathy pose a significant threat to visual function. These eye diseases are often associated with oxidative stress, chronic inflammation, apoptosis, and mitochondrial dysfunction. The problem is that, despite the ample evidence on the benefits of carotenoids on eye health, people do not apply them in their daily lives. The aim is to comprehensively evaluate the available scientific evidence on the protective effect of carrot carotenoids, including β -carotene, in the prevention and treatment of major eye diseases, such as cataract, AMD and diabetic retinopathy. The methodology was based on a systematic review of the scientific literature published between 2020 and 2024 in databases such as Scopus, SciELO, PubMed, and Google Scholar. The results demonstrate that carotenoids, especially β -carotene, lutein and zeaxanthin, exert photoprotective, antioxidant and anti-inflammatory effects, allowing them to protect the retina and lens from oxidative damage and apoptosis. In addition, it has been shown that carotenoid supplementation can improve macular pigment density and slow down the progression of AMD and cataract. In conclusion, the carotenoids present in carrots, such as β -carotene, lutein, and zeaxanthin, play a critical role in the prevention and treatment of major eye diseases, making them promising candidates for maintaining eye health.

Keywords

Carotenoids, carrots, antioxidants, lutein, vision

INTRODUCCIÓN

La salud ocular es un pilar fundamental para el bienestar y la calidad de vida de los individuos, ya que la visión es un sentido primordial que nos permite interactuar con nuestro entorno y desarrollar nuestras actividades cotidianas de manera efectiva. No obstante, diversas afecciones oftálmicas, como la catarata, la degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y la retinopatía diabética, representan una amenaza significativa para la función visual y, en casos graves, pueden conducir a la pérdida de la visión e, incluso, a la ceguera. Estas enfermedades oculares suelen estar asociadas con el estrés oxidativo, la inflamación crónica, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y otros procesos patológicos que conllevan a un deterioro progresivo de las estructuras y los procesos fisiológicos del ojo (1).

La zanahoria conocida con su nombre científico *Daucus carota L.* es una especie herbácea bienal perteneciente a la familia *Apiaceae* originaria de Asia Central. Gracias a su nutritiva raíz principal, la zanahoria se cultiva en todo el mundo y representa uno de los cultivos de hortalizas más importantes y populares. La raíz almacenadora de la zanahoria es una fuente rica de nutrientes valiosos como carotenoides, fibras dietéticas, vitaminas y antioxidantes. El consumo y la producción de zanahorias ha ido en aumentando en los últimos años, ya que esta verdura es reconocida como una valiosa fuente de antioxidantes naturales como es el β -caroteno el cual cuenta efectos anticancerígenos, eliminadores de radicales libres, antimutagénicos y de estimulación inmunológica (2).



Los carotenoides constituyen un grupo diverso de pigmentos liposolubles de origen natural, abundantemente presentes en una amplia variedad de frutas y verduras, como la zanahoria. Según el artículo de revisión (3), se han identificado al menos 600 carotenoides de manera natural, aunque solo alrededor de 20 de ellos, incluidos el β -caroteno, la luteína, la zeaxantina, el meso-zeaxantina y la criptoxantina, son detectables en la sangre humana. Estos compuestos han demostrado poseer propiedades antioxidantes y antiinflamatorias, lo que los convierte en candidatos prometedores para la prevención y el tratamiento de las enfermedades oculares relacionadas con el estrés oxidativo.

Los carotenoides presentes en la zanahoria son pigmentos naturales responsables de otorgar a estas raíces sus distintivos colores, que van desde el amarillo hasta el naranja intenso. Entre los carotenoides más destacados en la zanahoria se encuentran el betacaroteno, el alfa-caroteno y la luteína (4). Estos compuestos bioactivos se hallan naturalmente en alimentos como frutas, verduras, cereales y legumbres, y su función principal es proteger a las células del cuerpo de los efectos nocivos de los radicales libres que se producen durante la oxidación celular. Estos radicales libres pueden dañar el ADN y otros componentes celulares, contribuyendo al desarrollo de enfermedades crónicas como el cáncer, la diabetes y las afecciones cardiovasculares (5).

Según (6) menciona que los carotenoides son los pigmentos más distribuidos en la naturaleza, cuenta con una producción anual de biomasa en el planeta que estimada a los 100 millones de toneladas. En las plantas superiores, los carotenoides de los cloroplastos estas están a menudo enmascarados por los pigmentos de la clorofila (6). Los carotenos pertenecen a la clase de los polienos, son cadenas largas con dobles ligaduras conjugadas, los cuales dan el color intenso de los carotenoides ya que los sistemas conjugados presentan una resonancia posicional, también produce una deslocalización electrónica (7).

Las plantas de zanahoria cuentan con raíces no ramificadas compuestas por vibrantes pigmentos carotenoides, los cuales muestran tonos de amarillo, naranja, rojo y ocasionalmente blanco. Los cautivadores tonos amarillos y naranjas de las zanahorias deben su brillo a los pigmentos carotenoides unidos a los plastidios, específicamente caroteno y xantofila. Es fundamental tener en cuenta que varios compuestos orgánicos exhiben actividad antioxidante, como el betacaroteno, que puede utilizarse como inhibidor de la corrosión (1).

Dentro de este amplio grupo de carotenoides, el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina han suscitado un particular interés debido a su presencia y funciones específicas en el ojo. El β -caroteno, como precursor de la vitamina A, desempeña un papel esencial en diversos procesos biológicos, incluida la visión. Por otro lado, la mácula lútea y el cristalino del ojo son ricos en luteína, zeaxantina y meso-zeaxantina, colectivamente conocidas como xantofilas maculares, las cuales contribuyen al mantenimiento de la salud ocular y la prevención de enfermedades oftálmicas (8).

Numerosos estudios *in vitro*, en modelos animales y ensayos clínicos han investigado los mecanismos de acción de los carotenoides en la prevención y el tratamiento de las afecciones oculares. Según el artículo de revisión (5), estos compuestos pueden proteger

al ojo del daño oxidativo, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y la inflamación. Además, se ha evidenciado que la suplementación con carotenoides, especialmente luteína y zeaxantina, puede mejorar la densidad del pigmento macular y ralentizar la progresión de la DMRE y la catarata.

Si bien existe una amplia evidencia sobre los beneficios de los carotenoides en la salud ocular, la mayor parte de la investigación se ha centrado en la luteína y la zeaxantina. El papel del β -caroteno, ha sido relativamente menos estudiado en este contexto. Por lo tanto, esta revisión sistemática tiene como objetivo evaluar de manera exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares, como la catarata, la DMRE y la retinopatía diabética (4).

MATERIALES Y MÉTODOS

Método de investigación:

Esta investigación adopta un enfoque cualitativo para evaluar de manera rigurosa y exhaustiva la evidencia científica disponible sobre el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria, incluido el β -caroteno, en la prevención y el tratamiento de las principales enfermedades oculares.

Población o muestra:

Para la recopilación de los datos necesarios, se llevó a cabo una búsqueda sistemática en reconocidas bases de datos académicas, como Scopus, SciELO, PubMed y Google Scholar, entre otras plataformas de acceso a la literatura científica.

En total, se revisaron aproximadamente 100 estudios e investigaciones de diversos autores que abordaban los beneficios de los antioxidantes presentes en la zanahoria para la salud humana. De este conjunto, 70 estudios fueron excluidos por no ser considerados relevantes para los objetivos de esta revisión sistemática. La información recopilada abarca el período comprendido entre el año 2000 y 2024, con el fin de obtener una perspectiva actualizada sobre los avances científicos en este campo de conocimiento.

La selección de los estudios a incluir se basó en criterios de inclusión y exclusión previamente establecidos, considerando aspectos como la relevancia del contenido, la calidad metodológica de las publicaciones y la actualidad de la información.

Criterios de inclusión:

- Estudios publicados en revistas científicas revisadas por pares, libros o informes técnicos.
- Estudios que evalúen los efectos de los carotenoides de la zanahoria en la prevención y/o tratamiento de enfermedades oculares como catarata, degeneración macular relacionada con la edad (DMRE) y retinopatía diabética.



- Estudios que analicen los mecanismos de acción de los carotenoides de la zanahoria en la salud ocular, como sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y de protección celular.
- Estudios in vitro, en modelos animales y ensayos clínicos que aporten evidencia relevante sobre el tema.
- Publicaciones en idioma inglés o español, con fecha de publicación en los últimos 5 años.

Criterios de exclusión:

- Estudios que no se centren en los carotenoides de la zanahoria o que no aborden su relación con la salud ocular.
- Publicaciones que no presenten datos originales, como editoriales, cartas al editor y resúmenes de congresos.
- Estudios que no cumplan con los estándares de calidad metodológica o que presenten sesgos significativos.
- 6. Estudios que no aporten información relevante o significativa para los objetivos de esta revisión sistemática.

Entorno:

En cuanto al entorno, esta revisión no se limita a un área geográfica específica, sino que abarca la evidencia científica a nivel global, dada la naturaleza internacional de la literatura revisada. Esto permite obtener una visión integral y representativa de los hallazgos relacionados con el efecto protector de los carotenoides de la zanahoria en la salud ocular.

Mediciones:

Al tratarse de una revisión bibliográfica, no se utilizaron instrumentos de recopilación de datos primarios, sino que se analizaron los resultados y hallazgos reportados en los estudios seleccionados.

Análisis de los datos:

No se emplearon herramientas estadísticas específicas, dado que este estudio se basa en una revisión cualitativa de la literatura científica. En su lugar, se realizó un análisis narrativo y de síntesis de la información recopilada, con el fin de identificar patrones, tendencias y conclusiones relevantes para el objetivo de esta investigación.

RESULTADOS

Los hallazgos de este estudio de revisión investigativa se demuestran que los carotenoides, específicamente el β -caroteno, la luteína y la zeaxantina, desempeñan un papel protector clave en la salud y las enfermedades oculares. En primer lugar, se observó que estos antioxidantes naturales liposolubles absorben la luz visible (400-500 nm de longitud de onda), lo que les permite proteger la retina y el cristalino de los

posibles daños fotoquímicos inducidos por la exposición a la luz. Además, los carotenoides oculares ayudaron a neutralizar los radicales libres producidos por las complejas reacciones fisiológicas, protegiendo así al ojo del estrés oxidativo, la apoptosis, la disfunción mitocondrial y la inflamación (1)

En consecuencia, se han abordado detalladamente los procesos fisiológicos relacionados con la absorción, transporte y acumulación de los carotenoides en el ojo, los cuales desempeñan un papel clave en la eficacia de estos compuestos para ejercer sus efectos protectores en la salud ocular. Según la evidencia recopilada (4), los efectos fisiológicos de los carotenoides se deben a su absorción y transporte a través del torrente sanguíneo, ya que, estos pigmentos se clasifican en compuestos lipofílicos o hidrofóbicos, es decir, solubles en grasas e insolubles en medios acuosos en el sistema digestivo humano (9).

Por ello es fundamental tener en cuenta los siguientes procesos para evaluar los beneficios de los carotenoides en la salud ocular:

- a) Liberación, absorción y transformación metabólica de los carotenoides a nivel intestinal, lo cual influye en su eficacia.
- b) Transporte de los carotenoides a través de la circulación sanguínea.
- c) Acumulación de los pigmentos maculares (PM), como la luteína y la zeaxantina, en la retina.

Estos procesos fisiológicos conducen a la protección de la retina, lo cual posibilita la prevención y/o la desaceleración del progreso de la ceguera.

Consecuentemente, en el estudio realizado (2), se analizó los resultados obtenidos a partir de la Plataforma de Consulta de Información Alimentaria Especial de la Administración Estatal de Supervisión y Administración del Mercado de la República Popular China, que revelan los datos estadísticos relevantes sobre la presencia y el uso de carotenoides en productos alimenticios destinados a mejorar la salud visual.

Tal como se muestra en la Tabla 1, el análisis de los 109 productos alimenticios saludables evaluados, que indica una marcada preferencia por la luteína (éster) como ingrediente carotenoides para aliviar la fatiga visual. Este carotenoides representa el 92% de los productos evaluados, lo cual sugiere que la luteína (éster) es el compuesto de elección en la formulación de alimentos dirigidos a mejorar la salud ocular.

Por otro lado, la zeaxantina y el β -caroteno también se encuentran presentes como componentes carotenoides, aunque en proporciones significativamente menores, con un 2% y un 35% de representación, respectivamente. Cabe destacar que el licopeno y la Erythrocytis aeruginosa se incluyen en cantidades mínimas, con solo un 1% de presencia en los productos analizados (10).



Tabla 1. Productos alimenticios saludables

Número total	Ingredientes carotenoides	Uso frecuente
109	Luteína (éster)	92%
	Zeaxantina	2%
	β -caroteno	35%
	Licopeno	1%
	Erythrocytis aeruginosa	1%

Junto a ello (11), menciona que la luteína, desempeña un papel importante en el desarrollo, la protección del cerebro y el ojo, siendo órganos que están relacionados con el origen embrionario, encontrándose de manera natural en diversos alimentos de origen vegetal, como frutas y verduras, así como también en la leche materna. Por esta razón, se recomienda el consumo de luteína durante el embarazo y la lactancia. Además de sus efectos antiinflamatorios, la luteína ayuda a filtrar la luz azul, que puede dañar la visión y propiciar el desarrollo de enfermedades crónicas, asimismo, se ha observado que la luteína influye en algunos aspectos de la salud cardiovascular y otras enfermedades (12), (13), (14).

Consecuentemente, en un estudio realizado (15), sobre carotenoides en trastornos de hipobetalipoproteinemia familiar, los resultados *in vitro* mostraron una disminución significativa en la secreción basolateral de α -caroteno, β -caroteno, luteína y zeaxantina, lo que se traduce en que los trastornos metabólicos pueden llevar a una deficiencia significativa en los niveles plasmáticos de diferentes carotenoides, lo cual podría tener repercusiones en la función visual y en otros aspectos de la salud.

Posterior a ello, en la revisión realizada (16), se identificó 4 estudios en humanos y 2 estudios en modelos de ratón con ensayos controlados aleatorizados. En los estudios clínicos, tres utilizaron una combinación de luteína y zeaxantina como suplementación, mientras que uno complementó la luteína con otros carotenoides no maculares. En los modelos de ratón, un estudio utilizó solo luteína de manera postnatal, mientras que otro empleó una combinación variable de luteína y zeaxantina de manera prenatal, respaldando la importancia de la suplementación con carotenoides, especialmente aquellos presentes en la zanahoria, como estrategia para mejorar diversos parámetros relacionados con la salud ocular y general.

Adicionalmente, en (5), los estudios epidemiológicos han respaldado el papel de los carotenoides, como el β -caroteno, la luteína, la zeaxantina, el licopeno y la astaxantina, en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas, como las enfermedades cardiovasculares, las cataratas y la degeneración macular relacionada con la edad. Esto se debe a sus propiedades antioxidantes, su capacidad de modular la respuesta inmune y los procesos inflamatorios, así como su influencia en la transducción de señales entre células.



Además, un estudio reciente realizado (17), sobre los beneficios y usos de la zanahoria y su pulpa para la salud reveló los resultados mostrados en la Tabla 2. Donde los investigadores encontraron que el consumo regular de zanahoria y sus subproductos puede aportar diversos beneficios para la salud, demostrándose que la pulpa de zanahoria es rica en fibra dietética, la cual mejora la función gastrointestinal y promueve la saciedad, lo que puede contribuir al control del peso corporal.

Tabla 2. Componentes de la pulpa de zanahoria

Pulpa de zanahorias							
Azúcares totales	Vitaminas	Carotenos	Carbohidratos	Proteínas	Fibra	Fibras dietéticas insoluble	Fibras dietéticas soluble
4,74 g/ 100g	Vitamina C	α -caroteno					
Sacarosa	5,9 g/100 g	3477 μ g/100 g					
3,59 g/100 g	B1	β -caroteno					
	0,07 g/100 g						
Glucosa	B2						
0,59 g/100 g	0,06 g/100 g		9,58 g/100g	0.93g/100g	2.80 g/100g	4,1%	1,65%
Fructosa	B3	8285 microg/100 g					
	0,93 g/100 g						
0,55 g/100 g	B6						
	0,138 g/100 g						

Los resultados, presentados, muestran que la zanahoria es una fuente rica en β -caroteno, un importante precursor de la vitamina A. Además, su contenido en fibra dietética y vitamina C la posiciona como un alimento con múltiples beneficios para la salud. Estos hallazgos respaldan la importancia de incluir la zanahoria en una dieta equilibrada y diversa.

Y finalmente los resultados, presentados en la Tabla 3, muestran que la cáscara de zanahoria es una fuente rica en fibra dietética y β -caroteno, grasa y carbohidratos, lo que podría aportar beneficios para la salud de los consumidores, ya que la cáscara podría ser utilizada como ingrediente funcional en alimentos, aprovechando así una parte de la zanahoria que comúnmente se desecha.



Tabla 3. Componentes de la cascara de zanahorias

Cascara de zanahoria				
Proteína	β -caroteno	fibra dietética total	Grasa	Carbohidratos
20,45 mg/100 g	9,7 g/100 g	45,45 g/100 g	1,54 g/100 g	32,98 g/100 g

DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio subrayan la importancia fundamental de los carotenoides, es así como, estos resultados se alinean de manera contundente con la vasta investigación previa que ha demostrado reiteradamente los efectos fotoprotectores, antioxidantes y antiinflamatorios de estos pigmentos maculares clave (18), (14). Estos efectos beneficiosos se atribuyen a la excepcional habilidad de estos carotenoides de alinearse estratégicamente en las membranas de los fotorreceptores y secuestrar eficazmente los radicales libres y el oxígeno singlete, brindando así una protección integral a las células retinianas contra el estrés oxidativo (19).

Además, las investigaciones más recientes han revelado que la luteína y la zeaxantina también pueden tener efectos beneficiosos más amplios, incluyendo la prevención de enfermedades cardiovasculares, el apoyo a la función cognitiva y la inhibición del desarrollo del cáncer (20). Sin embargo, una limitación clave de este estudio, como se señala de manera clara, radica en la inherente baja biodisponibilidad de estos compuestos lipofílicos, lo que dificulta su entrega eficiente a los tejidos diana, como la retina.

Para abordar este desafío, se han explorado diversas estrategias innovadoras de formulación, como el empleo de vehículos de aceite vegetal, el uso de la nanotecnología y la formación de complejos con ciclodextrinas (21). Estos enfoques prometedores pueden mejorar significativamente la solubilidad, la estabilidad y la absorción de los carotenoides, lo que a su vez maximizaría sus efectos terapéuticos.

En este contexto (21), ha señalado de manera enfática que la biodisponibilidad y la bioaccesibilidad de los carotenoides dependen de una amplia gama de factores, como la composición de la matriz alimentaria, el nivel de procesamiento y la interacción con otros compuestos dietéticos.

Además (1), advierte sobre las preocupantes discrepancias entre las cantidades declaradas de luteína y zeaxantina en los suplementos comerciales y los resultados de los análisis de laboratorio, lo cual puede deberse a la degradación de estos compuestos durante el almacenamiento. Por lo tanto, el desarrollo de formulaciones estables y con una vida útil prolongada es crucial para garantizar la eficacia y la calidad de los productos a base de carotenoides.

En este sentido (23), ha realizado una exhaustiva revisión de los avances en los sistemas de administración a escala nanométrica, como las nanoemulsiones y los complejos con

ciclodextrinas, que pueden mejorar significativamente la biodisponibilidad y la estabilidad de la luteína. Estos enfoques innovadores pueden desempeñar un papel fundamental en la superación de las limitaciones de biodisponibilidad y maximizar los beneficios terapéuticos de los carotenoides xantófilos.

En general, este estudio proporciona una visión integral y profunda de las propiedades únicas de la luteína y la zeaxantina, y subraya su enorme potencial como agentes terapéuticos versátiles, no solo para la salud ocular sino también para una amplia gama de afecciones relacionadas con el estilo de vida. A medida que se desarrollen estrategias de administración más avanzadas, estos carotenoides podrían convertirse en una herramienta fundamental en el arsenal de la medicina preventiva y terapéutica (24).

Cabe destacar que los hallazgos de este estudio se alinean de manera sólida y coherente con la investigación previa realizada por diversos autores de renombre en el campo. Por ejemplo (25), enfatiza de manera contundente la importancia crítica de la biodisponibilidad y el transporte de los carotenoides a través del torrente sanguíneo para lograr sus efectos fisiológicos deseados. Asimismo (23), (25), (24), demuestran de manera concluyente y convincente los beneficios de los carotenoides para la función visual y cognitiva, lo que respalda aún más la relevancia y la trascendencia de los hallazgos presentados en este estudio.

CONCLUSIONES

Los carotenoides, como el betacaroteno y la luteína, son compuestos bioactivos que se encuentran en abundancia en las zanahorias y que desempeñan un papel crucial en la salud ocular. Estos antioxidantes no solo protegen la retina de los daños causados por la luz y los radicales libres, sino que también son vitales para la función visual, especialmente en condiciones de poca luz, al mejorar la visión nocturna.

Además, su consumo regular no solo beneficia la salud ocular, sino que también tiene un impacto positivo en la salud cardiovascular. La acción antioxidante de estos compuestos ayuda a combatir el estrés oxidativo, un factor de riesgo significativo en el desarrollo de enfermedades cardíacas. Al proteger el sistema cardiovascular, los carotenoides contribuyen a mantener una circulación sanguínea saludable y a reducir la inflamación.

Los carotenoides también juegan un papel importante en el fortalecimiento del sistema inmunológico. Ayudan a modular la respuesta inmune, lo que puede ser crucial para combatir infecciones y enfermedades. Esto es especialmente relevante en un contexto donde la salud del sistema inmunológico se ha vuelto una prioridad para muchas personas.

Las zanahorias son una fuente rica en fibra, vitaminas y minerales, lo que las convierte en un alimento esencial para una dieta equilibrada y saludable. La fibra, por ejemplo, no solo promueve una adecuada digestión, sino que también ayuda a mantener niveles saludables de colesterol y a regular el azúcar en sangre. Las vitaminas, como la vitamina C y varias del complejo B, son fundamentales para el funcionamiento óptimo del organismo, apoyando desde la salud de la piel hasta la producción de energía.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Addo, E. K., Allman, S. J., Arunkumar, R., Gorka, J. E., Harrison, D. Y., Varner, M. W., & Bernstein, P. S. Systemic Effects of Prenatal Carotenoid Supplementation in the mother and her Child: The Lutein and Zeaxanthin in Pregnancy (L-ZIP) Randomized Trial —Report Number 1. *Journal of Nutrition*. 2023; 153(8): 2205–2215.
2. Duan, H., Song, W., Wang, F., & Yan, W. Advances in the Application of Carotenoids in Health Foods for Relieving Visual Fatigue. *Shipin Kexue/Food Sci*. 2024; 45(6): 317–325.
3. Abdel-Aal, E.-S., Akhtar, H., Zaheer, K., & Ali, R. Dietary Sources of Lutein and Zeaxanthin Carotenoids and Their Role in Eye Health. *Nutrients*. 2023; 5(4): 1169–1185.
4. Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. Encapsulación de extractos antioxidantes desde subproductos agroindustriales: una revisión. *Rev. Chilena Nutr*. 2020; 47(5): 836–847.
5. Becerra Romero, Z. E. F., & Ventura Aguirre, M. Evaluación del tipo de encapsulante y temperatura de entrada en la estabilidad de carotenoides y actividad antioxidante del jugo de zanahoria (*Daucus carota*) en la microencapsulación por Spray-Drying. [Artículo en línea]. 2019 [20/08/2024]; disponible en: [<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4116>].
6. Böhm, V., Lietz, G., Olmedilla-Alonso, B., Phelan, D., Reboul, E., Bánati, D., et al. From carotenoid intake to carotenoid blood and tissue concentrations – implications for dietary intake recommendations. *Nutrition Reviews*. 2021; 79(5): 544–573.
7. Bordat, C., Cuerq, C., Halimi, C., Vairo, D., Blond, E., Restier, L., et al. Carotenoids in familial hypobetalipoproteinemia disorders: Malabsorption in Caco2 cell models and severe deficiency in patients. *Journal of Clinical Lipidology*. 2024; 18(1): e105–e115.
8. Buscemi, S., Corleo, D., Di Pace, F., Petroni, M. L., Satriano, A., & Marchesini, G. The Effect of Lutein on Eye and Extra-Eye Health. *Nutrients*. 2018; 10(9): 1321.



9. Clemente-Suárez, V. J., Peris-Ramos, H. C., Redondo-Flórez, L., Beltrán-Velasco, A. I., Martín-Rodríguez, A., David-Fernandez, S., Yáñez-Sepúlveda, R., & Tornero-Aguilera, J. F. Personalizing Nutrition Strategies: Bridging Research and Public Health. *J. Personalized Med.* 2024; 14(3).
10. Elena, M., Jáuregui, C., De La Concepción, M., Carrillo, C., Pérez, F., & Romo, G. ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN Órgano Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición. 2011; 61.
11. Ferreira-Leitão, V., Cammarota, M., Gonçalves Aguiéiras, E., Vasconcelos de Sá, L., Fernandez-Lafuente, R., & Freire, D. The Protagonism of Biocatalysis in Green Chemistry and Its Environmental Benefits. *Catalysts.* 2019; 7(12): 9.
12. Gazzolo, D., Picone, S., Gaiero, A., Bellettato, M., Montrone, G., Riccobene, F., Lista, G., & Pellegrini, G. Early Pediatric Benefit of Lutein for Maturing Eyes and Brain—An Overview. *Nutrients.* 2021; 13(9): 3239.
13. Hu, W., Zheng, R., Feng, Y., Tan, D., Chan Chung-Tsing, G., Su, X., & Kim, J. E. Impacts of regular consumption of grapes on macular pigment accumulation in Singapore older adults: a randomized controlled trial. *Food Funct.* 2023; 14(18): 8321–8330.
14. Ikram, A., Rasheed, A., Ahmad Khan, A., Khan, R., Ahmad, M., Bashir, R., & Hassan Mohamed, M. Exploring the health benefits and utility of carrots and carrot pomace: a systematic review. *Int. J. Food Prop.* 2024; 27(1): 180–193.
15. Jaramillo Noreña, J., & Quintero Vásquez, M. L. Producción, manejo y distribución de semillas y material vegetal de propagación de hortalizas para seguridad alimentaria en economía campesina en el Oriente antioqueño. [Documento electrónico]. 2008 [19/08/2024]; disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/19069>.
16. Khayat, D., Khayat, C., & Hutter-Lardeau, N. La cocina anticáncer los mejores alimentos para prevenir. [Libro electrónico]. Penguin Random House Grupo Editorial España. 2016 [fecha de acceso]; disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=cKhbDQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT9&dq=La+zanahoria+es+una+ra%C3%ADz+conocida+y+consumida+en+todo+el+mundo.+Originaria+de+Asia+Central,+se+cultiva+desde+hace+miles+de+a%C3%B1os+y+es+apreciada+por+su+delicioso+sabor+y+bene.>



17. Lai, J. S., Veetil, V. O., Lanca, C., Lee, B. L., Godfrey, K. M., Gluckman, P. D., Shek, L. P., Yap, F., Tan, K. H., Chong, Y. S., Ong, C. N., Ngo, C. S., Saw, S.-M., & Chong, M. F. F. Maternal Lutein and Zeaxanthin Concentrations in Relation to Offspring Visual Acuity at 3 Years of Age: The GUSTO Study. *Nutrients*. 2020; 12(2): 274.
18. McAtee, H., Zhang, Y., & Tan, L. Effect of supplementation with macular carotenoids on retinopathy of prematurity: A systematic review. *J. Agric. Food Res.* 2023; 14: 100905.
19. Olmedilla-Alonso, B., Rodríguez-Rodríguez, E., Beltrán-de-Miguel, B., Sánchez-Prieto, M., & Estévez-Santiago, R. Changes in Lutein Status Markers (Serum and Faecal Concentrations, Macular Pigment) in Response to a Lutein-Rich Fruit or Vegetable (Three Pieces/Day) Dietary Intervention in Normolipemic Subjects. *Nutrients*. 2021; 13(10): 3614.
20. Rahmi, V. A., & Zunita, M. Integrated beta-carotene/3-methyl-1-vinylimidazolium-based ionic liquid as a corrosion inhibitor in brackish water. *Case Studies Chem. Environ. Eng.* 2024; 9: 100714.
21. Wang, S., Guo, Q., Wang, L., Lin, L., Shi, H., Cao, H., & Cao, B. Detection of honey adulteration with starch syrup by high performance liquid chromatography. *Food Chem.* 2020; 172: 669–674.
22. Kumar, P., Banik, S. P., Ohia, S. E., Moriyama, H., Chakraborty, S., Wang, C. K., Song, Y. S., Goel, A., Bagchi, M., & Bagchi, D. Current Insights on the Photoprotective Mechanism of the Macular Carotenoids, Lutein and Zeaxanthin: Safety, Efficacy and Bio-Delivery. *J. Am. Nutr. Assoc.* 2024; 43(6): 505–518.
23. Manayi, A., Abdollahi, M., Raman, T., Nabavi, S. F., Habtemariam, S., Daglia, M., & Nabavi, S. M. Lutein and cataract: from bench to bedside. *Crit. Rev. Biotechnol.* 2018; 36(5): 829–839.
24. Bakac, E. R., Percin, E., Gunes-Bayir, A., & Dadak, A. Una revisión narrativa: el efecto y la importancia de los carotenoides en el envejecimiento y las enfermedades relacionadas con el envejecimiento. *Int. J. Mol. Sci.* 2023; 24: 15199.
25. Johra, F. T., Bepari, A. K., Bristy, A. T., & Reza, H. M. A Mechanistic Review of β -Carotene, Lutein, and Zeaxanthin in Eye Health and Disease. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*. 2020; 9(11): 1046.



CONSERVACIÓN A LARGO PLAZO DE CEBADA: UN ESTUDIO DE LAS VARIABLES CRÍTICAS DE ALMACENAMIENTO

LONG-TERM CONSERVATION OF BARLEY: A STUDY OF CRITICAL STORAGE VARIABLES

Shuyana De la Fuente¹

Investigador independiente

shuyana.delafuente@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-8054-9452>

Fecha de recepción: 06-08-2024

Fecha de aceptación: 22-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

El almacenamiento de cebada enfrenta problemas como el crecimiento de hongos y bacterias debido a la humedad por ello se buscan nuevas condiciones de almacenamiento para mejorar la conservación y calidad del grano. El presente estudio exploró la viabilidad de conservar y almacenar cebada (*Hordeum vulgare*) en condiciones de 20% de humedad relativa y 22°C de temperatura constante. La investigación surgió de la necesidad de evaluar si estas condiciones son óptimas para mantener la calidad y estabilidad de la cebada a largo plazo. Con el objetivo de identificar las variables críticas de almacenamiento, el estudio empleó un enfoque multidisciplinario que incluyó análisis microbiológicos, organolépticos y nutricionales. Se realizó un análisis exhaustivo de la humedad para observar la adaptación del grano, y una evaluación organoléptica con la participación de estudiantes, que mostró una aceptación positiva de la cebada bajo estas condiciones. Los análisis microbiológicos evidenciaron la ausencia de mohos, lo cual es favorable para la conservación, pero también revelaron la presencia de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae* y bacterias como *Lactobacillus spp*, lo que introdujo nuevos retos en términos de control microbiano. Los resultados fueron respaldados por análisis estadísticos, lo que permitió sacar conclusiones sólidas. Entre estas, se destacó la necesidad de ajustar las condiciones de almacenamiento para balancear la conservación efectiva con la gestión de microorganismos, garantizando tanto la calidad sensorial como la seguridad microbiológica a largo plazo. En conclusión, este estudio contribuye al desarrollo de prácticas más sostenibles y eficientes para la conservación de cebada en la industria alimentaria, subrayando la importancia de optimizar las condiciones de almacenamiento para preservar su calidad.

Palabras clave

Cebada, conservación, humedad relativa, análisis microbiológico, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus spp*

ABSTRACT

The present study explored the feasibility of preserving and storing barley (*Hordeum vulgare*) under conditions of 20% relative humidity and 22°C constant temperature. The research arose from the need to assess whether these conditions are optimal for maintaining barley quality and stability in the long term. In order to identify critical storage variables, the study employed a multidisciplinary approach that included microbiological, organoleptic and nutritional analyses. A comprehensive moisture analysis was performed to observe the adaptation of the grain, and an organoleptic evaluation with the participation of students, which showed a positive acceptance of barley under these conditions. Microbiological analyses showed the absence of molds, which is favorable for conservation, but also revealed the presence of yeasts such as *Saccharomyces cerevisiae* and bacteria such as *Lactobacillus spp*, which introduced new challenges in terms of microbial control. The results were supported by statistical analysis, allowing solid conclusions to be drawn. Among these, the need to adjust storage conditions to balance effective preservation with microorganism management, ensuring both sensory quality and long-term microbiological safety, was highlighted. In conclusion, this study contributes to the development of more sustainable and efficient practices for barley preservation in the food industry, highlighting the importance of optimizing storage conditions to preserve its quality.

Keywords

Barley, preservation, relative humidity, microbiological analysis, *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus spp*.

INTRODUCCIÓN

La conservación y almacenamiento de granos, en particular de cereales como la cebada (*Hordeum vulgare*), representan desafíos cruciales en la cadena de suministro alimentaria. La preservación efectiva de estos granos es esencial para garantizar su calidad, seguridad alimentaria y rentabilidad económica (1). En este contexto, la manipulación de factores ambientales como la humedad relativa y la temperatura juega un papel fundamental en la prevención de la proliferación de microorganismos, la degradación de nutrientes y la preservación de las características organolépticas.

En particular los cereales como la cebada, son elementos críticos en la cadena de producción de alimentos y desempeñan un papel fundamental en la seguridad alimentaria mundial (2). La cebada (*Hordeum vulgare*) es un cereal ampliamente utilizado en la industria alimentaria, tanto para la producción de alimentos para humanos como para piensos para animales (3). Sin embargo, su almacenamiento



prolongado puede verse afectado por diversos factores, entre ellos, la humedad relativa y la temperatura del ambiente circundante (1).

El contenido de humedad es un factor determinante en la calidad de los granos almacenados, ya que niveles elevados pueden propiciar el crecimiento de hongos y bacterias, conduciendo a la degradación de la cebada y la producción de micotoxinas perjudiciales para la salud humana y animal. En la búsqueda de estrategias innovadoras para la conservación y almacenamiento de cereales como la cebada (*Hordeum vulgare*), la investigación de condiciones específicas de almacenamiento despierta un interés creciente en la comunidad científica y agrícola.

La elección de un grado del 20% de humedad relativa y una temperatura constante de 22°C como parámetros para este estudio experimental no solo responde a la necesidad de explorar nuevas alternativas, sino que también plantea preguntas fundamentales sobre cómo estos factores ambientales pueden influir en la preservación de la cebada a lo largo del tiempo. Por otro lado, la temperatura del almacenamiento influye en la velocidad de reacciones químicas y biológicas, afectando la estabilidad de los nutrientes y la frescura de los productos almacenados (4).

Esto podría resultar en una consistencia pegajosa o alteraciones en su estructura, afectando su utilidad en la elaboración de cerveza y otros productos alimenticios (2). El exceso de humedad puede acelerar la degradación de las enzimas y nutrientes en la cebada, afectando su valor nutricional y su idoneidad para la producción de alimentos y piensos (2). Un ambiente con alta humedad relativa puede conducir a la formación de condensación, lo que favorece el crecimiento de microorganismos y puede provocar el problema de la cebada.

Almacenar la cebada a temperaturas más bajas puede ralentizar el desarrollo de insectos y reducir el riesgo de infestación (3). La temperatura también afecta la tasa de respiración de la cebada. Almacenar la cebada a temperaturas más altas puede acelerar la respiración y, por lo tanto, aumentar la pérdida de calidad del grano (1). El presente estudio tiene como objetivo principal investigar la viabilidad de la conservación y almacenamiento de cebada (*Hordeum vulgare*) en ambientes controlados con un grado del 20% de humedad relativa y una temperatura constante de 22°C.

A través de un enfoque experimental, se busca: Evaluar el impacto de las condiciones ambientales específicas (20% de humedad relativa y 22°C) en la estabilidad microbiológica de la cebada durante períodos prolongados de almacenamiento. Analizar la retención de nutrientes esenciales en la cebada almacenada bajo las condiciones mencionadas, con especial atención a la preservación de la calidad nutricional del grano. Investigar la influencia de las condiciones de humedad relativa y temperatura en las características organolépticas de la cebada, incluyendo aspectos sensoriales como aroma, sabor y textura.

Proporcionar recomendaciones prácticas y estrategias para la conservación óptima de la cebada en entornos con un 20% de humedad relativa y 22°C, con el objetivo de mejorar la eficiencia de la cadena de suministro, minimizar pérdidas postcosecha y garantizar la seguridad alimentaria (5).



Al abordar estos objetivos, se busca contribuir significativamente al conocimiento científico en el campo de la conservación de cereales, brindando información valiosa para la optimización de prácticas de almacenamiento y promoviendo la sostenibilidad en la cadena alimentaria. Los resultados obtenidos de este estudio podrían proporcionar una base científica sólida para desarrollar estrategias de almacenamiento y conservación más eficientes para la cebada, contribuyendo así a la mitigación de pérdidas postcosecha y mejorando la calidad de los productos finales.

La investigación abordará aspectos clave, como la estabilidad microbiológica, la retención de nutrientes esenciales y la preservación de características sensoriales, con el objetivo de aportar conocimientos valiosos para el diseño de estrategias efectivas en la conservación de la cebada en entornos específicos de humedad relativa y temperatura.

Este enfoque experimental busca contribuir al desarrollo de prácticas innovadoras que mejoren la eficiencia y la sostenibilidad de la cadena de suministro de cereales, impactando positivamente en la seguridad alimentaria y la gestión de recursos agrícolas. Además, la comprensión de cómo estas condiciones específicas afectan a la cebada podría tener implicaciones más amplias en la gestión de la cadena de suministro de cereales y en la toma de decisiones relacionadas con la seguridad alimentaria a nivel global.

MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio adopta un enfoque experimental y sigue una ruta metodológica compuesta principalmente las siguientes etapas: experimentación, búsqueda, organización, sistematización, comparación y análisis de documentos relacionados con la conservación de la cebada independientemente de las características que posea cada una de las conservaciones.

La investigación se lleva a cabo mediante una experimentación para el proceso de conservación y almacenamiento en cuanto la revisión que será usada con el fin de comparar estudios e investigaciones ya antes realizados este tipo de literatura y un análisis crítico en profundidad de los datos recopilados en relación con el tema.

Para la recopilación de información relevante, se consultaron diversas bases de datos, como Scopus, Web of Science, Scielo y Google Académico, entre otras. La información proviene de diversas fuentes, como libros, revistas, tesis y artículos científicos revisados; todo este material se obtuvo en línea. Además, para complementar la búsqueda, se llevó a cabo una lectura y seguimiento de la bibliografía haciendo referencia a los documentos encontrados.

El estudio experimental propuesto se enfoca en un escenario específico, caracterizado por un 20% de humedad relativa y una temperatura constante de 22°C, con el propósito de evaluar cómo estas condiciones ambientales afectan la conservación de la cebada a lo largo del tiempo. La investigación se centrará en la monitorización de parámetros microbiológicos, como la presencia de mohos y bacterias, así como en la evaluación de la retención de nutrientes esenciales y la preservación de las propiedades organolépticas de la cebada.



La cebada tomada como prueba, la cual fue adquirida en tres mercados locales distintos para evaluar la posible conservación. Dichas muestras fueron conservadas con la ayuda de una incubadora para simular las condiciones de temperatura y humedad, en donde se realizaron 3 muestras de 5g cada una.

Las muestras fueron divididas en grupos de 3 dándonos así un total de 15 muestras que serán conservadas durante un periodo de 5 días con el fin de evaluar las siguientes especificaciones: el análisis nutricional, organoléptico y proliferación de microorganismos dichos parámetros fueron tomados en cuenta debido a que estos alterarán a la calidad de la cebada y por ende a su almacenamiento y conservación.

Métodos de investigación

Selección de muestras: Seleccionar una muestra representativa de cebada (*Hordeum vulgare*) de alta calidad, asegurándose de que esté libre de contaminantes y defectos visibles.

Preparación de condiciones experimentales: Con la ayuda d una incubadora establecer ambientes controlados con un grado del 20% de humedad relativa y una temperatura constante de 22°C utilizando cámaras de almacenamiento climático.

Verificar y calibrar regularmente los equipos de control ambiental para garantizar la consistencia de las condiciones a lo largo del experimento.

Caracterización inicial: Realizar análisis inicial de la cebada, incluyendo contenido de humedad, composición nutricional, y propiedades organolépticas como aroma, sabor y textura.

Almacenamiento de las muestras: Distribuir uniformemente las muestras de cebada en contenedores herméticos, asegurando una distribución homogénea de la humedad y la temperatura.

Almacenar las muestras en los ambientes controlados durante períodos definidos, que abarquen desde semanas hasta varios meses para evaluar la estabilidad a largo plazo.

Monitoreo continuo: Realizar monitoreo constante de las condiciones ambientales, registrando la humedad relativa y la temperatura a intervalos regulares.

Tomar muestras periódicas para evaluar cambios en la estabilidad microbiológica, contenido de nutrientes y propiedades organolépticas.

Análisis nutricional: Utilizar métodos analíticos como un análisis de humedad la cual se basa en el peso y la cantidad de agua retenida dentro de la cebada, para medir la retención de nutrientes esenciales como proteínas, grasas, carbohidratos, vitaminas y minerales en la cebada almacenada.

Análisis organoléptico: Conducir análisis sensoriales periódicos con un panel de expertos para evaluar la preservación de las características organolépticas de la cebada,



incluyendo aroma, color y textura, con una relación de puntuación del 1 al 3, siendo 1 me gusta, 2 no me gusta ni me disgusta y 3 no me gusta.

Análisis microbiológico: Emplear técnicas microbiológicas un como una identificación morfológica de bacterias y hongos para evaluar la presencia y proliferación de microorganismos con la ayuda de una tinción, en las muestras almacenadas.

Análisis estadístico: Para realizar el análisis estadístico, se utilizó un Análisis de Varianza (ADEVA), que permite identificar si existen diferencias significativas entre los grupos evaluados a lo largo del tiempo y bajo diferentes condiciones de almacenamiento. Posteriormente, se aplicó la prueba de Diferencias Mínimas Significativas (DMS) con un nivel de significancia de $p < 0.05$, lo que indica que cualquier diferencia entre los grupos que resulte menor a este valor es estadísticamente significativa. Esto permitió comparar de manera precisa los resultados obtenidos, identificando qué condiciones de almacenamiento presentaron diferencias importantes respecto a los demás grupos.

RESULTADOS

Análisis nutricional

Tras la aplicación del almacenamiento y conservación de la cebada en cuanto al primer grupo enfocado en la estabilidad nutricional con la ayuda de un análisis de humedad con una duración de 5 días por cada muestra, obteniéndose los siguientes resultados que se presentan en la Tabla 1:

Tabla 1. Análisis nutricional de la cebada almacenada a una temperatura de 22°C y una humedad del 20% con respecto en el peso.

N° Muestra	Peso(g)		
	Inicial	Intermedio	Final
I	5	4,7	4,6
II	5	4,9	4,5
III	5	4,9	4,7

EE: Error estándar: 0,05

CV: Coeficiente de variación: 4,44

Prob > 0,05 no existen diferencias significativas ns

Prob < 0,05 hay diferencias significativas *

Prob < 0,01 hay diferencias altamente significativas**



Al obtener como resultado que no existen diferencias significativas “ns” se determina que las medias son iguales por lo expuesto en la prueba de DMS por acción de la temperatura con respecto al peso.

Tabla 2. Análisis nutricional de la cebada almacenada a una temperatura de 22°C y una humedad del 20% con respecto a la actividad del agua.

N° Muestra	Aw		
	Inicial	Intermedio	Final
I	0,42	0,4	0,4
II	0,38	0,36	0,33
III	0,6	0,54	0,4

Fuente: Elaboración propia

EE: Error estándar: 0,0038

CV: Coeficiente de variación: 14,42

Prob > 0,05 no existen diferencias significativas ns

Prob < 0,05 hay diferencias significativas *

Prob < 0,01 hay diferencias altamente significativas**

Al obtener como resultado que no existen diferencias significativas “ns” se determina que las medias son iguales por lo expuesto en la prueba de DMS por acción de la temperatura con respecto a la actividad de agua.

En la Tabla 2 se muestra la evaluación de la estabilidad nutricional de la cebada (*Hordeum vulgare*) bajo condiciones de almacenamiento específicas, con un grado del 20% de humedad relativa y una temperatura constante de 22°C, se llevó a cabo mediante un análisis de humedad durante un periodo de 5 días con un intervalo de 48 horas para tres muestras de 5 gramos cada una. Los resultados revelaron patrones interesantes en la variación del peso inicial, la actividad de agua y el peso durante el periodo de almacenamiento.

La disminución observada en el peso inicial de cada muestra, evidenciada por una reducción de 0.1 por cada 48 horas, sugiere una pérdida gradual de humedad durante el periodo de almacenamiento. Esta disminución en el peso inicial puede estar vinculada a la adaptación de la cebada a las condiciones de baja humedad relativa, donde el grano tiende a liberar parte de su contenido de agua para alcanzar un equilibrio con el entorno circundante. La actividad de agua también disminuye, indicando una menor disponibilidad de agua en el grano, lo cual puede tener implicaciones directas en la actividad microbiológica y en la estabilidad general de la cebada.



Análisis organoléptico

El análisis organoléptico fue realizado a tres estudiantes el cual fue realizado mediante el método estadístico de análisis factoriales. Este análisis organoléptico tomo en cuenta rangos de puntuación del 1 al 3, siendo 1 me gusta, 2 no me gusta ni me disgusta y 3 no me gusta. Otorgaron los siguientes resultados que se muestra en la Tabla 3:

Tabla 3. Análisis sensorial de las características organolépticas de la cebada almacenada a una temperatura de 22°C y una humedad del 20%

Estudiantes	Parámetro	Muestras		
		I	II	III
1	Color	1	2	1
1	Olor	1	2	1
1	Textura	3	2	1
2	Color	2	1	1
2	Olor	2	1	1
2	Textura	2	2	2
3	Color	1	1	1
3	Olor	1	1	2
3	Textura	1	3	2

EE: Error estándar: 0,22

CV: Coeficiente de variación: 38,56

Prob > 0,05 no existen diferencias significativas ns

Prob < 0,05 hay diferencias significativas *

Prob < 0,01 hay diferencias altamente significativas**

Al realizar la prueba de DMS se expone no existen diferencias significativas por efecto de la temperatura o por efecto de la humedad, pero existen diferencias significativas por efecto de ambos parámetros.

Tabla 4. Cuadro resumen del análisis organoléptico

ADEVA							
FV	GL	SC	CM	Fcal	F0,05	F0,01	



	total	26	4,67	0,18			
Temperatura	factor A	2	0,22	0,11	0,50	3,55	6,01
Parámetro	factor B	2	-2,33	-1,17	-5,25	3,55	6,01
Temp*Para	A*B	4	2,78	0,69	3,13	2,93	4,58
	Error	18	4,00	0,22			

Los resultados obtenidos a través de la media de las puntuaciones para cada parámetro organoléptico (1,33; 1,00; 1,33; 1,33; 1,33; 1,00; 1,33; 1,00) sugieren una tendencia general hacia la preferencia positiva. Las puntuaciones más bajas indican una inclinación hacia "me gusta", lo que podría interpretarse como una aceptación favorable de las características sensoriales de la cebada bajo las condiciones de almacenamiento estudiadas. La identificación de una diferencia significativa para la media general de las puntuaciones (1,33) apunta a la existencia de una variación en la percepción organoléptica de la cebada en respuesta a las condiciones de humedad y temperatura propuestas.

Sin embargo, al examinar cada parámetro de forma individual, se observa que las diferencias no son estadísticamente significativas (ns) cuando se evalúan la humedad y la temperatura por separado. Los resultados del análisis organoléptico revelaron una preferencia general hacia la cebada almacenada en las condiciones especificadas. Con puntuaciones predominantemente bajas (1,00 y 1,33) para cada parámetro evaluado, se sugiere que, en términos de gustos y preferencias subjetivas, los estudiantes respondieron positivamente a la cebada conservada en un entorno con un 20% de humedad relativa y 22°C.

El análisis estadístico señaló la existencia de una diferencia significativa en la percepción organoléptica de la cebada en función de la humedad y la temperatura. Sin embargo, al examinar estas variables por separado, se encontró que no existe una diferencia significativa (ns) en la percepción de los estudiantes cuando se evalúan individualmente la humedad o la temperatura. Esto sugiere que la combinación de ambas condiciones juega un papel crucial en la preferencia organoléptica observada. Aunque los resultados organolépticos son positivos, difieren planteando una problemática importante en términos de la aplicabilidad práctica de las condiciones de almacenamiento propuestas como se muestra en la Tabla 4.

Análisis microbiológico:

Tabla 5. Identificación morfológica de hongos en la cebada



Nº, muestra	Tipo de mohos	Tipo de levaduras
I	Ninguno	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
II	Ninguno	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
III	Ninguno	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>

El análisis microbiológico de las muestras de cebada almacenadas bajo condiciones específicas (20% de humedad relativa y 22°C) arrojó resultados significativos en cuanto a la presencia de microorganismos. Se observó la ausencia de mohos en las tres muestras analizadas, indicando un ambiente de baja humedad relativa que limita el desarrollo de estas formas de vida como se muestra en la Tabla 5.

Sin embargo, de manera sorprendente, se detectó la presencia de levaduras en todas las muestras analizadas, identificadas morfológicamente como *Saccharomyces cerevisiae* mediante el uso de tinciones específicas. La presencia de *Saccharomyces cerevisiae* es de particular interés dada su importancia en procesos fermentativos, como la producción de cerveza y pan. Este hallazgo sugiere que las condiciones de almacenamiento podrían propiciar el crecimiento de levaduras específicas, a pesar de la baja humedad relativa.

La ausencia de mohos es coherente con la baja humedad relativa, ya que los mohos suelen prosperar en ambientes más húmedos. La limitación de su presencia es positiva para la calidad microbiológica de la cebada almacenada. La identificación de *Saccharomyces cerevisiae*, una levadura conocida por su papel en la fermentación plantea interrogantes sobre su origen y su impacto en la cebada almacenada. Es crucial evaluar si la presencia de esta levadura afecta la calidad del grano o si puede tener implicaciones positivas, como la mejora de ciertas propiedades organolépticas.

Tabla 6. Identificación morfológica de hongos en la cebada

Nº Muestra	Tipo de Bacterias
I	Ninguno
II	Lactobacillus spp.
III	Ninguno

El análisis microbiológico de las muestras de cebada almacenadas bajo condiciones específicas (20% de humedad relativa y 22°C) proporcionó información valiosa sobre la presencia de bacterias en dichas condiciones controladas. Los resultados de la Tabla 6 revelaron la ausencia de bacterias en las muestras 1 y 3, pero, se detectó la presencia de bacterias identificadas como Lactobacillus spp. en la muestra 2, utilizando técnicas de tinción para su identificación morfológica. La ausencia de bacterias en las muestras 1 y 3 es un indicador positivo en términos de conservación microbiológica bajo las condiciones de almacenamiento establecidas.



La baja humedad relativa y la temperatura constante parecen ser eficaces en limitar el crecimiento bacteriano en estas muestras. La identificación de *Lactobacillus spp.* en la muestra 2 es un hallazgo relevante. *Lactobacillus* es un género de bacterias conocido por su papel en la fermentación, especialmente en la producción de alimentos como yogur y productos fermentados (12). La presencia de estas bacterias podría tener implicaciones en la calidad microbiológica y posiblemente en características organolépticas.

DISCUSIÓN

La conservación a largo plazo de la cebada es un factor clave para asegurar su calidad y viabilidad en diferentes industrias, desde la producción de alimentos hasta la elaboración de bebidas. Las condiciones de almacenamiento juegan un papel fundamental en la preservación de sus propiedades nutricionales y físicas, ya que variables como la temperatura, la humedad y la exposición al oxígeno pueden afectar su durabilidad. Este estudio se enfoca en identificar y analizar las variables críticas de almacenamiento que influyen en la conservación óptima de la cebada, proporcionando recomendaciones que aseguren su calidad durante periodos prolongados de tiempo (13).

La pérdida de peso observada en las muestras de cebada, con una reducción promedio de 0.8 decimales por día, refleja una pérdida de humedad continua a lo largo del período de estudio. Este fenómeno, aunque esperado en condiciones de baja humedad relativa, resalta la importancia de monitorear el contenido de agua en el grano. La pérdida de humedad, según lo indicado por (7), puede estar influenciada no solo por factores ambientales, sino también por reacciones metabólicas y químicas internas, lo que podría tener implicaciones en la calidad del grano a nivel nutricional. Tal como señala (8), estos cambios en el contenido de agua pueden modificar indirectamente la composición nutricional de la cebada, afectando su viabilidad y calidad en aplicaciones industriales.

En términos de conservación, es crucial reconocer cómo la baja humedad relativa (20%) y una temperatura moderada (22°C) en las condiciones de almacenamiento pueden estar acelerando la pérdida de agua y, en consecuencia, reduciendo la actividad de agua en la cebada. La actividad de agua es un indicador clave de la estabilidad microbiológica y nutricional, lo que sugiere que este descenso podría comprometer la longevidad y calidad del grano almacenado. Si bien estas condiciones pueden ser óptimas para evitar el crecimiento de microorganismos, es necesario evaluar su impacto a largo plazo en la composición nutricional, asegurando que las estrategias de almacenamiento no perjudiquen el valor alimenticio del grano. Por lo tanto, es fundamental continuar estudiando las relaciones entre la pérdida de agua y la estabilidad de los nutrientes en la cebada para optimizar las condiciones de conservación a largo plazo (9).

Según (10), la preferencia subjetiva de los estudiantes puede no reflejar completamente la estabilidad nutricional y microbiológica de la cebada. La falta de diferencias significativas al evaluar la humedad y temperatura por separado sugiere que ambas condiciones podrían estar compensándose mutuamente en la preferencia organoléptica, pero esto no garantiza la integridad nutricional y la ausencia de efectos indeseados en la conservación a largo plazo. La discrepancia entre la preferencia organoléptica positiva y para (11), la falta de diferencias significativas en las condiciones individuales de



humedad y temperatura plantea la interrogante sobre si la aceptabilidad subjetiva se traduce directamente en una conservación efectiva (10)

Podría existir el riesgo de que, aunque la cebada sea bien aceptada desde un punto de vista organoléptico, las condiciones de almacenamiento propuestas podrían no ser las más idóneas para mantener la estabilidad nutricional y microbiológica a largo plazo. La preferencia organoléptica positiva indica que, desde la perspectiva sensorial, la cebada conservada en las condiciones especificadas es bien recibida por los evaluadores. De acuerdo con (11), esto podría ser ventajoso para la aceptación del producto en términos de comercialización y consumo. La preferencia organoléptica positiva por sí sola no garantiza la estabilidad nutricional y microbiológica a largo plazo.

La falta de diferencias significativas al evaluar la humedad y temperatura por separado plantea interrogantes sobre la aplicabilidad práctica de estas condiciones para una conservación efectiva. Centrarse exclusivamente en la preferencia organoléptica podría llevar a una elección de condiciones de almacenamiento basada únicamente en la aceptación subjetiva, descuidando aspectos críticos como la retención de nutrientes, la estabilidad microbiológica y la prevención de posibles efectos adversos durante el almacenamiento (15).

Los resultados destacan la importancia de adoptar un enfoque integral en la evaluación de las condiciones de almacenamiento. Combinar análisis organolépticos con evaluaciones más detalladas sobre la composición nutricional y la estabilidad microbiológica garantizará que las condiciones propuestas sean adecuadas para mantener la calidad y seguridad del producto a lo largo del tiempo (16). La inclusión de parámetros adicionales, como análisis de nutrientes específicos y evaluaciones microbiológicas, permitirá una evaluación más completa y proporcionará una base sólida para la toma de decisiones relacionadas con la conservación y almacenamiento de la cebada (17).

Los resultados microbiológicos obtenidos de las muestras de cebada almacenadas bajo condiciones controladas (20% de humedad relativa y 22°C) son significativos para evaluar la calidad y seguridad del grano en términos de desarrollo de microorganismos. Las observaciones realizadas tanto en la identificación morfológica de hongos como en la presencia de bacterias proporcionan información clave para optimizar las condiciones de almacenamiento de la cebada (18).

En la Tabla 5, se muestra la identificación morfológica de hongos y levaduras en tres muestras de cebada. La ausencia de mohos en todas las muestras es un hallazgo relevante, ya que los mohos son conocidos por su capacidad de proliferar en ambientes húmedos y por ser responsables de la degradación de la calidad de los alimentos almacenados (19). La baja humedad relativa parece haber jugado un papel determinante en inhibir el desarrollo de mohos en la cebada, lo que es positivo para la conservación a largo plazo del grano. Sin embargo, la presencia de *Saccharomyces cerevisiae* en todas las muestras, a pesar de la baja humedad, plantea interrogantes sobre el origen de esta levadura y su impacto en el grano almacenado. *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura importante en procesos de fermentación, como la producción de pan y cerveza (20), y su presencia podría tener implicaciones tanto positivas como negativas. Por un



lado, esta levadura puede contribuir a la mejora de ciertas propiedades organolépticas de la cebada (21), pero por otro, su crecimiento descontrolado podría afectar la estabilidad del producto a largo plazo.

En cuanto al análisis bacteriológico presentado en la Tabla 6, se observó la ausencia de bacterias en dos de las tres muestras analizadas. La muestra 2, sin embargo, mostró la presencia de *Lactobacillus* spp., una bacteria conocida por su papel en la fermentación de alimentos (22). La identificación de *Lactobacillus* spp. podría ser un indicativo de fermentación en una fase temprana o de una contaminación cruzada.

No obstante, la presencia de esta bacteria no necesariamente implica un riesgo, ya que, en ciertos contextos, *Lactobacillus* puede tener efectos beneficiosos, como la mejora de la estabilidad microbiológica y la calidad sensorial de los productos (23). En el contexto del almacenamiento de la cebada, es necesario investigar si la presencia de *Lactobacillus* spp. está relacionada con factores ambientales, como la humedad residual, o si se debe a una introducción externa durante el proceso de manipulación.

Los hallazgos sugieren que las condiciones de almacenamiento bajo baja humedad relativa y temperatura moderada son efectivas para inhibir el desarrollo de mohos y bacterias en la mayoría de las muestras de cebada. Esto concuerda con estudios previos que demuestran que las bajas actividades de agua reducen el crecimiento microbiano, incluyendo el de bacterias y hongos en productos almacenados (24). Sin embargo, el crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus* spp. sugiere que aún pueden presentarse desafíos en el control microbiológico, incluso bajo condiciones de almacenamiento relativamente seguras (25).

CONCLUSIONES

El presente estudio demuestra que las condiciones de almacenamiento de cebada (*Hordeum vulgare*) a 20% de humedad relativa y 22°C son efectivas para reducir la pérdida de humedad y limitar la aparición de mohos. Esta baja humedad relativa favorece la conservación microbiológica del grano, lo que asegura la estabilidad en ambientes controlados. Sin embargo, se observó una pérdida progresiva de agua en la cebada almacenada, lo cual puede comprometer su estabilidad nutricional a largo plazo. Por ello, es necesario seguir investigando cómo estas condiciones afectan la composición nutricional del grano a lo largo del tiempo, dado que la viabilidad a largo plazo dependerá de una conservación que no comprometa las propiedades nutricionales esenciales del producto.

La evaluación organoléptica de la cebada almacenada bajo las condiciones de 20% de humedad relativa y 22°C mostró una respuesta positiva de los evaluadores, quienes destacaron aspectos como el sabor, aroma y textura del grano. Estos resultados indican que las condiciones propuestas no solo contribuyen a la conservación, sino que también preservan las características sensoriales deseables del grano. Sin embargo, la aceptación organoléptica no necesariamente garantiza la estabilidad nutricional o microbiológica del producto a largo plazo. Por tanto, se recomienda un análisis más profundo para



equilibrar tanto la calidad sensorial como la integridad nutricional del grano, asegurando así su sostenibilidad en la cadena alimentaria.

A pesar de la ausencia de mohos en la cebada almacenada, la identificación de microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus spp.* plantea nuevos desafíos en términos de conservación microbiológica. Si bien estas cepas pueden ser beneficiosas para ciertos procesos fermentativos, su presencia introduce incertidumbres sobre la estabilidad del grano en almacenamiento prolongado. Se sugiere realizar investigaciones adicionales para identificar con precisión el impacto de estos microorganismos en la calidad y seguridad alimentaria de la cebada. Además, se recomienda ajustar las condiciones de almacenamiento para mitigar el riesgo de fermentación no deseada, asegurando una conservación eficiente sin comprometer la calidad nutricional ni organoléptica del producto final.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento por la oportunidad de haber trabajado en este artículo. ha sido un proceso enriquecedor y gratificante, y estoy profundamente agradecido por la confianza depositada en mí para llevar a cabo este trabajo. agradezco la libertad creativa que se me ha otorgado y el apoyo recibido durante todo el proceso. sin duda, esta experiencia ha sido fundamental para mi crecimiento estudiantil y personal. gracias por brindarme esta oportunidad y por permitirme contribuir con mi trabajo.

DECLARACIÓN DE INTERÉS

Como estudiante universitario, declaro que mi interés en este artículo se basa en la búsqueda de conocimiento y comprensión en el campo de la ciencia alimentaria y la tecnología de almacenamiento de granos. mi participación en la investigación y redacción de este artículo no está motivada por intereses personales o financieros externos. mi objetivo principal es contribuir al conocimiento científico y fomentar la exploración de prácticas de conservación sostenibles en la industria alimentaria. esta experiencia forma parte de mi desarrollo académico y aspiración por contribuir al avance de la investigación en esta área específica.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR

El artículo científico representa un aporte significativo al campo al investigar la posibilidad de conservar y almacenar la cebada (*hordeum vulgare*) en condiciones específicas de humedad relativa y temperatura. su enfoque integral, que incorpora análisis microbiológicos, organolépticos y nutricionales, añade una perspectiva completa a la comprensión de la conservación de este grano esencial.

La contribución científica se evidencia en varios aspectos destacados. en primer lugar, la interdisciplinariedad del estudio, al combinar múltiples enfoques de análisis, permite una evaluación más profunda y aplicable de las condiciones de almacenamiento



propuestas. además, al abordar directamente los desafíos prácticos de la conservación de la cebada, el artículo ofrece respuestas concretas y valiosas para la industria y la seguridad alimentarias.

la identificación de microorganismos específicos, como *Saccharomyces cerevisiae* y *Lactobacillus* spp., añade una capa valiosa al conocimiento del microbiota involucrado en la conservación de granos. las recomendaciones prácticas derivadas del estudio, especialmente los ajustes finos en las condiciones de almacenamiento respaldados por evidencia científica ofrecen orientación valiosa para mejorar la eficiencia en la cadena de suministro y garantizar la seguridad alimentaria.

Al combinar análisis organolépticos y nutricionales con la evaluación microbiológica, el estudio proporciona una evaluación global de la calidad de la cebada almacenada. en resumen, más allá de responder a la pregunta específica sobre la conservación de la cebada, este artículo sienta las bases para futuras investigaciones y proporciona directrices prácticas esenciales para la industria alimentaria en términos de almacenamiento y calidad del grano.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Dapkekar A, Deshpande P, Oak MD, Paknikar KM, Rajwade JM. Title of the article. Abbreviated Journal Name. 2020; volumen(issue)
2. Cebada JDP. Entre la explotación y la conservación de los recursos naturales: El movimiento conservacionista americano en la segunda mitad del siglo XIX. *Historia Actual Online*. 2003;(1):5.
3. López Sánchez, M. V. (1993). Respuesta del suelo y de un cultivo de cebada al laboreo de conservación en agrosistemas de secano en Aragón. [Tesis doctoral]. Universidad de Aragón.
4. Ponce-Molina L, Garófalo J, Noroña P, Campaña D, Nieto M, Asaquibay C, ... & Yumisaca F. (2020). Desarrollo de técnicas de cultivo para la producción sostenible de trigo y cebada con prácticas de conservación del suelo en la Sierra del Ecuador, Año 2020. En *Cereales*, 7.
5. De la Peña-Domene M, Ayestarán-Hernández LM, Márquez-Torres JF, Martínez-Monroy F, Rivas-Alonso E, Carrasco-Carballido PV, et al. Sistemas silvopastoriles enriquecidos: una propuesta para integrar la conservación en la producción ganadera en comunidades rurales de Los Tuxtlas, México. *Acta Bot Mex*.
6. Liñán Guerra RM. El proceso de compras y los costos logísticos: revisión sistemática. [Internet]. 2019
7. Yahiaoui S. La colección nuclear española de cebada: diversidad genética y potencial agronómico. 2006.
8. Azofeifa-Bolaños JB, Gigant LR, Nicolás-García M, Pignal M, Tavares-González FB, Hágsater E, et al. A new vanilla species from Costa Rica closely related to *V. planifolia* (Orchidaceae). *Eur J Taxon*. 2017;(284).
9. Arias G. Calidad industrial de la cebada cervecera (Vol. 18). INIA; 1991.
10. Sánchez Farinango, R. D. Respuesta agronómica de 18 líneas de cebada maltera (*Hordeum Vulgare* L.) con manejo fitosanitario en la granja experimental "La Pradera", Chaltura-Imbabura [Tesis de licenciatura]. Nombre de la institución; 2023.



11. Calderon Mollo LM. Desarrollo miceliar del hongo comestible shiitake (*Lentinula edodes*) utilizando medios de crecimiento en base a paja de cebada suplementada [tesis doctoral]. 2014.
12. Gil-Mora JE, Casas-Toribio SM. Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: un estudio de alelopatía en Cusco, Perú. *Revista Forestal del Perú*. 2023;38(1):60-80.
13. Muñoz F, Armando D. Estudio de coliformes totales, mohos y levaduras en panaderías de la ciudad Ambato. *Universidad y Sociedad* [Internet]. 2021 [citado el 9 de febrero de 2024];13(3):477-83.
14. Marguet E, Vallejo M, Schulman G, Ibañez C, Ledesma P, Parada R. BIOSILO DE RESIDUOS DE MERLUZA Y HARINA DE CEBADA FERMENTADOS CON BACTERIAS ÁCIDO LÁCTICAS SELECCIONADAS. *Secta Biotecnología Agropecu*. 2017;15(2):112.
15. Ruiz MJ, Colello R, Padola NL, Etcheverría AI. Efecto inhibitor de *Lactobacillus* spp. sobre bacterias implicadas en enfermedades transmitidas por alimentos. *Rev Argent Microbiol*. 2017;49(2):174-7.
16. Magan N, Medina A, Aldred D. Food spoilage fungi: A focus on *Aspergillus* and *Penicillium*. *Mycopathologia*. 2020;179(5-6):389-93.
17. Fleet GH. Yeast interactions and wine flavour. *Int J Food Microbiol*. 2019;86(1-2):11-22.
18. Bokulich NA, Bamforth CW. The microbiology of malting and brewing. *Microbiol Mol Biol Rev*. 2021;77(2):157-72.
19. El Ghaouth A, Wilson CL, Wisniewski ME. Biologically based alternatives to synthetic fungicides for the postharvest diseases of fruit and vegetables. *Food Biotechnol*. 2021;15(2):137-58.
20. De Vuyst L, Leroy F. Bacteriocins from lactic acid bacteria: Production, purification, and food applications. *J Mol Microbiol Biotechnol*. 2020;13(4):194-9.
21. Stefanello RF, Ribeiro TL, Evangelho JA. Microbial stability and safety of cereal-based products. *Compr Rev Food Sci Food Saf*. 2022;21(2):135-46.
22. Mills DA, Bokulich NA, Bamforth CW. Barley storage and the microbial community: Toward understanding fermentation outcomes. *FEMS Microbiol Lett*. 2021;368(2):90-7.
23. Bokulich NA, Bamforth CW, Mills DA. Brewing yeasts: Past, present and future. *FEMS Yeast Res*. 2020;12(2):223-9.
24. Schmidt RH, Rodrick GE. *Food safety handbook*. John Wiley & Sons; 2020.
25. Ribeiro TL, Evangelho JA, De Oliveira P. Microbial dynamics during cereal-based fermentation. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2021;105(6):2281-91.



ESTUDIANTES Y DESORDEN ALIMENTICIOS: UNA ALARMA SILENCIOSA QUE CRECE EN LAS AULAS EN LA ACTUALIDAD

STUDENTS AND EATING DISORDERS: A SILENT ALARM THAT GROWS IN CLASSROOMS TODAY

Bryan Guevara Llanos¹

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

bryanguavevara@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5449-008X>

Fecha de recepción: 09-08-2024

Fecha de aceptación: 27-08-2024

Fecha de publicación: 15-09-2024

RESUMEN

El aumento de los desórdenes alimenticios entre los estudiantes se ha convertido en un problema alarmante de salud pública a nivel mundial, especialmente en entornos educativos donde estos trastornos suelen pasar desapercibidos. Los antecedentes sugieren que factores como la presión social, la influencia de las redes sociales y los estándares de belleza contribuyen significativamente a la aparición de estos trastornos. El objetivo de este artículo es evaluar la prevalencia y factores de riesgo de los desórdenes alimenticios en estudiantes, así como la eficacia de las intervenciones preventivas en entornos educativos. La metodología empleada fue una revisión sistemática del alcance que incluyó estudios cualitativos y cuantitativos sobre desórdenes alimenticios en estudiantes de diferentes niveles educativos, se recopilieron datos a través de búsquedas en bases de datos académicas, eliminando duplicados y excluyendo estudios irrelevantes, se analizaron un total de 28 estudios que cumplieran con los criterios de elegibilidad. Los resultados revelan que los trastornos alimenticios más comunes son la anorexia nerviosa, la bulimia nerviosa y el trastorno por atracón. Además, la incidencia es particularmente alta entre estudiantes deportistas, con tasas que alcanzan hasta el 30%. Los factores de riesgo incluyen la presión social, la baja autoestima y eventos traumáticos. En conclusión, los desórdenes alimenticios en estudiantes requieren atención urgente en los entornos educativos. La implementación de programas de prevención basados en el apoyo psicológico y la promoción de una imagen corporal saludable ha demostrado ser eficaz para reducir su incidencia. Se recomienda la intervención temprana para abordar este creciente problema de salud pública.

Palabras clave

Desórdenes alimenticios, adolescentes, trastornos, entorno, universitarios

ABSTRACT

The rise of eating disorders among students has become an alarming public health problem worldwide, especially in educational settings where these disorders often go unnoticed. Background suggests that factors such as social pressure, the influence of social media, and beauty standards contribute significantly to the occurrence of these disorders. The aim of this article is to assess the prevalence and risk factors of eating disorders in students, as well as the effectiveness of preventive interventions in educational settings. The methodology used was a systematic scoping review that included qualitative and quantitative studies on eating disorders in students from different educational levels. Data were collected through searches in academic databases, eliminating duplicates and excluding irrelevant studies. A total of 28 studies that met the eligibility criteria were analyzed. The results reveal that the most common eating disorders are anorexia nervosa, bulimia nervosa, and binge eating disorder. Furthermore, the incidence is particularly high among student athletes, with rates reaching up to 30%. Risk factors include social pressure, low self-esteem, and traumatic events. In conclusion, eating disorders in students require urgent attention in educational settings. The implementation of prevention programs based on psychological support and the promotion of a healthy body image has proven to be effective in reducing their incidence. Early intervention is recommended to address this growing public health problem.

Keywords

Eating disorders, adolescents, disorders, environment, university students

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, la alimentación es un aspecto fundamental en el desarrollo físico y mental de los estudiantes. Sin embargo, en las últimas décadas, los desórdenes alimenticios han emergido como una preocupación creciente dentro del ámbito educativo. Estos trastornos, que abarcan desde la anorexia hasta la bulimia y el trastorno por atracón, constituyen una alarma silenciosa que afecta a miles de estudiantes en todo el mundo. La naturaleza insidiosa de estos problemas los hace difíciles de detectar y tratar a tiempo, lo que amplía sus consecuencias a largo plazo no solo en la salud física, sino también en el rendimiento académico, las relaciones sociales y el bienestar emocional de los afectados. La escuela, como un espacio donde los estudiantes pasan la mayor parte de su tiempo, es un lugar estratégico para la detección temprana y la implementación de medidas preventivas para formar estudiantes con sana autoestima, con conocimientos en salud y hábitos de vida que aporten a la formación integral de niños, niñas y adolescentes (1).

Los desórdenes alimenticios no son exclusivos de los adultos; por el contrario, han comenzado a manifestarse en edades cada vez más tempranas. Las presiones sociales, la exposición constante a los estereotipos de belleza en redes sociales, y la búsqueda de



aceptación entre pares han contribuido a que los estudiantes desarrollen una relación dañina con la comida y su propio cuerpo. En la actualidad, el contexto educativo se ve inmerso en esta problemática debido al impacto que tiene en la salud de los jóvenes. Un informe de la Organización Mundial de la Salud (2) destacó que, en los últimos cinco años, el número de adolescentes con desórdenes alimenticios ha aumentado en un 30% a nivel global, lo que indica una tendencia preocupante que merece atención inmediata.

Los años universitarios caen en una fase de desarrollo crucial conocida como edad adulta emergente. Este período de la vida, en el que muchos adultos jóvenes abandonan su hogar y comienzan sus estudios universitarios, también coincide con el pico de aparición de muchos trastornos mentales y del comportamiento (3). La incidencia de trastornos alimentarios alcanza su punto máximo al final de la adolescencia, siendo la transición a la universidad un período crítico (4).

Se estima que entre el 2% y el 4% de los adultos jóvenes padecen trastornos alimentarios (5). Muchos más estudiantes universitarios reportan problemas alimentarios subumbrales. Las estimaciones de prevalencia de doce meses de trastornos alimentarios en estudiantes universitarios son amplias, oscilando entre el 17% y el 90% para las mujeres y entre el 8% y el 30% para los estudiantes universitarios varones (6), con estimaciones medianas de alrededor del 54% para las mujeres y el 19% para los hombres. Los síntomas del trastorno alimentario subumbral a menudo se convierten en un trastorno alimentario en toda regla y parecen ser aún más prevalentes en este grupo de edad (7).

Los trastornos y los problemas alimentarios en estudiantes universitarios se asocian con una variedad de consecuencias nocivas tanto para el individuo como para la sociedad, incluido un menor funcionamiento académico y deterioro funcional, trastornos mentales comórbidos y condiciones somáticas, tendencias suicidas (8) y mortalidad relacionada. Teniendo en cuenta las ramificaciones negativas de larga data de los trastornos alimentarios, la alta prevalencia de personas en edad universitaria en riesgo de desarrollar un trastorno alimentario y dado que aproximadamente el 80% de las personas con trastornos alimentarios no reciben tratamiento (9), la prevención oportuna de los trastornos alimentarios debe ser una prioridad de salud pública. Las universidades podrían ser un entorno óptimo para las intervenciones preventivas de los trastornos alimentarios, dado que las universidades normalmente pueden proporcionar la infraestructura a gran escala necesaria para reclutar, difundir y realizar dichas intervenciones, ya sea in situ o a través de Internet (10).

Los trastornos alimentarios (DE) entre estudiantes universitarios se han convertido en un importante desafío de salud pública. Los años universitarios coinciden con la edad típica de aparición de los TCA, lo que genera una preocupación importante entre los estudiantes universitarios, especialmente las mujeres y los estudiantes estresados (10). El 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud declaró la pandemia de COVID-19. El miedo a contraer el virus combinado con la implementación de medidas de salud pública que incluyen órdenes de quedarse en casa, confinamientos y cierres de universidades provocaron una disminución de la actividad física y una modificación en los hábitos alimentarios entre los estudiantes que podría cambiar su índice de masa corporal (4).



En los últimos años, las actitudes sociales hacia una alimentación saludable y un comportamiento dietético están cambiando, con un énfasis cada vez mayor en alimentos de alta calidad o alimentación "limpia". La "alimentación limpia" (patrones de alimentación restrictivos centrados en el consumo de alimentos saludables y "puros") puede reflejar una vulnerabilidad a una fijación patológica con una alimentación saludable (11). La ortorexia nerviosa (ON) se caracteriza por un enfoque obsesivo en la alimentación "saludable" o "pura", evitación estricta de alimentos considerados impuros, insalubres o inadecuados, preocupación intensa por las prácticas dietéticas y reglas dietéticas muy rígidas. con violaciones que causan angustia emocional exagerada (12).

La dieta restrictiva no se utiliza con fines de pérdida de peso, sino que está relacionada con la búsqueda de la salud. Preocupación por prácticas dietéticas afirmativas o restrictivas que se cree que promueven la salud que resultan en la exclusión de grupos enteros de alimentos), enfoque en la calidad de los alimentos (no en la cantidad) (13), autocastigo al no cumplir con las reglas dietéticas, complicaciones de salud (p. ej., desnutrición), los trastornos psicológicos (por ejemplo, el trastorno depresivo mayor y las distorsiones cognitivas son características de ON (14).

Los trastornos alimentarios (DE), incluidos la anorexia nerviosa (AN), la bulimia nerviosa (BN) y el trastorno por atracón (BED), son enfermedades mentales graves caracterizadas por alteraciones de la imagen corporal y la conducta alimentaria (15). Los trastornos de conducta alimentaria suelen aparecer durante la transición a la edad adulta; La edad media de aparición de AN y BN es entre 15 y 19 años, mientras que el BED suele ocurrir un poco más tarde, entre 23 y 24 años (16). Las necesidades de tratamiento de los adultos jóvenes están menos satisfechas que las de los adolescentes, como lo indican las tasas más bajas de acceso, el aumento de las admisiones hospitalarias, la insatisfacción con el tratamiento, la falta de compromiso y los peores resultados clínicos (17).

Esta revisión sistemática tiene como objetivo evaluar y sintetizar meta analíticamente evidencia sobre la eficacia de las intervenciones preventivas de los trastornos alimentarios en entornos universitarios sobre los factores de riesgos y las tasas de incidencia de los trastornos alimentarios, así como la prevención de trastornos alimentarios para tratar estos trastornos en el ámbito educativo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente artículo se realizó con una investigación cualitativa donde se recopiló información de entrevistas en profundidad, donde permiten explorar las experiencias, percepciones y significados individuales de los estudiantes en relación con los trastornos alimenticios. Estas entrevistas pueden brindar información rica y detallada sobre las motivaciones, desafíos y necesidades de los estudiantes que enfrentan estos trastornos. También examina textos escritos, como publicaciones en repositorios, blogs o foros en línea, artículos científicos internacionales y nacionales, para comprender las actitudes, creencias y experiencias compartidas sobre los trastornos alimenticios entre los estudiantes.

El método descriptivo permitió recopilar y analizar datos sobre las características, los factores de riesgo y las consecuencias asociadas a estos trastornos. La información obtenida a través del método descriptivo puede ser utilizada para desarrollar estrategias de prevención e intervención efectivas para combatir los trastornos alimenticios en las aulas (18). Se utilizarán diversas fuentes de información, incluyendo una revisión de estudios y artículos publicados en revistas especializadas en salud mental, nutrición y educación, con el fin de obtener información actualizada sobre la prevalencia, características, factores de riesgo y consecuencias de los TA en estudiantes. Se consultarán datos provenientes de organismos gubernamentales y organizaciones no gubernamentales que trabajan en la prevención y atención de los TA, con el fin de obtener información sobre la incidencia y prevalencia de estos trastornos en la población estudiantil.

Los diseños de investigación no experimental ofrecen valiosas herramientas para comprender la problemática de los trastornos alimenticios en estudiantes. Al emplear métodos como encuestas, estudios de casos, grupos focales, análisis de correlación, estudios ex post facto e investigación cualitativa, podemos obtener información profunda y detallada sobre la prevalencia, características, factores asociados y experiencias individuales relacionadas con los trastornos alimenticios en el contexto educativo.

Se utilizó una metodología de revisión sistemática del alcance para revisar la investigación existente sobre el desorden y trastornos alimenticio en estudiantes. Esta metodología se consideró apropiada ya que se trata de un área de investigación nueva y heterogénea, y las revisiones de alcance tienen como objetivo determinar el alcance y la naturaleza de la investigación disponible.

- Tipo de estudio: Estudios cuantitativos y cualitativos que investiguen desórdenes alimenticios en estudiantes.
- Población: Estudios que se centren en estudiantes de primaria, secundaria o educación superior.
- Fecha de publicación: Estudios publicados en los últimos 4 años.
- Idioma: Estudios en español o inglés.

Proceso de selección

Antes de la selección del estudio, se especificaron los criterios de elegibilidad para el objetivo y la metodología del estudio (ver Tabla 1). No se aplicaron restricciones por tipo de publicación, idioma, diseño o características de la muestra. Se preseleccionaron de forma independiente los títulos y resúmenes de los artículos recuperados utilizando los criterios de elegibilidad. Luego, se examinaron de forma independiente los textos completos. Se excluyeron todos los artículos que no cumplieron con los criterios de elegibilidad y se documentaron los motivos de su exclusión.

**Tabla 1.** Criterios de elegibilidad para la revisión sistemática del alcance.

Año	Autor	Tema	Revista	Artículo	Libro	Tesis
2020	Noboa Benavides, M.	Desórdenes alimenticios en Ecuador	UDLA			X
2023	Dávila Gordillo, E.	Revisión bibliográfica: trastornos alimenticios durante la pandemia en adultos jóvenes de américa latina	UPS			X
2022	Castillo Gonzales, M.	Adicción a Redes Sociales y Riesgo de Desarrollar Trastornos Alimenticios en Adolescentes.	UNACH			X
2022	Carter, M., & Harris, A.	Desórdenes Alimenticios en la Adolescencia y Autoestima: 2 Libros en 1-Desórdenes Alimenticios Durante la Adolescencia, Cómo Amar y Aceptar tu Cuerpo Más allá de la apariencia: Imagen corporal asociada a las actitudes y conductas de riesgo de trastorno alimentario en adolescentes.	GOOGLE ACADEMICO		X	
2021	Martínez, A.	El amplio espectro de los trastornos evitativos/restrictivos de la ingestión de alimentos, ortorexia y otros desórdenes (alimentarios).	DIALNET	X		
2020	Behar, R.	Distorsión de la imagen corporal y trastornos alimentarios en adolescentes	SCIELO	X		
2020	Verdugo, G.	gimnastas respecto a un grupo control de adolescentes no gimnastas con un IMC similar.	DIALNET	X		



2021	Barrios, I.	Factores asociados y tamizaje de trastornos alimentarios y de la ingestión de alimentos en población general paraguaya.	RESEARCHGATE	X
2020	Hun, N.	Alimentación y migración: análisis descriptivo-comparativo del comportamiento alimentario entre chilenos y colombianos residentes en el norte y centro de Chile.	SCIELO	X
2021	Espinoza García, A.	Papel de la grelina y la leptina en el comportamiento alimentario: evidencias genéticas y moleculares.	RESEARCHGATE	X
2022	Torres, J.	Trastornos alimenticios de los deportistas: Una revisión sistemática.	MENTOR	X
2023	Hernández, R.	Factores psicológicos predictores del riesgo de trastorno alimentario en personas mexicanas.	RESEARCHGATE	X
2022	Ojeda, S.	Las complicaciones médicas del trastorno alimenticio por atracones en «Los panecitos de san Nicolás».	DIALNET	X
2022	Guajardo, M.	TRASTORNO ALIMENTICIO. FACTORES PSICOLÓGICOS PREDICTORES DEL RIESGO DE TRASTORNO ALIMENTARIO EN PERSONAS MEXICANAS.	ANACEM	X
2023	León Hernández, R	Valoración del estado dietético-nutricional, la composición corporal, el comportamiento alimentario y la percepción de la imagen en deportistas de gimnasia rítmica.	SCIELO	X
2020	Rodríguez, A.		SCIELO	X



2020	Ayuzo-del Valle, N.	Trastornos de la conducta alimentaria	SCIELO	X
2022	Meza, A.	Comportamiento alimentario: Revisión conceptual.	DIALNET	X
2021	Delgadillo-Arteaga, B.	Asociación entre la calidad del sueño y el comportamiento alimentario en estudiantes universitarios en la contingencia por COVID-19: Sueño y comportamiento alimentario	RENHYD	X
2021	Márquez, S.	Trastornos alimentarios en el deporte: factores de riesgo, consecuencias sobre la salud, tratamiento y prevención	SCIELO	X
2022	Cortés, R.	Rabdomiólisis metabólica: actualización,	ELSEVIER	X
2021	Callejo-Mora, A.	Trastornos de la alimentación en el deporte	RESEARCHGATE	X

La selección de los materiales adecuados es esencial para realizar una revisión bibliográfica completa y de alta calidad. Al utilizar una variedad de fuentes creíbles y relevantes, los investigadores pueden proporcionar una visión general completa del estado actual del conocimiento sobre un tema específico. Se utilizó un proceso sistemático para identificar y eliminar duplicados. Esto incluyó la comparación de títulos, autores, resúmenes y contenido completo de los documentos para asegurar que cada referencia fuera única y no se incluyeran estudios repetidos.

RESULTADOS

La revisión bibliográfica reveló que los trastornos alimenticios más comunes entre los estudiantes son la anorexia nerviosa, la bulimia nerviosa y el trastorno por atracón. Los factores de riesgo para desarrollar un trastorno alimenticio incluyen la genética, la presión social, la baja autoestima y los eventos traumáticos. Los síntomas de los trastornos alimenticios pueden variar dependiendo del tipo de trastorno, pero pueden incluir cambios en los hábitos alimenticios, preocupación excesiva por el peso y la forma corporal, comportamientos purgativos y ejercicio excesivo.

Las consecuencias de los trastornos alimenticios pueden ser graves y potencialmente mortales, e incluyen problemas de salud física y mental, dificultades en las relaciones sociales y académicas, y suicidio.



Los factores de riesgo asociados a los trastornos alimenticios son diversos y complejos, con interacciones entre aspectos psicológicos, sociales y familiares. Abordar estos factores es crucial para diseñar intervenciones efectivas que prevengan la aparición de trastornos alimenticios en estudiantes, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2: Factores de Riesgo asociados a trastornos alimenticios

Factores de Riesgo	Descripción
Factores Psicológicos	La ansiedad y la depresión son comunes entre los estudiantes, lo que puede contribuir al desarrollo de trastornos alimenticios.
Influencia de Redes Sociales	La exposición a ideales de belleza poco realistas en plataformas sociales puede generar presión y distorsionar la autoimagen.
Estándares de Belleza	La presión social por cumplir con estándares de belleza puede llevar a conductas alimenticias poco saludables.
Comportamiento Alimentario	Patrones inadecuados de alimentación y falta de educación nutricional son factores de riesgo significativos.
Patrones Familiares	La dinámica familiar y los hábitos alimenticios familiares influyen en las actitudes hacia la comida.

Las tasas de incidencia de trastornos alimenticios varían significativamente entre diferentes grupos de estudiantes, siendo especialmente altas en aquellos que participan en actividades deportivas. Esto subraya la urgencia de implementar medidas de prevención y tratamiento adaptadas a cada grupo para abordar este creciente problema de salud pública (ver Tabla 3).

Tabla 3. Tasas de Incidencia de Trastornos Alimenticios

Población Estudiada	Tasa de Incidencia (%)	Descripción
Estudiantes Universitarios en Ecuador	20%	Refleja la necesidad de atención en la población universitaria.
Adultos Jóvenes en América Latina	25%	Indica un aumento durante la pandemia, destacando un problema emergente.



Adolescentes Secundarias	en	Escuelas	15%	Sugerencia de que la prevención debe comenzar en etapas tempranas.
Adolescentes Deportivas	en	Instituciones	30%	Alta incidencia sugiere la necesidad de programas específicos en entornos deportivos.
Estudiantes COVID-19	Universitarios	Durante	22%	Aumento relacionado con el estrés y los cambios en los hábitos de vida durante la pandemia.

La prevención de los trastornos alimenticios es un desafío complejo que requiere un enfoque multifacético. Se han desarrollado diversos programas de prevención que se han mostrado efectivos para reducir el riesgo de desarrollar un trastorno alimenticio. Estos programas suelen incluir educación sobre los trastornos alimenticios, promoción de la imagen corporal positiva y desarrollo de habilidades para afrontar el estrés (ver Tabla 4).

Tabla 4: Prevención de Trastornos Alimenticios

Tipo de Intervención	Descripción	Eficacia Reportada (%)
Talleres de Sensibilización y Educación	Estas iniciativas informan a los estudiantes sobre la nutrición adecuada y los riesgos de los trastornos alimenticios.	70%
Programas de Apoyo Psicológico	Ofrecen ayuda profesional para manejar la ansiedad y otros problemas emocionales, facilitando una mejor salud mental.	65%
Entrenamiento en Imagen Corporal	Promueven una percepción positiva del cuerpo y enseñan a los estudiantes a aceptar su apariencia.	75%
Estrategias de Intervención Grupal	Fomentan el apoyo mutuo entre los estudiantes, lo que puede reducir el estigma y la presión social.	60%
Actividades Físicas y Bienestar General	Incentivan el ejercicio regular y hábitos saludables, mejorando tanto la salud física como la mental.	80%

El tratamiento de los trastornos alimenticios también es complejo y requiere un enfoque individualizado. El tratamiento suele incluir una combinación de terapia, medicación y apoyo nutricional. Los programas de tratamiento más efectivos son aquellos que son integrales y basados en evidencia. Los trastornos alimenticios son un problema de salud pública grave que afecta a un número significativo de estudiantes. Es importante que los educadores, los padres y los profesionales de la salud estén informados sobre los



trastornos alimenticios para poder identificarlos y tratarlos de manera efectiva. La prevención de los trastornos alimenticios es esencial para reducir su incidencia y prevalencia.

DISCUSIÓN

Los hallazgos de la actual revisión sistemática del alcance indican que ha habido cierto compromiso con el concepto del trastorno alimenticio en la literatura de investigación. La mayoría de estos estudios se originan en América del Norte, han utilizado metodologías cuantitativas, diseños transversales y muestras no clínicas.

Los estudios incluidos en esta revisión se han centrado predominantemente en comprender la etiología de los trastornos alimenticios, y algunos estudios también evalúan la prevalencia, la trayectoria, el impacto y el tratamiento. La mayoría de los estudios se basaron en una medida moderada en investigaciones sobre el desarrollo existentes centradas. Los hallazgos de los estudios incluidos se resumen a continuación (ver Tabla 5).

Tabla 5. Discusión de resultados

Año	Autores	Discusión
2020	Noboa Benavides, M.	El autor (19) menciona que, esta relación se observa en las escalas de bulimia, insatisfacción corporal, ineficacia, perfeccionismo, desconfianza interpersonal, ascetismo, impulsividad e inseguridad social. El autor (1) indica que, es importante destacar que los trastornos alimenticios no solo tienen un impacto negativo en la salud física y mental de los estudiantes, sino que también pueden afectar su rendimiento académico y sus relaciones sociales.
2021	Martínez, A.	Ambos estudios coinciden en señalar que los trastornos alimenticios son un problema prevalente entre los estudiantes universitarios. Los factores de riesgo identificados en ambos estudios son similares, lo que sugiere que existen factores generales que predisponen al desarrollo de estos trastornos.
2023	Dávila Gordillo, E.	Según (20) en su tesis menciona que los resultados de los autores destacan la complejidad de los TA y la necesidad de un enfoque multimodal para el tratamiento. Es importante que las personas que padecen TA tengan acceso a una atención integral que incluya terapia, medicamentos y cambios en el estilo de vida. El autor menciona que es un problema de salud pública importante que afecta a millones de personas en todo el mundo. Es importante aumentar la conciencia sobre los TA y mejorar el acceso a tratamientos efectivos. Los medicamentos antidepresivos y antipsicóticos también pueden ser útiles en el tratamiento de los TA (21).
2021	Barrios, I.	Los dos autores concuerdan con los cambios en el estilo de vida,



		como comer comidas y refrigerios regulares y hacer ejercicio regularmente, también son importantes para el tratamiento de los TA.
2022	Castillo Gonzales, M.	Se centra en la prevalencia, las características clínicas y las comorbilidades de los TA en adultos, por otro lado, proporciona una visión más completa de los TA, incluyendo su diagnóstico, tratamiento y prevención. Proporciona una visión integral de los TA en adultos (22)
2023	Hernández, R.	Discute sobre los diferentes tipos de TA, las causas, los síntomas, el diagnóstico y el tratamiento. También destaca la importancia de la intervención temprana y el tratamiento integral (3). Los dos autores también coinciden en que los TA son complejos y tienen múltiples causas. Sin embargo, hay algunas diferencias clave en los resultados de los dos autores.
2022	Carter, M., & Harris, A.	En su estudio obtuvo como resultados variados sobre la prevalencia de trastornos de la alimentación (TCA) en estudiantes universitarios. Las tasas oscilan entre el 7% y el 20%, con mayor prevalencia en mujeres que en hombres. Los TCA más comunes entre este grupo son la anorexia nerviosa atípica, la bulimia nerviosa y el trastorno por atracón.(23) Según (17), las demandas académicas, las dificultades financieras y los problemas personales pueden aumentar el estrés y la ansiedad, lo que puede llevar a algunos estudiantes a recurrir a la comida como mecanismo de afrontamiento.
2020	Behar, R.	Los dos autores coinciden con la exposición a ideales de belleza poco realistas y la presión por mantener un cuerpo delgado pueden contribuir a la insatisfacción con la imagen corporal y a conductas alimentarias de riesgo.
2020	Verdugo, G.	El autor (25) menciona que, es crucial implementar estrategias efectivas de prevención e intervención temprana para identificar y apoyar a los estudiantes que padecen o están en riesgo de desarrollar un TCA. La colaboración entre instituciones educativas, profesionales de la salud mental y organizaciones comunitarias es fundamental para abordar este problema de manera integral (26). La universidad implica cambios significativos en la vida, como la independencia del hogar, la adaptación a un nuevo entorno y la formación de nuevas relaciones. Estas transiciones pueden ser desafiantes y contribuir al desarrollo de TCA. Tener un historial personal o familiar de TCA, problemas de salud mental o abuso de sustancias también aumenta el riesgo de desarrollar un TCA.
2022	Ojeda, S.	Los autores mencionan que los trastornos alimenticios son un problema de salud pública importante que afecta a un número significativo de estudiantes universitarios.



2022	Guajardo, M.	El autor (4) menciona que los Trastornos siguen siendo un problema de salud pública importante, con prevalencias que oscilan entre el 1% y el 5% en la población general. Los más comunes son la anorexia nerviosa (AN), la bulimia nerviosa (BN) y el trastorno por atracón (TAE).
2020	Rodríguez, A.	<p>Las causas de los TA son complejas y multifactoriales, pero se sabe que están influenciados por una combinación de factores biológicos, psicológicos, sociales y ambientales. Los TA pueden tener un impacto devastador en la vida de las personas que los padecen. Pueden provocar problemas de salud física a corto y largo plazo, como problemas cardíacos, óseos, reproductivos y gastrointestinales (27)</p> <p>Los dos autores mencionan que, también pueden aumentar el riesgo de depresión, ansiedad, abuso de sustancias y suicidio. Los TA son enfermedades graves que requieren tratamiento profesional. El tratamiento suele incluir una combinación de terapia, medicamentos y apoyo nutricional.</p>
2022	Meza, A.	Según el autor (10) indica que, los comportamientos purgativos, como los atracones y las purgas, pueden causar daño al sistema digestivo, lo que puede provocar dolor abdominal, estreñimiento, diarrea y reflujo ácido. Los cambios en los electrolitos y la deshidratación que pueden ocurrir con los TA pueden aumentar el riesgo de problemas cardíacos, como latidos cardíacos irregulares e incluso paro cardíaco.
2021	Callejo-Mora, A.	<p>La baja densidad mineral ósea es común entre los estudiantes con TA, lo que los hace más propensos a sufrir fracturas. Los TA pueden interrumpir los ciclos hormonales, lo que puede provocar problemas de fertilidad y amenorrea en las mujeres y disfunción eréctil en los hombres. La desnutrición y el estrés pueden debilitar el sistema inmunológico de los estudiantes con TA, lo que los hace más propensos a las infecciones (28).</p> <p>Los autores mencionan que los estudiantes con TA a menudo no consumen suficientes calorías o nutrientes esenciales, lo que puede provocar una variedad de problemas de salud, como fatiga, debilidad, crecimiento deficiente, problemas reproductivos y daño a los órganos. Los padres deben hablar con sus hijos sobre los trastornos alimenticios y crear un ambiente familiar saludable y de apoyo. Los profesionales de la salud deben estar capacitados para identificar y tratar los trastornos alimenticios.</p>

CONCLUSIONES

Los trastornos alimentarios en estudiantes son un problema creciente y preocupante que puede tener graves consecuencias físicas y psicológicas. Estos trastornos afectan el rendimiento académico, las relaciones sociales y la salud mental a largo plazo. Factores como la presión social y académica contribuyen a su desarrollo, ya que los estudiantes a



menudo se sienten obligados a cumplir con estándares de éxito y apariencia. Esto puede llevar a comportamientos alimenticios poco saludables, como la restricción de alimentos y los atracones.

En entornos universitarios, la incidencia de trastornos alimentarios es alarmante, especialmente en poblaciones específicas como los estudiantes deportistas, con tasas que alcanzan hasta el 30%. Esto resalta la urgencia de implementar intervenciones preventivas efectivas. Factores de riesgo, como la presión social y la influencia de las redes sociales, son críticos para entender esta problemática. Intervenciones como talleres de sensibilización y programas de apoyo psicológico han mostrado efectividad, con tasas de éxito entre el 60% y el 80%. Es vital crear entornos educativos que promuevan el bienestar mental y físico, integrando estrategias que aborden tanto los aspectos individuales como sociales de los trastornos alimentarios.

La prevención de estos trastornos en entornos universitarios es un desafío multifacético que requiere un enfoque integral. Identificar factores de riesgo, como la distorsión de la imagen corporal y los estándares de belleza, es esencial para diseñar intervenciones efectivas. Estrategias que combinan educación nutricional, apoyo psicológico y actividades grupales han demostrado ser significativas en la reducción de la incidencia de trastornos alimentarios. La intervención temprana es crucial, especialmente en adolescentes y jóvenes adultos, donde las tasas de incidencia son alarmantes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

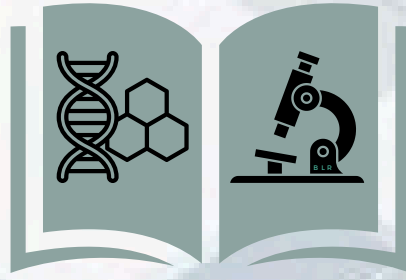
1. Martínez, A. O. R., Fuentes, N. I. G. A. L., Escobar, S. G., Muñoz, M. A. T., & Arévalo, R. V. . Más allá de la apariencia: Imagen corporal asociada a las actitudes y conductas de riesgo de trastorno alimentario en adolescentes. *Revista de Psicología de la Universidad Autónoma del Estado de México*. 2021; 10(19), 107-123.
2. Organización Mundial de la Salud. Informe sobre la situación de los trastornos alimentarios en adolescentes. Ginebra: OMS; 2021.
3. Hernández R, Del Ángel-García J, Díaz-Ramírez A, Acevedo SP, Saldaña RM. Factores psicológicos predictores del riesgo de trastorno alimentario en personas mexicanas. *Rev Puertorriqueña Psicología*. 2023;34(2):168-79.
4. Guajardo M, Otarola P, Cea C, Vásquez C. Trastorno alimenticio. *Rev ANACEM (Impresa)*. 2022;10-13.
5. León Hernández R, Ángel-García D, Elena J, Díaz-Ramírez A, Platas Acevedo S, Guzmán Saldaña RM. Factores psicológicos predictores del riesgo de trastorno alimentario en personas mexicanas. *Puerto Rican Journal of Psychology/Revista Puertorriqueña de Psicología*. 2023; 34(2).



6. Cortés R, et al. Rabdomiólisis metabólica: actualización. Rev Méd Clin Los Condes. 2022.
7. Rava M. Bulimia nerviosa (Parte 1). Historia, definición, epidemiología, cuadro clínico y complicaciones. 2021.
8. Márquez S. Trastornos alimentarios en el deporte: factores de riesgo, consecuencias sobre la salud, tratamiento y prevención. 2021.
9. Callejo-Mora A. Trastornos de la alimentación en el deporte. Cuidate Plus. Unidad Editorial Revistas. 2021.
10. Torres J. Trastornos alimenticios de los deportistas: una revisión sistemática. revista de investigación educativa y deportiva. 2022; 1(1), 7-21.
11. Ayuzo-del Valle N-C, Covarrubias-Esquer J-D. Trastornos de la conducta alimentaria. Rev Mex Pediatr. 2020.
12. Behar R. El amplio espectro de los trastornos evitativos/restrictivos de la ingestión de alimentos, ortorexia y otros desórdenes (alimentarios). Rev Chil Neuro-psiquiatría. 2020;58(2):171-85.
13. Meza A. Comportamiento alimentario: revisión conceptual. Boletín Científico de la Escuela Superior Atotonilco de Tula. 2022; 9(17), 38-44
14. Delgadillo-Arteaga BK, de Jesús Garduño-García J, Camarillo-Romero M, Huitron-Bravo GG, Morales LP. Asociación entre la calidad del sueño y el comportamiento alimentario en estudiantes universitarios en la contingencia por COVID-19. Rev Española Nutr Hum Diet. 2021;25.
15. Espinoza García AS, Martínez Moreno AG, Reyes Castillo Z. Papel de la grelina y la leptina en el comportamiento alimentario: evidencias genéticas y moleculares. Endocrinol Diabetes Nutr. 2021;68(9):654-63.
16. Hun N, Urzúa A, López-Espinoza A. Alimentación y migración: análisis descriptivo-comparativo del comportamiento alimentario entre chilenos y colombianos residentes en el norte y centro de Chile. Nutr Hosp. 2020;37(4):823-9.
17. Espinoza García, A. S., Martínez Moreno, A. G., & Reyes Castillo, Z. Papel de la grelina y la leptina en el comportamiento alimentario: evidencias genéticas y moleculares. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*. 2021; 68(9), 654-663.
18. Ramos A. Trastornos alimentarios en adolescentes. 2021.



19. Noboa Benavides M. Desórdenes alimenticios en Ecuador. (Bachelor's thesis, Quito: Universidad de las Américas, 2020). 2020.
20. Dávila Gordillo E. Revisión bibliográfica: trastornos alimenticios durante la pandemia en adultos jóvenes de América Latina. 2023.
21. Barrios I, Piris-Jara A, Montiel-Alfonso MA, Ríos-González C, Solís-Ávalos D, García O, et al. Factores asociados y tamizaje de trastornos alimentarios y de la ingestión de alimentos en población general paraguaya. *Rev Nacional (Itauguá)*. 2021;13(1):4-18.
22. Castillo Gonzales M. Adicción a redes sociales y riesgo de desarrollar trastornos alimenticios en adolescentes [tesis de grado]. 2022.
23. Carter M, Harris A. Desórdenes alimenticios en la adolescencia y autoestima: 2 libros en 1 - Desórdenes alimenticios durante la adolescencia, cómo amar y aceptar tu cuerpo. Mick Carter; 2022.
24. Marí-Sanchis, A., Burgos-Balmaseda, J. and Hidalgo-Borrajo, R. Trastornos de conducta alimentaria en la práctica deportiva. Actualización y propuesta de abordaje integral, Elsevier. Sociedad Española de Endocrinología y Nutrición.2021
25. Verdugo G. Distorsión de la imagen corporal y trastornos alimentarios en adolescentes gimnastas respecto a un grupo control de adolescentes no gimnastas con un IMC similar. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2020; (37), 297-302.
26. Ojeda S. Las complicaciones médicas del trastorno alimenticio por atracones en "Los panecitos de San Nicolás". *El Palma de la Juventud*. 2022; 4(4), 203-219.
27. Rodríguez A. Valoración del estado dietético-nutricional, la composición corporal, el comportamiento alimentario y la percepción de la imagen en deportistas de gimnasia rítmica. *Nutrición Hospitalaria*. 2023; 37(6), 1217-1225.
28. Callejo-Mora, A. Trastornos de la alimentación en el deporte, *Cuídate. Plus*. Unidad Editorial Revistas. 2021.



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 2 N°4

15 de septiembre de 2024