



espoch

Facultad
de Ciencias
Pecuarias

REGIENA

Revista Científica Agropecuaria

ED. ESPECIAL



Vol. 4

Núm. 01

Edición Especial 2024

ISSN 2773-7608

Líneas de investigación:

- Ciencias agrícolas y agroindustriales
- Ciencias zootécnicas y biológicas
- Ciencia e ingeniería de Alimentos
- Ciencia e ingeniería de biomateriales
- Medicina animal
- Procesos agropecuarios y agroindustriales
- Economía, gerencia y negocios agropecuarios
- Aplicaciones de otras ciencias a estas áreas.





ISSN: 2773-7608

RECIENA.

Licencia Internacional Creative Commons

Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada (by-nc-nd)



Publicada por la Facultad de Ciencias Pecuarias
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Volumen 4 / Número 1 2024

Contenido

1	MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS ANTOCIÁNICOS DEL MAÍZ MORADO (ZEA MAYS L.) Thais Shagñay, Bryan Vega, Alexis Ramos, Erika Castillo, Sharup Fiorela.	7 - 14
2	AVANCES Y PERSPECTIVAS EN LA TECNOLOGÍA DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE ALIMENTOS: UNA REVISIÓN DE SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. Camilo Felipe Caiza Calderón.	15 - 26
3	ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN DE PERROS Y GATOS EN SITUACIÓN DE CALLE DENTRO DEL CANTÓN RIOBAMBA -ECUADOR. Natalia Stefania Trujillo Santillán, Colon Jaime Grijalva Rosero(+), Bryan Raúl Herrera Mendoza.	27 - 32
4	BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO (CETOSIS) EN RUMIANTES CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Tirsa Echeverría, María Fernanda Núñez, Santiago Vásquez, Ángel Casierra.	33 - 44
5	LESIONES PULMONARES EN CERDOS DE DIFERENTES CENTROS DE FAENAMIENTO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO: ESTUDIO DE CASO Cushpa Pilco Estefany Alexandra, Portilla Merchán Samantha Juliana, Taipe Cuñas Madheleine Dayana, Tiama Ilbay Jordan Alexis, Campoverde Santos Diana Katherine, Suárez Usbeck Andrés Esteban, Vinueza Veloz Pamela.	45 - 52
6	EFFECTO DEL TIPO DE ACEITE VEGETAL EN LA ACEPTACIÓN SENSORIAL Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE UN PATÉ DE TRUCHA Ana María Campuzano, Miriam Solano Tomalá, Carolina Paz Yépez, Julio Palmay Paredes.	53 - 58
7	OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS ANTOCIÁNICOS DE LA CORONTA DE MAÍZ MORADO (ZEA MAYS L.) PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA Luis Humberto Vásquez Cortez, Gabriela Elizabeth Campos Mera, Katty Susana Melo Pérez, Karen Elizabeth Macías Erazo.	59 - 66
8	EL DESARROLLO Y PROGRESO EN LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS, UN ANÁLISIS DE SUS BENEFICIOS Pablo André Peñaherrera Madril, Ramiro Germán Jaramillo Bayas, Erika Alexandra Beltrán Gallo, José Alfonso Alvarado Carrasco, Lissette Alexandra Lucio Toalombo.	67 - 78
9	FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO DE MADURACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS DIFERENTES CAMBIOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS Gabriela Elizabeth Campos Mera, Jessica Verónica Guamangallo Tandalla, Edwin Ramiro Cevallos Carvajal, Orley Alejandro Acosta Ordoñez.	79 - 86
10	PRESENCIA DE MICOTOXINAS Y SUS METABOLITOS, EFECTO DEL CONSUMO EN CEREALES Evelyn Alejandra Vargas Peralvo, Moreano Teran Nancy Fabiola, Miryam Janeth Cárdenas Bonifaz, Stuard Nelson Montoya Vizuete.	87 - 98
11	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO SOBRE MAMPOSTERÍAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN EN INSTALACIONES DE FAENAMIENTO ANIMAL. Fabián Bastidas-Alarcón, Lidia Castro-Cepeda, Andrés Noguera, Christian Flores-Arévalo.	99 - 114
12	ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FERMENTACIÓN RUMINAL IN VITRO DE ALIMENTOS FIBROSOS EN GANADO OVINO Andrés Haro Haro, Diego Rodríguez Saldaña, Andrés Jacome Aucay, Andrea Vintimilla Rojas, Marco Picón Saavedra, Alex Villafuerte, María José Andrade Rojas.	115 - 120



CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Revista RECIENA
Panamericana Sur, km 1 1/2
ESPOCH Facultad de Ciencias Pecuarias
Riobamba-Ecuador
Telf.: (+593) 299 8200 ext. 2401
eMail: reciena.fcp@epoch.edu.ec



epoch

Facultad
de Ciencias
Pecuarias

Comité:

EDITORA GENERAL:

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

EDITOR JEFE:

Msc. Carlos Andrés Mancheno (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador).

MIEMBROS COMITÉ EDITORIAL

William Orlando Caicedo (Universidad Estatal Amazónica, Ecuador)

Cira Duarte García (Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria, Cuba)

Hugo López Insunza (Universidad Autónoma de Sinaloa, México)

José Miranda Yuquilema (Universidad de Cuenca, Ecuador)

Begonia Peinado Ramón (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimenticio, España)

Ángel Poto Remacha (Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Alimenticio, España)

Aldo Rodríguez Hernández (Universidad de Chapingo, México)

Cecilia Rodríguez Haro (Universidad Regional Amazónica IKIAM, Ecuador)

Sungey Sánchez Llaguno (Universidad de las Fuerza Armadas, ESPE, Ecuador)

Juan Carlos Llivi (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

Santiago Valle (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

Wilian Bravo (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

COMISIÓN DE SOPORTE

Soporte Informático:

Alex Erazo Luzuriaga (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

Revisión idioma inglés - español:

Isabel Escudero Orozco (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

Soporte editorial y logístico:






Nora Tahirí Mejía (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

Diseño portada, contraportada y diagramación:

José Luis Heredia Hermida (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador)

MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS ANTOCIÁNICOS DEL MAÍZ MORADO (ZEA MAYS L.)

METHODS OF EXTRACTION OF ANTHOCYANIC PIGMENTS FROM PURPLE CORN (ZEA MAYS L.)

	Thais Shagñay ¹	thais.shagniay@epoch.edu.ec
	Bryan Vega ¹	bryan.vega@epoch.edu.ec
	Alexis Ramos ^{2 *}	alexisrr2210@correo.ugr.es
	Erika Castillo ¹	erika.castillo@epoch.edu.ec
	Sharup Fiorela ¹	fiorela.sharup@epoch.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Riobamba, Ecuador.

² Universidad de granada (España).

E-mail: * alexisrr2210@correo.ugr.es

RESUMEN

El uso excesivo de colorantes artificiales en la industria alimentaria ha generado la iniciativa de utilizar colorantes naturales de las plantas, esto debido a que diferentes estudios tanto in vitro como in vivo han mostrado que los diferentes colorantes artificiales están perjudicando la salud de las personas. La información obtenida en la presente investigación fue de diferentes bases de datos tales como: Web of Science, Scopus, Scielo, Science Direct Google Académico, donde el presente trabajo bibliográfico trata de recopilar los métodos más adecuados para la extracción de pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado (*Zea Mays L.*), siendo así que se ha encontrado cuatro métodos para extraer las antocianinas del maíz morado, sin embargo entre los diferentes métodos se encontró que la extracción sólido-líquido es el método más eficiente. Según los diferentes estudios revisado la técnica para este método refiere que se debe trabajar con una relación 1:100 (g ml⁻¹ de etanol L 20%), de pH 2, una temperatura de 70°C durante 30 min y utilizando como solvente etanol al 20%, lo que resultaría la obtención del pigmento de color rojo, se debe tener en cuenta que los factores son clave en el método de extracción ya que no tener el pH, tamaño de partícula, tiempo y temperatura adecuados generaría una ineficiencia.

Palabras clave: antocianinas, maíz morado, sólido-líquido, colorante, pigmento.

ABSTRACT

The excessive use of artificial colorants in the food industry has generated the initiative to use natural

colorants from plants, because different studies both in vitro and in vivo have shown that the different artificial colorants are damaging people's health. The information obtained in the present research was from different databases such as: Web of Science, Scopus, Scielo, Science Direct, Google Scholar, where the present bibliographic work tries to compile the most adequate methods for the extraction of anthocyanin pigments from the purple corn (*Zea Mays L.*) crown, being so that four methods have been found to extract anthocyanins from purple corn, however among the different methods it was found that the solid-liquid extraction is the most efficient method. According to the different studies reviewed, the technique for this method refers to working with a 1:100 ratio (g ml⁻¹ of ethanol L 20%), pH 2, a temperature of 70°C for 30 min and using 20% ethanol as solvent, which would result in obtaining the red color pigment. It should be taken into account that the factors are key in the extraction method, since not having the appropriate pH, particle size, time and temperature would generate inefficiency.

Keywords: anthocyanins, purple corn, solid-liquid, colorant, pigment.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen muchos colorantes sintéticos que son utilizados para darle color a los alimentos, transfiriendo consigo efectos negativos para la salud del consumidor, es por eso que las industrias alimentarias y farmacéuticas están dispuestas a utilizar colorantes

naturales extraídos de vegetales, como es el caso del maíz morado (27). Según (23) refieren que las antocianinas son un tipo de compuestos fenólicos que contienen propiedades promotoras para la salud, además, aportan el color característico rojo, naranja, morado y azul a diversas frutas, verduras, flores y cereales. Las antocianinas son fáciles de incorporar al sistema alimentario acuoso, representan una importante alternativa adecuada a los tintes sintéticos para colorear alimentos. Han sido reconocidos por la Unión Europea y Japón, con el código E-163 como colorantes alimentarios (5).

Autores tales como (35) mencionan que, el maíz morado (*Zea mays L.*) es originario de la región andina, en específico América Latina y es una fuente rica de antocianinas. En la comparación con los arándanos ricos en antocianinas y la col lombarda, el maíz morado presenta un mayor contenido de antocianinas, incluso hasta 82,3 mg/g FW (8). El área de la mazorca del maíz morado se concentra la mayoría del pigmento, lo que la convierte en una excelente materia prima para la producción de colorantes alimentarios y no alimentarios utilizados en las diferentes industrias (7). La diferencia en la extracción de los pigmentos de las frutas y verduras, la extracción de pigmentos de los cereales suele ser más difícil debido a que los cereales suelen tener una textura más dura y una matriz más complicada donde los pigmentos tienden a formar compuestos complejos puesto que se unen a otros elementos. Es por ello, que la extracción de antocianinas del maíz morado es compleja debido a que este producto por su alto contenido de almidón se encuentra en la familia de las gramíneas perteneciente a los cereales (25).

Según revisiones científicas en los últimos años, se encontró la existencia en el maíz morado de cinco importantes antocianinas como son la “pelargonidina-3-O- β -D-glucósido”, “peonidina-3-O- β -D-glucósido”, “pelargonidina-3-O- β -D-(6-malonilglucósido)”, “peonidina-3-O- β -D-(6-malonilglucósido)” y la que se encuentra en mayor proporción y reconocida como la principal antocianina del maíz morado “cianidina-3-glucósido”, misma que brinda las propiedades antioxidantes (31).

La estructura de las antocianinas presentes en el maíz morado tiene una mayor estabilidad al pH, temperatura y la exposición frente a la luz, dando como resultado que este compuesto sea una fuente potencial como colorante natural (17). Los investigadores (13) refieren que el método más usual de extracción para antocianinas es la extracción sólido-líquido, donde este método consiste en un remojo de materiales frescos en solventes donde (1) manifiestan que los solventes que más se utilizan son agua, etanol, metanol, acetona y otros, de los cuales se

prefieren los solventes orgánicos y sus mezclas acuosas ya que permiten romper las membranas celulares y disolver los pigmentos al mismo tiempo. De la misma manera (3) manifiestan que para facilitar el proceso de extracción y estabilizar los pigmentos durante la extracción, los disolventes suelen acidificarse ya que pueden tener impacto en la extracción de antocianinas. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo es mediante una revisión sistemática evaluar los métodos de extracción de pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado (*Zea mays L.*).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio es de tipo revisión bibliográfica. La ruta metodológica está comprendida básicamente cuatro momentos: búsqueda, organización, sistematización y análisis de documentos relacionados con el tema métodos de extracción de pigmentos antociánicos del maíz morado (*Zea mays L.*).

La investigación está realizada en una selectiva revisión bibliográfica y un profundo análisis crítico de los datos obtenidos relacionado con el estudio. Para la localización de información relacionada con el tema se utilizaron varias bases de datos como: Scopus, Web of Science, Scielo, Google académico, Science Direct, etc. Gran parte de información cualitativa y cuantitativa proviene de diversos temas tanto primarias como secundarias como: libros, revistas, tesis todos los encontramos electrónicos y para completar la búsqueda se hizo lectura y rastreo de bibliografía haciendo referencia a los documentos encontrados.

- Criterios de selección

Para el análisis se establecieron algunos criterios de selección entre ellos la utilidad para la recolección de información que se utilizó durante el proceso de investigación e establecieron los parámetros siguientes: La información con un nivel de validez alto es decir que sea reconocidos académicamente como libros, revistas, reportes técnicos, tesis donde el 80% pertenece a los últimos 6 años y el 20% corresponde a años anteriores esta información se recopiló de países nacionales e internacionales. Como criterios de búsqueda se incluyen los siguientes descriptores tanto en español como en inglés: *antocianinas, maíz morado, sólido-líquido, colorante, pigmento*. Estas palabras claves fueron combinadas en varias formas, con el objetivo de ampliar los criterios de búsqueda. Al realizar la búsqueda de los documentos, se preseleccionaron varios archivos de los cuales se escogía los que se centraban más a fin de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según (30) manifiestan que, las antocianinas es un colorante que se extrae del maíz morado o de los frutos rojos, la concentración de antocianinas es medido utilizando un espectrofotómetro, con un 95% de confianza, se dice que el método más utilizado y eficaz de extracción es usar como solvente al etanol con el cual concuerda (12) que realizó la extracción de antocianinas con solventes de grado alimenticio como es el etanol y el agua acidificados con ácido cítrico, donde indica que el consumo de altos contenidos de antocianinas en los seres humanos trae grandes beneficios al cuerpo, ya que actúan como antioxidantes naturales, mejorando la circulación sanguínea.

Por lo tanto, conociendo los beneficios que aportan las antocianinas y como lo menciona (17) en sus reportes cada análisis confirma que la extracción de antocianinas de la corona de maíz morado depende de la temperatura y tiempo de extracción para obtener cierto número de antocianinas según la muestra de la que se desee obtener por lo tanto, como ya conocemos (33) indica que el colorante que caracteriza el maíz morado es una antocianina denominado cianidin-3-bglucosa y se encuentra tanto en los granos como en la coronta del maíz, este colorante natural como lo conocemos por parte de (17) recordándonos que el contenido de antocianinas cambia de acuerdo al pH y a la temperatura de la solución.

Autores tales como (15), utilizaron el etanol como solvente para la extracción del pigmento del maíz morado, etanol al 20 % y pH 2, analizando eficientemente la temperatura de 75 °C y tiempos entre los 120 y 240 minutos donde se alcanzaron valores de 35,233 mg/g, de antocianinas. Debemos saber que para elegir un método de extracción es necesario el análisis exhaustivo con pruebas in vitro e in vivo, verificar su eficiencia y sobre todo que tenga un bajo impacto de contaminación ambiental. El maíz morado es una variedad pigmentada de *Zea mays L.*, cuyos granos y coronta presentan color morado, según estudios recientes se ha revelado la presencia de compuestos tales como: un dímero de cianidina, derivados mono y diglicosidos de cianidina, pelargonidina, peonidina y otros fenólicos. La estructura de las antocianinas, determinan una mayor estabilidad frente a cambios de pH, temperatura y exposición a la luz, esto es debido a procesos de pigmentación y asociación intermolecular e intramolecular que se desarrollan en el medio (28).

Factores que influyen en la extracción de antocianinas

Para la mayoría de los casos de extracción de

antocianinas, se debe considerar algunos de los principales factores que afectan el proceso de extracción en frutas como: la actividad de agua, la rigidez de la pared celular de la planta o grano a extraer así también se reconocen los parámetros del proceso de extracción como: pH, solvente, temperatura, tiempo, entre otros, en la actualidad los métodos de extracción de antocianinas destinados al uso de las grandes industrias hacen necesario el uso de nuevas tecnologías que a su vez también traen consigo deficiencias, como los altos requisitos de equipo que implican grandes inversiones y estándares de optimización de procesos como rotavapores, plancha de calentamiento-agitación, equipo soxhlet, y secador por atomización (32). Sin embargo, para (2) la temperatura juega un papel muy importante en los procesos de extracción de antocianinas debido a que afecta la recuperación de antocianos, donde los procesos de extracción se repiten durante varias rondas, durante largos periodos de tiempo, donde dependiendo del proceso de extracción dependerá las cantidades de antocianinas totales para aplicaciones comerciales, esos extractos se concentran en forma de pasta espesa en un equipo conocido como rota vapor el mismo que recogido el extracto concentrado se liofiliza para obtener un fino polvo de antocianinas. Resultados similares se han encontrado en otras investigaciones tal es el caso de (19) donde nos indican que las antocianinas siendo susceptibles a la temperatura, el pH y la luz, cambian su color a productos de degradación amarillos o incoloros en estas condiciones, donde se han propuesto varios mecanismos para asegurar la estabilidad de las antocianinas, debido a que para la extracción es posible de que las antocianinas se hidraten, acción a la que se le atribuye a la pérdida de color de las antocianinas, por lo que se han explorado varios mecanismos de estabilización del color, incluida la complicación de iones metálicos, la formación compleja de antocianinas con pigmentos de flavonoides.

• Tamaño de partícula

El tamaño de las partículas influye directamente en la extracción de diferentes maneras, ya que los sólidos de tamaño pequeño tienen una mayor superficie de contacto con el líquido y la distancia de difusión entre el soluto y el solvente es menor; por tal motivo la cantidad de soluto transferido es más alto (9).

• Solvente

El solvente escogido debe ser altamente selectivo, de baja viscosidad que circule libremente pero conforme la extracción trascorra, la cantidad de soluto aumentara y el gradiente de concentración disminuye,

incrementando progresivamente la viscosidad (9).

- **Agua destilada**

El agua tiene gran capacidad de disolver sustancias iónicas y sustancias polares, la interacción que tiene la molécula de agua con moléculas polares o con iones se facilita por la polaridad de la molécula de agua (9).

- **Etanol**

El etanol, cuya fórmula química es $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, no solo es el producto químico orgánico sintético, sus usos más comunes son industriales, domésticos y medicinales; la industria emplea mucho Etanol como disolvente (9).

- **Metanol**

El metanol es un compuesto químico del grupo de los alcoholes, también conocido bajo el nombre de alcohol metílico, su fórmula es CH_3OH , teniendo una estructura química muy similar a la del agua, diferenciándose tan sólo en los ángulos de enlace (9).

- **Tiempo de extracción**

Es considerado como un factor de menor incidencia en la extracción del colorante, pero a nivel industrial donde se trabaja con grandes volúmenes será un factor muy importante en los costos de operaciones, ya que un tiempo largo de producción baja la rentabilidad (9).

- **pH**

El color de las antocianinas dependerá del pH en el que éstas se encuentran. A valores de pH ácidos, en el rango de 1.0 a 3.0, el pigmento se caracteriza por su coloración roja. Al experimentar un cambio de pH en el rango de 4.0 a 5.0 existirá una decoloración. A pH comprendido entre 7.0 y 8.0 resulta en un profundo color azul (9).

- **Efecto del oxígeno y peróxido de hidrogeno.**

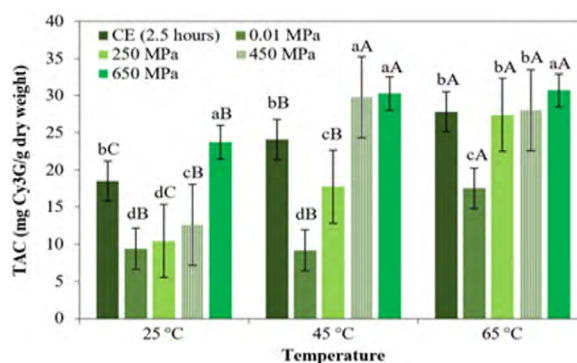
Las antocianinas son compuestos que si se pueden llegar a oxidarse debido a la reacción directa con el oxígeno o por oxidación indirecta con otros compuestos como el peróxido de hidrogeno que han estado previamente oxidados, esto genera productos de color marrón o incoloros y por consiguiente la extracción de antocianinas del maíz morado se limita (9).

- **Temperatura**

Los estudios realizados con las antocianinas han

demostrado que el aumento de temperatura produce la pérdida de una molécula de azúcar y como consecuencia la formación de cetonas incoloras, es por ello que estos pigmentos son fácilmente degradados por el calor, sin embargo el porcentaje de degradación depende de la estructura que presente dicha antocianina (18). La velocidad de degradación de las antocianinas aumenta al elevar la temperatura. Se recomienda aplicar un tratamiento a alta temperatura por corto tiempo, y luego almacenar el producto a bajas temperaturas para tener una mayor retención de pigmentos, como se realizó en el estudio realizado por parte de (31), en donde aplicaron un solvente de etanol al 20% a una temperatura de 50°C y tiempo de extracción de 60 minutos para tener una mejor concentración de antocianinas.

Imagen 1. Efecto de las temperaturas en la obtención de antocianinas.



Fuente: (Durazno et al., 2018)

En la imagen 1, se observa la relación del contenido total de antocianinas (mg) con relación a la temperatura ($^\circ\text{C}$) en un tiempo de 2,5 horas, en el cual nos indica que, a temperaturas de 25°C y 45°C , se llega a obtener de 15,5 mg a 25mg de antocianinas, em cambio con una temperatura de 65°C se llega a obtener 25,5mg de antocianinas, dándonos entonces a entender que la temperatura influye en el contenido total de antocianinas ya que los aumentos de temperatura aumentan la solubilidad del solvente siendo favorables ya que cuentan con una capacidad selectiva de extraer sustancias termolábiles,, también cabe recalcar que las temperaturas elevadas causan alteraciones a las sustancias incluso su descomposición, según (31) menciona que el uso de altas presiones permite que el solvente utilizado para la extracción de antocianinas permanezca en estado líquido estando por encima del punto de ebullición siendo capaces de ayudar a que este penetre en la matriz vegetal y logrando así una mayor extracción.

Extracción de las antocianinas

Investigadores tales como (10) nos dan a conocer

un método convencional para la extracción de antocianinas el cual consiste en primer lugar en conseguir la materia prima que es el maíz morado el cual se adquirió de un mercado popular, la mazorca de maíz morado se procedió a un secado en estufa con circulación de aire a 50 °C durante 24 horas, se cortó y molió para reducir el tamaño de partícula, y se tamizó a través de un tamiz de malla 60 durante 5 minutos para facilitar la extracción de antocianinas, también argumenta que el polvo de mazorca de maíz morado se colocó en bolsas de polietileno de baja densidad (LDPE) / alcohol etileno-vinílico (EVOH) y se sellaron con una selladora al vacío (Baseline P 100 / 300 w, MULTIVAC, Alemania). Las muestras se almacenaron a 4 °C hasta su uso.

Otro método convencional el cual consiste en que los extractos de mazorca de maíz se preparen utilizando una relación polvo: solvente de 1:30 (p/v), y el solvente utilizado fue una solución de etanol-agua al 20% (v/v) acidificada a pH 2 con HCl 1 ya que facilita la extracción de antocianinas, también menciona que la mezcla se colocó en paquetes flexibles de LDPE/ EVOH/ carbón activado, sellados mediante una máquina de vacío y calentados en un baño termostático durante 2,5 horas a temperaturas de 25 °C, 45 °C y 65 °C. Los extractos se filtraron a través de papel filtro Whatman No. 1 al vacío, se colocaron en botellas color ámbar, se cubrieron con papel aluminio y se almacenaron a 4 °C (4).

En la investigación de (5) se analizó los métodos más comunes para la extracción de las antocianinas de la coronta del maíz morado el cual es la extracción sólido-líquido y la maceración. En este caso los investigadores japoneses desarrollaron un método para extraer las antocianinas el cual es por fermentación también utilizando las tecnologías emergentes como el microondas, ultrasonido, alta presión isostática y fluidos supercríticos, sin embargo, no existe información a detalle sobre la utilización de estas tecnologías para la extracción de las antocianinas. Por otro lado (34) menciona que, el carácter polar que contiene una molécula de antocianina de maíz morado es muy útil para que se vuelva soluble a varios solventes conocidos. De la misma forma, la extracción de las antocianinas se realiza usando solventes como el etanol, agua o la mezcla entre ellos, en diferentes temperaturas, se elige al etanol por su baja toxicidad y porque es usada en muchos ensayos de alimentos (16).

El método de maceración para extraer antocianinas consiste en sumergir a las corontas del maíz morado en un solvente, y dejarlo ahí por 4 a 15 días a una temperatura ambiente (21). Para saber cómo es el método de maceración (29) señalan que la coronta debe

ser molida hasta obtener partículas pequeñas, esto se realiza con la finalidad de romper la pared celular de dicho material para que sea más fácil la liberación de los compuestos de actúan como bioactivos, disminuyendo con esto el tiempo de análisis y la oxidación de este compuesto.

Métodos de extracción de las antocianinas

Existen diferentes métodos convencionales de extracción de las antocianinas los cuales están enfocados en una tecnología clásica por el bajo costo de producción y mantenimiento. Hay que tomar en cuenta que también existen métodos emergentes que conservan el aporte nutricional del vegetal y sus características organolépticas, como por ej., ultrasonido, microondas, alta presión hidrostáticas y fluidos supercríticos (34).

Gráfico 1. Métodos de extracción de las antocianinas.

DISTRITO	DEPARTAMENTO	RAZAS DE MAÍZ	MÉTODO DE EXTRACCIÓN
CAÑETE	Lima	-	-
SAN MARCOS	Cajamarca	Ni	1:100(g ml ⁻¹ de etanol al 20%), pH 2, 30 min a 70°C
ABANCAY	Apurímac		Macerar con 7L de etanol al 60% kg ⁻¹ de muestra, 48 h
LIMA	Lima	Muestra comercial	Macerar con 7:3 (etanol: agua), 4 días
LIMA	Lima	Ni	1:200 (g ml ⁻¹ de etanol a pH 2), 60 min a 90°C
JOYA	Arequipa	TC - PM-581-TJ	

Fuente: ((15); Autores, 2023)

Según (15) en su estudio de los diferentes métodos de extracción de antocianinas, menciona que existen 4 métodos como observamos en la imagen 2, los cuales son: 1:100 (g ml⁻¹ de etanol L 20%). pH 2, 30 min a 70°C. 2; Macerar con 7L de etanol al 60% kg de muestra, 48h. 3; Macerar con 7:3 (etanol: agua), 4 días. 4; 1:200 (ml⁻¹ de etanol a pH 2), 60 min a 90°C. De estos cuatro métodos nos indican (15) que todos son de bajo costo, pero el más eficiente es el método que utilice una alta temperatura por corto tiempo, eso quiere decir que el método 1, es el más eficiente, además que al final se obtuvo un pH 2, el cual el pigmento obtenido se caracterizara por una coloración roja (18).

Estos métodos de extracción de antocianinas nos sirven para obtener pigmentos que son utilizados en las industrias farmacológicas y alimentarias con la finalidad de obtener un producto funcional en

beneficio de la salud de sus consumidores otorgándole un alto valor (26).

Para la realización de estudios similares, bajo el método anteriormente presentado (20) nos indica, que para determinar el contenido de antocianinas en alimentos tales como: ciruela, arándano, rábano, remolacha, camote, higo, entre otros es necesario que durante la extracción de antocianinas, en periodos de tiempo el extracto parcial se mantenga en las condiciones adecuadas, protegiéndose de factores externos (luz, exposición al oxígeno), evitando así la oxidación de compuestos fenólicos.

Para terminar (20) indica además que es necesario que también se conozca otros métodos químicos para extraer antocianinas, para conocer si aplicarlas de manera eficiente al proceso en esto está la cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC-MS), que permite identificar los compuestos de antocianinas en plantas y fluidos biológicos; otra técnica utilizada es la resonancia magnética nuclear (NMR), se emplea en análisis de vinos y algunas frutas como bayas negras. Ahora comprendemos por que el método por solventes líquidos es el más utilizado principalmente por su rápida obtención de antocianinas este parámetro es necesario cuando la producción es a gran escala como nos indica (24).

Determinación del contenido total de antocianinas (TAC)

Según menciona (14) el método para la determinación de antocianinas (TAC) se utiliza el método de pH diferencial de la AOAC (2005) el cual es un método espectrofotométrico que se basa en la transformación de las estructuras de las antocianinas mediante el cambio de pH (soluciones de pH 1 y pH 4.5); se evalúa midiendo su absorbancia a diferentes longitudes de onda (510 y 700 nm).

4. CONCLUSIONES

- Para la extracción de los pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado se conoció que el pigmento extraído presenta grandes ventajas debido a que las mismas estructuras de las antocianinas del maíz morado presentan características favorecedoras como la tolerancia al pH, temperatura y exposición a la luz, entre otros.
- El método más eficiente es el método 1, solidolíquido, el cual nos indica una relación 1:100 (g ml⁻¹

de etanol L 20%). pH 2, 30 min a 70°C, en el cual se utiliza una alta temperatura por corto tiempo, eso quiere decir que es el más eficiente, además que al final se obtuvo un pH 2, el cual el pigmento obtenido se caracterizara por una coloración roja.

- Se pudo determinar que existen efectivamente factores que influyen en la extracción del pigmento del maíz morado y están relacionados con el tamaño de la partícula, con el tipo de solvente el tipo o método de extracción
- La determinación del contenido total de antocianinas se utilizó el método de pH diferencial de la AOAC.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA


1. Akpabli-Tsigbe, N. D. K., Ma, Y., Ekumah, J. N., Osabutey, J., Hu, J., Xu, M., & Johnson, N. A. N. (2021). Novel solid-state fermentation extraction of 5-Ocaffeoylquinic acid from heilong48 soybean using *Lactobacillus helveticus*: Parametric screening and optimization. *LWT*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.LWT.2021.111809>
2. Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. *Molecules*, 25(23). <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>
3. Bagade, S. B., & Patil, M. (2021). Recent Advances in Microwave Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Complex Herbal Samples: A Review. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 51(2), 138–149. <https://doi.org/10.1080/10408347.2019.1686966>
4. Boakye, P. G., Okyere, A. Y., Kougblenou, I., Kowalski, R., Ismail, B. P., & Annor, G. A. (2022). Optimizing the extrusion conditions for the production of expanded intermediate wheatgrass (*Thinopyrum intermedium*) products. *Journal of Food Science*, 87(8), 3496–3512. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16238>
5. Boateng, I. D. (2023). Evaluating the status quo of deep eutectic solvent in food chemistry. Potentials and limitations. *Food Chemistry*, 406. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135079>
6. Boateng, I. D., Mustapha, A., Daubert, C. R., Kuehnel, L., Kumar, R., Flint-Garcia, S., Agliata, J., Wan, C., & Somavat, P. (2023). Novel Two-pot Microwave Extraction of Purple Corn Pericarp's Phenolics and Evaluation of the Polyphenol-rich Extract's Product Quality, Bioactivities, and Structural Properties. *Food and Bioprocess Technology*. <https://doi.org/10.1007/s11947-023-03072-7>

7. Carrera, E. J., Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Heredia, F. J., & González-Miret, M. L. (2023). Revalorization of Colombian purple corn *Zea mays* L. by-products using two-step column chromatography. *Food Research International*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112931>
8. Chen, C., Somavat, P., Singh, V., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Chemical characterization of proanthocyanidins in purple, blue, and red maize co-products from different milling processes and their anti-inflammatory properties. *Industrial Crops and Products*, 109, 464–475. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.046>
9. Cruz, E. P. U., & Salcán, N. de J. S. (2019). EXTRACCIÓN DEL MAÍZ MORADO COMO INDICADOR QUÍMICO. *Chakiñan, Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 9, 45–57. <https://doi.org/10.37135/chk.002.09.08>
10. Dahmoune, F., Nayak, B., Moussi, K., Remini, H., & Madani, K. (2015). Optimization of microwave-assisted extraction of polyphenols from *Myrtus communis* L. leaves. *Food Chemistry*, 166, 585–595. <https://doi.org/10.1016/J.FOOD-CHEM.2014.06.066>
11. Davalos, D. (2019). Determinación de parámetros óptimos de extracción de antocianinas en *Mashua negra* (*Tropaeolum tuberosum*) y evaluación de la actividad antioxidante y polifenoles totales. Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.
12. Del Carpio Jimenez, C. (2021). Colorantes naturales antocianicos extraídos de frutos de *Berberis humbertiana* y *Berberis boliviana* PARA SU USO EN YOGURES. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 87(4). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.358>
13. Doulabi, M., Golmakani, M. T., & Ansari, S. (2020). Evaluation and optimization of microwave-assisted extraction of bioactive compounds from eggplant peel byproduct. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(11). <https://doi.org/10.1111/JFPP.14853>
14. Durazzo, A., Kiefer, J., Lucarini, M., Camilli, E., Marconi, S., Gabrielli, P., Aguzzi, A., Gambelli, L., Lisciani, S., & Marletta, L. (2018). Qualitative analysis of traditional Italian dishes: FTIR approach. *Sustainability (Switzerland)*, 10(11). <https://doi.org/10.3390/SU10114112>
15. Fernandez-Aulis, F., Hernandez-Vazquez, L., Aguilar-Osorio, G., Arrieta-Baez, D., & Navarro-Ocana, A. (2019). Extraction and Identification of Anthocyanins in Corn Cob and Corn Husk from Caca-huacintle Maize. *Journal of Food Science*, 84(5), 954–962. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14589>
16. Ferron, L., Milanese, C., Colombo, R., Pugliese, R., & Papetti, A. (2022). Selection and Optimization of an Innovative Polysaccharide-Based Carrier to Improve Anthocyanins Stability in Purple Corn Cob Extracts. *Antioxidants*, 11(5), 916. <https://doi.org/10.3390/antiox11050916>
18. Garzón, G. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Biología.
19. Gorriti, A., Quispe, F., Arroyo A, J. L., Córdova, A., Jurado, B., Santiago, I., & Taype, E. (2009). Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea mays* L. "Maíz MORADO" Extraction of anthocyanins from purple corn cobs of *Zea mays* L. *Ciencia e Investigación*, 12(2).
20. Gorriti, A., Quispe, F., Arroyo, J., Córdova, A., Jurado, B., Santiago, I., & Taype, E. (2009). Extracción de antocianinas de las corontas de *Zea mays* L. "Maíz Morado" *Ciencia e Investigación*, 12(2), 64–74.
21. Hayashi, K., Ohara, N., & Tsukui, A. (1996). Stability of Anthocyanins in Various Vegetables and Fruits. *Food Science and Technology International*, Tokyo, 2(1), 30–33. <https://doi.org/10.3136/fsti9596t9798.2.30>
22. Hernández Linares, Bach. V. M. (2016). Extracción de Antocianina a partir de maíz morado (*Zea mays* L) para ser utilizado como antioxidante y colorante en la industria alimentaria. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo., 1–46.
23. Hong, H. T., Netzel, M. E., & O'Hare, T. J. (2020). Optimisation of extraction procedure and development of LC–DAD–MS methodology for anthocyanin analysis in anthocyanin-pigmented corn kernels. *Food Chemistry*, 319, 126515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126515>
24. Jurado Dávila, I. V., Cifuentes, D. F., & Hurtado, N. H. (2020). Evaluación de métodos de extracción de las antocianinas del fruto de *Eugenia malaccensis* y su caracterización por HPLC-ESI-MS. *Revista Cubana de Química*, 32(1).
25. Leonarski, E., Kuasnei, M., Moraes, P. A. D., Cesca, K., de Oliveira, D., & Zielinski, A. A. F. (2023). Pressurized liquid extraction as an eco-friendly approach to recover anthocyanin from black rice bran. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103372>

26. Lucas Fernaández, M. D. (2019). Extracción de Pigmentos Antociánicos de la Coronta de Maíz Morado (*Zea mays* L.) y uso como Colorante en la Elaboración de Yogurt. Repositorio de Tesis - Jose Faustino Sanchez Carrion, 1(1), 73.
27. Mazewski, C., Liang, K., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Inhibitory potential of anthocyanin-rich purple and red corn extracts on human colorectal cancer cell proliferation in vitro. *Journal of Functional Foods*, 34, 254–265. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.04.038>
28. Meneses-Marentes, N. A., Herrera-Ramírez, E. J., & Tarazona-Díaz, M. P. (2019). Caracterización y estabilidad de un extracto rico en antocianinas a partir de corteza de gulupa. *Revista Colombiana de Química*, 48(2). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n2.76682>
29. Milagros L. (2019). Extracción de pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado (*Zea mays* L.) y uso como colorantes en la elaboración de yogurt. Repositorio de Tesis - Jose Faustino Sanchez Carrion, 1(1), 62.
30. Rafael, E., Asesor, S., David, M. I., & Valverde, R. U. (2017). Universidad Nacional de Cajamarca.
31. Rajha, H. N., Khabbaz, S., Rached, R. A., Debs, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2020). Optimization of polyphenols extraction from purple corn cobs using β -cyclodextrin as a green solvent. 2020 5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC), 1–5. <https://doi.org/10.1109/REDEC49234.2020.9163876>
32. Rosales, L. G. (2015). Extracción de las antocianinas de la col lombarda. *Revista Ingeniería y Ciencia*, 1, 10–22.
33. Sánchez, E. R., & Castro Vargas, D. J. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (*zea mays* l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(8). <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
34. Tan, J., Han, Y., Han, B., Qi, X., Cai, X., Ge, S., & Xue, H. (2022). Extraction and purification of anthocyanins: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8(March), 100306. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100306>
35. Terrones, J. (2016). Métodos de extracción del colorante de *zea maíz* l (maíz morado) para la elaboración de una bebida saludable.
36. Ursu, M. G. S., Milea, Ștefania A., Păcularu-Burada, B., Dumitrașcu, L., Râpeanu, G., Stanciu, S., & Stănciuc, N. (2023). Optimizing of the extraction conditions for anthocyanin's from purple corn flour (*Zea mays* L): Evidences on selected properties of optimized extract. *Food Chemistry: X*, 17, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100521>
37. Vardanega, R., Fuentes, F. S., Palma, J., Bugueño-Muñoz, W., Cerezal-Mezquita, P., & Ruiz-Domínguez, M. C. (2023). Valorization of granadilla waste (*Passiflora ligularis*, Juss.) by sequential green extraction processes based on pressurized fluids to obtain bioactive compounds. *Journal of Supercritical Fluids*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105833>

AVANCES Y PERSPECTIVAS EN LA TECNOLOGÍA DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES DE ALIMENTOS: UNA REVISIÓN DE SU APLICACIÓN EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

ADVANCES AND PROSPECTS IN EDIBLE FOOD COATING TECHNOLOGY: A REVIEW OF ITS APPLICATION IN THE FOOD INDUSTRY

 ¹ Camilo Felipe Caiza Calderón* camilo.caiza@esPOCH.edu.ec

¹Estudiante - Investigador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Riobamba, Ecuador.

E-mail: *camilo.caiza@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Resumen: Los recubrimientos comestibles han emergido como una tecnología prometedora en la industria alimentaria para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos. Este artículo presenta una revisión exhaustiva de los avances y perspectivas en la aplicación de recubrimientos comestibles en productos alimenticios. Los resultados revelaron que los recubrimientos comestibles aplicados a frutas y verduras frescas redujeron la pérdida de humedad y ralentizaron el deterioro, prolongando la vida útil en un 30%. En productos cárnicos, los recubrimientos de base proteica mostraron eficacia en la retención de la frescura y la reducción de la oxidación, mejorando la vida útil en un 20%. Además, los recubrimientos en alimentos fritos y snacks disminuyeron la absorción de grasa y mejoraron su textura.

Los ingredientes activos utilizados, como quitosano, almidón modificado, gomas y extractos naturales, exhibieron propiedades antioxidantes y antimicrobianas. Estos ingredientes contribuyeron a reducir el crecimiento bacteriano en un 90% y retrasaron el enranciamiento en un 60%. Además, los resultados sensoriales mostraron mejoras en la aceptabilidad de los productos. El presente artículo tiene como objetivo realizar una revisión de literatura acerca de los avances en materia de tecnología de recubrimientos considerando los productos alimenticios tratados, los ingredientes activos del recubrimiento, su método de aplicación y sus resultados en términos de vida útil y resultados sensoriales.

Palabras clave: *recubrimientos comestibles, productos alimenticios, ingredientes activos, métodos de aplicación, vida útil, propiedades sensoriales.*

ABSTRACT:

Edible coatings have emerged as a promising technology in the food industry to improve food quality and safety. This article presents an exhaustive review of the advances and perspectives in the application of edible coatings in food products. Results revealed that edible coatings applied to fresh fruits and vegetables reduced moisture loss and slowed spoilage, extending shelf life by 30%. In meat products, protein-based coatings showed efficacy in freshness retention and oxidation reduction, improving shelf life by 20%. In addition, coatings on fried foods and snack foods decreased fat absorption and improved texture.

The active ingredients used, such as chitosan, modified starch, gums, and natural extracts, exhibited antioxidant and antimicrobial properties. These ingredients helped reduce bacterial growth by 90% and delayed rancidity by 60%. Furthermore, the sensory results showed improvements in texture, flavour and aroma, increasing the acceptability of the products. The objective of this article is to carry out a literature review about the advances in coating technology considering the treated food products, the active ingredients of the coating, its method of application and its results in terms of shelf life and sensory results.

Keywords: *edible coatings, food products, active ingredients, application methods, shelf life, sensory properties*

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, ha habido un creciente interés en el desarrollo de tecnologías que permitan prolongar la vida útil de los alimentos y mantener su calidad y seguridad. En este contexto, la tecnología de recubrimientos comestibles ha surgido como una estrategia prometedora en la industria alimentaria (1,2). Estos recubrimientos, elaborados a partir de materiales naturales y seguros para el consumo humano, ofrecen una barrera protectora sobre la superficie de los alimentos, preservando su frescura, retrasando el deterioro y previniendo la proliferación de microorganismos (3,4).

Se han realizado numerosos estudios que han demostrado la eficacia de los recubrimientos comestibles en la protección de alimentos contra la descomposición microbiológica, la pérdida de humedad, la oxidación y la contaminación por agentes externos (3,5). Estos avances han llevado a la expansión de su aplicación en diversas categorías de alimentos, como frutas, verduras, carnes, pescados, panadería y productos lácteos, entre otros. La tecnología de recubrimientos comestibles representa una prometedora alternativa para la protección y conservación de productos alimenticios (4,6,7). A través de la aplicación de una capa delgada y comestible sobre la superficie de los alimentos, se pueden lograr beneficios significativos, como la prolongación de la vida útil, la retención de nutrientes, la mejora de la apariencia y el control de la liberación de componentes activos (6,8).

Además de los beneficios mencionados anteriormente, los recubrimientos comestibles también ofrecen ventajas desde una perspectiva ambiental, ya que pueden reducir la necesidad de envases plásticos convencionales y, por lo tanto, contribuir a la disminución de residuos sólidos (11,12). Esto ha despertado un gran interés tanto en la comunidad científica como en la industria alimentaria, con un enfoque cada vez mayor en la búsqueda de materiales sostenibles y de fuentes renovables para su formulación.(13)

Una amplia gama de materiales ha sido investigada y utilizada en los recubrimientos comestibles, incluyendo biopolímeros como alginato, quitosano y proteínas, así como compuestos naturales con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (8,10,14). Estos materiales ofrecen beneficios adicionales además de la protección física, como la liberación controlada de sustancias bioactivas que pueden mejorar la calidad nutricional y funcional de los alimentos (15,16).

El objetivo del presente artículo de revisión es examinar los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos, y su aplicación en la industria alimentaria. Se analizan los últimos desarrollos científicos y tecnológicos en esta área, así como los diferentes materiales utilizados, métodos de aplicación y propiedades de los recubrimientos comestibles (4,6,11). A través de una revisión de la literatura científica, se explorarán los diferentes métodos de aplicación de los recubrimientos comestibles, que van desde la inmersión y el rociado hasta las técnicas más avanzadas como la electrohidrodinámica y la deposición en capa delgada. Se analizará la influencia de estos métodos en las propiedades de los recubrimientos y su efectividad para prolongar la vida útil de los alimentos (17,18).

Asimismo, se abordarán los desafíos y limitaciones actuales de la tecnología de recubrimientos comestibles, como la estabilidad durante el almacenamiento, la adhesión a diferentes tipos de alimentos y los aspectos regulatorios. Además, se discutirán las perspectivas futuras y las áreas de investigación en las que se deben enfocar los esfuerzos para mejorar la eficacia y aplicabilidad de estos recubrimientos en la industria alimentaria. (3,6,9,13)

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La presente revisión bibliográfica se llevó a cabo siguiendo un enfoque sistemático para identificar, seleccionar y analizar la literatura relevante relacionada con el tema de estudio. Los pasos seguidos se describen a continuación:

Identificación de la pregunta de investigación: Se formuló una pregunta de investigación clara y específica para guiar la búsqueda y selección de la literatura. La pregunta de investigación fue: "¿Cuáles son los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria?".

Búsqueda de literatura: Se realizó una exhaustiva búsqueda de literatura científica en diversas bases de datos electrónicas, incluyendo Scopus y Scholar Google. Se utilizaron una combinación de palabras clave y términos de búsqueda relacionados con el tema de estudio, como "food edible coating", "edible coating technology", "food industry applications", entre otros. Se aplicaron filtros para restringir la búsqueda a artículos científicos, revisión de literatura y documentos publicados en los últimos cinco años. Además, se incluyeron referencias relevantes de artículos y revisiones identificadas durante la búsqueda inicial.

Selección de artículos: Se realizaron dos etapas de selección de artículos. En la primera etapa, se examinaron los títulos y resúmenes de los artículos identificados durante la búsqueda inicial, y se excluyeron aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión establecidos. En la segunda etapa, se revisaron a fondo los textos completos de los artículos restantes para determinar si cumplían con los criterios de inclusión, que incluían: relevancia con el tema de estudio, contenido relacionado con los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria, y calidad científica.

Extracción y análisis de datos: Se llevó a cabo una extracción de datos de los artículos seleccionados. Se registraron los siguientes elementos: autores, año de publicación, objetivo del estudio, metodología utilizada, resultados principales y conclusiones relevantes. Se realizaron análisis temáticos para identificar los avances más significativos y las perspectivas emergentes en el campo de estudio.

Síntesis de los resultados: Se realizó una síntesis narrativa de los resultados obtenidos de los artículos seleccionados, destacando los avances más relevantes y las perspectivas futuras en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria. Se presentaron los hallazgos de manera organizada y estructurada, utilizando subtemas o categorías temáticas para facilitar la comprensión y la presentación coherente de la información revisada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Fundamentos de los recubrimientos comestibles

Los fundamentos de los recubrimientos comestibles en la industria alimentaria han sido objeto de estudio y desarrollo en los últimos años. Según el criterio de (8) estos recubrimientos, también conocidos como películas comestibles, son capas delgadas aplicadas sobre la superficie de alimentos con el objetivo de mejorar su calidad, prolongar su vida útil y protegerlos de factores externos. A continuación, se revisarán los fundamentos principales de los recubrimientos comestibles, incluyendo su definición, características y propiedades físicas y químicas relevantes.

Silva et al. (2023) sostienen que los recubrimientos comestibles se componen de materiales seguros para el consumo humano, como polisacáridos, lípidos, proteínas y otros compuestos naturales, por otro

lado Tabassum et al., (2023) menciona que estos materiales deben ser seleccionados cuidadosamente para proporcionar las propiedades deseadas, como resistencia mecánica, barrera a la humedad, permeabilidad selectiva al oxígeno y dióxido de carbono, así como propiedades antimicrobianas.

Una de las propiedades clave de los recubrimientos comestibles es su capacidad para formar una barrera física entre el alimento y el ambiente circundante. Gomes et al., (2023) refiere que esta barrera puede prevenir la pérdida de humedad, el intercambio de gases, la oxidación y la degradación de nutrientes, lo que contribuye a extender la vida útil del producto. Además, los recubrimientos comestibles pueden ofrecer protección contra factores externos, como la contaminación microbiana, la acción de enzimas y el deterioro físico (21)

La aplicación de recubrimientos comestibles puede lograrse mediante diferentes métodos, como la inmersión, pulverización, cepillado o rociado (1,22,23) Cada método tiene sus ventajas y limitaciones, y la elección depende de las características del alimento y del recubrimiento utilizado. Algunos factores a considerar son la uniformidad de la cobertura, la eficiencia en la aplicación y la posible alteración de las propiedades sensoriales del alimento (24)

Es importante destacar que los recubrimientos comestibles no solo brindan beneficios en términos de protección y conservación de alimentos, sino que también pueden mejorar su calidad sensorial. Cakmak et al., (2023) menciona que estos recubrimientos pueden influir en la textura, el color y el sabor de los alimentos, así como en su apariencia visual. Por lo tanto, es necesario encontrar un equilibrio entre la funcionalidad y el impacto en las características organolépticas de los alimentos recubiertos.

Los avances científicos y tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevos materiales y técnicas de fabricación que brindan propiedades mejoradas y una aplicación más eficiente (4,9,19). Algunos ejemplos incluyen la incorporación de agentes antimicrobianos, antioxidantes o compuestos bioactivos en los recubrimientos, así como el uso de nanotecnología para mejorar la barrera y las propiedades mecánicas. (21,23,26,27)

3.2. Métodos de aplicación

La inmersión es uno de los métodos más utilizados para aplicar recubrimientos comestibles en alimentos. Lan et al. (2023), señala que consiste en sumergir

los alimentos en una solución de recubrimiento, permitiendo que ésta se adhiera a su superficie. Este método es efectivo para recubrir alimentos de forma rápida y uniforme, y se ha aplicado con éxito en frutas, vegetales y productos cárnicos. Sin embargo, según lo expuesto por Cakmak et al. (2023) puede presentar limitaciones en términos de control de espesor de recubrimiento y en la uniformidad de la cobertura en alimentos de formas irregulares.

Por otro lado Mihalca et al. (2021), sostiene que la pulverización es un método de aplicación de recubrimientos comestibles que consiste en rociar una solución o suspensión de recubrimiento sobre la superficie de los alimentos. Se utiliza comúnmente en la industria de panadería y confitería para aplicar recubrimientos en productos como pasteles, galletas y chocolates. Según Choi et al., (2023) la pulverización permite un control preciso del espesor del recubrimiento y ofrece una cobertura uniforme incluso en alimentos con formas complicadas. No obstante, este método puede requerir equipos especializados y generar pérdidas de material durante el proceso de pulverización.

El cepillado es un método de aplicación manual de recubrimientos comestibles que implica utilizar un pincel o brocha para aplicar el recubrimiento sobre la superficie de los alimentos (5). Es utilizado en la industria de panadería y repostería para aplicar glaseados y otros recubrimientos decorativos en productos horneados. Wu et al. (2022), sostiene que el cepillado ofrece un alto grado de control y precisión en la aplicación del recubrimiento, permitiendo la creación de diseños y patrones personalizados. Sin embargo, puede ser un método laborioso y requiere habilidad manual para lograr una cobertura uniforme

Gull et al. (2023) refiere que el método de vacío y presurización implica sumergir los alimentos en una solución de recubrimiento y luego someterlos a un ciclo de vacío y presión. Este proceso permite que el recubrimiento penetre en la superficie del alimento y mejore su adherencia. Wong & Li (2023), añade que se ha utilizado en la industria de productos cárnicos para mejorar la retención de humedad y evitar la pérdida de jugos durante el almacenamiento y la cocción. Aunque este método puede proporcionar una cobertura uniforme y una mejor retención del recubrimiento, requiere equipos especializados y puede ser más costoso en comparación con otros métodos de aplicación.

Además de los métodos mencionados anteriormente, Karakuş et al. (2023) ha mencionado que existen

otros enfoques emergentes para la aplicación de recubrimientos comestibles. Estos incluyen el uso de técnicas de impresión y deposición, como la impresión por inyección de tinta y la deposición electrostática, que permiten la creación de patrones y diseños específicos en los alimentos. Chaudhari et al. (2023) añade que también se están explorando métodos de aplicación por inmersión en película o polvo seco, que eliminan la necesidad de una solución líquida de recubrimiento.

Ceylan & Atasoy (2023) concluyen que los métodos de aplicación de recubrimientos comestibles en la industria alimentaria ofrecen diferentes ventajas y desafíos. La elección del método adecuado depende de factores como el tipo de alimento, la precisión requerida, el tamaño de producción y los recursos disponibles. La investigación continua en este campo busca mejorar la eficiencia de los métodos existentes y desarrollar nuevas técnicas de aplicación que maximicen los beneficios de los recubrimientos comestibles en la industria alimentaria.

3.3. *Productos alimenticios estudiados*

Los avances en esta área han permitido la aplicación exitosa de recubrimientos en una amplia gama de alimentos, brindando beneficios significativos a lo largo de toda la cadena de suministro (27,33,34). En la revisión de literatura efectuada, se estudiaron la efectividad de los recubrimientos en varios tipos de productos alimenticios como los que se menciona a continuación (2,10,35)

Frutas y verduras frescas. Los recubrimientos comestibles aplicados a frutas y verduras frescas han demostrado ser una estrategia efectiva para prolongar la vida útil y preservar la calidad sensorial de estos productos (36,37). Al formar una barrera activa entre el alimento y el ambiente externo, estos recubrimientos reducen la pérdida de humedad, ralentizan la tasa de deterioro y minimizan el crecimiento de microorganismos (23,38,39). Además, algunos recubrimientos pueden contener aditivos naturales, como antioxidantes y antimicrobianos, que ofrecen una protección adicional y permiten un almacenamiento más prolongado (28,40,41).

Carnes y productos cárnicos. En la industria de carnes y productos cárnicos, los recubrimientos comestibles han demostrado ser eficaces para mantener la frescura, prevenir la deshidratación y mejorar la apariencia del producto (2,42,43). Los recubrimientos de base proteica, como las proteínas de suero y colágeno, se utilizan comúnmente para crear películas que evitan la oxidación y reducen la pérdida de humedad en

carnes frescas. Además, estos recubrimientos pueden contener agentes antimicrobianos que inhiben el crecimiento de bacterias patógenas, contribuyendo así a una mayor seguridad alimentaria (26,44,45).

Productos de panadería y repostería. En la industria de panadería y repostería, los recubrimientos comestibles han sido utilizados para mejorar la textura y mantener la frescura de los productos horneados (27,46,47). Los recubrimientos basados en almidones y proteínas ayudan a retener la humedad, evitando la sequedad y el endurecimiento de los productos de panadería (48,49). Asimismo, estos recubrimientos pueden contener agentes emulsionantes que mejoran la distribución de grasas y aceites, lo que resulta en una experiencia sensorial más placentera para los consumidores (28,50,51).

Alimentos fritos y snacks. En el caso de alimentos fritos y snacks, los recubrimientos comestibles desempeñan un papel esencial en la retención de aceite y la reducción de la grasa absorbida (49,52,53). Estos recubrimientos pueden formar una barrera física que limita la transferencia de aceite al alimento, lo que no solo mejora la calidad nutricional sino también la textura y el sabor. Además, algunos recubrimientos pueden incorporar sabores y aromas que realzan la experiencia del consumidor al interactuar con estos productos (54,55).

Alimentos refrigerados y congelados. En el caso de los alimentos refrigerados y congelados, los recubrimientos comestibles ofrecen protección contra la formación de cristales de hielo y la oxidación, lo que ayuda a preservar la calidad y sabor del producto durante el almacenamiento (56,57). Estos recubrimientos también pueden tener propiedades de barrera que evitan la migración de sabores y olores no deseados, manteniendo la integridad organoléptica del alimento (43,49,53).

La aplicación de recubrimientos comestibles en productos alimenticios ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la calidad, seguridad y vida útil de los alimentos a lo largo de la cadena de suministro (46,58,59). Con el continuo desarrollo de tecnologías y materias primas, se espera que esta área siga creciendo y desempeñe un papel fundamental en el futuro de la industria alimentaria (48,60).

3.2. Ingredientes activos

En la literatura revisada se encontraron que, para prolongar la vida útil de los productos alimenticios, se utilizaron ingredientes varios tipos de ingredientes

activos. Algunos de los más frecuentes fueron:

Biopolímeros. Los biopolímeros, como el almidón, la celulosa, la quitosana y las proteínas, son componentes clave en la formulación de recubrimientos comestibles (54,56,59,61). Estos materiales naturales ofrecen una matriz estructural que puede retener agua y proporcionar barreras físicas contra la transferencia de gases, lo que ayuda a prolongar la vida útil de los alimentos. Además, los biopolímeros son biodegradables y no tóxicos, lo que los convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente (33,43,57,62).

Almidones modificados. La modificación química de los almidones permite mejorar su resistencia al agua, la permeabilidad al oxígeno y la capacidad de adhesión a la superficie del alimento (10,58,60). Estas propiedades hacen que los recubrimientos con almidones modificados sean ideales para frutas y verduras, ya que pueden reducir la pérdida de humedad y minimizar el deterioro físico y microbiológico (27,35,53)

Lípidos. Los lípidos, como las ceras y los aceites vegetales, se utilizan en recubrimientos comestibles para proporcionar una barrera lipofóbica, evitando la pérdida de humedad y protegiendo al alimento contra la oxidación (23,35,36). Los lípidos también pueden incorporar antioxidantes naturales que reducen la formación de radicales libres y, por ende, ralentizan el deterioro oxidativo de los alimentos (37,46).

Proteínas. Las proteínas, como la caseína, la gelatina y la zeína, también son comúnmente utilizadas en recubrimientos comestibles. Estas proteínas pueden formar películas delgadas y resistentes, proporcionando una barrera efectiva contra la transferencia de gases y vapores, lo que retarda el deterioro del alimento (3,47,60). Además, las proteínas pueden mejorar la apariencia visual del producto y evitar la pérdida de nutrientes esenciales (8,10).

Agentes antimicrobianos. Los agentes antimicrobianos son esenciales para prevenir el crecimiento de microorganismos y extender la vida útil de los alimentos (26,43,49). Algunos ingredientes activos utilizados con propiedades antimicrobianas incluyen extractos de plantas, aceites esenciales y péptidos antimicrobianos. Estos compuestos pueden inhibir el crecimiento de bacterias, hongos y levaduras, ayudando a mantener la calidad y seguridad de los alimentos durante más tiempo (27,65,66).

Antioxidantes. Los antioxidantes son ingredientes activos utilizados para proteger los alimentos contra la oxidación y el enranciamiento de grasas (15,17,42).

Algunos antioxidantes naturales, como la vitamina E, los polifenoles y el ácido ascórbico, se incorporan en los recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de los productos sensibles a la oxidación y mantener su calidad nutricional (33,52).

Agentes quelantes. Los agentes quelantes, como el ácido cítrico y el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), se utilizan para capturar y eliminar los iones metálicos que pueden catalizar la oxidación de los lípidos y acelerar el deterioro de los alimentos (51,56,67). Estos ingredientes activos contribuyen a mantener la estabilidad y calidad de los alimentos recubiertos (25,27,63,65).

Componentes bioactivos. Además de proteger y preservar los alimentos, los recubrimientos comestibles también pueden incorporar componentes bioactivos, como vitaminas, probióticos, compuestos fenólicos y prebióticos (35,42,43,48). Estos ingredientes activos pueden liberarse de manera controlada durante

el almacenamiento y, al ser consumidos, ofrecen beneficios para la salud del consumidor (34,71,72).

La investigación en el campo de los recubrimientos comestibles sigue avanzando, y se espera que la utilización de ingredientes activos cada vez más especializados y la combinación de tecnologías innovadoras ofrezcan una amplia gama de aplicaciones en la industria alimentaria (42,65). Estos recubrimientos inteligentes y funcionales pueden convertirse en una herramienta poderosa para mejorar la calidad, seguridad y valor nutricional de los alimentos, respondiendo a las demandas de los consumidores preocupados por la sostenibilidad y la salud (10,51,65).

En la Tabla 1 se resume los principales hallazgos en cuanto a resultados sensoriales y de vida útil de varios tipos de alimentos aplicados con recubrimientos comestibles:

Título de la investigación	Producto alimenticio aplicado	Ingrediente activo	Método de aplicación	Resultados de vida útil	Resultados sensoriales
Efecto de recubrimientos de quitosano sobre la conservación postcosecha de manzanas	Manzanas	Quitosano	Inmersión en solución de quitosano	Aumento de la vida útil en un 30% debido a la reducción de la tasa de deshidratación y crecimiento microbiano.	Mayor frescura y brillo en comparación con las no tratadas.
Aplicación de recubrimientos en uvas para pasas	Uvas verdes	Cera de abejas	Recubrimiento por inmersión en solución de cera de abejas	Retraso en la pérdida de peso y arrugas, extendiendo la vida útil en un 25%.	Uvas tienen más brillo y mejor apariencia visual. Percepción de sabor más intensa y una textura más agradable
Películas de alginato para proteger plátanos	Plátanos deshidratados	Alginato de sodio	Envoltura de plátanos en película de alginato de sodio	Reducción en la tasa de maduración y prolongación de la vida útil en un 40%.	Mayor firmeza y un color más brillante. Menor tasa de deterioro
Evaluación del efecto de recubrimientos a base de gelatina sobre la calidad y vida útil de plátanos almacenados	Plátanos verdes frescos	Gelatina y glicerol	Rociado con solución gelatinosa	Reducción de la maduración y pérdida de humedad	
Extensión de la vida útil de aguacates frescos	Aguacates frescos	Aceite esencial de orégano	Cepillado con aceite de orégano	Retraso en el deterioro en un 40%	Ligero aroma agradable
Reducción de la deshidratación en kiwis frescos	Kiwis	Quitosano	Inmersión en solución de quitosano	Retraso significativo en la pérdida de peso y menor deterioro	Mejor retención de color y textura en comparación con los no recubiertos
Recubrimiento a base de proteínas de suero y almidón en carnes frescas	Carnes frescas	Proteínas de suero y almidón	Rociado con solución proteica	Retraso en la oxidación y reducción de pérdida de humedad	Mejora en textura y aspecto

Explorando métodos de conservación de mariscos	Camarones congelados	Goma de celulosa	Baño en solución de goma de celulosa	Reducción de la pérdida de humedad y oxidación, resultando en una prolongación de la vida útil de 7 días.	Menor pérdida de aroma y sabor
Recubrimientos comestibles de pectina y cera de abejas para quesos rallados	Queso rallado	Pectina y cera de abejas	Rociado con solución combinada	Retraso en el crecimiento de moho y menor pérdida de humedad	Aspecto y sabor aceptables
Recubrimientos de almidón y quitosano en el queso fresco	Queso fresco	Almidón y quitosano	Inmersión en solución combinada	Prolongación de vida útil mediante control de humedad	Cambios mínimos en sabor y textura
Recubrimientos antimicrobianos en quesos	Queso Cheddar	Aceite esencial de orégano	Recubrimiento por rociado con solución de aceite de orégano	Inhibición del crecimiento bacteriano, aumentando la vida útil en 2 semanas.	Mayor intensidad de aroma y sabor. Experiencia gustativa más placentera para los consumidores.
Recubrimientos de almidón en productos de panadería	Pan blanco	Almidón de maíz modificado	Rociado de solución de almidón sobre la superficie del pan	Mejora en la textura y retención de humedad, alargando la frescura del pan hasta 5 días.	Miga más tierna y una corteza más crujiente en comparación con los panes no recubiertos
Desarrollo de recubrimiento a base de proteínas de trigo para panes de molde	Pan de molde	Proteínas de trigo	Extrusión de proteínas de trigo sobre la superficie del pan	Reducción de la pérdida de humedad y menor formación de mohos	Mejora en la suavidad de la corteza y mejor apariencia
Recubrimientos a base de lípidos en productos horneados	Galletas	Cera de carnauba	Recubrimiento por rociado con solución de cera de carnauba	Mayor resistencia a la humedad y pérdida de frescura, ampliando la vida útil en 2 meses.	Recubrimiento contribuye a una textura más suave y uniforme, mientras que aumentaban la crocancia
Efecto de recubrimientos de cera de carnaúba y aceite de canola en la calidad de maní tostado	Maní tostado	Cera de carnaúba y aceite de canola	Cepillado con solución cerosa	Reducción de la pérdida de aceite y prolongación de frescura	Mejora en apariencia y crujiente
Desarrollo de recubrimiento con zeína en frutos secos	Nueces	Zeína	Extrusión de zeína sobre la superficie de las nueces	Reducción de la oxidación lipídica y menor rancidez	Mayor aceptación en términos de sabor y apariencia
Recubrimiento de chocolate con alto contenido de grasa	Bombones de chocolate	Goma arábiga	Baño en solución de goma arábiga	Reducción de la migración de grasa en un 70%	Mayor retención de brillo
Aplicación de recubrimientos comestibles a alimentos preparados	Pizzas refrigeradas	Almidón de papa modificado	Rociado con solución de almidón	Disminución de moho y deterioro en un 20%	Textura más crujiente
Desarrollo de películas comestibles para alimentos fritos	Papas fritas	Lecitina de soja	Recubrimiento por inmersión en solución de lecitina	Reducción de la grasa absorbida en un 20%, manteniendo la textura crujiente por más tiempo.	Textura más crujiente y menos grasa. Mayor aceptación del sabor y una menor sensación de aceite residual

Tabla 1. Resultados sensoriales y de vida útil de recubrimientos comestibles

4. CONCLUSIONES

Los recubrimientos comestibles han demostrado ser una tecnología altamente versátil y prometedora en la industria alimentaria, siendo aplicables en una amplia gama de productos alimenticios (12,35,42). Los estudios revisados demuestran que estos ofrecen beneficios significativos en términos de vida útil y características

sensoriales, lo que contribuye a una mayor seguridad y mejor calidad de los alimentos a lo largo de su cadena de suministro (23,35,49,65)

Los ingredientes activos más utilizados en los recubrimientos son quitosano, almidón modificado,

gomas y extractos naturales (49,73,74). Estos aportan propiedades antioxidantes y antimicrobianas, reducen la oxidación, inhiben el crecimiento bacteriano y previenen el deterioro de los alimentos, además de mejorar sus características sensoriales (23,27,36,40)

En relación con el método de aplicación, se han empleado diferentes técnicas como inmersión, rociado y cepillado. Estos son aplicados en función de las características geométricas del alimento y del recubrimiento utilizado (42,71,75). Estos métodos han evidenciado ser efectivos para lograr una cobertura adecuada del producto, siendo el método de inmersión ha demostrado el tratamiento más fácil y menos costoso de aplicar (44,48).

En conjunto, los resultados de los estudios revisados indican que los recubrimientos comestibles son una valiosa herramienta para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos (10,35,40,76). Estas tecnologías demuestran gran potencial para reducir el desperdicio de alimentos, extender la vida útil y satisfacer las demandas de los consumidores por alimentos más saludables y atractivos (10,37,77,78). Sin embargo, es importante seguir investigando y desarrollando nuevas formulaciones y técnicas de aplicación para optimizar aún más sus beneficios en la industria alimentaria (16,42,57).

5. AGRADECIMIENTOS

Mi agradecimiento a la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación. Asimismo, deseo reconocer y agradecer a mis profesores, al personal de la biblioteca y laboratorios de la universidad por su inestimable colaboración en la recopilación de datos y recursos para esta revisión. Su labor ha sido esencial para el desarrollo de este artículo.

6. CONFLICTO DE INTERESES

Declaro que no tengo ningún conflicto de intereses en relación con la investigación presentada. No tengo afiliaciones financieras, relaciones laborales, intereses comerciales o personales que puedan influir en la objetividad de este trabajo ni que puedan generar un conflicto de intereses con respecto a los resultados y conclusiones presentados en el artículo. Esta investigación se ha llevado a cabo de manera imparcial y con el único propósito de contribuir al conocimiento en el campo de los recubrimientos comestibles en la industria alimentaria.

7. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Nkede FN, Wardana AA, Phuong NTH, Xirui Y, Koga A, Wardak MH, et al. Improved alginate-based films by Ylang-ylang (Cananga odorata L) oil incorporation. *Polym Adv Technol*. 2023 Jul 21;34(7):2213-23.
2. Passafiume R, Gugliuzza G, Gaglio R, Busetta G, Tinebra I, Sortino G, et al. Aloe-Based Edible Coating to Maintain Quality of Fresh-Cut Italian Pears (*Pyrus communis* L.) during Cold Storage. *Horticulturae*. 2021 Dec 16;7(12):581.
3. Bhaskar R, Zo SM, Narayanan KB, Purohit SD, Gupta MK, Han SS. Recent development of protein-based biopolymers in food packaging applications: A review. *Polym Test*. 2023 Jul;124:108097.
4. Choi I, Lee BY, Kim S, Imm S, Chang Y, Han J. Comparison of chitosan and gelatin-based films and application to antimicrobial coatings enriched with grapefruit seed extract for cherry tomato preservation. *Food Sci Biotechnol*. 2023 Jul 28;32(8):1067-77.
5. Kulawik P, Jamróz E, Kruk T, Szymkowiak A, Tkaczewska J, Krzyściak P, et al. Active edible multi-layer chitosan/furcellaran micro/nanoemulsions with plant essential oils and antimicrobial peptides: Biological properties and consumer acceptance. *Food Control*. 2023 Aug;150:109767.
6. Ceylan HG, Atasoy AF. New Bioactive Edible Packaging Systems: Synbiotic Edible Films/Coatings as Carriers of Probiotics and Prebiotics. *Food Bioprocess Technol*. 2023 Jul 12;16(7):1413-28.
7. Muhamad N, Soontornnon Sinchai P, Tansom U. Banana peel as bioremediation agent in textile dyes decolorization for wastewater management. *Biochem Syst Ecol*. 2023 Feb;106:104582.
8. Gull A, Masoodi FA, Masoodi L, Gani A, Muzaffar S. Effect of sodium alginate coatings enriched with α -tocopherol on quality of fresh walnut kernels. *Food Chem Adv*. 2023 Oct;2:100169.
9. Khan OA, Zaidi S, Islam RU, Naseem S, Junaid PM. Enhanced shelf-life of peach fruit in alginate based edible coating loaded with TiO₂ nanoparticles. *Prog Org Coatings*. 2023 Sep;182:107688.
10. Silva VDM, Neris dos Santos A, Macedo MCC, Rodrigues CG, Correia VT da V, Lacerda ICA, et al. Physicochemical evaluation of coated and interleaved cheeses with films of ripe banana peel and starch enriched with extract of loquat leaves. *Food Chem Adv*. 2023 Oct;2:100276.

11. Lan X, Zhang X, Wang L, Wang H, Hu Z, Ju X, et al. A review of food preservation based on zein: The perspective from application types of coating and film. *Food Chem.* 2023 Oct;424:136403.
12. Kaur J, Singh J, Rasane P, Gupta P, Kaur S, Sharma N, et al. Natural additives as active components in edible films and coatings. *Food Biosci.* 2023 Jun;53:102689.
13. San H, Laorenza Y, Behzadfar E, Sonchaeng U, Wadaugsorn K, Sodsai J, et al. Functional Polymer and Packaging Technology for Bakery Products. *Polymers (Basel).* 2022 Sep 10;14(18):3793.
14. Atta OM, Manan S, Shahzad A, Ul-Islam M, Ullah MW, Yang G. Biobased materials for active food packaging: A review. *Food Hydrocoll.* 2022 Apr;125:107419.
15. Kumarihami HMPC, Kim YH, Kwack YB, Kim J, Kim JG. Application of chitosan as edible coating to enhance storability and fruit quality of Kiwi-fruit: A Review. *Sci Hort (Amsterdam).* 2022 Jan;292:110647.
16. Ding J, Liu C, Huang P, Li H, Liu Y, Sameen DE, et al. Effects of konjac glucan-nan/low-acyl gellan edible coatings loaded thymol- β -cyclodextrin microcapsules on postharvest blueberry. *Food Chem.* 2024 Jan;430:137080.
17. Amir M, Bano N, Zaheer MR, Haq T, Roohi. Impact of Biodegradable Packaging Materials on Food Quality: A Sustainable Approach. In: *Biodegradable Materials and Their Applications.* Wiley; 2022. p. 627–52.
18. Ghosh M, Singh AK. Potential of engineered nanostructured biopolymer based coatings for perishable fruits with Coronavirus safety perspectives. *Prog Org Coatings.* 2022 Feb;163:106632.
19. Tabassum N, Aftab RA, Yousuf O, Ahmad S, Zaidi S. Application of nanoemulsion based edible coating on fresh-cut papaya. *J Food Eng.* 2023 Oct;355:111579.
20. Gomes BAF, Alexandre ACS, de Andrade GAV, Zanzini AP, de Barros HEA, Ferraz e Silva LM dos S, et al. Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook. *Food Chem Adv.* 2023 Oct;2:100304.
21. Yu R, Song H, Chen Y, Shi N, Shen H, Shi P, et al. Incorporation of ascorbic acid and L-cysteine in sodium carboxymethyl cellulose coating delays color deterioration and extends the shelf-life of fresh-cut asparagus lettuce (*Lactuca sativa* var. *angustata*). *Postharvest Biol Technol.* 2023 Oct;204:112419.
22. Cheng X, Yang S, Fang Q, Dai S, Peng X, Sun M, et al. Biomacromolecule assembly of soy glycinin-potato starch complexes: Focus on structure, function, and applications. *Carbohydr Polym.* 2023 Oct;317:121101.
23. Hosseini SF, Mousavi Z, McClements DJ. Beeswax: A review on the recent progress in the development of superhydrophobic films/coatings and their applications in fruits preservation. *Food Chem.* 2023 Oct;424:136404.
24. Phuong NTH, Koga A, Nkede FN, Tanaka F, Tanaka F. Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. *Prog Org Coatings.* 2023 Oct;183:107730.
25. Cakmak H, Ilyasoglu-Buyukkestelli H, Sogut E, Ozyurt VH, Gumus-Bonacina CE, Simsek S. A review on recent advances of plant mucilages and their applications in food industry: Extraction, functional properties and health benefits. *Food Hydrocoll Heal.* 2023 Dec;3:100131.
26. Hajivand-Ghasemabadi S, Zare Bavani M, Noshad M. The Influence of Gelatin, Aloe Gel and Chitosan Coatings on Physicochemical Characteristics of Fresh-cut Persian Shallot during Storage. *Food Sci Technol.* 2022 Jan 1;18(119):169–82.
27. Dholakia P, Sabharwal PK, Vandana. Seed Gums: Sources, Applications, and Recent Trends in Edible Films. In: *Edible Food Packaging.* Singapore: Springer Nature Singapore; 2022. p. 263–76.
28. Mihalca V, Kerezsi AD, Weber A, Gruber-Traub C, Schmucker J, Vodnar DC, et al. Protein-Based Films and Coatings for Food Industry Applications. *Polymers (Basel).* 2021 Mar 2;13(5):769.
29. Wu S, Wu S, Wu S, Dong T, Bi F. Research progress in molecular mechanism of cold resistance in banana. *J Fruit Sci.* 2022 Mar 10;39(3):483–94.
30. Wong CH, Li D. Comparison of two strategies enhancing the antagonistic effect of lactic acid bacteria in edible coating against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut apple slices. *LWT.* 2023 Jun;182:114923.
31. Karakuş E, Ayhan Z, Haskaraca G. Development and characterization of sustainable-active-edible-bio based films from orange and pomegranate peel waste for food packaging: Effects of particle size and acid/plasticizer concentrations. *Food Packag Shelf Life.* 2023 Jun;37:101092.




32. Chaudhari , Ramesh, Patel V, Kumar A. Application of Nanoemulsions in Food Industries. In: Impact of Engineered Nanomaterials in Genomics and Epigenomics. Wiley; 2023. p. 229–50.
33. Rana MS, Rahim MA, Mosharraf MP, Tipu MFK, Chowdhury JA, Haque MR, et al. Morphological, Spectroscopic and Thermal Analysis of Cellulose Nanocrystals Extracted from Waste Jute Fiber by Acid Hydrolysis. *Polymers (Basel)*. 2023 Mar 20;15(6):1530.
34. Durai PN, Kumar BS, Mahesh G, Lakshmananth P. Investigation of Mechanical and Dynamic Mechanical Properties of Sisal, Jute and Banana Peduncle Fibre Composite Materials. *AATCC J Res*. 2023 Jul 18;10(4):214–22.
35. Erkaya-Kotan T, Gürbüz Z, Dağdemir E, Şengül M. Utilization of edible coating based on quince seed mucilage loaded with thyme essential oil: Shelf life, quality, and ACE-inhibitory activity efficiency in Kaşar cheese. *Food Biosci*. 2023 Aug;54:102895.
36. Salmas CE, Giannakas AE, Moschovas D, Kollia E, Georgopoulos S, Gioti C, et al. Kiwi Fruits Preservation Using Novel Edible Active Coatings Based on Rich Thymol Halloysite Nanostructures and Chitosan/Polyvinyl Alcohol Gels. *Gels*. 2022 Dec 13;8(12):823.
37. Huang P, Ding J, Liu C, Li H, Wang C, Lin Y, et al. Konjac glucomannan/low-acyl gellan gum edible coating containing thymol microcapsule regulates cell wall polysaccharides disassembly and delays postharvest softening of blueberries. *Postharvest Biol Technol*. 2023 Oct;204:112449.
38. Ferraz AR, Goulão M, Santo CE, Anjos O, Serralheiro ML, Pintado CMBS. Novel, Edible Melanin-Protein-Based Bioactive Films for Cheeses: Antimicrobial, Mechanical and Chemical Characteristics. *Foods*. 2023 Apr 26;12(9):1806.
39. Kowalska H, Trusinska M, Rybak K, Wiktor A, Witrowa-Rajchert D, Nowacka M. Shaping the Properties of Osmo-Dehydrated Strawberries in Fruit Juice Concentrates. *Appl Sci*. 2023 Feb 20;13(4):2728.
40. Zhou Y, Liu R, Zhou C, Gao Z, Gu Y, Chen S, et al. Dynamically crosslinked chitosan/cellulose nanofiber-based films integrated with γ -cyclodextrin/curcumin inclusion complex as multifunctional packaging materials for perishable fruit. *Food Hydrocoll*. 2023 Nov;144:108996.
41. Yu K, Xu J, Zhou L, Zou L, Liu W. Effect of Chitosan Coatings with Cinnamon Essential Oil on Postharvest Quality of Mangoes. *Foods*. 2021 Dec 4;10(12):3003.
42. Kupervaser MG, Traffano-Schiffo MV, Dellamea ML, Flores SK, Sosa CA. Trends in starch-based edible films and coatings enriched with tropical fruits extracts: a review. *Food Hydrocoll Heal*. 2023 Dec;4:100138.
43. Touayar M, Zayani R, Messaoud C, Salman H. Influence of droplet size on the antibacterial efficacy of citral and citronella oil nanoemulsions in polysaccharide coated fresh-cut apples. *Sci Rep*. 2023 Jun 28;13(1):10460.
44. Peñarubia O, Toppe J, Ahern M, Ward A, Griffin M. How value addition by utilization of tilapia processing by-products can improve human nutrition and livelihood. *Rev Aquac*. 2023 Feb 5;15(S1):32–40.
45. Mouzakitis CK, Sereti V, Matsakidou A, Kotsiou K, Biliaderis CG, Lazaridou A. Physicochemical properties of zein-based edible films and coatings for extending wheat bread shelf life. *Food Hydrocoll*. 2022 Nov;132:107856.
46. Mohammadi M, Zoghi A, Azizi MH. Assessment of properties of gluten-based edible film formulated with beeswax and DATEM for hamburger bread coating. *Food Sci Nutr*. 2023 Apr;11(4):2061–8.
47. Torun M, Ozdemir F. Milk protein and zein coatings over peeled garlic cloves to extend their shelf life. *Sci Hortic (Amsterdam)*. 2022 Jan;291:110571.
48. Iosca G, Turetta M, De Vero L, Bang-Berthelsen CH, Gullo M, Pulvirenti A. Valorization of wheat bread waste and cheese whey through cultivation of lactic acid bacteria for bio-preservation of bakery products. *LWT*. 2023 Feb;176:114524.
49. Li X, Tu Z, Sha X, Li Z, Li J, Huang M. Effect of coating on flavor metabolism of fish under different storage temperatures. *Food Chem X*. 2022 Mar;13:100256.
50. Molnar D, Novotni D, Kurek M, Galić K, Iveković D, Bionda H, et al. Characteristics of edible films enriched with fruit by-products and their application on cookies. *Food Hydrocoll*. 2023 Feb;135:108191.
51. Yang Z, Li M, Li Y, Wang X, Li Z, Shi J, et al. Entrapment of probiotic (*Bifidobacterium longum*) in bilayer emulsion film with enhanced barrier property for improving viability. *Food Chem*. 2023 Oct;423:136300.
52. Osanloo M, Eskandari Z, Zarenezhad E, Qasemi H, Nematollahi A. Studying the microbial, chemi-

- cal, and sensory characteristics of shrimp coated with alginate sodium nanoparticles containing *Zataria multiflora* and *Cuminum cyminum* essential oils. *Food Sci Nutr*. 2023 Jun 10;11(6):2823–37.
53. Chaijan M, Chaijan S, Panya A, Nisoa M, Cheong LZ, Panpipat W. Combined effects of prior plasma-activated water soaking and whey protein isolate-ginger extract coating on the cold storage stability of Asian sea bass (*Lates calcarifer*) steak. *Food Control*. 2022 May;135:108787.
54. Fathimoghadam F, Shahamirian M, Roomiani L, Tadayoni M. Effect of gelatin-based film activated with persian lime (*Citrus latifolia*) essential oil on the shelf life of shrimp. *J Food Meas Charact*. 2023 Jun 21;17(3):3115–24.
55. Sotelo-Alcántara GA, Alia-Tejacal I, Rodríguez-Núñez JR, Campos-Rojas E, Juárez-López P, Pérez-Arias GA. Postharvest effects of a chitosan-cinnamom essential oil coating on soursop fruits (*Annona muricata* L.). *Acta Hort*. 2022 Apr;(1340):35–40.
56. Kulawik P, Jamróz E, Janik M, Tkaczewska J, Krzyściak P, Skóra M, et al. Antimicrobial and antioxidant properties of chitosan-furcellaran-gelatin hydrolysate coatings enhanced with bioactive peptides. *Food Control*. 2023 Nov;153:109931.
57. Such A, Wisła-Świder A, Węsierska E, Nowak E, Szatkowski P, Kopcińska J, et al. Edible chitosan-alginate based coatings enriched with turmeric and oregano additives: Formulation, antimicrobial and non-cytotoxic properties. *Food Chem*. 2023 Nov;426:136662.
58. Baek JH, Lee SY, Oh SW. Enhancing safety and quality of shrimp by nanoparticles of sodium alginate-based edible coating containing grapefruit seed extract. *Int J Biol Macromol*. 2021 Oct;189:84–90.
59. Rentería-Ortega M, Colín-Alvarez M de L, Gona-Sánchez VA, Chalapud MC, García-Hernández AB, León-Espinosa EB, et al. Characterization and Applications of the Pectin Extracted from the Peel of *Passiflora tripartita* var. *mollissima*. *Membranes (Basel)*. 2023 Sep 16;13(9):797.
60. Chaudhary V, Thakur N, Kajla P, Thakur S, Punia S. Application of Encapsulation Technology in Edible Films: Carrier of Bioactive Compounds. *Front Sustain Food Syst*. 2021 Oct 26;5.
61. Adhikari M, Koirala S, Anal AK. Edible multilayer coating using electrostatic layer-by-layer deposition of chitosan and pectin enhances shelf life of fresh strawberries. *Int J Food Sci Technol*. 2023 Feb 21;58(2):871–9.
62. de Andrade Vieira É, Tribuzy de Magalhães Cordeiro AM. Bioprospecting and potential of cactus mucilages: A bibliometric review. *Food Chem*. 2023 Feb;401:134121.
63. Butt MS, Akhtar M, Maan AA, Asghar M. Fabrication and characterization of carnauba wax-based films incorporated with sodium alginate/whey protein. *J Food Meas Charact*. 2023 Feb;17(1):694–705.
64. Costa BP, Carpiné D, Ikeda M, Pazzini IAE, da Silva Bambirra Alves FE, de Melo AM, et al. Bioactive coatings from non-conventional loquat (*Eriobotrya japonica* Lindl.) seed starch to extend strawberries shelf-life: An antioxidant packaging. *Prog Org Coatings*. 2023 Feb;175:107320.
65. Rasool F, Zahoor I, Ayoub WS, Ganaie TA, Dar AH, Farooq S, et al. Formulation and characterization of natural almond gum as an edible coating source for enhancing the shelf life of fresh cut pineapple slices. *Food Chem Adv*. 2023 Dec;3:100366.
66. Liyanapathirana A, Dassanayake RS, Gamage A, Karri RR, Manamperi A, Evon P, et al. Recent Developments in Edible Films and Coatings for Fruits and Vegetables. *Coatings*. 2023 Jun 30;13(7):1177.
67. Alkandary A, Netravali AN. Hybrid green composites using rice straw and jute fabric as reinforcement for soy protein-based resin. *Compos Part B Eng*. 2023 May;256:110626.
68. Paulo AFS, Baú TR, Ida EI, Shirai MA. Edible coatings and films with incorporation of prebiotics—A review. *Food Res Int*. 2021 Oct;148:110629.
69. Freitas CMP, Coimbra JSR, Souza VGL, Sousa RCS. Structure and Applications of Pectin in Food, Biomedical, and Pharmaceutical Industry: A Review. *Coatings*. 2021 Aug 1;11(8):922.
70. Ahuja A, Kumar Rastogi V. Spray coating of edible insect waxes for liquid food packaging. *Appl Surf Sci*. 2023 Jul;624:157150.
71. Huo J, Zhang M, Wang D, S. Mujumdar A, Bhandari B, Zhang L. New preservation and detection technologies for edible mushrooms: A review. *J Sci Food Agric*. 2023 May 11;103(7):3230–48.
72. Li H, Qu S, Ma P, Zhang J, Zhao K, Chen L, et al. Effects of chitosan coating combined with thermal treatment on physicochemical properties, bacterial diversity and volatile flavor of braised duck meat during refrigerated storage. *Food Res Int*. 2023 May;167:112627.
73. Neog B, Das JK, Vijayakumar A, Badwaik LS. Development and characterization of edible films

- made with Indian jujube fruit puree and pectin. *J Food Process Eng.* 2022 Mar 10;45(3).
74. Iversen LJJ, Rovina K, Vonnie JM, Matanjun P, Erna KH, 'Aqilah NMN, et al. The Emergence of Edible and Food-Application Coatings for Food Packaging: A Review. *Molecules.* 2022 Aug 31;27(17):5604.
 75. Allegra A, Inglese P, Farina V, Guccione E, Sortino G. Effects of xanthan gum and calcium ascorbate treatments on color and nutritional quality of fresh cut pear fruit. *Acta Hort.* 2023 Apr;(1364):351-8.
 76. Camiletti OF, Bergesse AE, Aleman R, Riveros CG, Grosso NR. Application of chickpea-based edible coating with chickpea husk polyphenols on the preservation of sunflower seeds. *J Food Sci.* 2023 Apr 15;88(4):1237-52.
 77. Farooq A, Niaz B, Saeed F, Afzaal M, Armghan Khalid M, Raza MA, et al. Exploring the potential of aloe vera gel-based coating for shelf life extension and quality preservation of tomato. *Int J Food Prop.* 2023 Dec 15;26(2):2909-23.
 78. Jackson-Davis A, White S, Kassama LS, Coleman S, Shaw A, Mendonca A, et al. A Review of Regulatory Standards and Advances in Essential Oils as Antimicrobials in Foods. *J Food Prot.* 2023 Feb;86(2):100025.

ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN DE PERROS Y GATOS EN SITUACIÓN DE CALLE DENTRO DEL CANTÓN RIOBAMBA - ECUADOR

ESTIMATING THE FREE ROAMING DOG AND CAT POPULATION IN RIOBAMBA, ECUADOR

	¹ Natalia Stefania Trujillo Santillán*	nsts1991@gmail.com
	² Colon Jaime Grijalva Rosero(+)	cgrijalva@asig.com.ec
	³ Bryan Raúl Herrera Mendoza	brayan9-0@hotmail.com

¹ Clínica Veterinaria MEDIPROA.

² Secretaría de Salud, Municipio del Distrito Metropolitano de Quito.

³ Clínica Veterinaria MEDIPROA.

E-mail: * nsts1991@gmail.com

RESUMEN

Los perros y gatos en situación de calle tienen un alto impacto ambiental y en salud pública siendo reservorios de enfermedades zoonóticas. El presente estudio fue realizado en el Cantón Riobamba, Ecuador con 258 597 habitantes y 97 970 hectáreas de superficie. El INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) proporcionó las zonas censales y se eligieron 7 al azar para la parte urbana y la zona rural se estudió 2 parroquias al azar. En total 9 transectos. Los recorridos duraron dos horas diarias (04h00 a 06h00) y se recolectaron datos del: número de avistamientos, distancia al animal, grados al animal, grados al transecto. Para la tabulación se utilizó Excel® y Distance®. Se empleó el modelo Hazard rate - Simple polynomial 10% truncado para perros y Negative Exponential - Simple polynomial 10% truncado para gatos, en base al menor AIC (Criterio de Información de Akaike). La densidad de la población en perros fue 1.1593perros/ha (IC95% 0.64-2.10) y en gatos 0.44303gatos/ha (IC95% 0.24-0.81). La estimación de la población total fue 113 577 perros y 43 403 gatos. En el análisis de regresión lineal para identificar factores que indiquen sobrepoblación no se encontraron niveles de significancia. La distribución de Poisson obtuvo una significancia ($p=0.001$) entre los autodenominados blancos (etnia) y el número de perros por kilómetro, mientras que en gatos no se obtuvo significancia. Se estableció una línea base sobre la demografía de perros y gatos en situación de calle para instaurar estrategias de política pública en fauna urbana del Cantón Riobamba.

Palabras clave: Perro en situación de calle, gato en situación de calle, muestreo a distancia, densidad por hectárea

ABSTRACT:

Free-roaming dog and cats have a high environmental and public health impact, being reservoirs of zoonotic diseases. The present study was carried in Riobamba City, Ecuador, with 258,597 inhabitants and 97,970 hectares of surface. The INEC (National Institute of Statistics and Censuses) provided the census zones, 7 for the urban part and 2 rural parishes. There were 9 transects in this study. The tours lasted two hours a day (04:00 a.m. to 06:00 a.m.) and data was collected: number of sightings, distance to the animal, degrees to the animal, degrees to the transect. Excel® and Distance® were used for the tabulation. The model was Hazard rate - Simple polynomial 10% truncated for dogs and Negative Exponential - Simple polynomial 10% truncated for cats, based in the AIC (Akaike Information Criterion). The population density in dogs was 1.1593 dogs/ha (IC95% 0.64-2.10) and in cats 0.44303 cats/ha (IC95% 0.24-0.81). The population estimate was 113,577 dogs and 43,403 cats. In the linear regression analysis to identify factors that indicate overpopulation, no levels of significance were found. The Poisson distribution obtained a significance ($p=0.001$) between the self-identified whites (ethnicity) and the number of dogs per kilometer, while in cats no significance was obtained. A baseline was established on the demography of dogs and cats living on the street to establish public policy strategies for free roaming dog and cats in Riobamba City.

Keywords: distance sampling, population density, free-roaming dog, free-roaming cat.

1. INTRODUCCIÓN

Las poblaciones de perros en situación de calle que deambulan libremente por calles y campos son una preocupación para la salud humana. Además, transmiten enfermedades infecciosas algunas de las cuales son zoonóticas y en otros casos causan graves daños a la fauna silvestre (1). Comprender la demografía de perros y gatos en situación de calle es esencial para poder realizar una planificación de la población y control de las enfermedades de interés en salud pública (2).

Un estudio realizado en la Isla Santa Cruz en Galápagos demostró que la única forma de controlar la población canina es mediante la esterilización masiva de los animales, además las Islas Galápagos por su alto valor en fauna endémica se mantienen estudios permanentes de la población de la fauna introducida como perros y gatos y es el único lugar en el Ecuador en donde se han tomado medidas para controlar la fauna urbana a lo largo de los años reduciendo esta población en un 50% aproximadamente (3).

Estudios realizados en Quito, capital del Ecuador, demostraron que entre el 2013 y 2018 hubo un incremento del 20% en la población de perros en situación de calle tomando en cuenta que en esta Ciudad se han llevado a cabo diferentes programas de control de la fauna urbana desde hace varios años (4).

El Código Orgánico del Ambiente en el artículo 27 numeral 8 señala que es facultad de los gobiernos autónomos descentralizados el control de la fauna urbana. La Dirección de Gestión Ambiental, Salubridad e Higiene del Gobierno Municipal del Cantón Riobamba debe realizar un censo cada 4 años tanto de perros como de gatos, pero no se especifica la metodología del mismo ni si se realizará un censo total, es decir tanto animales con tutores como los animales en situación de calle y hasta la fecha no se ha realizado ningún censo (5).

Actualmente no se tiene una línea base de datos para conocer la problemática real que tenemos dentro del Cantón Riobamba y aunque el Artículo 35 de la ordenanza indica que se realizarán un mínimo 2500 esterilizaciones gratuitas al año. No se conoce si este número es suficiente para el control de la población de perros y gatos en situación de calle, tampoco especifica las zonas en donde se debe priorizar la esterilización con la unidad móvil. Además, en estas campañas de esterilización se priorizan las mascotas con tutor y en menor cantidad los animales en situación de calle. Aunque las especies que se mantienen en situación de calle son de mayor interés, ya que al no tener ninguna restricción de movilidad existe mayor riesgo de ser fuente de enfermedades zoonóticas como: toxoplasmosis, rabia, paratuberculosis entre las principales, además de reproducirse

sin control, peleas y ataques a otros animales o incluso a seres humanos. Dada esta problemática, el presente estudio pretende estimar la población total tanto de perros como gatos en situación de calle como herramienta para la formulación e implementación de políticas públicas tanto en el perímetro urbano como en las zonas rurales del Cantón Riobamba.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente estudio se llevó a cabo en el Cantón Riobamba capital de la Provincia de Chimborazo ubicada en la región Sierra Central centro del país a 2754 metros sobre el nivel del mar, a 1°41'36'' latitud Sur; 0°3'36'' longitud Occidental del meridiano de Quito. El Cantón Riobamba está constituido por cinco parroquias urbanas: Maldonado, Veloz, Lizarzaburu, Velasco y Yaruquíes; y de once parroquias rurales: San Juan, Licto, Calpi, Quimiag, Cacha, Flores, Punín, Cubijíes, San Luis, Pungalá y Licán (6).

Tipo de Estudio diseño y análisis estadístico

Esta investigación es de tipo transversal, observacional y descriptiva con la finalidad de estimar el tamaño de la población en estudio mediante el muestreo a distancia. La investigación estuvo a cargo de 2 personas que fueron capacitadas para la fase de campo para la recolección de datos del muestreo a distancia: registro fotográfico, georreferenciación mediante GPS y registro escrito de la medición de las distancias y ángulos mediante el uso de una brújula y medidor de rangos. La distancia registrada era entre el observador y el animal observado, una persona se encargó de los gatos y otra de los perros.

Se eligió al azar las zonas censales urbanas (Z1,Z2,Z8,Z9,Z15,Z32,Z31,Z25,Z20,Z22) y parroquias rurales (Cacha y Pungalá) como se señala en la figura 1.

Figura 1. Zonas censales urbanas.



*Tomado de: INEC (7). Las zonas señaladas de azul fueron las estudiadas

Se crearon los transectos utilizando la aplicación Google Earth®. Las salidas se realizaron desde el 20 de mayo al 10 de junio del 2021 desde las 4:00 a 6:00 am, una salida por cada zona censal o parroquia rural.

Se registraron los datos obtenidos en el recorrido y fueron ingresados en Excel® para su tabulación, verificación y digitalización. Posterior a esto se utilizó el programa DISTANCE® para obtener los resultados de la densidad de animales por hectárea, los modelos que se corrieron fueron: Uniform - Cosine, Half Normal - Cosine, Hazard Rate - Simple Polynomial, Negative exponential - Simple Polynomial. Se ejecutó 4 filtros de datos 5% truncado, 10 % truncado, 90 metros truncados y 80 metros truncados. El ajuste de cada modelo se definió en función de los criterios de Información de Akaike (AIC) eligiendo el de menor valor. (8-10)

Adicionalmente, se realizó un análisis de regresión lineal y distribución de Poisson con el programa estadístico RStudio® para evaluar la asociación entre el número de perros y gatos por kilómetro con las variables de etnias y la población pobre del Cantón Riobamba, para esto se utilizó la tabulación de datos de la encuesta del Censo de Población y Vivienda del 2010.

Criterios de inclusión y exclusión

Se tomaron en cuenta todos los perros y gatos que se encontraban deambulando libremente en el transecto que se recorrió. Se excluyó a todo perro y gato que estuvo fuera del transecto o que en el procesamiento de datos tuvo un ángulo entre 90° y 100°.

Limitantes de la Investigación

El Censo de Población y Vivienda 2020 fue suspendido por la Pandemia de COVID19, por lo que no se pudo tener acceso a los datos actualizados de la ciudad y la investigación se basó en los datos del 2010 y sus proyecciones según el INEC.

3. RESULTADOS

Según los datos analizados en el programa DISTANCE® en el Cantón Riobamba existen 1.1593 perros/hectárea (116 perros/km² 95% IC 64 - 210). Por otro lado, existen 0.44303 gatos/hectárea. (44 gatos/km² 95% IC 24 - 81).

Una vez obtenidos los datos por hectárea se calculó la población total de perros y gatos en situación de calle del Cantón Riobamba para esto utilizó la superficie total del Cantón Riobamba que es de 97 971ha (11) y se obtuvo un total de 113 577 perros y 43 404 gatos.

Para la razón humano: perro/gato se utilizó la proyección de crecimiento de la población según el INEC y el número de animales en situación de calle, se obtuvo que existe 1 perro por cada dos habitantes y 1 gato por cada 6 habitantes.

En el análisis de univariable realizado en el estudio no se encontró asociación entre el número de perros/gatos por Km y variables socioeconómicas. Por el contrario, en el análisis multivariable se aplicó la distribución de Poisson y se obtuvo significancia (p=0.001) en la población de los autodenominados blancos en el caso de los perros, mientras que no existió relación en el caso de los gatos.

4. DISCUSIÓN

Se estimó por primera vez la población de los perros y gatos en situación de calle del Cantón Riobamba, con esto se pretende que las autoridades y la academia puedan incluir este tipo de investigaciones de manera habitual y planteen estrategias, realicen socializaciones, buenas políticas públicas y se cumpla con la Ordenanza municipal de una manera organizada para que se pueda mejorar la situación en el menor tiempo posible. La metodología empleada en esta investigación es aplicable al cantón Riobamba ya que con la cantidad de observaciones que se obtuvo (208 perros y 45 gatos) se puede utilizar el Distance®, el método requiere más experiencia computacional y estadística, aún así es posible utilizar el método de muestreo a distancia y dar propuestas como programas de esterilización, vacunación y retorno tal como se ha implementado en otras ciudades del país como Quito y Galápagos (10,12,13).

En el área total de Riobamba (urbana y rural) la estimación de perros en situación de calle obtenidos en el presente estudio fue 116 perros/km² (95% IC 64 - 210) cifra menor a los encontrados en un estudio realizado en la India con 242 perros por Km² (95% IC 213 - 275) (13) pero similares a los realizados en la ciudad de Quito que obtuvo un valor de 141 perros/Km² (95% IC 109 - 183) empleando el mismo método de muestreo a distancia (9).

El tamaño estimado de gatos fue de 43 404 valor mucho mayor que lo reportado en 2016 en la Ciudad de Guelph, Canadá con un total de 7 662 gatos (14). A nivel mundial existe una tendencia a que los gatos que deambulen fuera de casa, es así que una investigación en Brisbane Australia menciona que el 43% de los encuestados estaban consientes que tenían gatos en situación de calle los mismos que eran observados en lugares como residencias privadas, callejones y negocios

principalmente de comida, el 15% de los encuestados informó que alimentaba a gatos en situación de calle y un 18% alimentaba a perros en situación de calle en la misma área incluso colocaban comederos para su alimentación lo que es similar a lo que se encontró en Riobamba durante las salidas nocturnas en donde se observó platos y bebederos fuera de las casas para alimentar a los animales en situación de calle (16).

La proporción de perros 2.28:1 (1 perro por cada 2 habitantes) y gatos 6:1 (1 gato por cada 6 habitantes) es considerada una de las más altas del país, en Quito en un estudio realizado en 2021 encontraron la relación de perros 46:1 (1 perro por cada 46 habitantes) (9) y en Santa Cruz la relación fue de 4.77:1 (1 perro por cada 5 habitantes) cabe indicar que por la fauna endémica de Galápagos se han realizado varios estudios y las autoridades han tomado acciones principalmente la esterilización pero este mismo estudio indicó un aumento del 31% en la población de perros entre el 2014 y el 2016 por lo que muestran que los esfuerzos no son suficientes para mantener la población estable y se necesita desarrollar otro tipo de alternativas (3).

En 2014 se realizó una estimación de la población de perros en el Distrito Metropolitano de Quito y encontró que la densidad fue de 11 perros/Km² cifra menor a lo esperado en esta investigación y con la regresión lineal también se llegó a la conclusión de que existe una asociación entre el número de perros en situación de calle y las tasas de pobreza (17); en la presente investigación no se encontró significancia con la regresión lineal en ninguna variable independiente, pero si se encontró significancia ($p=0.01$) con los la etnia de los autodenominados blancos en el censo de población y vivienda 2010, esto podría estar relacionado con el crecimiento de la ciudad ya que al realizar esta investigación se observó que existían gran cantidad de casas sin cerramientos por lo que los perros no tenían ninguna restricción de movilización, también se encontró perros en parques y terrenos baldíos, se evidenció platos fuera de los hogares para colocar alimento, casas fuera de condominios y en algunos terrenos que sirven como guarida para los perros llamados comunitarios esto en las zonas censales con mayor cantidad de perros por Km lineal.

En un estudio que se realizó en la Ciudad de Rishon LeZion, Israel durante los años 2012-2014 con una población similar a la de nuestro estudio (237 600 habitantes) y que cuenta desde 2009 con un programa de TNR de gatos en situación de calle. Se eligieron transectos al azar y fueron recorridos repetidamente por 3 años consecutivos, como resultado obtuvieron que el número de gatos en 2014 fue significativamente

más alto que en el 2012 pero no difirió del 2013 (18) y un estudio retrospectivo en la Comunidad de Ocean Reef en Florida Estados Unidos y se determinó que después de dos décadas con el programa atrapa-esteriliza-retorna se logró una disminución de la población, se mejoró el bienestar animal obteniendo un aumento en la edad promedio y disminución en la prevalencia del retrovirus esto nos indica que si es posible disminuir la población de animales en situación de calle (19).

El abandono de mascotas es una situación compleja a nivel de país por ejemplo una investigación realizada en Guayaquil reportó que el 71% de los encuestados alguna vez abandonaron una mascota en las calles y el 42% estaba de acuerdo en el abandono por lo que es importante también educar a los tutores en temas de tenencia responsable (15). Así también, en Veneto Italia se realizó un estudio que llegó a la conclusión de que realizar estimaciones en la población de perros y gatos proporciona datos útiles para realizar estudios epidemiológicos y sobre todo planes de seguimiento en las áreas con mayor problema.

El I Censo Ciudadano de Perros abandonados en Quito evidenció que la población de perros abandonados se había incrementado en un 20% durante los últimos 5 años pese a los esfuerzos de la autoridades, asociaciones y otras personas de interés (4). En todas estas investigaciones antes citadas se hace énfasis en realizar censos periódicos para establecer cómo se comporta la población en situación de calle y tomar acciones para controlarla.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio logró establecer la línea demográfica base sobre la población de animales en situación de calle con una estimación de 113 577 perros y 43 404 gatos en el Cantón Riobamba, esto servirá para la formulación e implementación de la política pública dentro de nuestro Cantón, así como la asignación de recursos para el control de esta problemática.

La densidad por hectárea de perros fue de 1.1593 perros/ha (116 perros/Km²) y de gatos 0.44303 gatos/ha (44 gatos/Km²)

Dentro de los factores de sobrepoblación se estimó que existe una relación importante entre la etnia de los autodenominados blancos y el número de perros por kilómetro. En el caso de los gatos no existió ninguna relación entre las variables analizadas ni factores como pobreza.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA





1. Schurer JM, Phipps K, Okemow C, Beatch H, Jenkins E. Stabilizing Dog Populations and Improving Animal and Public Health Through a Participatory Approach in Indigenous Communities. *Zoonoses Public Health*. septiembre de 2015;62(6):445-55.
2. Rinzin K, Tenzin T, Robertson I. Size and demography pattern of the domestic dog population in Bhutan: Implications for dog population management and disease control. *Prev Vet Med*. abril de 2016;126:39-47.
3. Diaz NM, Walden HS, Yoak A, McIntosh A, Duque V, Cruz M, et al. Dog overpopulation and diagnosis of intestinal parasites on Santa Cruz Island, Galapagos 2016. *Prev Vet Med*. septiembre de 2018;157:99-104.
4. Stella de la Torre, Carlos Figueroa, Max Cárdenas, Carolina Sampredo. Resultados del I Censo Ciudadano de Perros Abandonados en Quito [Internet]. 2018. Disponible en: https://www.usfq.edu.ec/programas_academicos/colegios/cociba/Documents/vinculacion/informe_resultados_i_censo_de_perros_abandonados_dmq.pdf
5. Gobierno Municipal del Cantón Riobamba. La Ordenanza para la Protección, Tenencia y Control de la Fauna Urbana en el Cantón Riobamba [Internet]. 2019. Disponible en: http://www.gadmriobamba.gob.ec/phocadownload/lotaip2019/abril/AnexoS/Ordenanza_004_2019_ProteccionC3%B3n_Tenencia_y_Control_de_la_Fauna_Urbana.pdf
6. Gobierno Municipal del Cantón Riobamba. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Riobamba. Actualización 2020 - 2030. 2020.
7. Censo (INEC) IN de E y. Resumen ejecutivo VCENSO POBLACIÓN INFORMACIÓN PARA DDI - 20feb2013.
8. Hiby E, Hiby L. Direct Observation of Dog Density and Composition during Street Counts as a Resource Efficient Method of Measuring Variation in Roaming Dog Populations over Time and between Locations. *Animals*. 3 de agosto de 2017;7(12):57.
9. Max Cárdenas, Jaime Grijalva, Stella de la Torre. Free-roaming dog surveys in Quito, Ecuador: experiences, lessons learned and future work [Internet]. 2021. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fvets.2021.766348/abstract>
10. Thomas L, Buckland ST, Rexstad EA, Laake JL, Strindberg S, Hedley SL, et al. Distance software: design and analysis of distance sampling surveys for estimating population size. *J Appl Ecol*. febrero de 2010;47(1):5-14.
11. G.A.D. Municipal del Cantón Riobamba. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2020 - 2030 - Municipio Riobamba [Internet]. 2020 [citado 14 de enero de 2022]. Disponible en: <https://www.gadmriobamba.gob.ec/index.php/descarga/category/1096-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2020-2030#>
12. Dias RA, Baquero OS, Guilloux AGA, Moretti CF, de Lucca T, Rodrigues RCA, et al. Dog and cat management through sterilization: Implications for population dynamics and veterinary public policies. *Prev Vet Med*. noviembre de 2015;122(1-2):154-63.
13. Meunier NV, Gibson AD, Corfmat J, Mazeri S, Handel IG, Gamble L, et al. A comparison of population estimation techniques for individually unidentifiable free-roaming dogs. *BMC Vet Res*. diciembre de 2019;15(1):190.
14. Flockhart DTT, Norris DR, Coe JB. Predicting free-roaming cat population densities in urban areas. *Anim Conserv*. octubre de 2016;19(5):472-83.
15. Delgado P. Análisis de los factores que inciden en el abandono de mascotas (perros) y su impacto social en el sector de Fertisa de la Coop. «Ahora le toca al Pueblo», de la Ciudad de Guayaquil [Internet]. [Guayaquil]: Universidad de Guayaquil; 2017. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/21440/1/PAULINA%20DELGADO.pdf>
16. Rand J, Fisher G, Lamb K, Hayward A. Public Opinions on Strategies for Managing Stray Cats and Predictors of Opposition to Trap-Neuter and Return in Brisbane, Australia. *Front Vet Sci*. 18 de febrero de 2019;5:290.
17. Grijalva Rosero CJG. Estimating the population of free-roaming and owned dogs and the gastrointestinal parasite burden in owned dogs in the capital city of Quito, Ecuador: a baseline study for future animal health and welfare interventions. 2014;87.
18. Gunther I, Azriel L, Wolf H, Raz T, Klement E. An accessible scheme for monitoring free-roaming

cat population trends. *Ecol Evol.* febrero de 2020;10(3):1288-98.

19. Kreisler RE, Cornell HN, Levy JK. Decrease in Population and Increase in Welfare of Community Cats in a Twenty-Three Year Trap-Neuter-Return Program in Key Largo, FL: The ORCAT Program. *Front Vet Sci.* 1 de febrero de 2019;6:7.

BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO (KETOSIS) EN RUMIANTES CAMÉLIDOS SUDAMERICANOS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

NEGATIVE ENERGY BALANCE (KETOSIS) IN SOUTH AMERICAN RUMINANTS AND CAMELIDS: LITERATURE REVIEW

	^{1,2} Tirsa Echeverría*	echeverriatirsa@gmail.com
	¹ María Fernanda Núñez	fernanda.nuniez@esPOCH.edu.ec
	¹ Santiago Vásquez	santiago.vasquez@esPOCH.edu.ec
	¹ Ángel Casierra	angel.casierra@esPOCH.edu.ec

¹ Carrera de Medicina Veterinaria, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

² Grupo de Investigación en Ciencias Veterinaria, Riobamaba, Ecuador.

E-mail: * echeverriatirsa@gmail.com

RESUMEN

La cetosis es una enfermedad metabólica que afecta a animales destinados a la producción de leche, como vacas, ovejas y cabras. La cetosis puede tener un impacto económico significativo debido a los costos de tratamiento y las pérdidas en la producción láctea. La presente revisión bibliográfica tuvo como objetivo analizar diversos aspectos de la cetosis, incluyendo la etiopatología, factores de riesgo, impacto económico, el diagnóstico y las medidas de prevención y manejo de la cetosis en rumiantes y camélidos sudamericanos. Mediante una extensiva búsqueda en bases de datos de LatinIndex, Web of Science, PubMed y Scopus se incluyeron 70 artículos basados en su indexación, relevancia y actualización. En vacas, la cetosis ocurre durante el último tercio de la gestación y el inicio de la lactancia, especialmente en ovejas con una condición corporal elevada. Los síntomas clínicos incluyen retraso en el crecimiento, depresión y dificultad para moverse. En cabras, la toxemia de la gestación es más común que la cetosis de lactancia y se desarrolla en las últimas etapas de la gestación. En camélidos sudamericanos, la toxemia de la gestación es poco común y a menudo es secundaria a otras enfermedades. Un mejor manejo alimentario puede ayudar a prevenir la ingesta insuficiente de energía y la toxemia de la gestación en alpacas. Factores como el número de partos y la condición corporal al parto aumentan el riesgo de cetosis. Sin embargo, la genética, la alimentación adecuada y el monitoreo del hato son medidas importantes para prevenir y manejar la cetosis. En conclusión, este estudio constituye una exhaustiva revisión de los aspectos más importante de la cetosis enfocada en rumiantes y camélido sudamericanos.

Palabras clave: *Cetosis, metabolismo, producción, balance energético negativo, toxemia de gestación.*

ABSTRACT:

Ketosis is a metabolic disorder that affects animals destined for milk production, such as cows, sheep, and goats. Ketoses have a significant economic impact due to treatment costs and losses in dairy production. This review aims to analyze a range of aspects of ketosis, including the etiopathology, risk factors, economic impact, diagnoses and preventive and management methods in ruminants and South American camelids ketosis. Through an extensive search in LatinIndex, Web of Science, PubMed, and Scopus databases, 70 articles were included based on their indexing, relevance, and up-to-date information. In sheep, ketosis occurs during the last third of gestation and the onset of lactation (pregnancy toxemia), especially in sheep with high body condition. Clinical symptoms include low weight, depression, and ataxia. In goats, pregnancy toxemia is more common than lactation ketosis and develops in the later stages of gestation. In South American camelids, pregnancy toxemia is uncommon and often secondary to other diseases. Improved feeding management can help prevent inadequate energy intake and pregnancy toxemia in alpacas. Factors such as the number of births and body condition at birth increase the risk of ketosis. However, genetics, proper feeding, and herd monitoring are important measures for preventing and managing ketosis. In conclusion, this study has comprehensively analyzed the risk factors associated

with ketosis in ruminants and South American camelids, as well as its economic impact.

Keywords: *Ketosis, metabolic, production, Energetic negative balance, pregnancy toxemia.*

1. INTRODUCCIÓN

La cetosis es una enfermedad multifactorial. Se trata de una patología de tipo metabólico caracterizada por la acumulación de cuerpos cetónicos como el β -hidroxibutirato (β OHB), acetoacetato (AcAc) y acetona (Ac) en la sangre, orina y leche de animales destinados a la obtención de leche en condiciones de producción intensiva, sobre todo en los bovinos y caprinos [1]. La patogénesis más aceptada actualmente sobre la cetosis es la presencia de un estado de balance energético negativo (BEN) en el periodo del parto, desencadenando la movilización de ácidos grasos de cadena larga, los cuales se oxidan en el hígado formando los cuerpos cetónicos [1,2]. Particularmente, esta patología ha sido estudiada en vacas lecheras ya que, por la presión de producción, sufren cambios metabólicos y fisiológicos que incrementan de forma significativa el riesgo de sufrir desbalances energéticos que dan origen a procesos metabólicos anormales como la cetosis [3]. En particular, cuando las vacas pasan de un estado de gestación, periodo en cual se requieren cantidades moderadas de energía para el desarrollo fetal, pasan a un estado de lactancia, las demandas energéticas se aumentan considerablemente para poder sustentar los requerimientos fisiológicos de la producción de calostro como de leche [3], en el cual se presenta un desequilibrio entre el consumo de energía que ingresa a través del alimento [ingesta de materia seca y la energía requerida para los procesos fisiológicos del periodo de lactación [4]. Debido a este BEN, las vacas entran en un estado de activación de la lipólisis de los triglicéridos almacenados en el tejido adiposo, liberando grandes cantidades de ácidos grasos no esterificados (NEFAs) en la circulación sanguínea [2]. Los NEFAs en condiciones normales se esterifican en el hígado y se liberan en forma de lipoproteínas de muy baja densidad, sin embargo, en la cetosis la cantidad de NEFAs supera la capacidad de esterificación del hígado, provocando una oxidación incompleta en las mitocondrias de los hepatocitos, formando los cuerpos cetónicos [3,5]. La movilización de los NEFAs es una respuesta fisiológica del organismo para ahorrar la glucosa faltante, complementando el ciclo oxidando los NEFAs en acetyl-CoA y luego en cuerpos cetónicos [6]. La cetosis se desencadena cuando la concentración de estos ácidos grasos en la sangre

sobrepasa la capacidad oxidativa del hígado con el consecuente almacenamiento de los ácidos grasos no esterificados en el hígado y el adyacente incremento en la producción de cuerpos cetónicos como el acetoacetato y β HB [7].

Las revisiones de literatura están diseñadas para presentar información que responde a la misma pregunta de investigación. Como tal, el objetivo de esta investigación fue realizar una revisión de literatura en cuanto a diferentes aspectos de la cetosis, incluyendo los tipos, la epidemiología, los métodos de diagnósticos, factores de riesgo, medidas de manejo, así como la presentación de cetosis en otras especies de importancia veterinaria.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de la presente investigación se realizó una exhaustiva búsqueda bibliográfica en bases de datos, incluyendo LatinIndex, PubMed, Web of Science and Scopus. Los ítems considerados para el desarrollo del artículo de revisión incluyeron: tipos de cetosis, epidemiología, métodos diagnósticos, factores de riesgo, medidas de manejo y control y, finalmente la situación de cetosis en otras especies animales de importancia veterinaria.

En general se tomaron en cuenta 70 artículos, seleccionados por su indexación, relevancia y actualidad. La mayoría de los artículos fueron publicados después del año 2004 en adelante. Sin embargo, por su originalidad, se incluyeron 10 artículos de entre 1980 y 1999.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I. Tipos de cetosis

I.1.1. Según su origen.

Desde el punto de vista fisiopatológico, la cetosis puede dividirse en dos tipos, Tipo I y II. Cada una obedece a diferentes etiologías y por lo tanto requiere diferentes aproximaciones preventivas y diagnósticas [8]. Los cambios bioquímicos, métodos diagnósticos, pronosis y las intervenciones necesarias para cada tipo de cetosis se presentan en la tabla 1.

Ítem	Tipo I	Tipo II
vPeriodo de mayor riesgo	3 a 6 semanas después del inicio de la lactancia	1 a 2 semanas después del inicio de la lactancia
Descripción	De apareamiento espontáneo, condición corporal baja	Condición corporal alta, hígado graso
βOHB	Muy alta	Alta
Glucosa sanguínea	Baja	Baja, pero puede estar elevada al inicio
Insulina sanguínea	Baja	Baja, pero puede estar elevada al inicio
Condición corporal	Probablemente delgado	A menudo con alto porcentaje de grasa corporal
Destino de los ácidos grasos no esterificados	Cuerpos cetónicos	Triglicéridos hepáticos al inicio, cuerpos cetónicos posteriormente
Gluconeogénesis hepática	Alta	Baja
Patologías hepáticas	Ninguna	Hígado graso
Prognosis	Ninguna	Pobre
Método diagnóstico de Elección	Detección de βOHB	Detección de NEFA
Intervenciones clave	Manejo y nutrición	Manejo y nutrición

Tabla 1. Resumen de las características de la cetosis tipo I y II [8].

Tipo I o primaria es la forma clásica de cetosis y suele presentarse en vacas entre las tres a seis semanas posparto [8]. Se denomina también espontáneo o de subalimentación por las similitudes que guarda con la diabetes mellitus tipo I ya que en ambos casos se acompaña de concentraciones de insulina anormalmente bajas, aunque obedece a distintas razones [1]. Mientras que en la diabetes Tipo 1 se relaciona con defectos pancreáticos, la cetosis tipo I se relaciona con la falta de precursores de glucosa con la consecuente hipoglucemia [1]. Los períodos de mayor riesgo están entre las 3 a 6 semanas a partir del inicio de la lactancia [1].

Tipo II o secundaria se relaciona con vacas que desarrollan un balance energético negativo, consecuentemente iniciando la movilización de grasa del cuerpo antes o durante el parto [3]. Aun cuando este tipo de cetosis puede presentarse en vacas con baja condición corporal, la mayor incidencia de cetosis tipo II se da en vacas gordas ya que el consumo de materia seca disminuye por la proximidad del parto [9]. En cuanto a su prevalencia, se ha calculado que este alrededor del 4,3% en explotaciones intensivas [3]. Al igual que la cetosis Tipo I, la cetosis tipo II puede cursar de forma clínica o subclínica [9].

I.1.2. Según su presentación.

De acuerdo con su presentación los problemas de cetosis pueden ser clasificados en dos tipos: clínica y subclínica.

Clínica: La cetosis clínica se caracteriza por la aparición repentina de varios signos como anorexia, en particular de alimento balanceado, disminución en la producción

lechera, así como de la vida productiva dentro del hato, incremento en la incidencia a otras enfermedades, rápida Pérdida de condición corporal o constipación [10]. La temperatura corporal por otra parte suele ser normal. Adicionalmente, la característica bioquímica más común es el incremento de cuerpos cetónicos con una concentración mínima de acetoacetato (0.5 ml. l-1), hipoglicemia y elevada concentración de ácidos grasos no esterificados (NEFA) en la sangre, hígado con infiltración grasa y pérdida de glucógeno hepático [10]. Estos hallazgos, entre otros, apoyan la evidencia que, durante esta condición, existe un incremento de la cetogénesis hepática y que este incremento está relacionado con una disminución de la concentración de glucosa sanguínea y en las reservas de carbohidratos del hígado [10]. Esta condición no es común en vacas en periodo de lactancia por primera vez [10].

Subclínica: se caracteriza por la ausencia de signos clínicos aun cuando se puede detectar un incremento en la concentración de cuerpos cetónicos circulantes [7]. Los niveles elevados de cuerpos cetónicos circulantes ocurren al principio de la lactancia en respuesta al impulso homeostático de mantener altos niveles de leche al tiempo que hay bajo consumo de materia seca [7]. Sin embargo, se debe considerar que no solo la elevada presencia de cuerpos cetónicos determina la presencia de cetosis subclínica, sino una concentración anormal de los mismos [7].

II. Epidemiología

La prevalencia de cetosis clínica y subclínica es variable, así por ejemplo en Estados Unidos y Europa esta se encuentra en rangos de entre el 2 al 15% [11-13]. Sin embargo, existen diferencias a nivel de

país, probablemente relacionadas con las prácticas de manejo, con el diseño del estudio, metodología empleada para medir su prevalencia o con la paridad de las vacas [14]. Adicionalmente, esta prevalencia puede variar de acuerdo con la definición de hipercetonemia, ya que límites más bajos darán como resultado mayores prevalencias [7].

La mayor incidencia de cetosis subclínica se da por lo general durante la primera semana de lactación [11] y se ha calculado que alrededor del 24% de los animales sufren al menos un episodio en promedio, sin embargo, a nivel de grajas individuales esta puede ser de hasta el 80% [15]. Aun cuando el diagnóstico de la cetosis subclínica puede pasar desapercibida por la dificultad que supone su diagnóstico, sus niveles de prevalencia pueden alcanzar el 40% de animales en hatos confinados, valor superior al de la cetosis clínica, calculada en aproximado de 3.7% a nivel mundial [8]. Aun cuando su diagnóstico puede pasar desapercibido por las características con las que cursa, su incidencia es mayor que la cetosis clínica, alcanzando tasas de prevalencia de alrededor del 40% en hatos confinados [8]. Finalmente, la prevalencia de cetosis parece estar relacionada con los sistemas de explotaciones comerciales. Por ejemplo, en sistemas estabulados, se ha calculado que esta entre el 6% al 15%, mientras que, en sistemas extensivos, hasta el 3.5% de las hembras en periodo de lactación pueden sufrir diversos tipos de cetosis [12,13,15].

III. Efectos sobre la productividad

La relación entre ganado con un buen estado de salud y la rentabilidad de cualquier explotación comercial está bien establecida en la literatura [16]. Enfermedades, incluyendo las metabólicas, comprometen sin lugar a duda el bienestar animal, limitando la productividad influyendo en el incremento de costos a los negocios ganaderos [17].

En particular la cetosis es una de las enfermedades más prevalentes en ganado vacuno destinado a la producción de leche ejerciendo un profundo efecto sobre la producción láctea y es, de igual modo un factor predisponente para la presentación de otras patologías. Los costos asociados a la cetosis varían, así, por ejemplo, puede haber pérdidas de hasta 43 dólares en el caso que la presentación sea de tipo clínica o de entre 2 a 16.9 y hasta 78 dólares en el caso de cetosis subclínica [18,19]. Esta variación puede estar relacionada con la aproximación en el tratamiento establecido, mientras que en Estados Unidos el abordaje terapéutico es practicado por personal no veterinario, en Europa es más probable que sea un

veterinario el que establezca el tratamiento requerido [20]. Adicionalmente, es importante considerar que estos costos están asociados al tratamiento de cetosis mas no a los requerido para llegar a un diagnóstico [19], por lo que las pérdidas económicas podrían ser superiores.

I. Producción láctea

Aun cuando la cetosis puede remitir espontáneamente con o sin tratamiento, la cetosis probablemente influenciara sobre el animal para que este nunca alcance su máximo potencial productivo [9]. Este hecho se relaciona con la evidente prioridad que se da durante la lactancia a la producción de leche aun cuando el apetito es limitado [9]. Sin embargo, los sistemas de producción ganadera y las áreas geográficas de estas explotaciones son muy heterogéneas.

Teniendo en cuenta que la presentación de cetosis es más probable en vacas multíparas, la composición del rebaño es considerado un factor clave ya que entre el 32% al 36% de vacas suelen ser primerizas [21,22]. Por otro lado, la situación geográfica tiene influencia sobre los niveles de producción lechera y sobre los precios [19], lo que marca una diferencia entre las pérdidas en producción lechera. En cualquier circunstancia datos generados a través de un metaanálisis sugieren que puede haber una disminución en la producción de entre 65 a 251 lt por rebaño [19].

II. Enfermedades concomitantes

La cetosis afecta de forma integral a un rebaño. En particular la cetosis subclínica resulta en el desarrollo de enfermedades incluyendo el desplazamiento de abomaso [8% de incidencia], cetosis clínica, metritis, mastitis, laminitis, cambios de comportamiento e incremento en las probabilidades de ser sacrificados durante etapas tempranas de la lactancia [23-26]. Además, existen consecuencias relacionadas con la fertilidad ya que, en estado de cetosis, los intervalos entre partos suelen prolongarse [18], se puede producir disfunción ovárica [27], o puede ser necesario inseminaciones adicionales para garantizar la preñes [22].

IV. Métodos diagnósticos

Existen numerosos métodos diagnósticos para determinar los niveles de cuerpos cetónicos en el organismo, entre ellos está la determinación de cuerpos cetónicos en sangre, leche u orina. La prueba "gold standard" es la determinación de β OHB en plasma, aunque puede medirse de igual modo en sangre entera

mediante el empleo de medidores electroquímicos de mano, debido a que el β OHB es el cuerpo cetónico de mayor concentración en los rumiantes y el más estable que el Acetato (Ac) y Acetoacetato (AcAc) [28]. El principio se basa en la oxidación del β OHB en la muestra de sangre para producir acetoacetato con la consecuente reducción de NAD^+ a NADH que posteriormente se oxida de regreso a NAD^+ [29].

La corriente generada en esta cadena de reacciones es directamente proporcional a la concentración inicial de β OHB la misma que es cuantificada y expresada en (mmol/l⁻¹). En vacas lecheras, valores inferiores a 1.4 mml. l-1 son considerados normales, y por lo tanto reflejan negatividad a cetosis [3]. Por otro lado, la cetosis subclínica se establece cuando los valores de BHBA están entre 1.4 a 2.9 mmol. l-1, en tanto que valores mayores a 2.9 mmol. l-1 son considerados como un reflejo de cetosis clínica [3].

La determinación de otros metabolitos como ácidos grasos no esterificados también son útiles como biomarcadores de balance energético y movilización de grasa, sobre todo en el parto, aunque no son útiles en el diagnóstico definitivo de cetosis [24,30].

Se han descrito otros métodos diagnósticos como la Espectrometría infrarroja transformada de Fourier (FTIR), especialmente desarrollada para el diagnóstico de cetosis subclínica [31]. Este método mide la concentración de acetona en la leche utilizando la espectrometría FTIR [8]. Por otro lado, la determinación fluorométrica de BHB evalúa la presencia de BHB en la leche y plasma sanguíneo basado en métodos enzimáticos [8]. Entre sus ventajas está el hecho de que la hemólisis sanguínea no influye en los resultados y que, al usar leche entera, esta no necesita pretratamientos [32] por lo que puede emplearse a gran escala con bastante fiabilidad [33].

La cromatografía líquida de gases (GLC) es empleada, por otra parte, para medir la concentración de acetona en sangre y leche [33]. Por último, la espectroscopia de resonancia magnética nuclear (NMR) sirve para medir tanto acetona como BHB [34].

Finalmente existen otras aproximaciones como la medición de la concentración de grasa y proteína en la leche. Dado que las vacas suelen sufrir un balance de energía negativo durante las primeras semanas de lactancia, existe una elevada movilización de lípidos desde las reservas grasas, cetogénesis e hipoglicemia [35]. Una fracción de los ácidos grasos movilizados se incorporan directamente en la grasa de la leche, lo que resulta en un incremento en la concentración

del porcentaje de grasa. Por el contrario, los niveles de proteína decrecen ligeramente en estos animales debido a la reducción en la disponibilidad de energía [8]. Por lo tanto, el ratio entre la grasa y la proteína láctea (FRP) ha demostrado ser útil en el monitoreo de la prevalencia de cetosis subclínica [36]. Un ratio mayor a 1.5 indica cetosis subclínica, mientras un ratio por debajo de esta cifra sugiere acidosis ruminal [37]. Su especificidad, sin embargo, es menor [77-81%] que la determinación de BHB [36].

V. Factores de riesgo y medidas de manejo

Existen diferentes factores que influyen la ocurrencia de cetosis. Varios estudios reportan que la alta presentación de esta patología se relaciona con las mejoras genéticas en la industria láctea, número de partos, condición corporal, o estación del año en la que se presenta la cetosis [7].

I. Genética y raza

Las explotaciones comerciales de leche basan su economía, en gran parte, en la selección genética para mejorar el rendimiento [7]. Las demandas energéticas en vacas en etapas de lactancia crecen para satisfacer la producción de leche. En estas condiciones, los rumiantes tienen que alterar su equilibrio metabólico para movilizar las reservas de proteína y grasa para oxidarlas como fuente de energía con el objetivo que los carbohidratos puedan usarse para satisfacer la síntesis de leche [7].

Los niveles bajos de insulina y glucosa plasmáticos median los mecanismos básicos para estabilizar los niveles de glucosa. Estos mecanismos incluyen el incremento de gluconeogénesis, reducción en la lipogénesis e incremento en la liberación de ácidos grasos no esterificados del tejido adiposo, incremento en el metabolismo y captura de ácidos grasos por parte de la mitocondria o de los hepatocitos e incremento de cetogénesis [38]. Una vez que el animal empieza con la producción de ácidos grasos o cuerpos cetónicos, estos pueden ser usados como fuentes alternativas de energía en el corazón, riñones, músculo esquelético y glándula mamaria para conservar glucosa y restaurar el equilibrio energético [39]. Sin embargo, si el organismo no es capaz de realizar las adaptaciones necesarias, este es propenso a sufrir cetosis [40]. En este sentido, la prevalencia de cetosis subclínica en las primeras 2 semanas de lactancia se vuelve una herramienta útil para la investigación de problemas en el hato, dejando la posibilidad de que el metabolismo energético periparto y la función inmunológica estén relacionadas con la descendencia genética productiva [7].

Se estima, sin embargo, la cetosis es una enfermedad multifactorial influenciada por varios genes [41], en la que los índices de heredabilidad para cetosis son bajos (0.02 a 0.06), lo que resulta en una limitante para la selección de animales genéticamente resistente a la cetosis [40]. Nuevos enfoques basados en estudios de asociación del genoma completo (GWA) han coadyuvado en la identificación de marcadores genéticos relacionados con la susceptibilidad o resistencia para cetosis. Los genes asociados con resistencia a desarrollar cetosis incluyen aquellos que codifican para proteínas relacionadas con procesos metabólicos [incluyendo la síntesis y degradación de ácidos grasos y cuerpos cetónicos], gluconeogénesis, movilización de lípidos, y el ciclo del ácido cítrico [40,42] en donde se determinó tasas de cetosis de entre el 0 al 34%, la mayor proporción de cetosis se presentó en hembras [14%] en relación al promedio en los hatos (6%) [40]. La raza puede ser otra fuente potencial para el incremento de cetosis., por ejemplo, se ha reportado que razas como la Sueca Roja y Blanca tienen un riesgo significativamente mayor que la frisona sueca para sufrir estos episodios patológicos [43].

II. Número de partos:

Las adaptaciones en animales como los bovinos destinados a la producción de leche son diferentes de acuerdo con la paridad. Por ejemplo, existe un descenso más pronunciado de la condición corporal en vacas primíparas respecto a las múltiparas lo que implica un desbalance energético más pronunciado [44]. Sin embargo, estudios a gran escala realizado en Estados y Australia señalan que las vacas múltiparas tienen 2 veces más probabilidades de desarrollar una serie de enfermedades [45].

Mediante estudios de metaanálisis, autores como [46] encontraron evidencia de un incremento en odds de cetosis clínica en vacas lecheras con tres partos o más. Adicionalmente, la edad, relacionada con el número de partos, ha sido considerada como un factor que favorece el apareamiento de la cetosis clínica [46].

III. Condición corporal al parto:

Las vacas en condiciones corporales elevadas antes de la lactancia tienen mayor riesgo de sufrir cetosis clínica y subclínica, según los resultados de los estudios la probabilidad de presentación se relaciona con la reducción del consumo de materia seca en consecuencia, el desequilibrio metabólico en estos animales sucede antes del parto, provocando una movilización excesiva de las reservas de grasa y lipodosis en el hígado, precedido de la cetosis post

amamantamiento [14,27]. Aun cuando una condición corporal alta es un buen predictor de cetosis en vacas productoras, pero fuera del periodo de lactancia, no siempre la grasa corporal y subcutánea se correlaciona con el incremento en la condición corporal ya que la lipomovilización en la lactancia prematura libera grandes cantidades de ácidos grasos [47] principalmente de los depósitos de grasa almacenados por vía subcutánea y abdominal.

Se sabe que la grasa subcutánea tiene un perfil de ácido graso más insaturado que la grasa abdominal, debido a que los niveles de saturación aumentan con la distancia desde el exterior del animal [48]. El incremento en la frecuencia de alimentación o el incremento en el volumen del alimento concentrado han demostrado reducir significativamente la presencia de cetosis en un rebaño [6].

IV. Estación del año al parto:

Las predisposiciones de cetosis estacional han sido estudiadas como factores que tiene un considerable impacto sobre el desarrollo de cetosis. Así, en el estudio de [14] y otros estudios europeos se ha establecido una relación entre la presentación de cetosis y los partos que se dan en el segundo trimestre del año [13,14,49]. En relación con los bovinos que parieron en el primer trimestre del año, estos poseían unas concentraciones más altas de β - hidroxibutirato en paralelo con el cuarto trimestre, confirmando los resultados de estudios anteriores realizados en el tiempo de invierno colocando en riesgo a desencadenar hipercetonemia [14].

V. Prevención y medidas de manejo

La gran parte de los factores de riesgo asociados e identificados como responsables de la susceptibilidad de cetosis se encuentran en incremento, por tanto, el manejo en: consumo de materia seca, del score de condición corporal, el número de partos, la duración del periodo seco y cambios en la dieta reducirían en proporción la presentación de la misma [3,6,14]. Aun cuando usualmente se sospecha y se diagnostica cetosis a partir de la segunda semana de iniciada la lactancia, es posible identificarla precozmente, esto es, en la primera semana. Valores de cetosis iguales o superiores al 10 % en cuanto a la prevalencia de cetosis clínica sugieren que se deben tomar medidas correctivas sobre las prácticas de manejo del establecimiento, así como sobre la dieta usada para la alimentación del hato lechero [1].

Teniendo en consideración los principales factores

de riesgo y las formas de presentación (clínica y subclínica) de cetosis, la prevención y el manejo se van a centrar en el aporte nutricional adecuado reajustando la ración durante el final de lactación, periodo seco y parto, así como en el establecimiento de programas de monitoreo del hato durante las primeras semanas postparto es esencial para la identificación temprana de los animales afectados. La medición de la condición corporal en el periodo parto puede ser utilizado como una guía a la hora de predecir cuándo un animal es propenso a padecer de cetosis tipo I. En base a la información que se obtiene en las investigaciones se puede sugerir la realización práctica de manejo tendientes a evitar periodos secos mayores a 60 días, adicionalmente la aplicación de prácticas alimentarias que permitan la reducción en la condición corporal de alta producción y parto en vacas multíparas, a fin de reducir la incidencia de esta enfermedad metabólica [50].

Dentro de la corrección de la administración de las dietas alimentarias el evitar los alimentos cetogénicos y aumentar la frecuencia de la alimentación con concentrados especialmente unas 3 semanas antes del parto, se ha defendido como un método preventivo [50]. Además de la adecuada nutrición, la implementación de ciertos aditivos dentro de la alimentación se han evidenciado los grandes beneficios que se dan al reducir de la cetosis subclínica de manera profilácticamente. La vitamina B3 [niacina] administrada previo al momento del parto en dosis de 6 a 12 gramos/día logra reducir los niveles sanguíneos de β HBO. El uso del propilenglicol ha tenido resultados satisfactorios en la prevención de la cetosis subclínica. la dosificación de 1 L por día vía oral en un periodo de 9 días previo al parto disminuyó β HBO y los ácidos grasos no esterificados, aumentando las concentraciones de glucosa y permitiendo la reducción de consumo diario alimentario [11,27,51].

El uso de los ionóforos se ha propuesto debido a su bajo precio, su uso como posible agente profiláctico permite la reducción de la hipercetonemia. A comparación con el propionato de sodio y el propilenglicol, los ionóforos tienen una forma más fácil de administrar. En algunos países su uso está restringido en las producciones lácteas para bovinos en tiempo de lactancia [52]. Por otro lado, el potencial que tiene el gluconeogénico de la monensina ha permitido a los investigadores identificar y ahondar en su posible papel como agente anticetogénico en la ganadería de producción lechera. [53] realizaron una descripción de los frutos beneficiosos que tiene la monensina disminuyendo la incidencia de cetosis en un hato con cuadro clínico complejos de cetosis.

En su estudio se evidenció una reducción significativa de la incidencia de síntomas subclínicos cetosis y los niveles de β HBO en sangre en las primeras 3 semanas postparto con una dosis de 30 gramos por tonelada [50,51,54].

VI: Cetosis en otras especies de interés Veterinario

I. Ovejas

La toxemia de la gestación [cetosis] es el trastorno metabólico más común en ovejas durante el último tercio de la gestación y el inicio de la lactancia. Ocurre con frecuencia en las últimas 4- 6 semanas del periodo de gestación, lo que provoca considerables pérdidas económicas debido a una alta tasa de mortalidad en ovejas preñadas, siendo más prevalente en aquellas que llevan dos o más corderos en el útero o en ovejas con una condición corporal elevada [55]. A medida que la gestación avanza, las demandas energéticas del feto aumentan, al mismo tiempo, la capacidad y funcionalidad del rumen de la oveja se reduce, ya que el feto en desarrollo ocupa más espacio en el útero, dejando menos espacio para el rumen [56]. Estas alteraciones impiden que la oveja obtenga suficiente energía de su dieta. Como resultado, para obtener energía para las funciones fetales, las ovejas oxidarán las reservas del tejido adiposo, liberando cuerpos cetónicos en el torrente sanguíneo. Cuando esto ocurre de manera rápida, el organismo de la oveja no podrá eliminar los cuerpos cetónicos lo suficientemente rápido, acumulando cuerpos cetónicos [toxemia de la gestación] en diferentes tejidos [55].

La cetosis puede ocurrir si la oveja tiene una condición corporal elevada porque la grasa ocupa espacio dentro de la oveja, dejando menos área para que el rumen contenga alimento. Además, existen otras circunstancias que impiden la correcta ingesta de alimento, como cambios climáticos, transporte o enfermedades, que pueden causar este trastorno metabólico [57].

Los síntomas clínicos en la oveja afectada incluyen un retraso en el crecimiento con respecto al resto del rebaño, depresión, anorexia parcial e incapacidad para moverse. Pueden llegar a estar postradas dentro de 2-4 días después de notar los signos clínicos. Otros síntomas importantes incluyen rechinar de dientes, ceguera aparente, temblores musculares, taquipnea, estreñimiento, reducción de la motilidad ruminal, aliento con olor afrutado o sudor y edema de las extremidades distales. Con el tiempo, pueden volverse notablemente deprimidas hasta entrar en coma, mostrar presión de cabeza o mirar fijamente,

incapacidad para levantarse, deshidratación y atonía ruminal completa [58].

Si se diagnostica la toxemia de la gestación en las etapas iniciales, el tratamiento médico puede ser exitoso [59], mientras que el tratamiento en casos avanzados generalmente no tiene éxito [60]. Revisar la prevalencia de la toxemia de la gestación en las ovejas es crucial para reconocer y evitar la situación predisponente, prevenir y controlar la ocurrencia de la enfermedad, así como evitar pérdidas en la producción [61].

II. Cabras

Al igual que las ovejas, las cabras corren el riesgo de desarrollar la toxemia de la gestación, una condición metabólica que ocurre en dos etapas, una al final de la gestación [toxemia de la gestación] y la otra durante el inicio de la lactancia [cetosis de lactancia] [62]. La toxemia de la gestación es más común en las cabras que la cetosis de lactancia [62]. La toxemia de la gestación se desarrolla solo en las últimas etapas de la gestación y en casi todos los casos, las cabras llevan gestaciones múltiples [63]. La cetosis subclínica se define como una alta concentración de cuerpos cetónicos en suero sin signos clínicos observados [64]. Sin embargo, aún no se ha establecido un valor de referencia para el BHBO en las cabras, pero se puede considerar el valor de referencia de las ovejas [62]. La cetosis subclínica puede causar pérdidas económicas al disminuir la producción de leche, por mortalidad fetal y la muerte de las cabras si progresa a cetosis clínica [65].

III. Camélidos sudamericanos

La toxemia de la gestación se produce en los rumiantes debido al desequilibrio energético negativo, lo que provoca movilización de lípidos, lipodosis hepática y cetosis [66]. Sin embargo, los camélidos son ligeramente diferentes desde el punto de vista digestivo y metabólico: la glucemia es más alta y los cuerpos cetónicos son más bajos en comparación con los rumiantes. Por último, no está del todo claro en qué medida los camélidos dependen de la cetogénesis para mantener el metabolismo energético [67].

La toxemia de la gestación es una enfermedad poco común en los camélidos y a menudo es secundaria a otras enfermedades. La ingesta insuficiente de energía durante el último tercio de gestación generalmente es responsable del aumento de la movilización de grasas corporales, la lipodosis hepática y la cetonemia [68].

Se puede obtener evidencia indirecta del trastorno lipídico mediante la medición de la función hepática.

Los camélidos con alguna de los siguientes analitos se pueden determinar trastornos hepáticos relacionados con la cetosis, como son el gamma-glutamyl transaminasa (GGT) mayor de 60 UI/L, el aspartato aminotransferasa (AST) mayor de 500 UI/L, el sorbitol deshidrogenasa (SDH) mayor de 50 UI/L, NEFA mayor de 1 mEq/L, BHBO mayor de 5 mg/dL, ácidos biliares mayores de 30 mg/dL, deben considerarse de alto riesgo de producir una cetosis [69]. Se puede obtener evidencia directa de lipodosis hepática mediante una biopsia, pero ocasionalmente los camélidos gravemente afectados mueren durante o poco después de este procedimiento. En la necropsia, la lipodosis macroscópica también puede ser visible [70].

Algunos autores informan que el metabolismo lipídico patológico está asociado con la toxemia de la gestación debido a la movilización del tejido adiposo; sin embargo, otros estudios indican que solo un tercio de los camélidos afectados muestran aumento de los triglicéridos séricos, lo que representa una determinación de baja sensibilidad [67]. Un mejor manejo alimentario para las alpacas preñadas podría ser útil para prevenir la ingesta insuficiente de energía, la movilización de grasas y la toxemia de la gestación. Asegurar a los animales una alimentación de buena calidad, considerar la jerarquía y proporcionar un fácil acceso al alimento para los animales menos dominantes podría representar una estrategia fácil de implementar a nivel de la granja, junto con el control de otras enfermedades que pueden afectar la condición corporal de los animales [70].

4. CONCLUSIONES

En conclusión, la cetosis es una enfermedad multifactorial causada por un desbalance energético. Aun cuando existen diversos tipos de cetosis de acuerdo con el sistema que se utilice para clasificarla, esta se caracteriza por afectar a hembras durante la preñez o en épocas de lactancia. Existen diversas aproximaciones diagnósticas que pueden ser empleadas para una detección oportuno, especialmente de la cetosis subclínica. Así mismo, nuevas tecnologías basadas en secuenciación de genomas completos, ha permitido inferir la existencia de genes que puede ser seleccionados para obtener animales más resistentes a la cetosis. Finalmente, aun cuando la cetosis ha sido tradicionalmente estudiada en ganado vacuno, la presente revisión bibliográfica demuestra que la cetosis es una patología común para muchas especies animales. En estas circunstancias, más investigaciones serán necesarias para establecer mejores planes de manejo que eviten pérdidas en la

producción manteniendo el bienestar animal.

5. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo con el apoyo del Grupo de Investigación en Ciencias Veterinarias – GICV de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

6. CONFLICTO DE INTERESES

Ninguna.

7. CONTRIBUCIONES DE AUTOR

T.D.E, S.V. M.F.N y A.C hicieron contribuciones igualitarias para el desarrollo de la presente investigación.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Oetzel GR. Monitoring and testing dairy herds for metabolic disease. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 2004; 20[3]:651-74.
- Zhang G, Ametaj BN. Ketosis an Old Story Under a New Approach. *Journal Dairy Science*. 2020;1[1]:42-60.
- Saborío-Monteri A, Sánchez JM. Prevalencia y factores DE RIESGO relacionados con la cetosis clínica y subclínica tipo I y II en un hato de vacas Jersey en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 2013;37[2]:17-9.
- Grummer RR. Nutritional and management strategies for the prevention of fatty liver in dairy cattle. *Veterinary Journal*. 2008;176[1]:10-20.
- Knowlton KF, Dawson TE, Glenn BP, Huntington GB, Erdman RA. Glucose Metabolism and Milk Yield of Cows Infused Abomasally or Ruminally with Starch. *Journal Dairy Science*. 1998;81[12]:3248-58.
- Gordon JL, LeBlanc SJ, Duffield TF. Ketosis treatment in lactating dairy cattle. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*. 2013;29[2], 433-445.
- Duffield T. Subclinical ketosis in lactating dairy cattle. *Metabolic disorders of ruminants*. 2000;16[2]:1-23.
- Djokovic R, Ilic Z, Kurcubic V, Petrovic M, Cincovic M, Petrovic M, et al. Diagnosis of subclinical ketosis in dairy cows. *Biotechnology in Animal Husbandry*. 2019;35[2]:111- 25.
- David Baird G. Primary Ketosis in the High-Producing Dairy Cow: Clinical and Subclinical Disorders, Treatment, Prevention, and Outlook. *Journal of Dairy Science*. 1982;65[1]:1-10.
- David Baird G, Lomax MA, Symonds HW, Shaw SR. Net Hepatic and Splanchnic Metabolism of Lactate, Pyruvate and Propionate in Dairy Cows in vivo in Relation to Lactation and Nutrient Supply. *The Biochemical journal*. 1980;186[1], 47-57
- McArt JAA, Nydam D V, Oetzel GR. Epidemiology of subclinical ketosis in early lactation dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 2012;95[9]:5056-66.
- Berge AC, Vertenten G. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds. *Journal Dairy Science*. 2014;97[4]:2145-54.
- Suthar VS, Canelas-Raposo J, Deniz A, Heuwieser W. Prevalence of subclinical ketosis and relationships with postpartum diseases in European dairy cows. *Journal Dairy Science*. 2013;96[5]:2925-38.
- Vanholder T, Papen J, Bemers R, Vertenten G, Berge ACB. Risk factors for subclinical and clinical ketosis and association with production parameters in dairy cows in the Netherlands. *Journal Dairy Science*. 2015;98[2]:880-8.
- Brunner N, Groeger S, Canelas Raposo J, Bruckmaier RM, Gross JJ. Prevalence of subclinical ketosis and production diseases in dairy cows in Central and South America, Africa, Asia, Australia, New Zealand, and Eastern Europe. *Translation Animal Science*. 2019;3[1]:102-12.
- Galligan D. Economic assessment of animal health performance. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 2006;22[1]:207-27.
- Dijkhuizen AA, Morris RS. *Animal Health Economics principles and applications*. Sydney: University of Sydney. 1997. 310 p.
- Gohary K, Overton MW, Massow M Von, Leblanc SJ, Lissemore KD, Duffield TF. The cost of a case of subclinical ketosis in Canadian dairy herds. *The Canadian veterinary journal*. 2016;57[7]:728-732.
- Cainzos JM, Andreu-Vazquez C, Guadagnini M, Rijpert-Duvivier A, Duffield T. A systematic re-








- view of the cost of ketosis in dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 2022;105[7]:6175–95.
20. Ettema JF, Krogh MA, Østergaard S, Crowe M, McLoughlin N, Fahey A, et al. Economic value of information from an alert system on physiological imbalance in fresh cows. *Preventive veterinary medicine*. 2020;181.
 21. Liang D, Arnold LM, Stowe CJ, Harmon RJ, Bewley JM. Estimating US dairy clinical disease costs with a stochastic simulation model. *Journal Dairy Science*. 2017;100[2]:1472–86.
 22. Steeneveld W, Amuta P, van Soest FJS, Jorritsma R, Hogeveen H. Estimating the combined costs of clinical and subclinical ketosis in dairy cows. *PLoS One*. 2020;15[4].
 23. Duffield TF, Lissemore KD, McBride BW, Leslie KE. Impact of hyperketonemia in early lactation dairy cows on health and production. *Journal Dairy Science*. 2009;92[2]:571–80.
 24. Ospina PA, Nydam D V., Stokol T, Overton TR. Evaluation of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in transition dairy cattle in the northeastern United States: Critical thresholds for prediction of clinical diseases. *Journal Dairy Science*. 2010;93[2]:546–54.
 25. Chapinal N, Carson M, Duffield TF, Capel M, Godden S, Overton M, et al. The association of serum metabolites with clinical disease during the transition period. *Journal Dairy Science*. 2011;94[10]:4897–903.
 26. Roberts T, Chapinal N, LeBlanc SJ, Kelton DF, Dubuc J, Duffield TF. Metabolic parameters in transition cows as indicators for early-lactation culling risk. *Journal Dairy Science*. 2012;95[6]:3057–63.
 27. McArt JAA, Nydam D V., Overton MW. Hyperketonemia in early lactation dairy cattle: A deterministic estimate of component and total cost per case. *Journal Dairy Science*. 2015;98[3]:2043–54.
 28. Tyopponen J, Kauppinen K. The stability and automatic determination of ketone bodies in blood samples taken in field conditions. *Acta veterinaria Scandinavica*. 1980;21[1], 55–61.
 29. Iwersen M, Falkenberg U, Voigtsberger R, Fordeurung D, Heuwieser W. Evaluation of an electronic cowside test to detect subclinical ketosis in dairy cows. *Journal Dairy Science*. 2009;92[6]:2618–24.
 30. Andersson L. Metabolic Diseases of Ruminant Livestock Subclinical Ketosis in Dairy Cows. *Veterinary Clinics of North America. Food Animal Practice*. 1980;4[2]:233-251.
 31. Hansen PW. Screening of dairy cows for ketosis by use of infrared spectroscopy and multivariate calibration. *Journal Dairy Science*. 1999;82[9]:2005–10.
 32. Larsen T, Nielsen NI. Fluorometric determination of β -hydroxybutyrate in milk and blood plasma. *Journal Dairy Science*. 2005;88[6]:2004–9.
 33. Zhang Z, Liu G, Wang H, Li X, Wang Z. Pakistan Veterinary Journal Detection of Subclinical Ketosis in Dairy Cows. *Pakistan Veterinary Journal*. 2012;32[2]:156-160.
 34. Klein MS, Almstetter MF, Schlamberger G, Nürnberger N, Dettmer K, Oefner PJ, et al. Nuclear magnetic resonance and mass spectrometry-based milk metabolomics in dairy cows during early and late lactation. *Journal Dairy Science*. 2010;93[4]:1539–50.
 35. Elitok B, Solak M, Kabu M, Elitok ÖM, Söylemez Z, Fıstık T. Clinical, Haematological, Serum Biochemical and Cytogenetic Study in Cows with Primary Ketosis. *Pakistan Veterinary Journal*. 2010;30[3]:150-154.
 36. Jenkins NT, Peña G, Risco C, Barbosa CC, Vieira-Neto A, Galvão KN. Article Utility of inline milk fat and protein ratio to diagnose subclinical ketosis and to assign propylene glycol treatment in lactating dairy cows. *The Canadian veterinary journal = La revue veterinaire Canadienne*. 2015;56[8]:850–854.
 37. Chládek G. The importance of monitoring changes in milk fat to protein ratio in Holstein cows during lactation. *Journal Central European Agriculture*. 2005;6[4]:539-546.
 38. Herdt TH. Ruminant adaptation to negative energy balance Influences on the Etiology of Ketosis and Fatty Liver. *The Veterinary clinics of North America. Food animal practice*. 2000;16[2], 215–v.
 39. Schäff C, Börner S, Hacke S, Kautzsch U, Sauerwein H, Spachmann SK, et al. Increased muscle fatty acid oxidation in dairy cows with intensive body fat mobilization during early lactation. *Journal Dairy Science*. 2013;96[10]:6449–60.
 40. Kroezen V, Schenkel FS, Miglior F, Baes CF, Squires EJ. Candidate gene association analyses for ketosis resistance in Holsteins. *Journal Dairy Science*. 2018;101[6]:5240–9.
 41. Zwald NR, Weigel KA, Chang YM, Welper RD, Clay JS. Genetic selection for health traits using producer-recorded data. I. Incidence rates, heri-

- tability estimates, and sire breeding values. *Journal Dairy Science*. 2004;87[12]:4287-94.
42. Dohoo IR, Martin SW. Subclinical Ketosis: Prevalence and Associations with Production and Disease. *Canadian journal of comparative medicine: Revue canadienne de medecine compare*. 1984; 48[1]:1-5.
 43. Andersson L, Emanuelson U. An epidemiological study of hyperketonaemia in swedish dairy cows; determinants and the relation to fertility. *Preventive Veterinary Medicine*. 1985;3[5]:449-462.
 44. Meikle A, Kulcsar M, Chilliard Y, Febel H, Delavaud C, Cavestany D, et al. Effects of parity and body condition at parturition on endocrine and reproductive parameters of the cow. *Reproduction [Cambridge, England]*. 2004;127[6]:727-37.
 45. Golder HM, McGrath J, Lean IJ. Effect of 25-hydroxyvitamin D3 during prepartum transition and lactation on production, reproduction, and health of lactating dairy cows. *Journal Dairy Science*. 2021;104[5]:5345-74.
 46. Lean IJ, LeBlanc SJ, Sheedy DB, Duffield T, Santos JEP, Golder HM. Associations of parity with health disorders and blood metabolite concentrations in Holstein cows in different production systems. *Journal Dairy Science*. 2023;106[1]:500-18.
 47. Drackley JK, Overton TR, Douglas GN. Adaptations of Glucose and Long-Chain Fatty Acid Metabolism in Liver of Dairy Cows during the Periparturient Period. *Journal Dairy Science*. 200;84: E100-12.
 48. Hostens M, Fievez V, Leroy JLMR, Van Ranst J, Vlaeminck B, Opsomer G. The fatty acid profile of subcutaneous and abdominal fat in dairy cows with left displacement of the abomasum. *Journal Dairy Science*. 2012;95[7]:3756-65.
 49. Berge AC, Vertenten G. A field study to determine the prevalence, dairy herd management systems, and fresh cow clinical conditions associated with ketosis in western European dairy herds. *Journal Dairy Science*. 2014;97[4]:2145-54.
 50. Cainzos JM, Andreu-Vazquez C, Guadagnini M, Rijpert-Duvivier A, Duffield T. A systematic review of the cost of ketosis in dairy cattle. *Journal Dairy Science*. 2022;105[7]:6175-95.
 51. McArt JAA, Nydam D V., Ospina PA, Oetzel GR. A field trial on the effect of propylene glycol on milk yield and resolution of ketosis in fresh cows diagnosed with subclinical ketosis. *Journal Dairy Science*. 2011;94[12]:6011-20.
 52. Manuel Pinos Rodríguez Médico Veterinario Zootecnista J, Doctor en Cien- M, Potosí Dirección L, del Llano F, Segundo González Muñoz S, Pinos Rodríguez Sergio S González Muñoz. *Interciencia*. 2000;20.
 53. Duffield TF, Sandals D, Leslie KE, Lissemore K, McBride BW, Lumsden JH, et al. Efficacy of Monensin for the Prevention of Subclinical Ketosis in Lactating Dairy Cows. *Journal Dairy Science*. 1998;81[11]:2866-73.
 54. Mammi LME, Guadagnini M, Mechor G, Cainzos JM, Fusaro I, Palmonari A. The use of monensin for ketosis prevention in dairy cows during the transition period: A systematic review. *Animals*. 2021; 11[7].
 55. Sathish, KB. Incidence, diagnosis and treatment of pregnancy toxemia in Hassan sheep. *The Pharma Innovation Journal*. 2023; 12[5]: 3708-3713
 56. Bickhardt K, Grocholl G, König G. Glucose metabolism in different reproductive stages of sheep and with ketosis using the intravenous glucose tolerance test. *Zentralblatt Veterinarmedizin Reihe A*. 1989;36[7]:514-529.
 57. Freetly H, Ferrell C. Net flux of glucose, lactate, volatile fatty acids, and nitrogen metabolites across the portal drained viscera and liver of pregnant ewes. *Journal of Animal Science*. 1998; 76:3133-3145.
 58. Rook JS. Pregnancy toxemia of ewes, does, and beef cows. *Veterinary Clinics of North American Food Animal Practice*. 2000; 16:293-317.
 59. Sargison ND. Pregnancy toxemia. In: *Diseases of Sheep*. Edt. Aitken, ID, Edn. 4th. Blackwell Publishing; 2007; 359-362.
 60. Marteniuk JV, Herdt TH. Pregnancy toxemia and ketosis of ewes and does. *Veterinary Clinics of North American Food Animal Practice*. 1988;4[2]:307-315.
 61. Pereira R, Schmitt E, Schneider A, Del Pino FAB, Corrêa MN. Adaptação metabólica em ovelhas gestantes e não gestantes submetidas ao teste de tolerância à glicose. In: *Anais do XIX Congresso de Iniciação Científica, Núcleo de Pesquisa, Ensino e Extensão em Pecuária, Universidade, Federal de Pelotas, Pelotas RS*, 2010.
 62. Albay MK, Karakurum MC, Sahinduran S, Sezer K, Yildiz R, Buyukoglu T. Selected serum biochemical parameters and acute phase protein

- level in a herd of Saanen goats showing signs of pregnancy toxemia. *Vet Med.* 2014; 7:336-342.
63. Bostedt H, Hamadeh ME. The significance of pregnancy-induced ketonuria in sheep and goats. *Tierarztl Prax.* 1990; 18:125-129.
 64. Dore V, Dubuc J, Belanger AM, Buczinski S. Evaluation of the accuracy of an electronic farm test to quantify blood β -hydroxybutyrate concentration in dairy goats. *J Dairy Sci.* 2013; 96:4505-4507.
 65. Gupta VK, Kumar A, Vihan VS, Sharma SD. Alteration in biochemical parameters in subclinical ketosis in goats. *Indian Vet J.* 2008; 85:1234-1236.
 66. Tornquist SJ, Van Saun RJ, Smith BB, Cebra CK, Snyder SP. Hepatic lipidosis in llamas and alpacas: 31 cases [1991-1997]. *J Am Vet Med Assoc.* 1999;214[9]:1368- 1372.
 67. Anderson DE, Constable PD, Yvorchuk KE, Anderson NV, St-Jean G, Rock L. Hyperlipemia and ketonuria in an Alpaca and a Llama. *J Vet Intern Med.* 1994;8[3]:207- 211.
 68. Seeger T, Walter J. Ketosis and hyperlipemia in a female alpaca. A case reports. *Tierarztl Prax Ausg G Grosstiere Nutztiere.* 2008; 36:333-337.
 69. Waitt LH, Cebra CK. Characterization of hypertriglyceridemia and response to treatment with insulin in llamas and alpacas: 31 cases [1995-2005]. *Journal of the American Veterinary Medical Association.* 2008;232[9]:1362-1367.
 70. Sylla L, Crociati M. Pregnancy toxemia and lipid mobilization syndrome in two alpacas [Vicugna pacos] at 6 and 10 months of gestation. *Large Animal Review.* 2020;26[6]:317-320.

LESIONES PULMONARES EN CERDOS DE DIFERENTES CENTROS DE FAENAMIENTO DE LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO: ESTUDIO DE CASO

PULMONARY LESIONS IN PIGS FROM DIFFERENT SLAUGHTERHOUSES OF CHIMBORAZO: A CASE STUDY

	³ Cushpa Pilco Estefany Alexandra	estefanycushpa2001@hotmail.com
	¹ Portilla Merchán Samantha Juliana	samantha.portilla@esPOCH.edu.ec
	³ Taípe Cuñas Madheleine Dayana	Dayanitaípe19@gmail.com
	³ Tiama Ilbay Jordan Alexis	alexisilbay7@gmail.com
	² Campoverde Santos Diana Katherine	diana.campoverde@esPOCH.edu.ec
	^{1,2} Suárez Usbeck Andrés Esteban	andres.suarez@esPOCH.edu.ec
	¹ Vinueza Veloz Pamela *	pamela.vinueza@esPOCH.edu.ec

¹ Grupo de Investigación en Ciencias Veterinarias – GICV.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo – ESPOCH; Investigador Independiente.

³ Investigador Independiente.

E-mail: * gicv@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

La susceptibilidad a contraer algún tipo de enfermedad a nivel respiratorio en los cerdos puede ser multifactorial. En este sentido, aspectos como nutrición, ambiente, edad y forma de manejo son los principales factores a considerar. La presentación de patologías respiratorias en el cerdo tiene gran repercusión a nivel productivo y económico, lo que se puede prevenir aplicando normas de bienestar y bioseguridad. El presente estudio tuvo como objetivo analizar las enfermedades respiratorias en cerdos mediante la exploración macroscópica de pulmones obtenidos en los camales de la provincia de Chimborazo. Para ello, se seleccionó al azar 45 pulmones obtenidos de cerdos sacrificados para el consumo humano provenientes de mataderos de la ciudad de Riobamba, Alausí, Colta, Chunchi que fueron posteriormente analizados en el Laboratorio de Microbiología de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Tras el análisis macroscópico se encontraron varias patologías pulmonares compatibles con neumonía intersticial, neumonía bacteriana y neumonía viral causada por el circovirus porcino. Estas enfermedades respiratorias pueden tener un impacto negativo en la producción porcina y resultar en pérdidas económicas significativas. La identificación precisa de las patologías encontradas en los pulmones de los cerdos es fundamental para implementar medidas de control y prevención adecuadas en los mataderos de la provincia de Chimborazo. El conocimiento de estas enfermedades permitirá tomar acciones específicas

para mejorar la salud y bienestar de los cerdos, así como garantizar la calidad de la carne producida en la región.

Palabras clave: *Cerdos, enfermedades, lesiones, pulmones, post - mortem.*

ABSTRACT:

Susceptibility to respiratory disease in pigs will be multifactorial. Therefore, aspects such as nutrition, environment, age, and management are the main factors to be considered. The presentation of respiratory pathology in fattening will have a great repercussion at productive and economic level, which can be prevented by applying welfare and biosecurity standards. For this purpose, 45 lungs from pigs slaughtered for human consumption in the cities of Riobamba, Alausí, Colta, and Chunchi were randomly selected and analyzed at The Laboratory of Microbiology at Escuela Superior Polytechnical de Chimborazo. After macroscopic analysis, several lung pathologies compatible with interstitial pneumonia, bacterial pneumonia, and viral pneumonia caused by porcine circovirus were found. These respiratory diseases can have a negative impact on pig production and result in significant economic losses. The precise identification of the pathologies found in pig lungs

is essential to implement appropriate control and prevention measures in the porcine sector of the province of Chimborazo. Knowledge of these diseases will allow for specific actions to improve the health and well-being of pigs, as well as to ensure the quality of the meat produced in the region. The study was carried out in the province of Chimborazo, in the city of Riobamba, where five lungs of pigs from slaughterhouses in the city of Riobamba were selected. The objective was to analyze the exponential respiratory diseases in pigs through the use and exploration of lungs obtained from pig farms.

The lungs were obtained from animals slaughtered for human consumption and presented different macroscopic characteristics. The result of the macroscopic analysis showed several pulmonary pathologies, such as interstitial pneumonia, bacterial pneumonia and viral pneumonia caused by swine circovirus. These respiratory diseases can have a negative impact on swine production and result in significant economic losses.

The precise identification of the pathologies found in pig lungs is fundamental to implement adequate control and prevention measures in the slaughterhouses of the province of Chimborazo. Knowledge of these diseases will allow specific actions to be taken to improve the health and welfare of pigs, as well as to guarantee the quality of the meat produced in the region.

Keywords: *Pigs, diseases, pneumonia, lungs, disease.*

1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades en los cerdos tienen gran impacto en el sector porcino debido a que su presencia repercute de forma variable sobre el rendimiento productivo y afectan los costes de producción [1-3]. De todas las patologías que afectan a los porcinos, las de carácter pulmonar son de gran importancia debido a que pueden ocurrir en cualquier etapa de vida causando problemas en el crecimiento y engorde de los cerdos [2].

El correcto funcionamiento fisiológico del aparato respiratorio en los cerdos está fuertemente influenciado por interacciones entre los agentes infecciosos, el ambiente, la forma de manejo y el estado inmunológico de los animales [3]. La combinación de estos factores desempeña un rol fundamental en mantener un equilibrio sanitario que garantice una buena salud y evite la aparición de

patologías respiratorias [4]. Por otro lado, la alteración de estos factores contribuye a la presentación de trastornos respiratorios, relacionados con una baja producción con las consiguientes pérdidas económicas e incluso causando la muerte de los animales [5]. Por otro lado, la evaluación de pulmones en centros de faenamiento permite determinar la prevalencia de las enfermedades respiratorias más comunes, lo que puede ayudar al desarrollo de un programa sanitario porcino y, por lo tanto, a la prevención de este tipo de patologías [1- 3]. Este tipo de evaluación se realiza en cerdos que han sido sacrificados o que han fallecido debido a enfermedades o condiciones desconocidas [7]. En particular, durante la inspección macroscópica de los pulmones de cerdos, se examina visualmente el pulmón para detectar anomalías, lesiones, inflamaciones o cualquier otro signo de enfermedad [3,5]. De todas las lesiones que se pueden encontrar en pulmones de cerdos en centros de faenamiento, los dos tipos de lesiones más prevalentemente observadas son la consolidación pulmonar cráneo ventral y la pleuritis, principalmente en los lóbulos caudales [8].

La inspección macroscópica en los centros de faenamiento constituye una técnica diagnóstica precisa, que permite obtener información para llegar a un diagnóstico final utilizando pruebas específicas complementarias [9]. A su vez, la información proporcionada por los métodos de diagnóstico descritos, se podrán utilizar para aplicar protocolos de tratamiento adecuados y desarrollar programas preventivos [9]. Dado que tradicionalmente se ha dado poca importancia al reporte de las patologías respiratorias porcinas, este artículo tiene como objetivo evaluar las enfermedades respiratorias en cerdos mediante la exploración macroscópica de pulmones obtenidos en los camales de la provincia de Chimborazo.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestras

El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Pecuarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Se recolectaron al azar 45 pulmones de cerdos de diferentes centros de faenamientos (Riobamba, Alausí, Colta, Chunchi) de la Provincia de Chimborazo.

2.2 Examen macroscópico

La evaluación macroscópica de los pulmones de cerdo con lesiones patológicas se realizó mediante la

inspección visual de las muestras. La evaluación del tejido pulmonar se realizó por un médico veterinario utilizando el esquema utilizado y propuesto por Madec y Derrien

[10] para evaluar las lesiones internas. Cada lóbulo pulmonar fue puntuado individualmente. Las puntuaciones fueron marcadas como: 0 (sin lesiones), 1 (afectación del 1 al 25% de los lóbulos pulmonares), 2 (afectación del 26 al 50%), 3 (afectación del 51 al 75%) y 4 (afectación del 76 al 100%). También se estimó el porcentaje de la superficie total de los pulmones afectados y se realizaron incisiones utilizando un bisturí y pinzas quirúrgicas sobre las lesiones para una mejor observación.

La pleuritis o lesiones externas fueron puntuadas utilizando una versión modificada del Sistema de Evaluación de Pleuritis en Centros de Faenamiento (SPES), desarrollado por Dottori et al. [11]. Las puntuaciones fueron marcadas como: 0 (sin pleuritis), 1 (lesiones focales en un lóbulo), 2 (adherencias bilaterales o adherencias unilaterales) y 3 (lesiones extensas).

2.3 Análisis estadístico

Se realizó una estadística descriptiva, y, en el caso de la EPP, se calculó medidas de tendencia central

(media y mediana) y medidas de dispersión como la desviación estándar (DE). Al no cumplir la normalidad, y con el objetivo de examinar el % de pulmón afectado, se aplicaron técnicas estadísticas no paramétricos. Específicamente, las medias del % de pulmón afectado, fueron comparadas por el método Kruskal-Wallis para verificar si existen diferencias significativas respecto a los diferentes camales y a la pleuritis presente. Adicionalmente, estos datos también fueron analizados mediante la prueba Chi Cuadrado de Pearson y la prueba Chi Cuadrado de máxima verosimilitud G2. Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico SPSS v. 26.

3. RESULTADOS

De los 45 pulmones recolectados de diferentes centros de faenamiento de la provincia de Chimborazo, 33 pulmones presentaron lesiones patológicas. La prevalencia de las lesiones pulmonares, por lo tanto, fue del 73,3% con una media de 17.3% de lesiones de consolidación lobular. Las lesiones de tipo 3 fueron las más prevalentes del estudio y hubo un 5% de pleuritis con la mayor presencia de lesiones focales en un solo lóbulo con el 22% (Tabla 1-4). Las Tablas 1 a 4 presentan lesiones anatomopatológicas representativas examinadas en la presente investigación.

Tabla 1. Resultados del pulmón 1


Descripción	
<p>Los pulmones presentaron pequeñas estructuras circulares que cubrían su superficie, siendo el pulmón derecho más afectado que el izquierdo. Se determinó que el daño fue causado por una neumonía 5 intersticial, probablemente debido a un virus que se diseminó por la circulación sanguínea, concluye que hubo una coinfección viral y bacteriana, donde ambos patógenos contribuyeron a la gravedad de la enfermedad respiratoria, causando complicaciones secundarias y afectando la función respiratoria del animal en vida.</p>	

Tabla 2. Resultados de Pulmón 2

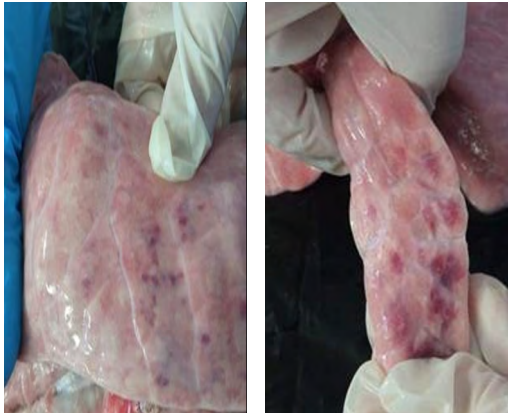
<p>Descripción</p> <p>Se encontró un pulmón con coloración pálida y dispersa coloración rojiza entre los nódulos, indicando la presencia de neumonía viral intersticial causada por <i>Circovirus porcino</i>. También se observaron petequias hemorrágicas y manchas difusas debido al avance crónico de la enfermedad. En los cortes internos se evidenció inflamación con exudado de apariencia líquida rojiza similar a la sangre. Además, en los lóbulos accesorios se identificaron lesiones de color rojizo, lo que indica la progresión crónica de la neumonía por <i>circovirus porcino</i>.</p>	
--	--

Tabla 3. Resultados de Pulmón 3



<p>Descripción</p> <p>Se encontraron evidencias de neumonía bacteriana causada por <i>Mycoplasma hyopneumoniae</i>, con lesiones en el tejido intersticial y celular que presentan un patrón similar a un tablero de ajedrez. También se observó pleuritis debido al brillo del pulmón, y los lóbulos accesorios craneales presentan lesiones focales. Durante la incisión en el pulmón, se observó la presencia de pus causada por <i>Arcanobacterium pyogenes</i>. Además, al realizar un corte longitudinal en la tráquea se evidenció brillo y presencia de moco, indicando la presencia de una infección bacteriana.</p>	
--	---

Tabla 4. Resultados de Pulmón 4

<p>Descripción</p> <p>El pulmón exhibe un brillo liso, con crepitación en su parte caudal. El pulmón derecho muestra una coloración rojiza oscura, mientras que el pulmón izquierdo presenta un tono rojizo pálido, y en ambos casos la coloración no es uniforme, presentando variaciones tonales. Durante el examen y los cortes realizados se observaron lesiones fibrinopurulentas y hemorragias a nivel alveolar, indicativas de una infección bacteriana. Según los signos encontrados en el análisis pulmonar, se concluye que se trata de una infección causada por <i>Actinobacillus pleuropneumoniae</i>.</p>	
--	--

Respecto a diferencias estadísticamente significativas entre el % de pulmón afectado y el camal, no se detectaron diferencias significativas ($P=0.31$), siendo el porcentaje el mismo resultado en todos los cerdos de los diferentes camales de la provincia de Chimborazo (Figura 1).

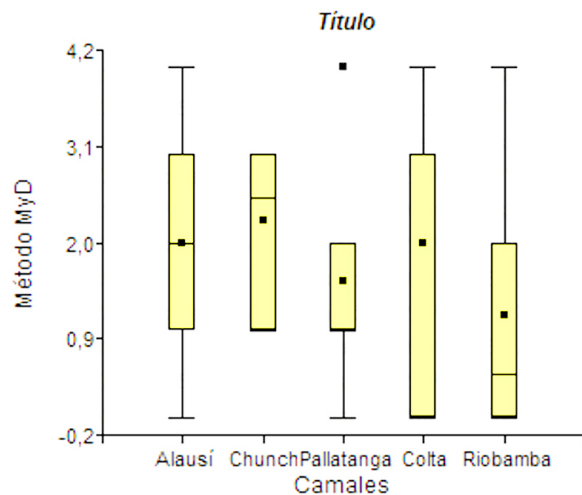


Figura 1. Pulmones afectados en los diferentes centros de faenamiento de la provincia de Chimborazo.

Basándose en los resultados de la prueba de Kruskal-Wallis, se identificó una diferencia estadísticamente significativa en el porcentaje de afectación pulmonar entre los puntajes de Pleuritis ($P<0.005$). El análisis post-hoc reveló que el grupo tratado con el 0 tuvo una afectación pulmonar significativamente menor que los tratados con el método 1, sin embargo, no se encontró una diferencia significativa entre los métodos 0 y 2. Además, los grupos tratados con los métodos 1 y 2 no mostraron diferencias significativas entre sí. Esto sugiere que la selección del método de pleuritis puede tener un impacto significativo en la extensión de la afectación pulmonar (Figura 2).

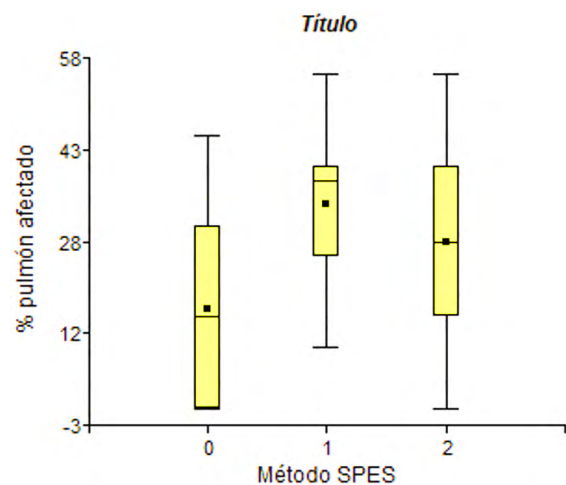


Figura 2. Eficacia del método de evaluación de pleuritis (SPES) en pulmones afectados.

En cuanto a las lesiones internas de los lóbulos pulmonares, se identificaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de afectación pulmonar entre al menos dos de los grupos de tratamiento ($P<0,001$). En el análisis post-hoc, el grupo tratado con el método 0 demostró tener una afectación pulmonar significativamente menor en comparación con los otros grupos. No se encontraron diferencias significativas entre el método 1 y los métodos 0, 2 y 4. Asimismo, aunque los métodos 2, 4 y 3 no presentaron diferencias significativas entre sí, sí se distinguen del método 0 y el método 3 es distinto del método 1. Estos resultados destacan la importancia de seleccionar adecuadamente el método de tratamiento para diagnosticar correctamente la afectación pulmonar (Figura 3).

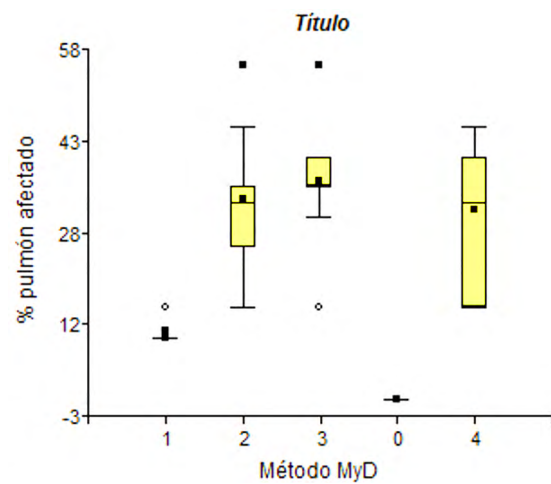


Figura 3. Eficacia del método de evaluación de consolidación lobular en pulmones afectados.

4. DISCUSIÓN

Este estudio evaluó las lesiones pulmonares de enfermedades respiratorias en cerdos de diferentes centros de faenamiento de la provincia de Chimborazo. Las lesiones se clasificaron en lesiones internas de los lóbulos pulmonares y lesiones externas o pleuritis. Nuestro enfoque resaltó que este tipo de evaluación de las lesiones pulmonares pueden proporcionar diferentes grados de información patológica.

Según el estudio realizado por Maes *et al* [8], menciona los signos clínicos que presentan disnea, se refleja en los porcinos como problema secundario a la patología principal como la neumonía, debido a patologías víricas o bacterianas, los cerdos con infecciones leves generalmente no presentan estos síntomas secundarios, pero cuando se establece el problema, existen la presencia de disnea, tos persistente, fiebre y

secreciones nasales, estos resultados coinciden con los síntomas presentados en los cerdos antes del sacrificio en los diferentes camales del estudio.

En la necropsia de pulmones con patologías respiratorias se pueden apreciar graves lesiones de consolidación pulmonar afectando los lóbulos pulmonares, y en algunos casos con material purulento [17]. La etiología encontrada en las necropsias indica la presencia de circovirus, actinobacilosis y micoplasmosis, coincidiendo con los estudios de Noriega *et al* [24] y Gerber *et al* [25]. Estas enfermedades se caracterizan por la presencia de pulmones pesados no colapsados con textura gomosa, zonas rojizas multifocales y se corresponden con diferentes grados de severidad entre los lóbulos pulmonares. Estas lesiones también son indicativas de una infección pulmonar viral [9].

La micoplasmosis comprende una serie de procesos patológicos producidos por microorganismos pertenecientes al género *Mycoplasma* [10]. Según Dottori *et al* [11], *Mycoplasma sp.* es capaz de provocar una alteración a nivel pulmonar predisponiendo a enfermedades bacterianas y víricas. En este caso, las lesiones observadas en los pulmones de diferentes centros de faenamiento de Chimborazo se caracterizaron por un cambio de color y áreas de consolidación, caracterizadas por una apariencia sólida y firme, debido al proceso inflamatorio y al acúmulo de líquido pleural, indicativos de neumonía bacteriana. Según otro estudio, donde se utilizaron muestras con lesiones pulmonares sugestivas de neumonía por *Mycoplasma sp.*, presentaron lesiones caracterizadas por áreas de coloración rosada grisácea, con áreas de atelectasia en porciones anteriores y ventrales de lóbulos pulmonares [12].

El edema pulmonar es la extravasación de líquido endotelial que inunda los alvéolos, debido a la pérdida del balance de la presión hidrostática y oncótica entre el compartimiento intravascular y el intersticial de los vasos sanguíneos pulmonares se presenta este síntoma en diversas patologías respiratorias [13]. En un estudio realizado por Segalés *et al* (15) se menciona que, macroscópicamente los pulmones edematosos son pesados, aumento de brillo, aumento de tamaño y en la superficie de corte sale un exudado. Así también, el autor menciona que los septos interlobulares se demarcan bien por el edema que los distienden, lo que concuerda con los hallazgos encontrados en las necropsias de los pulmones inspeccionados en la presente investigaciones. En otro estudio realizado por Camargo *et al* [21] se observó la presencia de espuma de grado variable en la tráquea y vías aéreas intrapulmonares, esto no concuerda con lo encontrado

en las necropsias pulmonares del presente estudio, debido, probablemente, a que el edema pulmonar no era severo.

La neumonía intersticial por el circovirus es una afección respiratoria que afecta a los cerdos y es causada por el circovirus porcino tipo 2 (PCV2). Esta enfermedad se caracteriza por provocar lesiones pulmonares y sistémicas, lo que resulta en una disminución del rendimiento productivo y una alta mortalidad en las etapas de crecimiento [18]. Según Almario *et al* [23] la circovirus porcina es una enfermedad que genera una neumonía viral y llega a afectar tanto a los cerdos jóvenes como a los cerdos adultos. En un estudio realizado por Noriega *et al* [24] se determinó que las lesiones más frecuentes fueron la neumonía intersticial seguida de otras lesiones como son coloración pálida diseminada, petequias hemorrágicas y manchas difusas, lo que, en este caso, concuerda con los hallazgos presentados en los pulmones analizados en la presente investigación. Las lesiones mencionadas, puede ser el resultado de la replicación del virus en las células del tejido pulmonar, lo que provoca inflamación e infiltración de células inflamatorias [20].

La infección por *Actinobacillus pleuropneumoniae* (App) normalmente se encuentra como parte del complejo respiratorio porcino, pero puede manifestarse como una enfermedad primaria independiente o como consecuencia de otra infección desencadenante [21]. Según Gerber y Opriessnig [25] las características macroscópicas de las lesiones pulmonares incluyen neumonía hemorrágica y necrótica en la parte dorsal de uno o ambos lóbulos diafragmáticos, acompañada de pleuritis fibrinosa. Adicionalmente, los pulmones presentan un color rojo oscuro-púrpura y tienen una consistencia firme, a menudo mostrando áreas infartadas. En las vías respiratorias superiores puede haber acumulación de una espuma sanguinolenta y también puede observarse edema interlobular [21]. En muchos casos, la cavidad torácica contiene líquido sanguinolento. En situaciones crónicas, pueden encontrarse nódulos necróticos aislados o encapsulados en los pulmones que no se resuelven completamente y se asemejan a abscesos. Además, algunas partes de los pulmones pueden adherirse a la caja torácica debido a la presencia de adherencias fibrinosas, lo que a menudo resulta en la necesidad de sacrificar al animal [22], por lo que dentro de nuestros resultados en el laboratorio de microbiología encontramos estas lesiones macroscópicas descritas en el pulmón tales como; lóbulos diafragmáticos que contenían una pleuritis fibrinosa, así como también fue notable su color rojo oscuro con una consistencia firme.

5. CONCLUSIONES

La observación detallada de los componentes del árbol respiratorio como la tráquea, los bronquios y los pulmones, permite identificar alteraciones anatómicas y funcionales que pueden indicar la presencia de enfermedades respiratorias o patologías relacionadas. Nuestro estudio tuvo la finalidad de mejorar la comprensión de las enfermedades respiratorias en cerdos que permitan mejorar su manejo y desarrollar programas sanitarios porcinos. Las lesiones patológicas pulmonares presentes en los cerdos faenados en la Provincia de Chimborazo fueron compatibles con la presencia de circovirus, actinobacilosis y micoplasmosis. Nuestros hallazgos sugieren que la industria porcina en Chimborazo podría estar sufriendo cuantiosas pérdidas económicas por la presencia de este tipo de patologías. Además, aun cuando pruebas complementarias y mayor toma de datos son necesarias para obtener más información, nuestro estudio aporta datos para el desarrollo de programas sanitarios porcinos que puedan beneficiar al productor.

6. AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo con el apoyo del Grupo de Investigación en Ciencias Veterinarias – GICV de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

7. CONFLICTOS DE INTERÉS

Ninguno.





8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Carrasco L. La necropsia en porcino. Vol. 32. 2006. p. 42–55.
- Williams JDJ, Torres-león MA, Sansor-nah R. Prevalencia, caracterización y extensión de las lesiones en pulmones de cerdos sacrificados en el rastro municipal de Mérida, Yucatán, México. 2000;11(1):25–32.
- Ambroggi A, Busso J, Carranza A, Cola D. Enfermedades y patologías de los porcinos. 2020. 77– 79 p.
- Nakov D, Hristov S, Stankovic B, Pol F, Dimitrov I, Ileski V, Mormede P, Hervé J, Terenina E, Lieubeau B, Papanastasiou DK, Bartzanas T, Norton T, Piette D, Tullo E and van Dixhoorn IDE (2019) Methodologies for Assessing Disease Tolerance in Pigs. *Front. Vet. Sci.* 5:329. doi: 10.3389/fvets.2018.00329
- Camurgo, R. Patología del aparato respiratorio bajo en cerdos de crianza comercial, casuística del laboratorio de Histología, Embriología y Patología Veterinaria – período 2000 al 2006. *Arch. Univ. Nac. May. San. Marc; Lima- Perú*, 2010.
- Morales R, Rebatta M, Lucas J, Mateo J, Ramos D. Caracterización de la crianza no tecnificada de cerdos en el parque porcino del distrito de Villa el Salvador, Lima- Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*.2015;2(1):39-8.
- Muñoz D, Ruiz A, Gonzalez M, Islas A, Diaz N, Quezada M. Estudios hematológicos y patológicos comparativos de cerdos inoculados con un aislado de campo y el serotipo 5 ATCC de *Actinobacillus pleuropneumoniae*. *Arch Med Vet.* 2010;42(1):57–65.
- Maes, D., Sibila, M., Pieters, M. et al. Review on the methodology to assess respiratory tract lesions in pigs and their production impact. *Vet Res* 54, 8 (2023). <https://doi.org/10.1186/s13567-023-01136-2>.
- Ferrer R, Navas A, Adda M, Artigas A. Papel de la coagulación en la fisiopatología de la lesión pulmonar aguda: Paralelismo con la sepsis. *Med Intensiva*. 2008;32(6):304–11.
- Madec F, Derrien M. Frequence, intensite et localisation des lesions pulmonaires chez le porc charcutier: Resultats d'une premiere serie d'observations en abattoir. *Journées de La Recherche Porcine; France*1981. p. 231–6.
- Dottori M, Nigrelli AD, Bonilauri P, Merialdi G, Gozio S, Cominotti F. Proposta per un nuovo sistema di punteggiatura delle pleuriti suine in sede di macellazione: La griglia SPES (Slaughterhouse Pleurisy Evaluation System). *Large Anim Rev.* 2007;13:161–5.
- Morales R, Rebatta M, Lucas J, Mateo J, Ramos D. Caracterización de la crianza no tecnificada de cerdos en el parque porcino del distrito de Villa el Salvador, Lima- Perú. *Salud y Tecnología Veterinaria*.2015;2(1):39-8.
- AECID, editor. Principales enfermedades de los cerdos. Vol. 3. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); 2010.
- 3tres3.com. Neumonía intersticial - Atlas de patología. Comunidad Profesional Porcina. 2000.
- Lobo E. *Mycoplasma hyopneumoniae* y su relación con los procesos respiratorios del cerdo

- (*Mycoplasma hyopneumoniae* and its relation with the respiratory processes in swine). *Redvet*. 2005;(7):112-27
16. Mendoza SD. La neumonía micoplásmica en los sistemas de producción porcina tecnificada. La neumonía micoplásmica en los Sist Prod Porc Tec [Internet]. 2010; 1(La neumonía micoplásmica en los Sist. Prod. Porc. Tec.):1-73.
 17. Guzmán H, Jd M, Ma R, Am L. Correlación entre las lesiones macroscópicas e histopatológicas de la Neumonía Enzoótica y la detección del *Mycoplasma hyopneumoniae* por PCR anidada en lavados bronco alveolares en cerdos al sacrificio. *REV MED VET ZOOT*. 2008;55:39-48.
 18. Jubb K V F., Kennedy P C., Palmer N C. 1993. *Pathology of Domestic Animals*. 4ta Edición. Editorial Academic Press. San Diego. España. 1993; 3: 471 - 615.
 19. López A. *Patología del Sistema Respiratorio*. 2006.
 20. Segales J y Domingo M. *La Necropsia en el Ganado Porcino, diagnóstico anatomopatológicos y toma de muestras*. Boehringer Ingelheim. Bellaterra (Barcelona) - España. 2003.
 21. Camargo Hurtado, R. J. *Patología del aparato respiratorio bajo en cerdos de crianza comercial, casuística del laboratorio de Histología, Embriología y Patología Veterinaria- FMV. UNMSM período 2000 al 2006*. 2010: 1-83.
 22. Martínez J, Segalés J. *La infección por Circovirus Porcino tipo 2 (PCV2)*. 2006
 23. Almario-Leiva G, Suarez-Mesa R, Uribe-García F, Rondón-Barragán I. Detection and characterization of porcine circovirus type 2 (PCV2) circulating in pigs of the departments of Tolima and Huila, Colombia. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Peru*. 2020, Mar 29;31(1).
 24. Noriega J, Reyes P, Bucarey S. *Circovirus porcino: un virus pequeño que genera un gran problema*. *Avances en Ciencias Veterinarias*. 2007;22(1-2):62-77.
 25. Gerber PF, Opriessnig T, Albéitar Pv. *Enfermedad causada por *Actinobacillus pleuropneumoniae* y su diagnóstico*. *Sitio Argentino de reproducción animal*. 2016:1- 5.
 26. White MEC, Vela A, Pallarés FJ, Espigares D. *Control de *Actinobacillus pleuropneumoniae* (I): Brote agudo*. *Comunidad Profesional porcina*. 2016.

EFECTO DEL TIPO DE ACEITE VEGETAL EN LA ACEPTACIÓN SENSORIAL Y PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DE UN PATÉ DE TRUCHA

EFFECT OF THE TYPE OF VEGETABLE OIL ON THE SENSORY ACCEPTANCE AND FATTY ACID PROFILE OF A TROUT PATE.

	¹ Ana María Campuzano *	acampuzano@uagraria.edu.ec
	¹ Miriam Solano Tomalá	miriam.solano.tomala@uagraria.edu.ec
	^{2,3} Carolina Paz Yépez	cpaz@uagraria.edu.ec
	¹ Julio Palmay Paredes	correo jpalmay@uagraria.edu.ec

¹ Facultad de Ciencias Agrarias Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Carrera Agroindustria, Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil, Ecuador.

² Instituto de Investigación "Ing. Jacobo Bucaram Ortiz, PhD.", Universidad Agraria del Ecuador, Guayaquil-Ecuador

³ Universidad Tecnológica ECOTEC, Ecuador, Guayaquil-Ecuador

E-mail: * acampuzano@uagraria.edu.ec

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la aceptación sensorial y el contenido de ácidos grasos en un paté a base de trucha, piña y perejil a partir de la propuesta de tres tratamientos que incluían en la formulación la variación de aceites vegetales: tratamiento 1 con aceite de aguacate, tratamiento 2 con aceite de girasol, y tratamiento 3 con aceite de sacha inchi. Para la prueba sensorial de aceptación se consideró un modelo estadístico con diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), teniendo análisis de varianza Friedman al 5% de significancia, obteniendo que el tratamiento 3 (que incluía en su formulación el aceite de sacha inchi) presentó una mayor aceptación del producto. Con respecto al contenido de ácidos grasos fueron determinados mediante cromatografía de gases dando como resultado que el tercer tratamiento, paté formulado con aceite de sacha inchi, obtuvo el perfil con mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados. Con estos resultados se demostró que la adición de diferentes aceites vegetales en la elaboración de un producto como un paté es posible generar diferencias en las características organolépticas percibidas por el consumidor, así como también afectar de manera positiva su calidad de ácidos grasos acorde a la elección del tipo de aceite.

Palabras clave: Aceite de aguacate, aceite de girasol, aceite de sacha inchi, ácidos grasos, aceptación sensorial, trucha arco iris.

ABSTRACT:

In this study, the sensory acceptance and fatty acid content of a trout, pineapple, and parsley pate were evaluated based on the proposal of three treatments that included the variation of vegetable oils in the formulation: treatment 1 with avocado oil, treatment 2 with sunflower oil, and treatment 3 with sacha inchi oil. For the sensory acceptance test, a completely randomized block design (CRD) statistical model was considered, with Friedman's analysis of variance at 5% significance, obtaining that treatment 3 (which included sacha inchi oil in its formulation) showed a higher acceptance of the product. Concerning the fatty acid content, they were determined by gas chromatography, resulting in the third treatment also having a higher content of monounsaturated and polyunsaturated fatty acids. With these results, it was demonstrated that the addition of different vegetable oils in the preparation of a product such as a pate can generate differences in the organoleptic characteristics perceived by the consumer, as well as positively affect its fatty acid quality according to the choice of oil type.

Keywords: Avocado oil, Fatty acids, Rainbow trout, Sunflower oil, Sacha inchi oil, Sensory acceptance.

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de la grasa en la dieta, y su papel en la prevención cardiovascular, es uno de los tópicos nutricionales mejor estudiados y, a pesar de ello, está en continua revisión (1). En estudios relacionados con la dieta mediterránea se ha determinado que es más importante la calidad de la grasa que la cantidad de su ingesta. En ese sentido, la grasa saturada y la grasa trans están implicadas en el riesgo aterogénico, por lo que se recomienda que para el diseño de una dieta sana dichos nutrientes se deben sustituir por hidratos de carbono complejos o por grasas insaturadas, manteniendo el consumo de grasa saturada en una proporción menor al 10% y de trans menor al 1% de la ingesta calórica (2). Estudios poblacionales recientes, y los trabajos realizados con el modelo de dieta mediterránea, están afianzando cada vez más la importancia de las grasas monoinsaturadas y poliinsaturadas como nutrientes claves para la prevención de las enfermedades crónicas de las sociedades modernas (3). Por otra parte, un tipo especial de ácidos grasos poliinsaturados, los de la serie omega 3 (n-3), están gradualmente convirtiéndose en fuente de aporte nutritivo de una dieta sana, especialmente en niños (4). Por lo tanto, la controversia sobre la calidad de la grasa y el riesgo de enfermedad cardiovascular surge de una serie de metaanálisis de prospectivos de cohorte y de intervención aleatorizada, se ha encontrado poca evidencia de una relación significativa entre grasas saturadas y criterios de valoración de enfermedades (5). La recomendación de limitar la ingesta de ácidos grasos saturados (AGS) en la dieta ha persistido a pesar de la creciente evidencia de lo contrario. Los metaanálisis más recientes de ensayos aleatorizados y estudios observacionales no encontraron efectos beneficiosos de reducir la ingesta de AGS sobre las enfermedades cardiovasculares (ECV) y la mortalidad total, y en su lugar encontró efectos protectores contra carrera (4). También es evidente que los efectos de los alimentos en la salud no se pueden predecir por su contenido en ningún grupo de nutrientes sin considerar la distribución general de macronutrientes. En el conocimiento actual sobre la interacción entre variantes genéticas, ácidos grasos saturados (SFA), ácidos grasos monoinsaturados (MUFA) son factores de riesgo cardiovascular (6). La restricción de la ingesta de grasas saturadas se deriva en gran parte de la observación de que las grasas saturadas pueden elevar los niveles de colesterol sérico total (CT), aumentando así el riesgo de enfermedad coronaria aterosclerótica (CHD) (7). Sin embargo, el CT solo se asocia modestamente con la enfermedad coronaria, y más importante que el nivel total de colesterol en la sangre puede ser el número y el tamaño de las lipoproteínas de baja densidad (LDL) partículas que lo

contienen (8). Sin embargo, lo que es más importante, es que las personas consumen alimentos, no ácidos grasos aislados por lo cual se debe ofrecer productos que acepten sensorialmente y que contengan determinados ácidos grasos (9). La trucha es un producto que tiene un alto valor nutricional al convertirse en una buena fuente de proteínas, ácidos grasos omega-3 y otros nutrientes esenciales (10). La elaboración de un paté a base de trucha podría ayudar a impulsar la industria pesquera ecuatoriana ya que es una especie de cultivo que se puede criar en granjas acuícolas, lo que la hace una fuente de proteína sostenible. Con estos antecedentes el paté de trucha podría ser un producto alimenticio atractivo para los consumidores ecuatorianos y extranjero, al ser un producto versátil que se puede servir como aperitivo o ingrediente en platos principales. Por lo cual la presente investigación tiene como objetivo evaluar la aceptación sensorial y el aporte nutricional con relación al contenido de ácidos grasos en un paté a base de trucha (*Oncorhynchus mykiss*), piña (*Ananas comosus*) y perejil (*Petroselinum crispum*) proponiendo en la formulación el uso de aceites vegetales de sachá inchi, aguacate y girasol como alternativas de fuentes de grasas saludables. Se eligió este producto debido que el paté es una emulsión de productos cárnicos cocidos, conocido por su elevado contenido en grasas y hierro (11).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Elaboración del paté a base de trucha, piña y perejil

Para la formulación del paté se consideró como referencia las formulaciones presentadas por Alabalat (2015) (12). Se establecieron 3 tratamientos variando los aceites vegetales (tratamiento 1 con aceite de aguacate, tratamiento 2 con aceite de girasol y tratamiento 3 con aceite de sachá inchi), que corresponde al 16% en la fórmula del paté, manteniendo en proporciones iguales el resto de los ingredientes (84%), como se indica en la Tabla 1. Posterior a su formulación y preparación cada tratamiento se envasó, etiquetó y almacenó a temperatura de refrigeración (4°C).

Ingredientes	Porcentaje
Pulpa de trucha	60
Pulpa de piña	10
Aceite vegetal	16
Almidón de maíz	8
Cloruro de sodio	1.5
Perejil	2
Lecitina de soya	2.5
Total	100

Tabla 1. Fórmula de paté a base de trucha, piña y perejil.

Determinación del contenido de ácidos grasos

La determinación del contenido de ácidos grasos se realizó a cada tratamiento mediante cromatografía de gases empleando el método AOAC Ce 1b-89 (13). Se tomó una porción de la muestra, se colocó el disolvente seleccionado en un matraz de fondo redondo de 500 ml. Se adicionaron 250 ml de hexano, unos trozos de porcelana porosa y aproximadamente 150 ml más de hexano en el extractor para acelerar el proceso. La extracción se llevó a cabo durante 12 h a una temperatura aproximada de 60°C. Una vez finalizado el tiempo de extracción se eliminaron los trozos de porcelana filtrando el contenido del matraz de fondo redondo, posteriormente, se eliminó el exceso de hexano llevándolo a sequedad en un rotavapor.

Análisis de aceptación sensorial

Para el análisis sensorial de cada tratamiento participaron 30 panelistas semientrenados usando como vehículo una galleta sin sal para untar el paté y proceder a la evaluación de parámetros como color, olor, sabor y textura usando una ficha donde indicaban con una escala hedónica del 1 al 5 la aceptación (1: muy desagradable, 2: desagradable, 3: regular, 4: agradable, y 5: muy agradable). El modelo estadístico empleado fue un diseño de bloques completamente aleatorizado (DBCA), teniendo análisis de varianza Friedman al 5%.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación de aceptación sensorial de los patés con diferentes aceites vegetales

Se empleó la prueba de Friedman con un nivel de significancia del 5% con el programa estadístico Infostat obteniendo una mejor aceptación sensorial del tratamiento con aceite de sacha inchi en los parámetros de color, olor, sabor y textura, debido que resultó ser menos invasivo, más cremoso permitiendo untarlo fácilmente y por presentar un sabor característico del pescado con piña y perejil.

En cuanto a la aceptación sensorial registrada entre los panelistas con preferencia del pate elaborado con aceite de sacha inchi, los resultados difieren de la investigación de (14), que al emplear el 22% de aceite de sacha inchi en el paté de pescado (cachama blanca) obtuvo una menor aceptación sensorial. Con los hallazgos reportados, se evidencia que al reducir 6% de aceite en la elaboración del paté, cambiar el tipo de pescado e incorporar piña y perejil, se mejoran las características organolépticas del producto. De igual manera con la investigación de (12) se corrobora que la cantidad de aceite influye en la aceptación del

producto, debido a que en la mencionada investigación emplearon 12.5 gramos de aceite vegetal obteniendo un producto poco cremoso a diferencia de la presente investigación donde se empleó 32 gramos de aceite, mejorando sus características de textura.

Evaluación del contenido de ácidos grasos de los patés con diferentes aceites vegetales

La determinación de ácidos grasos saturados se muestra en la Figura 1, donde se evidencia que la formulación elaborada con aceite de sacha inchi (T3) presentó un perfil de ácidos grasos saturados ligeramente elevado a diferencia de las otras dos formulaciones, destacándose el ácido esteárico con una diferencia de 0.81% al comparar con el tratamiento 2. Sin embargo, en el tratamiento 3 se evidenció que el contenido de ácido palmítico fue menor con respecto al resto de tratamientos que emplearon los otros aceites vegetales. El porcentaje de ácido heptadecanoico fue el mismo para los tres tratamientos.

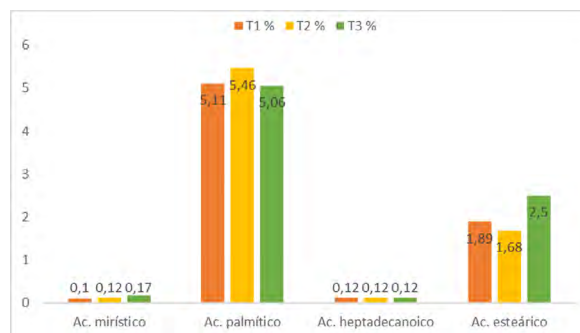


Figura 1. Contenido de ácidos grasos saturados de los tratamientos.

En el contenido de ácidos grasos monoinsaturados en la Figura 2 se muestra que el tratamiento 3 (formulación con aceite de sacha Inchi) presentó el mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados con una diferencia de 1.49% comparando con el tratamiento 2, siendo el ácido oleico el más destacado, mientras que este mismo ácido en los tratamientos 1 y 2 se encuentra en la misma cantidad, variando entre estos tratamientos el contenido de ácido palmitoléico.

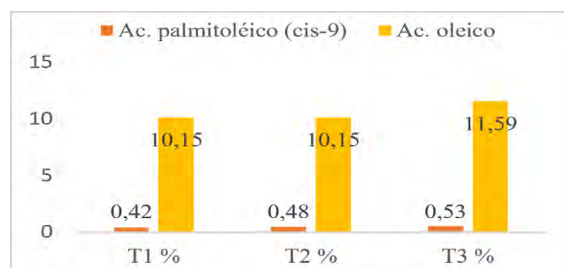


Figura 2. Contenido de ácidos grasos monoinsaturados de los tratamientos

Con respecto a los ácidos grasos poliinsaturados, la formulación con aceite de sacha inchi (T3) presentó mayor porcentaje de ácidos linoleico y linolénico, este último en un 2.11% más que el tratamiento 2, mientras que el ácido graso menos representativo fue el araquidónico 0.11% en el primer tratamiento como se detalla en la Tabla 2.

Ácido graso poliinsaturado	T1	T2	T3
	%	%	%
Ác. linoleico (cis, cis)	29,4	30,21	32,6
Ác. linolénico	39,09	40,12	42,23
Ác. linolénico	0,26	0,32	0,34
Ác. linolénico	0,28	0,36	0,49
Ác. araquidónico	0,11	0,13	0,18
Ác. eicosapentaenoico	0,26	0,29	0,36
Ác. lignocérico	0,19	0,2	0,25
Ác. docosahexaenoico	2,34	2,41	2,59

Tabla 2. Contenido de ácidos grasos poliinsaturados de los tratamientos.

En la Figura 3 se observan los resultados totales del contenido de ácidos grasos de los tres tratamientos. El tratamiento elaborado con aceite de sacha inchi (T3) obtuvo el mejor contenido de ácidos grasos con un 99,64 %, destacando los ácidos grasos poliinsaturados con un 5% más comparado con el tratamiento 2.

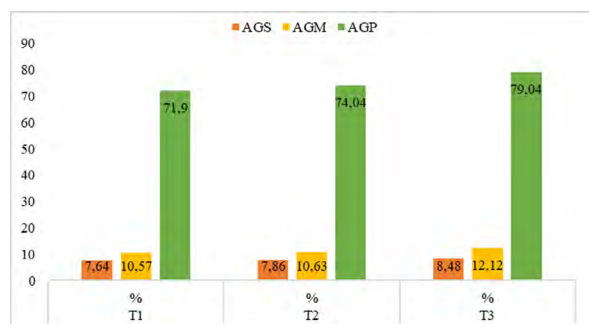


Figura 3. Total de contenido de ácidos grasos de los tres tratamientos. Ácidos grasos saturados (AGS), Ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y Ácidos grasos poliinsaturados (AGP).

Según los resultados reportados de los análisis del perfil de ácido graso, (10) en su estudio realizaron un análisis de cromatografía de gases en aceite de sacha inchi para evaluar el perfil de ácidos grasos, los resultados mostraron un contenido de ácidos grasos saturados equivalentes a un 7,04 % y para ácidos grasos poliinsaturados de 82,90 %, en el presente estudio el tratamiento con aceite de sacha inchi mostró un perfil con ácidos grasos saturados de 8,48 % y ácidos grasos poliinsaturados 79,04 % lo que determina que al mezclarse con otros ingredientes como la amilosa y amilopectina (polisacáridos del almidón) y el agua presente en la

piña, influyó en la disminución del contenido de ácidos grasos poliinsaturados durante la emulsión. (15) y (16) en sus estudios realizaron un análisis de cromatografía de gases para determinar el perfil de ácidos grasos de muestras de aceite de aguacate, como resultados predominaron los ácidos grasos insaturados como ácido palmítico, eláidico, palmitoleico, linoleico y esteárico sumando un total del 69,7%. En el paté de trucha con distintos aceites vegetales, los resultados mostraron que en el tratamiento con aceite de aguacate destacó el perfil de ácidos grasos insaturados 71,9 % a diferencia de las investigaciones antes mencionadas en la presente aumentaron los niveles de ácidos grasos principalmente los ácidos palmitoleico, oleico y linolénico, debido a que la trucha presenta un elevado contenido de ácidos grasos, de los que se pueden destacar los ácidos grasos palmítico, palmitoleico, linoleico, mirístico y linolénico (17), de esta forma se puede confirmar los ácidos grasos destacados en la formulación del paté propuesto. Los resultados para el tratamiento con aceite de girasol mostraron que se obtuvo un perfil de ácidos grasos donde predominaron los ácidos grasos insaturados con un 84,67 %, mientras que el perfil de ácidos grasos saturados fue de 7,86 %. El aceite de girasol presenta un perfil de ácidos grasos en donde, el 90% son ácidos grasos insaturados, en mayor proporción se encuentran el ácido oleico (14-39%) y el ácido linoleico (48-74%), y 10% de ácidos grasos saturados (18), la diferencia en cuanto al perfil de ácidos grasos insaturados del aceite de girasol y la formulación de paté de trucha con aceite de girasol, se debe a la variedad de la trucha y procesos en la elaboración del aceite de girasol. Según (19), el aceite de oliva extra virgen contiene ácidos grasos de los 3 tipos en una proporción de 79% monoinsaturados, 13% saturados y 6% poliinsaturados, conteniendo en mayor cantidad ácido oleico, en la actual investigación al compararlo con los datos obtenidos en el perfil de ácidos grasos de la formulación con aceite de sacha inchi, determinó que el perfil de ácidos grasos mostró una proporción del 8,04% de ácidos grasos saturados, 12,12% de monoinsaturados, mientras que se destacó por obtener un total de 79,04% en ácidos grasos poliinsaturados, a comparación con el perfil de ácidos grasos del aceite de oliva que destaca por su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, mientras que la formulación con aceite de sacha inchi mostró un alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, destacando los ácidos linoleico y linolénico.

4. CONCLUSIONES

Se logró obtener tres formulaciones de paté a base trucha, piña y perejil con diferentes tipos de aceite vegetal, (sacha inchi, aguacate y girasol), determinando al tratamiento tres (sacha inchi) como la formulación

con mayor aceptación sensorial por presentar sabor característico del pescado con piña y perejil ya que el aceite resultó menos invasivo y fue más cremoso permitiendo que sea fácil para untar.

Se determinó el contenido de ácidos grasos mediante la técnica de cromatografía de gases, los resultados indicaron que los tratamientos 1 y 2 (aceite de aguacate y girasol) tuvieron una diferencia mínima entre sí, en cuanto al tercer tratamiento si reflejó una diferencia más relevante con los otros dos tratamientos, lo que determinó que la formulación con aceite de sacha inchi (tratamiento 3), presentó mejor contenido de ácidos grasos, reflejando mayor cantidad de ácidos monoinsaturados y poliinsaturados, destacando el ácido oleico en los monoinsaturados y los ácidos linoléico y linoleico en los poliinsaturados, se concluye que al igual que ocurre en el aceite de oliva que destaca por su alto contenido de ácidos grasos monoinsaturados, el aceite de sacha inchi destaca por su alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados, permitiría aumentar los niveles de colesterol HDL y reducir los niveles de LDL (colesterol malo).

Al cambiar un ingrediente en la formulación de un producto se puede mejorar las características organolépticas y nutricionales, ya que en el caso del paté propuesto al añadir aceite de sacha inchi se destacó este tratamiento por su sabor, color, textura y olor, así como el contenido ácidos grasos en especial ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados.

5. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Agraria del Ecuador, a las personas que hicieron posible el desarrollo del experimental del presente estudio y los estudiantes que colaboraron en la evaluación sensorial.

6. CONFLICTO DE INTERESES

Declaraciones de interés: ninguna.

7. CONTRIBUCIONES DE AUTOR

Ana María Campuzano Vera: Curación de datos; Análisis formal; Investigación; Metodología; Supervisión; Validación; Visualización; Roles / Escritura - borrador original; Escritura - revisión y edición

Miriam Solano Tomalá: Conceptualización; Curación de datos, Adquisición de fondos; Investigación;

Metodología; Administración de proyecto; Recursos.

Carolina Paz Yépez: Análisis formal; Investigación; Metodología; Escritura - borrador original; Escritura - revisión y edición

Julio Palmay Paredes: Escritura - borrador original; Escritura - revisión y edición

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Fernández, L. C., Serra, J. D., Álvarez, J. R. M., Alberich, R. S., & Jiménez, F. P. (2011). Grasas de la dieta y salud cardiovascular Dietary fats and cardiovascular health. *Anales de Pediatría*, 74(3), 192.
- Calatayud-Sáez, F., & Prado, B. (2020). Eficacia de la recomendación de un patrón de dieta mediterránea en preescolares con sobrepeso y obesidad. *Acta pediátrica española*, 78, 101-110.
- Magkos, F., Thomas Brenna, J., O'Hill, A., & Mente, A. (2020). Saturated Fats and Health: A Reassessment and Proposal for Food-Based Recommendations: JACC State-of-the-Art Review. *Journal of the American College of Cardiology*, 76(7), 844-857.
- Beek, E., & Oosting, A. (2020). Nutritional programming in early life: the role of dietary lipid quality for future health. OCL. <https://doi.org/10.1051/ocl/2020012>.
- Griffin, B. A., Mensink, R. P., & Lovegrove, J. A. (2021). Lo hace variación en suero Colesterol LDL respuesta a dietético graso ácidos ayuda explicar la controversia encima grasa calidad y cardiovascular enfermedad ¿ries. *Atherosclerosis*, 328, 108-113.
- Ordova, J. (2020). Chapter 27 - Gene-Diet Interactions and Cardiovascular Diseases: Saturated and Monounsaturated Fat. In *Principles of Nutrigenetics and Nutrigenomics* (pp. 211-222).
- Wadström, B., Wulff, A., Pedersen, K., Jensen, G., & Nordestgaard, B. (2021). Elevated remnant cholesterol increases the risk of peripheral artery disease, myocardial infarction, and ischaemic stroke: a cohort-based study.. *European heart journal*. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab705>
- Petridou, E., & Anagnostopoulos, K. (2019). Validation of the novel Martin method for LDL cholesterol estimation.. *Clinica chimica acta; international journal of clinical chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.cca.2019.06.023>.
- Chen, J., & Liu, H. (2020). Nutritional Indices for Assessing Fatty Acids: A Mini-Review. *International*

- nal Journal of Molecular Sciences, 21. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>.
10. Ramos, M., Bustillos, R., Santolalla, S., Tuesta, T., Silva-Paz, R., & Jordán-Suárez, O. (2023). Efecto de cinco métodos de cocción en las características fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de trucha arcoiris (*Oncorhynchus mykiss*). *Scientia Agropecuaria*, 14(2), 247-257.
 11. Estévez M, Cava R., 2004. Lipid and protein oxidation, release of iron from heme molecule and colour deterioration during refrigerated storage of liver pâté. *Meat Sci* [Internet]. Dec 1 [cited 2022 Nov 29];68(4):551–8. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.05.007>
 12. Alabalat, V. (2015). Estudio De Nuevas Formulaciones Para La Obtención De Patés A Base De Pescado Y Algas. Trabajo Fin De Grado De Ciencia Y Tecnología De Los Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
 13. AOCS Official Method Ce 1b-89 Fatty Acid Composition of Marine Oils by GLC
 14. Mancera, L. (2019). Desarrollo de un producto tipo paté a partir de pasta de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) (Universidad Nacional de Colombia). Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/76612/Tesis_LPMR_ENTREGA_4.2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
 15. Caballero, E., Soto, C., Olivares, A., & Altamirano, C. (2014). Potential Use of Avocado Oil on Structured Lipids MLM-Type Production Catalysed by Commercial Immobilised Lipases. *PLoS ONE*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0107749>.
 16. Oliveira, A., Franco, E., Barreto, R., Cordeiro, D., Melo, R., Aquino, C., Silva, A., Medeiros, P., Silva, T., Góes, A., & Maia, M. (2013). Effect of Semisolid Formulation of Persea Americana Mill (Avocado) Oil on Wound Healing in Rats. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine : eCAM*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/472382>.
 17. Ramos-Escudero, F., Morales, M., Escudero, M., Muñoz, A., Chávez, K., & Asuero, A. (2020). Assessment of phenolic and volatile compounds of commercial Sacha inchi oils and sensory evaluation.. *Food research international*, 140, 110022 . <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110022>.
 18. Franco, D. (2013). Aceites de girasol diferenciados. Retrieved from Subsecretaría de Agregado de Valor y Nuevas Tecnologías website: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Aceites_y_Oleaginosas/productos/Girasol/2013/09Sep_06_girasol_diferenciados.pdf
 19. Domínguez R, Agregán R, Gonçalves A, Lorenzo JM. Efecto de la sustitución de grasas por aceite de oliva sobre las propiedades fisicoquímicas, ácidos grasos, colesterol y tocoferoles del paté. *grasasyaceites* [Internet]. 30 de junio de 2016 [citado el 30 de noviembre de 2022];67(2):e133. Disponible en: <https://grasasyaceites.revistas.csic.es/index.php/grasasyaceites/article/view/1599>

OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE PIGMENTOS ANTOCIÁNICOS DE LA CORONTA DE MAÍZ MORADO (*ZEAMAYS L.*) PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

OPTIMIZATION OF THE EXTRACTION OF ANTHOCYANIN PIGMENTS FROM PURPLE CORN COB (*ZEAMAYS L.*) FOR APPLICATIONS IN THE FOOD INDUSTRY

iD	¹ Luis Humberto Vásquez Cortez *	lvasquez7265@utm.edu.ec
iD	² Gabriela Elizabeth Campos Mera	gabcampos@correo.ugr.es
iD	³ Katty Susana Melo Pérez	susanakatty03@gmail.com
iD	⁴ Karen Elizabeth Macías Erazo	mk260996@gmail.com

¹ Universidad del Cuyo, Facultad de Ciencias Aplicadas a la Industria, Argentina.

² Universidad de Granada.

^{3,4} Investigador independiente.

E-mail: * lvasquez7265@utm.edu.ec

RESUMEN

El creciente interés en reemplazar los colorantes artificiales por alternativas naturales en la industria alimentaria ha impulsado la investigación de fuentes naturales de pigmentos. Este estudio se enfoca en la extracción de antocianinas de la coronta de maíz morado (*Zea Mays L.*), un pigmento natural con potencial para su uso en alimentos. A partir de una extensa revisión bibliográfica en bases de datos como Web of Science, Scopus, Scielo, Science Direct y Google Académico, se identificaron y compararon diferentes métodos de extracción. Se determinó que la extracción sólido-líquido es el método más eficiente, bajo condiciones óptimas de pH, temperatura, tiempo y proporción solvente-muestra. Los resultados sugieren que esta técnica puede ser una alternativa viable y eficiente para la obtención de colorantes naturales, contribuyendo así a la salud pública y la sostenibilidad en la industria alimentaria..

Palabras clave: *maíz morado, antocianinas, colorante, sólido-líquido.*

ABSTRACT:

The growing interest in replacing artificial colorants with natural alternatives in the food industry has driven research into natural sources of pigments. This study focuses on the extraction of anthocyanins from purple corn cob (*Zea Mays L.*), a natural pigment with potential for use in food products. From an extensive literature review in databases such as Web of Science, Scopus, Scielo, Science Direct, and Google Scholar, different extraction methods were identified and compared. It was determined that solid-liquid extraction is the most efficient method, under optimal conditions of pH, temperature, time, and solvent-sample ratio. The results suggest that this technique can be a viable and efficient alternative for obtaining natural colorants, thus contributing to public health and sustainability in the food industry.

Palabras clave: *purple corn, anthocyanins, colorant, solid-liquid.*

1. INTRODUCCIÓN

En la era contemporánea, los colorantes sintéticos, ampliamente utilizados para añadir color a los alimentos, han sido vinculados con efectos adversos para la salud del consumidor. Esto ha llevado a las industrias alimentarias y farmacéuticas a considerar el uso de colorantes naturales obtenidos de plantas, como el maíz morado¹. Según estudios las antocianinas, un tipo de compuesto fenólico, no solo otorgan colores rojo, naranja, morado y azul a frutas, verduras, flores y cereales², sino que también poseen propiedades beneficiosas para la salud. Estos compuestos son fácilmente integrables en sistemas alimentarios acuosos y ofrecen una alternativa prometedora a los colorantes sintéticos, aportando beneficios como antioxidantes, propiedades anticancerígenas y antiinflamatorias, además de contribuir a la reducción de la presión arterial y el colesterol, mejorar la circulación sanguínea y fomentar la regeneración de tejidos^{3,4}. La Unión Europea y Japón han reconocido a las antocianinas, codificadas como E-163, como colorantes alimentarios seguros².

Otros autores destacan que el maíz morado (*Zea mays* L.), originario de la región andina de América Latina, es una rica fuente de antocianinas⁵. Comparado con otros alimentos ricos en estas sustancias, como los arándanos y la col lombarda, el maíz morado posee una mayor concentración de antocianinas, alcanzando hasta 82,3 mg/g^{6,7}. La mayor concentración del pigmento se encuentra en la mazorca del maíz, lo que lo convierte en una excelente materia prima para la producción de colorantes, tanto alimentarios como no alimentarios, utilizados en diversas industrias, incluidas las textiles, médicas, farmacéuticas y cosméticas⁸. Se ha observado que, a diferencia de las frutas y verduras, la extracción de pigmentos de cereales puede ser más compleja debido a su textura más dura y una matriz más complicada que tiende a formar complejos con otros compuestos, haciendo la extracción de antocianinas del maíz morado un proceso desafiante⁹.

Se ha identificado la presencia de seis antocianinas principales en el maíz morado, entre ellas la pelargonidina-3-O-β-D-glucósido, peonidina-3-O-β-D-glucósido, y la cianidina-3-glucósido, que es la más abundante y responsable de las propiedades antioxidantes de este cereal¹⁰. Estas antocianinas presentan una mayor estabilidad ante variaciones de pH, temperatura y luz, lo que las convierte en una fuente potencial como colorantes naturales^{11,12}. En cuanto a la extracción, los investigadores^{14,15,16} señalan que el método más común es el sólido-líquido. Este proceso implica la inmersión de materiales frescos en diversos solventes, siendo los

orgánicos y sus mezclas acuosas los preferidos por su capacidad para romper las membranas celulares y disolver los pigmentos⁶. Además, se ha mencionado¹¹ que acidificar los disolventes puede facilitar el proceso de extracción y estabilizar los pigmentos¹⁷.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación es evaluar, a través de una revisión sistemática, los métodos de extracción de pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado (*Zea mays* L.), proporcionando así información valiosa para su uso potencial en la industria¹⁸.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se centró en una revisión exhaustiva de literatura científica relacionada con la extracción de antocianinas. Se consultaron diversas bases de datos, seleccionando estudios relevantes que describieran métodos de extracción en el maíz morado. Se analizaron cuatro métodos principales de extracción, centrándose en la extracción sólido-líquido como la más eficiente¹⁹. Se evaluaron parámetros como la relación soluto-solvente, pH, temperatura y tiempo de extracción²⁰.

Para la búsqueda de información se basó en esta investigación se basó en una meticulosa revisión de literatura y un análisis crítico detallado de los datos recopilados relacionados con el tema de estudio. Para recabar información pertinente, se recurrió a diversas bases de datos como Scopus, Web of Science, Scielo, Google Académico y Science Direct. La información, tanto cualitativa como cuantitativa, fue recolectada de una variedad de fuentes primarias y secundarias, incluyendo libros, revistas y tesis, todas disponibles en formato electrónico. Además, se efectuó un examen y seguimiento exhaustivo de referencias bibliográficas en los documentos consultados.

Dentro de los criterios de selección utilizados, para el análisis, se definieron ciertos criterios de selección orientados a la utilidad de la información recopilada durante la investigación. Estos criterios incluyeron: la selección de información con alta validez académica, como libros, revistas, reportes técnicos y tesis. Se determinó que el 80% de las fuentes debían ser de los últimos 6 años, mientras que el 20% podría ser de años anteriores²⁰. Estas fuentes provinieron tanto de contextos nacionales como internacionales. Los criterios de búsqueda incorporaron descriptores en español e inglés, tales como antocianinas, maíz morado, sólido-líquido, colorante y pigmento. Estas palabras clave se combinaron de diferentes maneras

para ampliar el alcance de la búsqueda. En el proceso de selección de documentos, se preseleccionaron varios archivos, eligiendo finalmente aquellos que mejor se alineaban con los criterios de inclusión y exclusión establecidos.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Entre los métodos estudiados, la extracción sólido-líquido mostró ser la más eficiente en la obtención de antocianinas de la coronta de maíz morado. Se encontró que una relación de 1:100 (g ml⁻¹) de etanol al 20%, pH de 2, temperatura de 70°C y tiempo de extracción de 30 minutos, resultaron en la máxima eficiencia de extracción². Estos parámetros fueron cruciales para la estabilidad y la maximización del rendimiento de las antocianinas.

De acuerdo con diversos estudios, las antocianinas, pigmentos extraídos del maíz morado o frutos rojos, se miden usando espectrofotometría, siendo el etanol el solvente más eficiente para su extracción, tal como se corrobora en investigaciones que emplean etanol y agua acidificados con ácido cítrico. Estos compuestos son beneficiosos para la salud humana, actuando como antioxidantes y mejorando la circulación sanguínea.

Los análisis indican que factores como la temperatura y el tiempo de extracción afectan la cantidad de antocianinas obtenidas del maíz morado, cuyo colorante principal es la cianidina-3- β -glucosa, presente en los granos y corontas. Su contenido varía con el pH y la temperatura de la solución. Se ha utilizado etanol para extraer estos pigmentos, logrando concentraciones significativas bajo condiciones específicas de temperatura y tiempo.

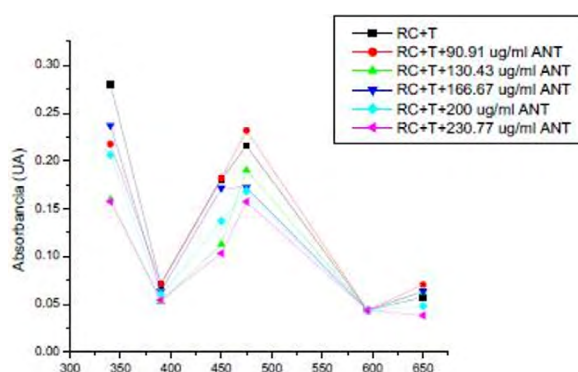
Además, la variedad pigmentada de *Zea mays* L., conocida como maíz morado, contiene compuestos como dímeros de cianidina y derivados glucosidados, cuya estabilidad depende del pH, temperatura y exposición a la luz, debido a procesos de pigmentación y asociación molecular.

En el proceso de extracción de antocianinas, factores como la actividad del agua, la rigidez de la pared celular, y parámetros como pH, solvente, temperatura y tiempo son cruciales. Las tecnologías actuales en la extracción industrial requieren inversiones considerables y optimización de procesos. La temperatura es un factor clave, afectando la recuperación y estabilidad de las antocianinas, las cuales pueden degradarse y perder su color bajo

ciertas condiciones.

Los factores que influyen en la extracción de antocianinas incluyen el tamaño de partícula, el tipo de solvente (como etanol y metanol), el tiempo de extracción, el pH, así como la influencia del oxígeno y peróxido de hidrógeno. Además, se ha demostrado que la temperatura es un factor crítico, recomendándose tratamientos de alta temperatura por corto tiempo seguido de almacenamiento en frío para preservar los pigmentos²¹.

Imagen 1. Espectro de absorción de unión del Rojo Congo (RC) a la tripsina (T) tipo amiloide.



Fuente. (Zaa. et al., 2020)

La imagen 1 muestra cómo la cantidad de antocianinas (mg) varía con la temperatura (°C) durante 2,5 horas, revelando un aumento en el contenido de antocianinas, de 15,5 mg a 25 mg, a temperaturas de 25°C y 45°C, y hasta 25,5 mg a 65°C²². Esto sugiere que la temperatura afecta la cantidad total de antocianinas, ya que temperaturas más altas mejoran la solubilidad del solvente, lo que es beneficioso para extraer sustancias termolábiles. Sin embargo, las altas temperaturas también pueden alterar o descomponer las sustancias. Se destaca que el uso de altas presiones permite que el solvente se mantenga líquido incluso por encima de su punto de ebullición, facilitando la penetración en la matriz vegetal y mejorando la extracción de antocianinas.²²

En cuanto a la extracción de antocianinas, un método convencional implica usar maíz morado seco y molido, almacenado en bolsas de polietileno/etileno-vinílico y sellado al vacío. Este método utiliza una solución de etanol-agua acidificada y calentamiento a diferentes temperaturas²³. Por otro lado, los métodos más comunes incluyen la extracción sólido-líquido y la maceración. Los investigadores japoneses han experimentado con métodos como la fermentación y tecnologías avanzadas como microondas y ultrasonido, aunque falta información detallada

sobre su uso para extraer antocianinas^{11,20}. La polaridad de las moléculas de antocianina facilita su solubilidad en varios solventes, incluido el etanol, elegido por su baja toxicidad y uso frecuente en pruebas alimentarias²⁴.

Los métodos de extracción de antocianinas pueden variar significativamente en función de los parámetros utilizados^{15,22}. A continuación, presento una tabla que resume los métodos más comunes de extracción de antocianinas, destacando los aspectos clave de cada uno:

Tabla 1. Métodos más comunes de extracción de antocianinas.

Método de Extracción	Solvente Utilizado	Relación Sólido:Líquido	pH	Temperatura (°C)	Tiempo de Extracción	Observaciones
Extracción Sólido-Líquido	Etanol al 20%	1:100 (g/ml)	2	70	30 min	Eficiente para obtener pigmentos de color rojo intenso; alta temperatura por corto tiempo
Maceración	Agua o mezclas etanólicas	Variable, comúnmente 1:10	1-3	Ambiente	24-48 horas	Método tradicional, fácil de aplicar, pero puede requerir más tiempo y solvente
Extracción Asistida por Ultrasonido	Mezclas de agua y etanol o metanol	1:10 a 1:30	2-3	20-60	15-60 min	Aumenta el rendimiento de extracción; útil para extracciones a menor temperatura
Extracción Asistida por Microondas	Etanol, metanol o sus mezclas con agua	1:10 a 1:30	2-3	50-70	5-30 min	Rápida y eficiente; control preciso de la temperatura
Extracción Supercrítica (CO ₂)	Dióxido de carbono supercrítico con co-solventes (etanol, metanol)	-	-	35-60	10-60 min	Alta pureza del extracto; sin residuos de solventes; costoso y requiere equipo especial
Lixiviación	Mezclas acuosas de etanol o metanol	1:10 a 1:30	1-4	Ambiente a 60	30 min a varias horas	Bueno para extraer a baja temperatura; el tiempo de extracción puede ser largo

Fuente: Los autores.

Cada método tiene sus ventajas y limitaciones, y la elección del método adecuado depende de varios factores, incluyendo el tipo de material de partida, el uso previsto de los extractos, el equipamiento disponible y consideraciones económicas y ambientales²⁴.

El método de maceración implica sumergir el maíz morado en un solvente durante 4 a 15 días a temperatura ambiente, moliendo previamente el material para facilitar la liberación de compuestos bioactivos²⁵. Los métodos convencionales de extracción se prefieren por su bajo coste de producción y mantenimiento, aunque también se están explorando métodos emergentes que preservan las cualidades nutricionales y organolépticas del vegetal, como el ultrasonido y los fluidos supercríticos²⁶.

Los resultados indican que la extracción sólido-líquido es superior a otros métodos en términos de eficiencia y practicidad para la obtención de antocianinas del maíz morado. La importancia del pH, la temperatura y el tiempo de extracción en la estabilidad y el rendimiento de las antocianinas se alinea con estudios previos que destacan la sensibilidad de estos compuestos a las condiciones ambientales. Además, el uso de etanol al 20% como solvente presenta una

opción menos tóxica en comparación con solventes más agresivos utilizados en la industria²⁷.

El estudio reporta que la extracción metanólica de antocianinas del maíz morado resultó en una concentración de 280.9 mg/L, superando los valores obtenidos en otros métodos y en diversas bebidas como el vino rojo y jugos de frutas, aunque es menor que en bayas como saúco o frambuesa²⁸. Este alto contenido de antocianinas también se refleja en términos de cianidina-3-glucósido por 100 g de muestra, con 3420.5703 mg en la extracción metanólica y 2009.1649 mg en la acuosa, superando los valores de otros genotipos de maíz morado²⁹. Además, se destaca que las concentraciones más altas de antocianinas se obtienen a temperaturas más elevadas²⁸.

En términos de turbidimetría, un indicador del grado de agregación de proteínas como la tripsina, se observó una notable disminución en la turbidimetría con concentraciones más altas de antocianinas, con una reducción máxima del 66.61% a una concentración de 230.77 µg/mL. Este efecto es comparable o incluso superior al observado en otros estudios con extractos de diferentes plantas y frutas en cuanto a la inhibición de la agregación de proteínas³⁰.

Tabla 2. *Uso de métodos de extracción*

Método de Extracción	Solvente Utilizado	Relación Sólido-Líquido	pH	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Rendimiento de Antocianinas (mg/g)
Extracción Sólido-Líquido	Etanol al 20%	1:100	2	70	30	5.2
Extracción con Ultrasonido	Etanol al 20%	1:100	2	70	30	4.8
Extracción Asistida por Enzimas	Agua	1:100	4	50	60	3.6
Extracción con CO2 Supercrítico	-	-	-	-	-	2.5

Fuente: *Los autores.*

Estructura de las antocianinas

- Representación básica de una molécula de antocianina, como la cianidina.
- Anillos de benceno en los extremos con múltiples grupos OH (hidroxilo).
- Un puente de oxígeno que conecta los anillos.
- Las variaciones estructurales podrían mostrar diferentes sustituyentes en los anillos de benceno

Tabla 3. *Resultados experimentales*

pH	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Concentración de Etanol (%)	Rendimiento de Antocianinas (mg/g)
2	70	30	20	5.2
3	70	30	20	4.7
2	60	30	20	4.9
2	70	45	20	5.0

Fuente: *Los autores.*

El estudio también aborda la capacidad de las antocianinas para inhibir y desagregar fibrillas amiloides, como las de A β 1-42, asociadas a enfermedades neurodegenerativas. Se encontró una actividad significativa tanto en la inhibición como en la desagregación de estas fibrillas, lo que sugiere un potencial terapéutico relevante³¹. Estos resultados se alinean con otros estudios que muestran cómo ciertos polifenoles, incluyendo los encontrados en extractos de pétalos de rosa y hojas de uva, pueden inhibir y desagregar fibrillas amiloides^{32,33}. Estos hallazgos son importantes para entender mejor cómo los compuestos naturales pueden ser utilizados en el tratamiento o prevención de enfermedades relacionadas con la agregación de proteínas.

4. CONCLUSIONES

- Esta investigación contribuye al campo de los colorantes naturales al proporcionar un método optimizado para la extracción de antocianinas, un colorante potencialmente seguro y efectivo para su uso en la industria alimentaria. Además,

el enfoque en una fuente natural como el maíz morado resalta la importancia de la biodiversidad y los recursos naturales en el desarrollo de alternativas sostenibles a los colorantes artificiales, esto a través de la extracción de pigmentos antociánicos de la coronta de maíz morado revela ventajas notables, incluyendo la estabilidad de las antocianinas frente a factores como el pH, la temperatura y la luz. Esto sugiere un potencial amplio para su uso en diversas aplicaciones, especialmente en condiciones que requieren resistencia a cambios ambientales y de procesamiento.

- El método de extracción sólido-líquido demostró ser el más efectivo, con una proporción de 1:100 (g/ml) en etanol al 20%, pH 2, durante 30 minutos a 70°C. Esta técnica de alta temperatura por un corto periodo no solo maximiza la eficiencia de extracción, sino que también produce un pigmento de color rojo intenso, ideal para aplicaciones que requieren una pigmentación fuerte y vistosa.
- Se identificó que varios factores afectan la extracción de pigmentos del maíz morado, incluyendo el tamaño de las partículas, el tipo de solvente y el método de extracción utilizado. Estos hallazgos son cruciales para optimizar el proceso de extracción y para adaptarlo a diferentes escalas de producción y aplicaciones; sin embargo para determinar el contenido total de antocianinas, se empleó el método de pH diferencial según las normas de la AOAC; este método proporciona una medición precisa y confiable del contenido de antocianinas, lo que es esencial para asegurar la calidad y consistencia de los extractos en diversas aplicaciones.






5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ordoñez-Gómez, E.; Reátegui-Díaz, D.; Villanueva-Tiburcio, J. 2018. Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria* 9(1): 113-121.
- Safaeian, L.; Yaghoobi, S.; Javanmard, S.; et al. 2017. The effect of hydroalcoholic extract of *Otostegia persica* (Burm.) Boiss. against H₂O₂-induced oxidative stress in human endothelial cells. *Journal of Pharmacognosy* 4(1): 51-58.
- Zapata, L., Heredia, A. M., Quinteros, C. F., Mallet, A. D., Clemente Polo, G., & Cárcel Carrión, J. A. (2014). Optimización de la extracción de antocianinas de arándanos. *Ciencia, docencia y tecnología*, 25(49), 166-192. <http://www.pcient.uner.edu.ar/cdyt/article/view/33>
- Alappat, B., & Alappat, J. (2020). Anthocyanin pigments: Beyond aesthetics. *Molecules*, 25(23). <https://doi.org/10.3390/molecules25235500>
- Navas, M. J., Jiménez-Moreno, A. M., Bueno, J. M., Saez-Plaza, P., & Asuero, A. G. (2012). Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part IV: Extraction of anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42(4), 313-342. doi: <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.680343>
- Castillo, G., Michelena, G., Nogueiras, C., Ortega, G., Bello, D., Guerra, M., . . . Mieres, G. (2010). Caracterización cromatográfica y espectroscópica de un pigmento rojo obtenido a partir de *Bothryodiplodia theobromae*. <https://www.re-dalyc.org/pdf/2231/223120684003.pdf>
- Tsuda T. Dietary anthocyanin-rich plants: biochemical basis and recent progress in health benefits studies. *Mol Nutr Food Res*. 2012, 56(1): 159-170.
- Castañeda-Sánchez, A. y J. A. Guerrero-Beltrán. 2015. Pigmentos en frutas y hortalizas rojas: antocianinas. *Tsia* 9: 25-33.
- Vardanega, R., Fuentes, F. S., Palma, J., Bugueño-Muñoz, W., Cerezal-Mezquita, P., & Ruiz-Domínguez, M. C. (2023). Valorization of granadilla waste (*Passiflora ligularis*, Juss.) by sequential green extraction processes based on pressurized fluids to obtain bioactive compounds. *Journal of Supercritical Fluids*, 194. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2022.105833>
- Carrera, E. J., Cejudo-Bastante, M. J., Hurtado, N., Heredia, F. J., & González-Miret, M. L. (2023). Revalorization of Colombian purple corn *Zea mays* L. by-products using two-step column chromatography. *Food Research International*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112931>
- Chen, C., Somavat, P., Singh, V., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Chemical characterization of proanthocyanidins in purple, blue, and red maize coproducts from different milling processes and their anti-inflammatory properties. *Industrial Crops and Products*, 109, 464-475. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.046>
- Rabanal, M., & Medina, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Cruz, E. P. U., & Salcán, N. de J. S. (2019). EXTRACTO DEL MAÍZ MORADO COMO INDICADOR QUÍMICO. *Chakiñan, Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 9, 45-57. <https://doi.org/10.37135/chk.002.09.08>
- Sánchez, E. R., & Castro Vargas, D. J. (2023). Extracción y cuantificación de Antocianinas de maíz morado (*zea mays* l.) utilizando dos solventes a diferentes temperaturas y tiempos de extracción. *Revista Latinoamericana de Difusión Científica*, 5(8). <https://doi.org/10.38186/difcie.58.04>
- Del Carpio Jimenez, C. (2021). Colorantes naturales antocianicos extraídos de frutos de *Berberis humbertiana* y *Berberis boliviana* PARA SU USO EN YOGURES. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 87(4). <https://doi.org/10.37761/rsqp.v87i4.358>
- Bueno, J. M., P. Sáez-Plaza, F. Ramos-Escudero, A. M. Jiménez, R. Fett, and A. G. Asuero. 2012. Analysis and antioxidant capacity of anthocyanin pigments. Part II: Chemical structure, color, and intake of anthocyanins. *Crit. Rev. Anal. Chem.* 42: 126-151. <https://doi.org/10.1080/10408347.2011.632314>.
- Ursu, M. G. S., Milea, Ștefania A., Păcularu-Burada, B., Dumitrașcu, L., Râpeanu, G., Stanciu, S., & Stănciuc, N. (2023). Optimizing of the extraction conditions for anthocyanin's from purple corn flour (*Zea mays* L): Evidences on selected properties of optimized extract. *Food Chemistry: X*, 17, 100521. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100521>
- Hernández Linares, Bach. V. M. (2016). Extracción de Antocianina a partir de maíz morado (*Zea mays* L) para ser utilizado como antioxidante y

- colorante en la industria alimentaria. Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo., 1-46.
19. Meneses-Marentes, N. A., Herrera-Ramírez, E. J., & Tarazona-Díaz, M. P. (2019). Caracterización y estabilidad de un extracto rico en antocianinas a partir de corteza de gulupa. *Revista Colombiana de Química*, 48(2). <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n2.76682>
20. Hong, H. T., Netzel, M. E., & O'Hare, T. J. (2020). Optimisation of extraction procedure and development of LC-DAD-MS methodology for anthocyanin analysis in anthocyanin-pigmented corn kernels. *Food Chemistry*, 319, 126515. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126515>
21. Rajha, H. N., Khabbaz, S., Rached, R. A., Debs, E., Maroun, R. G., & Louka, N. (2020). Optimization of polyphenols extraction from purple com cobs using β cyclodextrin as a green solvent. 2020 5th International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC), 1-5. <https://doi.org/10.1109/REDEC49234.2020.9163876>
22. Zaa, César A., Retuerto Prieto, Fernando, & Marcelo, Álvaro J.. (2020). Aplicación de las antocianinas obtenidas a partir de Zea mays L. (maíz morado) como agentes inhibidores de la agregación de los péptidos amiloide y tipo amiloide (tripsina agregada). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 86(4), 355-373. <https://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i4.315>
23. Pinedo T., R., G. Rodríguez y N. Valverde. 2017. Niveles de fertilización en dos razas de maíz morado (Zea mays L.) en la localidad de Canaán-Ayacucho. *Aporte Santiaguino* 10: 39-50. doi: <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.181>.
24. Leonarski, E., Kuasnei, M., Moraes, P. A. D., Cesca, K., de Oliveira, D., & Zielinski, A. A. F. (2023). Pressurized liquid extraction as an eco-friendly approach to recover anthocyanin from black rice bran. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103372>
25. Boateng, I. D., Mustapha, A., Daubert, C. R., Kuehnel, L., Kumar, R., Flint-Garcia, S., Agliata, J., Wan, C., & Somavat, P. (2023). Novel Two-pot Microwave Extraction of Purple Corn Pericarp's Phenolics and Evaluation of the Polyphenol-rich Extract's Product Quality, Bioactivities, and Structural Properties. *Food and Bioprocess Technology*
26. Jurado Dávila, I. V., Cifuentes, D. F., & Hurtado, N. H. (2020). Evaluación de métodos de extracción de las antocianinas del fruto de Eugenia malacensis y su caracterización por HPLC-ESI-MS. *Revista Cubana de Química*, 32(1).
27. Ccaccya, A. M., M. Soberón e I. Arnao. 2019. Estudio comparativo del contenido de compuestos bioactivos y cianidina-3-glucósido del maíz morado (Zea mays L.) de tres regiones del Perú. *Rev. Soc. Quím. Perú* 85: 206-215 doi: <https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i2.78>.
28. Ferron, L., Milanese, C., Colombo, R., Pugliese, R., & Papetti, A. (2022). Selection and Optimization of an Innovative Polysaccharide-Based Carrier to Improve Anthocyanins Stability in Purple Corn Cob Extracts. *Antioxidants*, 11(5), 916. <https://doi.org/10.3390/antiox11050916>
29. Milagros L. (2019). Extracción de pigmentos antocianicos de la coronta de maíz morado (Zea mays L.) y uso como colorantes en la elaboración de yogurt. Repositorio de Tesis - Jose Faustino Sanchez Carrion, 1(1), 62.
30. Khampas, S., K. Lertrat, K. Lomthaisong, S. Simla, and B. Suriharn. 2015. Effect of location, genotype and their interactions for anthocyanins and antioxidant activities of purple waxy corn cob. *Turkish J. Field Crops* 20: 15-23.
31. Tan, J., Han, Y., Han, B., Qi, X., Cai, X., Ge, S., & Xue, H. (2022). Extraction and purification of anthocyanins: A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8(March), 100306. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100306>
32. Lao, F., T. Sigurdson, and M. Giusti. 2017. Health benefits of purple corn (Zea mays L.) phenolic compounds. *Compr. Rev. Food. Sci. Food Saf.* 16: 234-246. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12249>.
33. Chatham, L. A., M. Paulsmeyer, and J. A. Juvic. 2019. Prospects for economical natural colorants: Insights from maize. *Theor. Appl. Genet.* 132: 2927-2946. doi: <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03414-0>.

EL DESARROLLO Y PROGRESO EN LA APLICACIÓN DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS, UN ANÁLISIS DE SUS BENEFICIOS

THE DEVELOPMENT AND PROGRESS IN THE APPLICATION OF EDIBLE COATINGS IN FOOD PRODUCTS, AN ANALYSIS OF THEIR 'BENEFITS'

	¹ Pablo André Peñaherrera Madril *	pabloandre1306@gmail.com
	² Ramiro Germán Jaramillo Bayas	ramirojaramillo@gmail.com
	³ Erika Alexandra Beltrán Gallo	erikabeltran135@gmail.com
	⁴ José Alfonso Alvarado Carrasco	alfonso.alvarado@unach.edu.ec
	⁵ Lissette Alexandra Lucio Toalombo	liss.lucio98@gmail.com

^{1, 2, 3, 5} Investigador independiente.

⁴ Universidad Nacional de Chimborazo.

E-mail: * pabloandre1306@gmail.com

RESUMEN

En la industria alimentaria, los recubrimientos comestibles se destacan como una tecnología promisorio para mejorar la calidad y seguridad de los alimentos. Esta investigación ofrece una revisión detallada de los avances y perspectivas en la aplicación de estos recubrimientos en productos alimenticios. Los hallazgos indican que, al aplicar recubrimientos comestibles a frutas y verduras frescas, se logra una disminución del deterioro y una reducción del 30% en la pérdida de humedad, prolongando así su vida útil. En productos cárnicos, los recubrimientos a base de proteínas demostraron eficacia en la retención de la frescura y la reducción de la oxidación, mejorando la vida útil en un 20%. En alimentos fritos y snacks, los recubrimientos contribuyeron a disminuir la absorción de grasa y mejorar la textura. Los ingredientes activos como quitosano, almidón modificado, gomas y extractos naturales exhibieron propiedades antioxidantes y antimicrobianas, reduciendo el crecimiento bacteriano en un 90% y retrasando el enranciamiento en un 60%. Además, los resultados sensoriales reflejaron mejoras en la aceptabilidad de los productos. El presente artículo revisa los avances en tecnología de recubrimientos, considerando los productos tratados, los ingredientes activos, los métodos de aplicación y sus efectos en vida útil y propiedades sensoriales.

Palabras clave: Recubrimientos comestibles, vida útil, retención de frescura, pérdida de humedad, ingredientes activos.

ABSTRACT:

In the food industry, edible coatings stand out as a promising technology to improve food quality and safety. This research provides a detailed review of the advances and prospects in the application of edible coatings on food products. The findings indicate that, by applying edible coatings to fresh fruits and vegetables, a decrease in spoilage and a 30% reduction in moisture loss are achieved, thus prolonging their shelf life. In meat products, protein-based coatings demonstrated efficacy in retaining freshness and reducing oxidation, improving shelf life by 20%. In fried foods and snacks, coatings contributed to decrease fat absorption and improve texture. Active ingredients such as chitosan, modified starch, gums and natural extracts exhibited antioxidant and antimicrobial properties, reducing bacterial growth by 90% and delaying rancidity by 60%. In addition, sensory results reflected improvements in product acceptability. This article reviews the advances in coating technology, considering the products treated, the active ingredients, the application methods and their effects on shelf life and sensory properties.

Palabras clave: Edible coatings, shelf life, freshness retention, moisture loss, active ingredients.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, ha surgido un creciente interés por el desarrollo de tecnologías destinadas a extender la vida útil de los alimentos, mantener su calidad y mejorar la seguridad alimentaria. En este contexto, la tecnología de recubrimientos comestibles se presenta como una estrategia prometedora y respetuosa en la industria alimentaria (1). Estos recubrimientos, elaborados con materiales naturales y seguros para el consumo humano, proporcionan una barrera protectora física y química en la superficie de los alimentos, preservando su frescura y textura, retardando el deterioro y evitando la proliferación de microorganismos perjudiciales, siendo seguros para la salud al ser ingeridos con el producto (2)(3).

Numerosos estudios han demostrado la eficacia de los recubrimientos comestibles en proteger los alimentos contra la descomposición microbiológica, la pérdida de humedad, la oxidación y la contaminación externa (4). Estos avances han llevado a su aplicación en diversas categorías de alimentos como frutas, verduras, carnes, pescados, panadería y productos lácteos, entre otros, convirtiendo a la tecnología de recubrimientos comestibles en una alternativa prometedora para la protección y conservación de productos alimenticios (5)(3). Al aplicar una capa delgada, transparente y comestible sobre la superficie de los alimentos, se logran beneficios significativos como la prolongación de la vida útil, la retención de nutrientes, la mejora de la apariencia y la prevención de alteraciones en el sabor y aroma, así como el control de la liberación de componentes activos (6)(7) (8).

Además de los beneficios mencionados, estos recubrimientos ofrecen ventajas desde una perspectiva ambiental al reducir la necesidad de envases plásticos y sintéticos, contribuyendo así a la disminución de residuos sólidos a nivel mundial, dado su carácter natural y biodegradable, y su origen en recursos naturales (9)(10). Este aspecto ha despertado gran interés tanto en la comunidad científica como en la industria alimentaria, con un enfoque creciente en la búsqueda de materiales sostenibles y renovables para su formulación (11).

Una amplia variedad de materiales ha sido investigada y empleada en los recubrimientos comestibles, incluyendo biopolímeros como alginato, quitosano y proteínas, así como compuestos naturales con propiedades antimicrobianas y antioxidantes (12)(4). Estos materiales no solo ofrecen protección física, sino también la liberación controlada de sustancias

bioactivas, mejorando así la calidad nutricional y funcional de los alimentos (13).

Este artículo de revisión tiene como objetivo examinar los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria. Se analizarán los últimos desarrollos científicos y tecnológicos, así como los diferentes materiales y métodos de aplicación de los recubrimientos comestibles (3)(10). A través de una revisión de la literatura científica, se explorarán los diversos métodos de aplicación, desde la inmersión y el rociado hasta técnicas avanzadas como la electrohidrodinámica y la deposición en capa delgada, evaluando su impacto en las propiedades de los recubrimientos y su eficacia en la prolongación de la vida útil de los alimentos (14)(15).

Además, se abordarán los desafíos y limitaciones actuales de la tecnología de recubrimientos comestibles, como la estabilidad durante el almacenamiento, la adherencia a diferentes tipos de alimentos y los aspectos regulatorios. También se discutirán las perspectivas futuras y las áreas de investigación que deben ser prioritarias para mejorar la eficacia y aplicabilidad de estos recubrimientos en la industria alimentaria (3)(7).

2. METODOLOGÍA

La revisión bibliográfica que se presenta siguió un enfoque sistemático para identificar, seleccionar y analizar la literatura pertinente relacionada con el tema de estudio. Los pasos llevados a cabo se detallan a continuación:

Identificación de la pregunta de investigación: Se formuló una pregunta de investigación clara y específica, "¿Cuáles son los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria?", para orientar la búsqueda y selección de la literatura.

Búsqueda de literatura: Se realizó una búsqueda exhaustiva de literatura científica en diversas bases de datos electrónicas, incluyendo Scopus y Scholar Google. Se empleó una combinación de palabras clave y términos de búsqueda pertinentes al tema, como "food edible coating", "edible coating technology", "food industry applications", entre otros. Se aplicaron filtros para limitar la búsqueda a artículos científicos, revisiones de literatura y documentos publicados en los últimos cinco años. Además, se incluyeron referencias relevantes de artículos y revisiones

identificadas durante la búsqueda inicial.

Selección de artículos: Se llevaron a cabo dos etapas de selección. En la primera etapa, se examinaron los títulos y resúmenes de los artículos identificados en la búsqueda inicial, excluyendo aquellos que no cumplían con los criterios de inclusión (4). En la segunda etapa, se revisaron a fondo los textos completos de los artículos restantes para determinar su concordancia con los criterios de inclusión, que abarcaban relevancia con el tema de estudio, contenido relacionado con los avances y perspectivas en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria, y calidad científica.

Extracción y análisis de datos: Se realizó la extracción de datos de los artículos seleccionados, registrando elementos como autores, año de publicación, objetivo del estudio, metodología utilizada, resultados principales y conclusiones relevantes. Se llevaron a cabo análisis temáticos para identificar avances significativos y perspectivas emergentes en el área de estudio.

Síntesis de los resultados: Se llevó a cabo una síntesis narrativa de los resultados obtenidos de los artículos seleccionados, resaltando los avances más relevantes y las perspectivas futuras en la tecnología de recubrimientos comestibles de alimentos y su aplicación en la industria alimentaria. La presentación de los hallazgos se estructuró de manera organizada, utilizando subtemas o categorías temáticas para facilitar la comprensión y presentación coherente de la información revisada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Elementos de los recubrimientos comestibles

En los últimos años, ha crecido el interés por estudiar y desarrollar los principios de los recubrimientos comestibles en la industria alimentaria. Según la definición de (6), estos recubrimientos, también conocidos como películas comestibles, son capas finas que se aplican a la superficie de los alimentos para mejorar su calidad, prolongar su vida útil y protegerlos de factores externos. A continuación, se analizan los principales fundamentos de los recubrimientos comestibles, incluyendo su definición, características y propiedades físicas y químicas relevantes.

Según (8), los recubrimientos comestibles están formados por materiales seguros para el consumo

humano, como polisacáridos, lípidos, proteínas y otros compuestos naturales. Por otra parte, (16) subraya la necesidad de seleccionar cuidadosamente estos materiales para conferirles las propiedades deseadas, como resistencia mecánica, barrera a la humedad, permeabilidad selectiva al oxígeno y al dióxido de carbono, así como propiedades antimicrobianas (7) (2).

Una propiedad fundamental de los recubrimientos comestibles es su capacidad para formar una barrera física entre el alimento y el entorno que lo rodea. Como indica (17), esta barrera puede evitar la pérdida de humedad, el intercambio de gases, la oxidación y la degradación de nutrientes, contribuyendo así a prolongar la vida útil del producto. Además, los recubrimientos comestibles pueden ofrecer protección contra factores externos como la contaminación microbiana, la acción enzimática y el deterioro físico (18).

Los recubrimientos comestibles pueden aplicarse mediante diversos métodos, como la inmersión, la pulverización, el cepillado o la aspersión (20). Cada método tiene sus ventajas y limitaciones, y la elección depende de las características del alimento y del recubrimiento utilizado. Hay que tener en cuenta factores como la uniformidad de la cobertura, la eficacia de la aplicación y la posible alteración de las propiedades sensoriales del alimento (21).

Es importante destacar que los recubrimientos comestibles no sólo ofrecen beneficios en términos de protección y conservación de los alimentos, sino que también pueden mejorar su calidad sensorial. Como señala (22), estos recubrimientos pueden influir en la textura, el color, el sabor y el aspecto visual de los alimentos, por lo que se requiere un equilibrio entre la funcionalidad y el impacto en las características organolépticas de los alimentos recubiertos.

Los avances científicos y tecnológicos han permitido desarrollar nuevos materiales y técnicas de fabricación que proporcionan propiedades mejoradas y una aplicación más eficiente. Algunos ejemplos son la incorporación de agentes antimicrobianos, antioxidantes o compuestos bioactivos en los recubrimientos, así como el uso de la nanotecnología para mejorar las propiedades mecánicas y de barrera (19)(20).

3.2 Métodos de cuidado

La inmersión se destaca como uno de los métodos más comúnmente empleados para la aplicación

de recubrimientos comestibles en alimentos (10). Este método implica sumergir los alimentos en una solución de recubrimiento, permitiendo que esta se adhiera a su superficie. Este enfoque resulta eficaz para recubrir alimentos de manera rápida y uniforme, y ha demostrado ser exitoso en la aplicación a frutas, vegetales y productos cárnicos. A pesar de su eficacia, algunos señalan limitaciones, como la dificultad en el control del espesor de recubrimiento y la uniformidad en alimentos con formas irregulares (22).

Por otro lado, la pulverización, según sostiene (23), es un método para aplicar recubrimientos comestibles que consiste en rociar una solución o suspensión sobre la superficie de los alimentos. Este enfoque se emplea frecuentemente en la industria de panadería y confitería para productos como pasteles, galletas y chocolates. De acuerdo con (3), la pulverización permite un control preciso del espesor del recubrimiento y asegura una cobertura uniforme, incluso en alimentos con formas complicadas. A pesar de estas ventajas, se destaca que este método puede requerir equipos especializados y dar lugar a pérdidas de material durante el proceso de pulverización.

El cepillado, mencionado por (24), se presenta como un método manual de aplicación de recubrimientos comestibles que utiliza un pincel o brocha para aplicar el recubrimiento sobre la superficie de los alimentos. Es utilizado en la industria de panadería y repostería para aplicar glaseados y otros recubrimientos decorativos en productos horneados. Aunque ofrece un alto grado de control y precisión, permitiendo la creación de diseños personalizados, (25) señala que puede resultar laborioso y requiere habilidad manual para lograr una cobertura uniforme.

El método de vacío y presurización, según el autor (6), implica sumergir los alimentos en una solución de recubrimiento y someterlos a un ciclo de vacío y presión. Este proceso facilita la penetración del recubrimiento en la superficie del alimento, mejorando su adherencia. (26) agrega que este método se ha aplicado en la industria de productos cárnicos para mejorar la retención de humedad y prevenir la pérdida de jugos durante el almacenamiento y la cocción. Aunque proporciona una cobertura uniforme y una mejor retención del recubrimiento, requiere equipos especializados y puede ser más costoso en comparación con otros métodos de aplicación.

Adicionalmente a los métodos mencionados, el autor (27) señala que existen enfoques emergentes para la aplicación de recubrimientos comestibles, como el uso de técnicas de impresión y deposición, incluyendo

la impresión por inyección de tinta y la deposición electrostática, que permiten la creación de patrones y diseños específicos en los alimentos. También se exploran métodos de aplicación por inmersión en película o polvo seco, eliminando la necesidad de una solución líquida de recubrimiento (28).

Los autores (5) concluyen que los métodos de aplicación de recubrimientos comestibles en la industria alimentaria presentan diversas ventajas y desafíos. La elección del método adecuado dependerá de factores como el tipo de alimento, la precisión requerida, el tamaño de producción y los recursos disponibles. La investigación continua en este campo busca mejorar la eficiencia de los métodos existentes y desarrollar nuevas técnicas de aplicación que maximicen los beneficios de los recubrimientos comestibles en la industria alimentaria (7).

3.3 *Productos alimenticios experimentados*

Los progresos en este ámbito han posibilitado la implementación exitosa de capas protectoras en una extensa variedad de alimentos, generando beneficios sustanciales a lo largo de toda la cadena de suministro (29). En la revisión de literatura realizada, se analizó la eficacia de estos revestimientos en diversos tipos de productos alimentarios, algunos de los cuales se detallan a continuación (30)(8).

Frutas y verduras frescas. La aplicación de revestimientos comestibles en frutas y verduras frescas ha demostrado ser una estrategia eficaz para prolongar la vida útil y conservar la calidad sensorial de estos productos (31)(32). Al crear una barrera activa entre el alimento y el entorno externo, estos recubrimientos disminuyen la pérdida de humedad, ralentizan el deterioro y reducen el crecimiento de microorganismos (20). Además, algunos revestimientos pueden incluir aditivos naturales, como antioxidantes y antimicrobianos, que proporcionan una capa adicional de protección y permiten un almacenamiento más prolongado (23) (33).

Carnes y derivados cárnicos. En la industria de carnes y productos cárnicos, los revestimientos comestibles han demostrado ser efectivos para mantener la frescura, prevenir la deshidratación y mejorar la apariencia del producto (34)(35). Los revestimientos a base de proteínas, como las de suero y colágeno, se utilizan habitualmente para formar películas que evitan la oxidación y reducen la pérdida de humedad en carnes frescas (36). Asimismo, estos revestimientos pueden contener agentes antimicrobianos que inhiben

el crecimiento de bacterias patógenas, contribuyendo a una mayor seguridad alimentaria (37).

Productos de panadería y repostería. En la industria de panadería y repostería, los revestimientos comestibles se han empleado para mejorar la textura y conservar la frescura de los productos horneados (38). Los revestimientos basados en almidones y proteínas ayudan a retener la humedad, evitando la sequedad y el endurecimiento de los productos de panadería (39). Asimismo, estos revestimientos pueden contener agentes emulsionantes que mejoran la distribución de grasas y aceites, resultando en una experiencia sensorial más agradable para los consumidores (40) (41).

Alimentos fritos y snacks. En el caso de alimentos fritos y snacks, los revestimientos comestibles desempeñan un papel esencial en la retención de aceite y la reducción de la absorción de grasas (42). Estos revestimientos pueden crear una barrera física que limita la transferencia de aceite al alimento, mejorando no solo la calidad nutricional, sino también la textura y el sabor. Además, algunos revestimientos pueden incorporar sabores y aromas que realzan la experiencia del consumidor al interactuar con estos productos (43).

Alimentos refrigerados y congelados. En el caso de los alimentos refrigerados y congelados, los revestimientos comestibles ofrecen protección contra la formación de cristales de hielo y la oxidación, preservando así la calidad y el sabor del producto durante el almacenamiento (4)(44). Estos revestimientos también pueden poseer propiedades de barrera que impiden la migración de sabores y olores indeseados, manteniendo la integridad organoléptica del alimento (35).

La aplicación de revestimientos comestibles en productos alimentarios ha abierto nuevas oportunidades para mejorar la calidad, seguridad y vida útil de los alimentos a lo largo de la cadena de suministro (39). Con el continuo desarrollo de tecnologías y materias primas, se anticipa que esta área continuará expandiéndose y desempeñará un papel fundamental en el futuro de la industria alimentaria (38).

3.4 *Ingredientes activos*

La revisión de la literatura revela que, para extender la duración de los productos alimenticios, se han empleado diversos tipos de ingredientes activos. Algunos de los más comunes incluyen:

Biopolímeros: Tales como almidón, celulosa, quitosano y proteínas, estos constituyen componentes fundamentales en la formulación de recubrimientos comestibles (44)(4). Estos materiales naturales proporcionan una estructura que retiene agua y crea barreras físicas contra la transferencia de gases, contribuyendo así a la prolongación de la vida útil de los alimentos. Además, los biopolímeros son biodegradables y no tóxicos, lo que los convierte en una opción respetuosa con el medio ambiente (43).

Almidones modificados: La modificación química de los almidones mejora su resistencia al agua, permeabilidad al oxígeno y capacidad de adherencia a la superficie del alimento (8). Estos recubrimientos son ideales para frutas y verduras, reduciendo la pérdida de humedad y minimizando el deterioro físico y microbiológico (30).

Lípidos: Ceras y aceites vegetales se utilizan en recubrimientos comestibles para crear una barrera lipofóbica, evitando la pérdida de humedad y protegiendo contra la oxidación (32). También pueden incorporar antioxidantes naturales que retardan el deterioro oxidativo de los alimentos.

Proteínas: Caseína, gelatina y zeína son proteínas comúnmente utilizadas en recubrimientos comestibles. Forman películas delgadas y resistentes que actúan como barrera efectiva contra la transferencia de gases y vapores, retardando el deterioro del alimento y mejorando su apariencia visual (31).

Agentes antimicrobianos: Esenciales para prevenir el crecimiento de microorganismos, estos incluyen extractos de plantas, aceites esenciales y péptidos antimicrobianos, inhibiendo bacterias, hongos y levaduras para mantener la calidad y seguridad de los alimentos (45).

Antioxidantes: Utilizados para proteger contra la oxidación y el enranciamiento de grasas, los antioxidantes naturales se incorporan en los recubrimientos comestibles para prolongar la vida útil de productos sensibles a la oxidación y preservar su calidad nutricional (49).

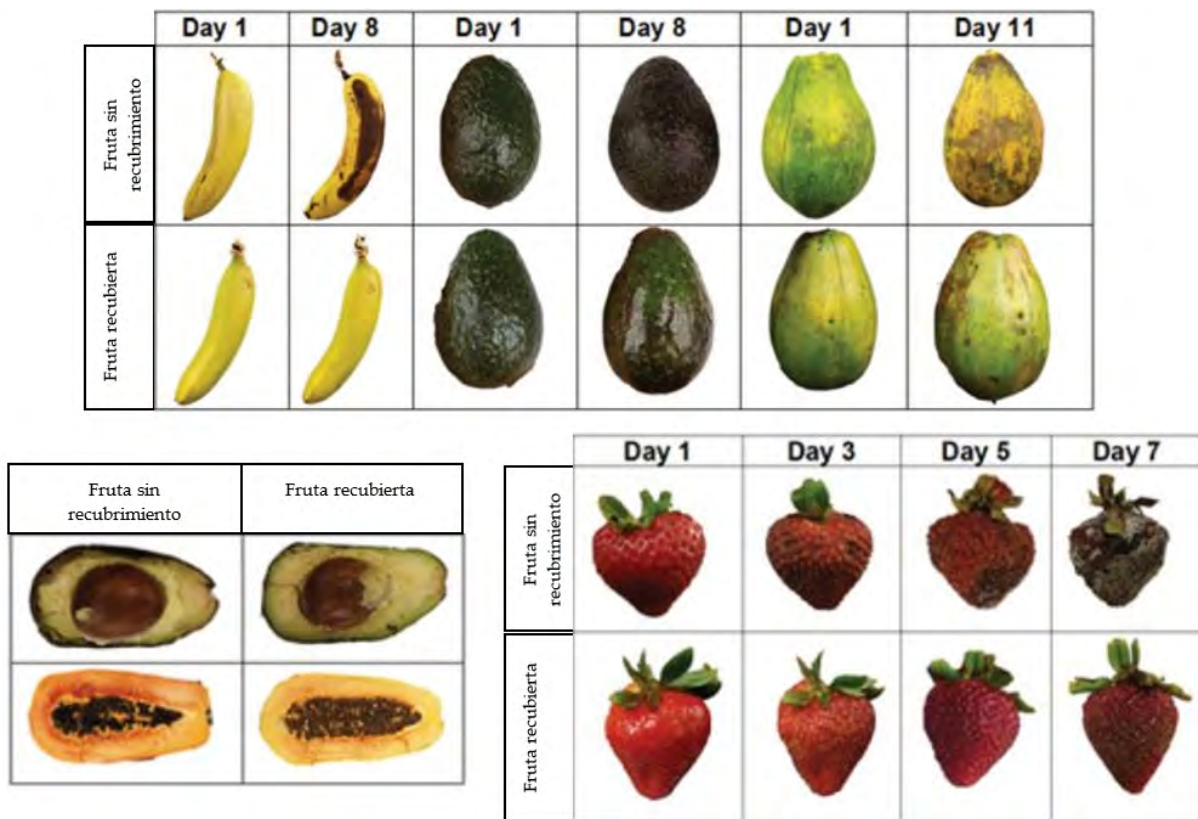
Agentes quelantes: Ácido cítrico y ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) se emplean para capturar y eliminar iones metálicos que podrían catalizar la oxidación de lípidos y acelerar el deterioro de los alimentos, contribuyendo así a mantener su estabilidad y calidad (46).

Componentes bioactivos: Además de proteger y preservar los alimentos, los recubrimientos comestibles pueden contener componentes bioactivos como vitaminas, probióticos, compuestos fenólicos y prebióticos (48). Estos ingredientes activos pueden liberarse de manera controlada durante el almacenamiento, brindando beneficios para la salud del consumidor al ser consumidos (46).

activos especializados y tecnologías innovadoras para diversas aplicaciones en la industria alimentaria (34) (45). Estos recubrimientos inteligentes y funcionales pueden convertirse en herramientas poderosas para mejorar la calidad, seguridad y valor nutricional de los alimentos, respondiendo así a las preocupaciones de los consumidores respecto a la sostenibilidad y la salud. En la Tabla 1 se resumen los principales hallazgos en términos de resultados sensoriales y de vida útil de varios tipos de alimentos aplicados con recubrimientos comestibles (45)(41).

La investigación en el campo de los recubrimientos comestibles avanza, anticipando el uso de ingredientes

Imagen 1. Resultados de la vida útil de recubrimientos comestibles



Fuente: *Elaboración propia*

Los investigadores explican que la albúmina de las claras representa el 70% del recubrimiento, el resto de su composición es celulosa a nanoescala extraída de la madera, material que actúa como barrera contra el agua y evita que el producto se degrade, curcumina, que actúa como bacteriano, y glicerol, elemento que otorga elasticidad a la mezcla (21)(11).

se formulan los distintos tipos de recubrimientos adecuándose a las características que presentan la fruta u hortaliza a tratar. Es necesario que estos recubrimientos exhiban óptimas propiedades de barrera tanto a gases (O₂ y CO₂) como al vapor de agua, debido a que las pérdidas en la calidad de estos productos se vinculan principalmente a procesos metabólicos de respiración y transpiración (27). Como se mencionó antes, actualmente se utilizan distintos recubrimientos en una gran variedad de frutas y verduras, como ejemplo se pueden mencionar los siguientes:

Los biopolímeros más utilizados en este tipo de films son ceras, derivados de la celulosa, almidón, gomas, alginatos, quitosano y proteínas. Con ellos más la adición de plastificantes y otros aditivos específicos

Tabla 1. Resultados de recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas

Producto	Compuestos del recubrimiento	Funcionalidad del recubrimiento	Referencia
Mango (MP) ¹	Quitosano	Reducir la pérdida de peso y el deterioro de los caracteres sensoriales. Inhibir el crecimiento de microorganismos.	Chien et al., 2007
Zanahoria (MP)	Almidón + Glicerol y Quitosano	Inhibir el desarrollo de microorganismos presentes.	Durango et al., 2006
Ciruela (MP)	Hidroxipropilcelulosa (HPC) + lípido	Preservar la calidad postcosecha de los frutos.	Pérez – Gago et al., 2003a
Pera (F) ²	Carboximetilcelulosa (CMC) + aceite de soja + oleato sódico	Prolongar el tiempo de almacenamiento y vida útil.	Togrul y Arslan 2003b
Fresas y Frambuesas (F)	Quitosano	Reducir la pérdida de peso y el deterioro de los caracteres sensoriales (conservación del color). Inhibir el crecimiento de microorganismos.	Han et al., 2004

Fuente: 17

4. CONCLUSIONES

Los recubrimientos comestibles emergen como una tecnología altamente versátil y prometedora en la industria alimentaria, ofreciendo una amplia gama de aplicaciones en diversos productos. Los estudios analizados subrayan los beneficios significativos de estos recubrimientos en términos de vida útil y características sensoriales, mejorando así la calidad y seguridad de los alimentos a lo largo de su cadena de suministro (49)(35).

La adaptabilidad de los recubrimientos comestibles se destaca a través de la diversidad de productos, abordando de manera eficaz las necesidades específicas de cada categoría alimenticia y proporcionando soluciones para prolongar la vida útil y mejorar la calidad (36)(45).

Los ingredientes activos, como quitosano, almidón modificado, gomas y extractos naturales, utilizados en estos recubrimientos exhiben propiedades antioxidantes y antimicrobianas, contribuyendo a la prevención de la oxidación, el crecimiento bacteriano

y el deterioro de los alimentos (20)(9)(33). Además, estos ingredientes mejoran las características sensoriales, como textura, sabor y aroma, ofreciendo una experiencia más agradable a los consumidores. Los métodos de aplicación, como inmersión, rociado y cepillado, se eligen según las características del alimento y del recubrimiento, siendo la inmersión el método más fácil y económico para lograr una distribución uniforme y cobertura adecuada (34)(39) (37).

En resumen, los resultados de la investigación respaldan la idea de que los recubrimientos comestibles son una herramienta valiosa para mejorar la calidad y seguridad alimentaria (10). Aunque los avances actuales prometen un futuro prometedor, con el potencial de reducir el desperdicio y satisfacer las demandas de alimentos más saludables y atractivos, es crucial continuar investigando y desarrollando nuevas formulaciones y técnicas de aplicación para optimizar aún más estos beneficios en la industria alimentaria (25)(8)(31)(4)(34)(44).

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- González-Aguilar, G.A., Gardea, A.A. y Cuamea-Navarro F. (2005) Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados, Centro de Investigación y Desarrollo, A.C. (CIAD, A.C.) (Editorial), Hermosillo, México.
- Anukiruthika y otros, 2020 T. Anukiruthika, P., SethupathyAnandharamakrishnanC., MoisésJ.A., KashampurK., WilsonA. (2020). Envases multicapa: avances en técnicas de preparación y aplicaciones alimentarias emergentes. Revisiones completas sobre ciencia y seguridad alimentaria, 19 (3) (2020), págs. 1156-1186, 10.1111/1541-4337.12556
- Bhaskar et al., R. Bhaskar, S.M. ZoS.D., HanS.S. GuptaM.K., Purohit, NarayananK.B. (2023). Desarrollo reciente de biopolímeros a base de proteínas en aplicaciones de envasado de alimentos: una revisión. Pruebas de polímeros, 124 (2023, 108097, Artículo) 10.1016/j.polymertesting.2023.108097
- Jridi, M., Hajji, S., Ayed, H. B., Lassoued, I., Mbarek, A., Kammoun, M., Souissi, N., & Nasri, M. (2014). Physical, structural, antioxidant and antimicrobial properties of gelatin–chitosan composite edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 67, 373-379.
- Ceylan, H. G., & Atasoy, A. F. (2023). New Bioactive Edible Packing Systems: Synbiotic Edible Films/Coatings as Carriers of Probiotics and Prebiotics. *Food and Bioprocess Technology*, 16(7), 1413–1428. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02983-1>
- Bourtoom, Películas y recubrimientos comestibles: características y propiedades, *International Food Research Journal*, № 15, c. 237
- Khan, O. A., Zaidi, S., Islam, R. U., Naseem, S., & Junaid, P. M. (2023). Enhanced shelf-life of peach fruit in alginate based edible coating loaded with TiO₂ nanoparticles. *Progress in Organic Coatings*, 182, 107688. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107688>
- Silva, V. D. M., Neris dos Santos, A., Macedo, M. C. C., Rodrigues, C. G., Correia, V. T. da V., Lacerda, I. C. A., & Fante, C. A. (2023). Physicochemical evaluation of coated and interleaved cheeses with films of ripe banana peel and starch enriched with extract of loquat leaves. *Food Chemistry Advances*, 2, 100276. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100276>
- Nair, S. M., Saxena, A., & Kaur, C. (2018). Characterization and Antifungal Activity of Pomegranate Peel Extract and its Use in Polysaccharide-Based Edible Coatings to Extend the Shelf-Life of Capsicum (*Capsicum annuum* L.). *Food and Bioprocess Technology*, 2018, № 7, p. 1317-1327. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2101-x>
- Lan, X., Zhang, X., Wang, L., Wang, H., Hu, Z., Ju, X., & Yuan, Y. (2023). A review of food preservation based on zein: The perspective from application types of coating and film. *Food Chemistry*, 424, 136403. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136403>
- San, H., Laorenza, Y., Behzadfar, E., Sonchaeng, U., Wadaugsorn, K., Sodsai, J., Kaewpetch, T., Promhuad, K., Srisa, A., Wongphan, P., & Harnkarnsujarit, N. (2022). Functional Polymer and Packaging Technology for Bakery Products. *Polymers*, 14(18), 3793. <https://doi.org/10.3390/polym14183793>
- Donkor, L., Kontoh, G., Yaya, A., Bediako, J., & Apalangya, V. (2023). Bio-based and sustainable food packaging systems: relevance, challenges, and prospects. *Food Research International*, 3, Article 100356. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100356>
- Prashanth, KVH; Baskaran, R.; DhanyaSri, E.B., & Rajashekaramurthy. (2016) Recubrimientos bioactivos a base de quitosano: aplicaciones funcionales para prolongar la vida útil del mango Alphonso: una dulce historia. *Aplicación pura. Química*. 2016, 88, 853–863
- Amir, M., Bano, N., Zaheer, M. R., Haq, T., & Roohi. (2022). Impact of Biodegradable Packaging Materials on Food Quality: A Sustainable Approach. In *Biodegradable Materials and Their Applications* (pp. 627–652). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119905301.ch22>
- Ghosh, M., & Singh, A. K. (2022). Potential of engineered nanostructured biopolymer based coatings for perishable fruits with Coronavirus safety perspectives. *Progress in Organic Coatings*, 163, 106632. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2021.106632>
- Sharma, M., Bains, A., Sridhar, Nayak, P. K., Sarangi, P. K., Ali, N., A, P., Chawla, P., & Sharma M., (2023). Sustainable design and characterization of Aegle marmelos fruit nanomucilage-flaxseed oil nanoemulsion: Shelf-life of coated fresh-cut papaya. *Journal of Food Engineering*, 355, 111579. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2023.101409>

17. Gomes, B. A. F., Alexandre, A. C. S., de Andrade, G. A. V., Zanzini, A. P., de Barros, H. E. A., Ferraz e Silva, L. M. dos S., Costa, P. A., & Boas, E. V. de B. V. (2023). Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook. *Food Chemistry Advances*, 2, 100304. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100304>
18. Zhuang, Z., Wang, Y., Feng, Z., Lin, X., Wang, Z., Zhong, W., Guo, K., Zhong, Y., Fang, Q., Wu, X., Chen, J., & Tan., W. (2023). Targeting Diverse Wounds and Scars: Recent Innovative Bio-design of Microneedle Patch for Comprehensive Management. *Food International*, 1, 2306565. <https://doi.org/10.1002/sml.202306565>
19. Cheng, X., Yang, S., Fang, Q., Dai, S., Peng, X., Sun, M., Lian, Z., Liu, Y., Yang, J., Xu, J., Wang, H., & Jiang, L. (2023). Biomacromolecule assembly of soy glycinin-potato starch complexes: Focus on structure, function, and applications. *Carbohydrate Polymers*, 317, 121101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121101>
20. Hosseini, S. F., Mousavi, Z., & McClements, D. J. (2023). Beeswax: A review on the recent progress in the development of superhydrophobic films/coatings and their applications in fruits preservation. *Food Chemistry*, 424, 136404. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136404>
21. Phuong, N. T. H., Koga, A., Nkede, F. N., Tanaka, F., & Tanaka, F. (2023). Application of edible coatings composed of chitosan and tea seed oil for quality improvement of strawberries and visualization of internal structure changes using X-ray computed tomography. *Progress in Organic Coatings*, 183, 107730. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107730>
22. Cakmak, H., Ilyasoglu-Buyukkestelli, H., Sogut, E., Ozyurt, V. H., Gumus-Bonacina, C. E., & Simsek, S. (2023). A review on recent advances of plant mucilages and their applications in food industry: Extraction, functional properties and health benefits. *Food Hydrocolloids for Health*, 3, 100131. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100131>
23. Mihalca, V., Kerezsi, A. D., Weber, A., Gruber-Traub, C., Schmucker, J., Vodnar, D. C., Dulf, F. V., Socaci, S. A., Fărcaș, A., Mureșan, C. I., Suharoschi, R., & Pop, O. L. (2021). Protein-Based Films and Coatings for Food Industry Applications. *Polymers*, 13(5), 769. <https://doi.org/10.3390/polym13050769>
24. Al-Tayyar, N. A., Youssef, A. M., & Al-Hindi, R. R. (2020). Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. *Sustainable Materials and Technologies*, 26, e00215. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.susmat.2020.e00215>
25. Song, B., Weidong, N., Wei, D., Jiang, M., Zhu, K., Xingwei, W., Edwards, D., Odeny, D. O., & Cheng, S. (2023). Plant genome resequencing and population genomics: Current status and future prospects. *Molecular Plant* 16, 1252–1268, August 7 2023. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2023.07.009>
26. Wong, C. H., & Li, D. (2023). Comparison of two strategies enhancing the antagonistic effect of lactic acid bacteria in edible coating against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut apple slices. *LWT*, 182, 114923. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114923>
27. Karakuş, E., Ayhan, Z., & Haskaraca, G. (2023). Development and characterization of sustainable-active-edible-bio based films from orange and pomegranate peel waste for food packaging: Effects of particle size and acid/plasticizer concentrations. *Food Packaging and Shelf Life*, 37, 101092. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101092>
28. Chaudhari, Ramesh, Patel, V., & Kumar, A. (2023). Application of Nanoemulsions in Food Industries. In *Impact of Engineered Nanomaterials in Genomics and Epigenomics* (pp. 229–250). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119896258.ch9>
29. Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from Chinese medicine residues. He Q; Bai Y; Lu Y; Cui B; Huang Z; Yang Q; Jiang D; Shao D *Biomass Convers Biorefin*; 2022 Oct; ();1-10. PubMed ID: 36259074
30. Erkaya-Kotan, T., Gürbüz, Z., Dağdemir, E., & Şengül, M. (2023). Utilization of edible coating based on quince seed mucilage loaded with thyme essential oil: Shelf life, quality, and ACE-inhibitory activity efficiency in Kaşar cheese. *Food Bioscience*, 54, 102895. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102895>
31. Huang, P., Ding, J., Liu, C., Li, H., Wang, C., Lin, Y., Sameen, D. E., Hossen, M. A., Chen, M., Yan, J., Liu, Y., & Qin, W. (2023). Konjac glucomannan/low-acyl gellan gum edible coating containing thymol microcapsule regulates cell wall polysaccharides disassembly and delays postharvest softening of blueberries. *Postharvest Biology and Technology*, 204, 112449. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112449>





33. Giannakas, A.E.; Salmas, C.E.; Moschovas, D.; Karabagias, V.K.; Karabagias, I.K.; Baikousi, M.; Georgopoulos, S.; Leontiou, A.; Katerinopoulou, K.; Zafeiropoulos, N.E.; et al. Development, Characterization, and Evaluation as Food Active Packaging of Low-Density-Polyethylene-Based Films Incorporated with Rich in Thymol Halloysite Nanohybrid for Fresh "Scaloppini" Type Pork Meat Fillets Preservation. *Polymers* 2023, 15, 282, doi:10.3390/polym15020282.
- Triunfo, M., Tafi, E., Guarnieri, A., Ianniciello, D., Scieuzo, C., Salvia, R., Hahn, T., Zibek, S., & Falabella, P. (2023). Insect chitin-based nanomaterials for innovative cosmetics and cosmeceuticals. *Cosmetics*. 2021;8(2):40. <https://doi.org/10.3390/cosmetics8020040>.
- Kupervaser, M. G., Traffano-Schiffo, M. V., Dellamea, M. L., Flores, S. K., & Sosa, C. A. (2023). Trends in starch-based edible films and coatings enriched with tropical fruits extracts: a review. *Food Hydrocolloids for Health*, 2023, p. 100138. <https://doi.org/10.1016/j.fhfh.2023.100138>
- Touayar, M., Zayani, R., Messaoud, C., & Salman, H. (2023). Influence of droplet size on the antibacterial efficacy of citral and citronella oil nanoemulsions in polysaccharide coated fresh-cut apples. *Scientific Reports*, 13(1), 10460. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37528-9>
- Mouzakitis, C.-K., Sereti, V., Matsakidou, A., Kotsiou, K., Biliaderis, C. G., & Lazaridou, A. (2022). Physicochemical properties of zein-based edible films and coatings for extending wheat bread shelf life. *Food Hydrocolloids*, 132, 107856. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107856>
- Peñarubia, O., Toppe, J., Ahern, M., Ward, A., & Griffin, M. (2023). How value addition by utilization of tilapia processing by-products can improve human nutrition and livelihood. *Reviews in Aquaculture*, 15(S1), 32–40. <https://doi.org/10.1111/raq.12737>
- Mohammadi, M., Zoghi, A., & Azizi, M. H. (2023). Assessment of properties of gluten-based edible film formulated with beeswax and DATEM for hamburger bread coating. *Food Science & Nutrition*, 11(4), 2061–2068. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3242>
- Akbar, Industrial perspectives of lactic acid bacteria for biopreservation and food safety, *Journal of Animal and Plant Sciences*, № 26, c. 938
- Pinto, T., Pinto, A., & Vilela, A. (2023). Edible Coatings and Films for Preparation of Grapevine By-Product Infusions and in Freshly Processed Products. University of Trás-os-Montes and Alto Douro, 5000-801 Vila Real, Portugal. <https://doi.org/10.3390/coatings13081350>
- Yang, Z., Li, M., Li, Y., Wang, X., Li, Z., Shi, J., Huang, X., Zhai, X., Zou, X., Gong, Y., Holmes, M., Povey, M., & Xiao, J. (2023). Entrapment of probiotic (*Bifidobacterium longum*) in bilayer emulsion film with enhanced barrier property for improving viability. *Food Chemistry*, 423, 136300. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136300>
- Osanloo, M., Eskandari, Z., Zarenezhad, E., Qasemi, H., & Nematollahi, A. (2023). Studying the microbial, chemical, and sensory characteristics of shrimp coated with alginate sodium nanoparticles containing *Zataria multiflora* and *Cuminum cyminum* essential oils. *Food Science & Nutrition*, 11(6), 2823–2837. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3261>
- Fathimoghadam, F., Shahamirian, M., Roomiani, L., & Tadayoni, M. (2023). Effect of gelatin-based film activated with persian lime (*Citrus latifolia*) essential oil on the shelf life of shrimp. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(3), 3115–3124. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-01839-2>
- Such, A., Wiśła-Świder, A., Węsierska, E., Nowak, E., Szatkowski, P., Kopcińska, J., & Koronowicz, A. (2023). Edible chitosan-alginate based coatings enriched with turmeric and oregano additives: Formulation, antimicrobial and non-cytotoxic properties. *Food Chemistry*, 426, 136662. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136662>
- Rasool, F., Zahoor, I., Ayoub, W. S., Ganaie, T. A., Dar, A. H., Farooq, S., & Mir, T. A. (2023). Formulation and characterization of natural almond gum as an edible coating source for enhancing the shelf life of fresh cut pineapple slices. *Food Chemistry Advances*, 3, 100366. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100366>
- Riccio, F.A. and Orchard, L.P. (1999): Non wood fiber resources: availability, infrastructure and feasibility. In Fifth International Conference. Anon,(2001)"Commodity and trade division", Food and Agriculture Organization of the United Nations ,Economic and Social Department (ES) ,<http://www.fao.org/>.
- Prasad, M., Maneengam, A., Siddique, M. J., & Selvaraj, R. (2023). Static and dynamic characteristics of jute/glass fiber reinforced hybrid composites. *Structures*, 50, 954–962. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.01.116>

Alkandary, A., & Netravali, A. N. (2023). Hybrid green composites using rice straw and jute fabric as reinforcement for soy protein-based resin. *Composites Part B: Engineering*, 256, 110626. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2023.110626>

Ferraz, A. R., Goulão, M., Santo, C. E., Anjos, O., Serralheiro, M. L., & Pintado, C. M. B. S. (2023). Novel, Edible Melanin-Protein-Based Bioactive Films for Cheeses: Antimicrobial, Mechanical and Chemical Characteristics. *Foods*, 12(9), 1806. <https://doi.org/10.3390/foods12091806>

FACTORES DETERMINANTES EN EL PROCESO DE MADURACIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS DIFERENTES CAMBIOS EN FRUTAS Y HORTALIZAS

DETERMINING FACTORS IN THE MATURATION PROCESS AND ITS RELATIONSHIP WITH THE DIFFERENT CHANGES IN FRUITS AND VEGETABLES

	¹ Gabriela Elizabeth Campos Mera *	gabcampos@correo.ugr.es
	² Jessica Verónica Guamangallo Tandalla	jvguamangallo2011@gmail.com
	³ Edwin Ramiro Cevallos Carvajal	edwin.cevallos@utc.edu.ec
	⁴ Orley Alejandro Acosta Ordoñez	orley.acosta@esPOCH.edu.ec

¹ Universidad de Granada.

² Investigador independiente.

³ Universidad Técnica de Cotopaxi.

⁴ investigador independiente.

E-mail: * gabcampos@correo.ugr.es

RESUMEN

Maduración y cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos críticos que afectan la calidad y vida útil de las frutas y verduras después de ser recolectadas. Durante la maduración, las frutas continúan su desarrollo metabólico, experimentando cambios fisiológicos y bioquímicos que influyen en su sabor, textura y apariencia. La presente investigación tiene como objetivo determinar los factores determinantes en el proceso de maduración y su relación con los diferentes cambios en frutas y hortalizas. Para la presente investigación se analizaron un sinnúmero de investigaciones que presentan los cambios más frecuentes en las frutas y hortalizas utilizando el método de investigación bibliográfica dando como resultado que la hormona vegetal que regula y acelera el proceso de maduración. El etileno es clave para la activación de enzimas que degradan almidones en azúcares, lo que resulta en un aumento del contenido de azúcar y la dulzura de la fruta. Además, los pigmentos como clorofila y carotenoides se degradan y sintetizan, dando lugar a cambios en el color de la fruta a medida que madura. Sin embargo, en la postcosecha, estos cambios bioquímicos pueden ser desfavorables si no se controlan adecuadamente. El exceso de etileno puede provocar una maduración desigual, ablandamiento excesivo y pérdida de calidad. Para mitigar estos efectos, se utilizan técnicas de manejo postcosecha, como el control de la atmósfera y la

temperatura, que retrasan la producción de etileno y alargan la vida útil del producto. En conclusión, la maduración y cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos naturales que afectan la calidad de las frutas y verduras, pero que también pueden ser controlados y gestionados para extender su vida útil y preservar sus propiedades nutricionales y organolépticas. Un adecuado manejo postcosecha es esencial para garantizar que estos productos lleguen al consumidor en óptimas condiciones y maximizar su valor comercial y nutricional.

Palabras clave: Manejo postcosecha, maduración, cambios bioquímicos, frutas y verduras.

ABSTRACT:

Ripening and biochemical changes in the postharvest are critical processes that affect the quality and shelf life of fruits and vegetables after being harvested. During ripening, fruits continue their metabolic development, undergoing physiological and biochemical changes that influence their flavor, texture and appearance. The objective of this research is to determine the determining factors in the ripening process and its relationship with the different changes in fruits and vegetables. For the present investigation, countless investigations were analyzed that present the most

frequent changes in fruits and vegetables using the bibliographic research method, resulting in the plant hormone that regulates and accelerates the maturation process. Ethylene is key to the activation of enzymes that break down starches into sugars, resulting in an increase in the sugar content and sweetness of the fruit. Additionally, pigments such as chlorophyll and carotenoids are degraded and synthesized, leading to changes in the color of the fruit as it ripens. However, in the postharvest, these biochemical changes can be unfavorable if they are not adequately controlled. Excess ethylene can cause uneven ripening, excessive softening and loss of quality. To mitigate these effects, postharvest handling techniques are used, such as controlling the atmosphere and temperature, which delay the production of ethylene and extend the useful life of the product. In conclusion, ripening and biochemical changes in the postharvest are natural processes that affect the quality of fruits and vegetables, but they can also be controlled and managed to extend their useful life and preserve their nutritional and organoleptic properties. Proper postharvest handling is essential to guarantee that these products reach the consumer in optimal conditions and maximize their commercial and nutritional value.

Keywords: *Postharvest handling, ripening, biochemical changes, fruits and vegetables.*

1. INTRODUCCIÓN

La maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha son procesos cruciales que afectan la calidad y la vida útil de las frutas y verduras después de ser recolectadas. Estos fenómenos biológicos y fisiológicos, que ocurren de manera natural en los vegetales, juegan un papel fundamental en la transformación de la materia prima en productos listos para el consumo (1). Comprender los mecanismos y regulaciones de estos procesos es esencial para los agricultores, productores, distribuidores y consumidores, ya que influyen directamente en la calidad organoléptica, nutricional y comercial de los alimentos. En esta extensa introducción, exploraremos en detalle los conceptos clave de la maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha, analizando los principales factores que influyen en estos procesos y cómo pueden ser controlados y manipulados para maximizar la calidad y vida útil de los productos agrícolas (1). Adentrémonos en el fascinante mundo de la fisiología vegetal y los mecanismos bioquímicos que rigen la maduración y postcosecha de las frutas y verduras. Importancia de la maduración y la

postcosecha. La maduración es una fase crítica en el ciclo de vida de las frutas y verduras, durante la cual se desarrollan las características organolépticas que determinan su sabor, aroma, color y textura. Sin embargo, una vez cosechadas, las frutas y verduras continúan experimentando cambios bioquímicos en la postcosecha que pueden afectar tanto positiva como negativamente su calidad y valor nutricional (2). Estos cambios pueden ser beneficiosos, como la síntesis de antioxidantes y compuestos bioactivos que contribuyen a la salud humana, o pueden ser perjudiciales, como la descomposición de nutrientes y la producción de compuestos indeseables, como compuestos volátiles que afectan negativamente el sabor y aroma. Es esencial comprender estos cambios para aplicar técnicas adecuadas de manejo postcosecha que minimicen pérdidas nutricionales y mantengan la calidad del producto final Control y manipulación de la maduración y postcosecha dada la importancia de la maduración y los cambios bioquímicos en la postcosecha, se han desarrollado diversas técnicas para controlar y manipular estos procesos en beneficio de la industria alimentaria (2). El control de la atmósfera, el uso de reguladores de maduración, la aplicación de tratamientos de frío y el uso de tecnologías de conservación son algunas de las estrategias utilizadas para prolongar la vida útil de las frutas y verduras, mejorar su calidad y satisfacer las demandas del mercado. Sin embargo, es fundamental asegurar que estas técnicas sean aplicadas de manera sostenible y segura, garantizando la seguridad alimentaria y la preservación de las propiedades nutricionales de los alimentos. Avances y perspectivas futuras a medida que la ciencia y la tecnología continúan avanzando, se abren nuevas oportunidades para mejorar la maduración y la postcosecha de frutas y verduras la investigación continua en este campo y la aplicación de avances tecnológicos ofrecen nuevas oportunidades para mejorar la producción y comercialización de frutas y verduras, contribuyendo a una industria alimentaria más eficiente y respetuosa con el medio ambiente (2).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se analizaron un sinnúmero de investigaciones que presentan los cambios más frecuentes en las frutas y hortalizas utilizando el método de investigación bibliográfica, para estudiar la maduración, se puede realizar una evaluación visual de las frutas y verduras a lo largo del tiempo, registrando cambios en color, firmeza, aroma y sabor (3). También se pueden emplear técnicas de medición no destructivas, como la espectroscopía o el uso de etileno como

marcador de madurez (3). Se pueden realizar ensayos enzimáticos para evaluar la actividad de enzimas específicas involucradas en la maduración, como la polifenoloxidasas y la pectinmetiltransferasa, utilizando espectrofotometría para cuantificar los productos generados. Para evaluar los cambios bioquímicos en la postcosecha, se pueden medir los contenidos de nutrientes como vitamina C, carotenoides, antocianinas y polifenoles mediante técnicas de cromatografía u otros métodos específicos de análisis (1).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Maduración fisiológica de frutos.

La madurez fisiológica de los frutos es una etapa crucial en su desarrollo biológico, que se caracteriza por el máximo nivel de desarrollo y maduración interna alcanzado de forma natural, independientemente del momento en que sean cosechados (4). En este estado, los frutos han completado su crecimiento y han alcanzado su máxima calidad organoléptica y contenido nutricional (5). Durante la madurez fisiológica, los frutos desarrollan su sabor y aroma característicos. Los niveles de azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles alcanzan su punto máximo, lo que contribuye a la dulzura y el sabor distintivo de la fruta. Asimismo, la maduración de los pigmentos y aceites esenciales contribuye a su aroma característico, lo que resulta en una experiencia sensorial más placentera para el consumidor. Los frutos en estado de madurez fisiológica tienen su mayor contenido de nutrientes, como vitaminas, minerales y compuestos antioxidantes (5). La ingesta de frutas en este punto óptimo puede proporcionar una mayor cantidad de nutrientes beneficiosos para la salud, como vitamina C, vitamina A, vitamina E, entre otros. Durante la madurez fisiológica, los frutos adquieren una textura suave y jugosa, lo que los hace más agradables al paladar. La firmeza y la textura de la pulpa son importantes para determinar la calidad de la fruta y su capacidad de satisfacer las preferencias del consumidor (6). Los frutos cosechados en estado de madurez fisiológica tienen una mayor capacidad de resistir daños mecánicos y enfermedades, lo que prolonga su vida útil y facilita su almacenamiento y transporte (6).

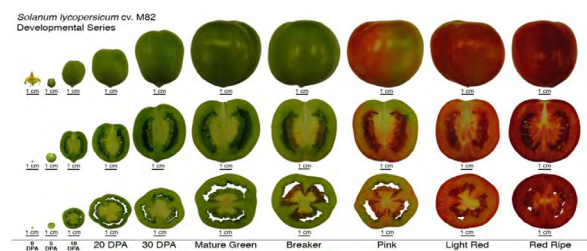


Figura 1. Fisiología del crecimiento y maduración de frutos [1]

Proceso de Maduración

El proceso de maduración en frutas es una serie de cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales que ocurren de forma natural en el fruto desde su desarrollo en la planta hasta alcanzar su estado óptimo para el consumo (7). Es un proceso regulado por una serie de factores internos y externos, que varía dependiendo de la especie y la variedad de la fruta. El proceso de maduración está influenciado por una variedad de factores internos y externos. Factores internos incluyen la genética del fruto y su composición química, mientras que factores externos incluyen la temperatura, humedad, luz, y la producción de hormonas vegetales como el etileno (8). El etileno es una hormona vegetal clave en el proceso de maduración, ya que actúa como un regulador del cambio de una etapa a otra, activando enzimas que descomponen almidones en azúcares y transforman pigmentos para cambiar el color del fruto. La comprensión del proceso de maduración en frutas es esencial para los agricultores, productores, distribuidores y consumidores, ya que influye directamente en la calidad, sabor y valor nutricional de los frutos (9). El manejo adecuado de la maduración, incluyendo la cosecha en el momento adecuado y el control de la atmósfera durante el almacenamiento y transporte, son aspectos fundamentales para garantizar que las frutas lleguen a los consumidores en su punto óptimo de consumo (10). Además, el estudio de la maduración también es importante en la investigación científica y la mejora genética de las especies frutales, buscando desarrollar variedades con características específicas de maduración y mejor adaptadas a las necesidades del mercado y la producción sostenible (10).

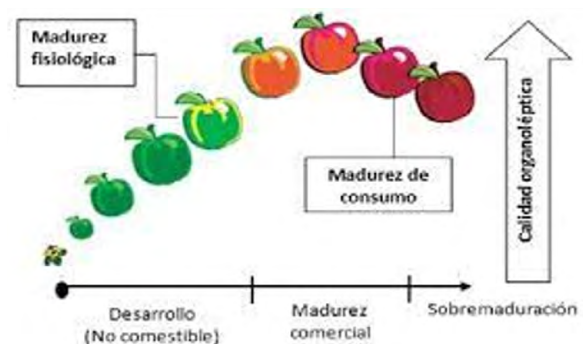


Figura 2. Bioestimulación de la Maduración de Cultivos Hortofrutícolas [2]

Cambios bioquímicos en las frutas.

Conversión de almidón en azúcares Durante la maduración, las frutas verdes contienen almidón que se convierte en azúcares, principalmente glucosa,

fructosa y sacarosa. Este cambio es responsable del aumento de la dulzura en las frutas maduras (11). Descomposición de ácidos orgánicos: Los ácidos orgánicos, como el ácido málico y el ácido cítrico, disminuyen en concentración a medida que la fruta madura (12). Esta reducción de la acidez contribuye a un sabor más suave y menos ácido. Durante la maduración, las frutas producen una variedad de compuestos aromáticos que contribuyen a su aroma característico (12). Estos compuestos son volátiles y se liberan al ambiente, lo que influye en la percepción olfativa de la fruta. La maduración también conlleva cambios en los pigmentos de las frutas. Por ejemplo, en muchas frutas, los pigmentos verdes de la clorofila se degradan, y los pigmentos amarillos, naranjas y rojos de los carotenoides y antocianinas se sintetizan o acumulan. Esto da lugar a cambios de color, como el cambio de verde a amarillo o rojo, a medida que la fruta madura (13).



Figura 3. Cambios químicos en maduración de vegetales [3]

Cambios sensoriales en las frutas.

Los cambios bioquímicos en las frutas, como la conversión de almidón en azúcares y la reducción de la acidez, influyen directamente en su sabor. A medida que maduran, las frutas tienden a volverse más dulces y menos ácidas (13). Los compuestos aromáticos sintetizados durante la maduración contribuyen al aroma característico de las frutas maduras. Estos compuestos son liberados al ambiente y percibidos por el olfato al oler la fruta (14). La textura de las frutas también cambia durante la maduración. En general, las frutas verdes son más firmes y crujientes, mientras que las frutas maduras tienden a ser más suaves y jugosas. Los cambios en los pigmentos de las frutas durante la maduración afectan directamente su color. A medida que la fruta madura, puede cambiar de color, lo que indica su estado de madurez (14). Algunas frutas inmaduras pueden ser astringentes o amargas debido a la presencia de compuestos como taninos. Estos sabores astringentes y amargos tienden a disminuir a medida que la fruta madura (15).

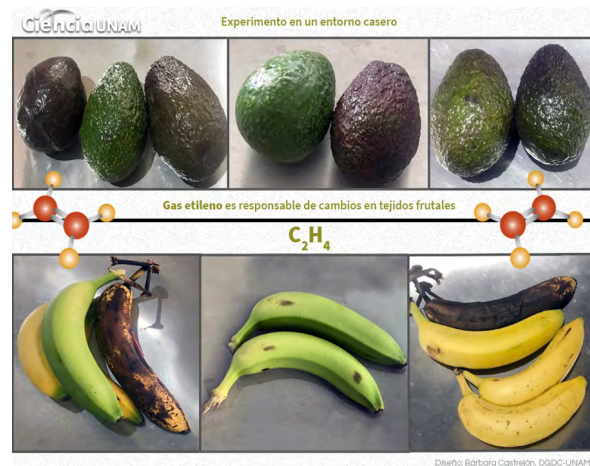


Figura 4. Cambios sensoriales en las frutas. [4]

Hormonas que ayudan en el crecimiento y desarrollo del futo.

Las auxinas son hormonas responsables de la elongación celular y el crecimiento de los tejidos vegetales. En el desarrollo de los frutos, las auxinas juegan un papel en la división celular y el crecimiento del fruto desde su inicio (15). También regulan la formación del ovario después de la polinización y estimulan la síntesis de etileno en la maduración del fruto (15). Las citoquininas promueven la división celular y retrasan el envejecimiento de los tejidos vegetales. En el desarrollo de los frutos, las citoquininas participan en la proliferación y expansión celular, lo que favorece el crecimiento del fruto y el desarrollo de estructuras como las semillas (16). El etileno es una hormona gaseosa que juega un papel central en la maduración de los frutos. Es producido en las frutas en cantidades significativas durante la madurez y es responsable de la transformación de los tejidos, la conversión de almidones en azúcares, la degradación de la pared celular y la producción de compuestos volátiles que contribuyen al aroma y sabor característicos de las frutas maduras (17).

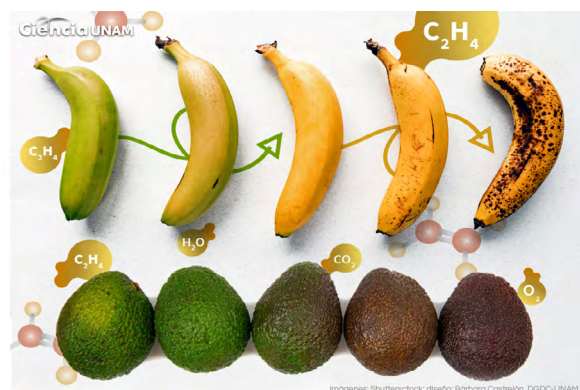


Figura 5. Intervención del etileno en las frutas. [5]

Etileno principal hormona que inicia y controla el proceso de maduración de los frutos.

Es importante destacar que el etileno no solo juega un papel en la maduración, sino que también regula otros procesos fisiológicos, como la caída de hojas, la floración y la senescencia de las plantas (18). Además, la respuesta de las frutas al etileno puede variar según la especie y la variedad, lo que afecta su sensibilidad y la velocidad de maduración (19). El conocimiento y la comprensión del papel del etileno en la maduración de los frutos son fundamentales para el manejo postcosecha y la comercialización de las frutas, ya que permite optimizar el tiempo de cosecha, el almacenamiento y la distribución para que lleguen al consumidor en su punto óptimo de consumo y calidad (20).



Figura 6. *Funciones del etileno.* [6]

Biosíntesis de etileno.

El proceso de biosíntesis de etileno involucra varias etapas y enzimas que catalizan las reacciones químicas necesarias para la formación del etileno a partir de precursores (21). A grandes rasgos, la biosíntesis de etileno Formación de S-adenosilmetionina (SAM) La primera etapa implica la conversión del aminoácido metionina en S-adenosilmetionina (SAM), que es un compuesto clave en la biosíntesis de etileno. Formación de 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) La SAM se convierte en 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) mediante la enzima ACC sintasa (22). Esta reacción es considerada el paso limitante de la biosíntesis de etileno. Conversión de ACC en etileno El ACC se convierte en etileno a través de la acción de la enzima ACC oxidasa, también conocida como etileno sintasa (23). Esta enzima cataliza la oxidación del ACC para producir etileno y CO₂. Regulación de la síntesis de etileno La biosíntesis de etileno está finamente regulada por una variedad de factores, incluyendo factores internos como la concentración de etileno y ACC, así como factores externos como la

luz, la temperatura y el estrés (24). La regulación de la producción de etileno permite a las plantas responder adecuadamente a las condiciones ambientales y coordinar sus respuestas fisiológicas (24). El conocimiento de la biosíntesis de etileno es esencial para comprender cómo esta hormona regula los diferentes procesos fisiológicos en las plantas y cómo su producción puede ser manipulada para mejorar el manejo postcosecha de frutas y hortalizas, así como para el desarrollo de técnicas agrícolas que optimicen el crecimiento y rendimiento de los cultivos (25).



Figura 7. *Figura 7. Detección del etileno.* [7]

4. CONCLUSIONES

Hay un notable progreso en el estudio de los mecanismos de la maduración de los frutos, pero un gran número de preguntas aún permanecen sin respuesta. El etileno juega un papel determinante en el proceso de maduración y su relación con los diferentes procesos que ocurren en esta etapa en los frutos climatéricos, pero aún quedaría por abordar la función de otras hormonas y la forma en la que actúan junto con el etileno. Asimismo, otro tema sobre el que se requiere más información es el mecanismo por el cual el etileno selecciona genes específicos de regulación de la maduración. Por otro lado, aunque en frutos no climatéricos hay información acerca de los mecanismos que regulan el proceso de maduración, existe interés en el tema y se realizan estudios que están generando información valiosa. Como resultado de esta búsqueda exhaustiva de información relacionada con los cambios bioquímicos en la maduración de los frutos durante su manejo postcosecha, se permite una actualización de lo que se hace en investigación sobre el tema, cuya información servirá para que los investigadores biotecnólogos y fitomejoradores generen conocimiento o propongan materiales vegetales sobresalientes con una técnica de manejo postcosecha más efectiva y aplicable, lo que impactaría en la economía de países cuya principal actividad es la agricultura.





5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Yun, Z., Gao, H., & Jiang, Y. (2022). Insights into metabolomics in quality attributes of postharvest fruit. *Current Opinion in Food Science*, 45, 100836. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2022.100836>
- González-Gordo, S., Rodríguez-Ruiz, M., López-Jaramillo, J., Muñoz-Vargas, M. A., Palma, J. M., & Corpas, F. J. (2022). Nitric Oxide (NO) Differentially Modulates the Ascorbate Peroxidase (APX) Isozymes of Sweet Pepper (*Capsicum annuum* L.) Fruits. *Antioxidants*, 11(4), 765. <https://doi.org/10.3390/antiox11040765>
- Kashyap, K., Kashyap, D., Nitin, M., Ramchiary, N., & Banu, S. (2020). Characterizing the Nutrient Composition, Physiological Maturity, and Effect of Cold Storage in Khasi Mandarin (*Citrus reticulata* Blanco). *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 521–540. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1666334>
- De los Santos-Santos, M. A., Balois-Morales, R., Jiménez-Zurita, J. O., Alia-Tejacal, I., López-Guzmán, G. G., Palomino-Hermosillo, Y. A., Berumen-Varela, G., & García-Paredes, J. D. (2020). Edible Coating Based on Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Mucilage Applied to Soursop Fruits in Postharvest Storage. *Journal of Food Quality*, 2020, 1–12. <https://doi.org/10.1155/2020/4326840>
- Nayab, S., Razaq, K., Ullah, S., Rajwana, I. A., Amin, M., Faried, H. N., Akhtar, G., Khan, A. S., Asghar, Z., Hassan, H., & Naz, A. (2020). Genotypes and harvest maturity influence the nutritional fruit quality of mulberry. *Scientia Horticulturae*, 266, 109311. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109311>
- Gong, X., Wu, X., Qi, N., Li, J., & Huo, Y. (2020). Changes in the biochemical characteristics and volatile fingerprints of atemoya during postharvest ripening at room temperature. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 12(4), 26–35. <https://doi.org/10.15586/qas.v12i4.786>
- Maldonado-Celis, M. E., Yahia, E. M., Bedoya, R., Landázuri, P., Loango, N., Aguillón, J., Restrepo, B., & Guerrero Ospina, J. C. (2019). Chemical Composition of Mango (*Mangifera indica* L.) Fruit: Nutritional and Phytochemical Compounds. *Frontiers in Plant Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01073>
- Zhang, C., Xiong, Z., Yang, H., & Wu, W. (2019). Changes in pericarp morphology, physiology and cell wall composition account for flesh firmness during the ripening of blackberry (*Rubus* spp.) fruit. *Scientia Horticulturae*, 250, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.015>
- Lim, Y. J., & Eom, S. H. (2018). Kiwifruit cultivar 'Halla gold' functional component changes during preharvest fruit maturation and postharvest storage. *Scientia Horticulturae*, 234, 134–139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.036>
- Skic, A., Szymańska-Chargot, M., Kruk, B., Chylińska, M., Pieczywek, P., Kurenda, A., Zdunek, A., & Rutkowski, K. (2016). Determination of the Optimum Harvest Window for Apples Using the Non-Destructive Biospeckle Method. *Sensors*, 16(5), 661. <https://doi.org/10.3390/s16050661>
- Kullaj, E. (2016). New insights on postharvest ecophysiology of fresh horticultural crops. In *Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality* (pp. 1–38). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804313-4.00001-3>
- Hassan, A., Othman, Z., & Siriphanich, J. (2011). Pineapple (*Ananas comosus* L. Merr.). In *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 194–218e). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9780857092618.194>
- Molina-Delgado, D., Larrigaudière, C., & Recasens, I. (2009). Antioxidant activity determines on-tree maturation in 'Golden Smoothie' apples. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(7), 1207–1212. <https://doi.org/10.1002/jsfa.3577>
- Lima, M. A. C. de, Alves, R. E., & Filgueiras, H. A. C. (2006). Mudanças relacionadas ao amaciamento da graviola durante a maturação pós-colheita. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(12), 1707–1713. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006001200004>
- Sehar, S., Adil, M. F., Askri, S. M. H., Feng, Q., Wei, D., Sahito, F. S., & Shamsi, I. H. (2023). Pan-transcriptomic Profiling Demarcates Serendipita Indica-Phosphorus Mediated Tolerance Mechanisms in Rice Exposed to Arsenic Toxicity. *Rice*, 16(1), 28. <https://doi.org/10.1186/s12284-023-00645-0>
- Sun, L., Wang, J., Cui, Y., Cui, R., Kang, R., Zhang, Y., Wang, S., Zhao, L., Wang, D., Lu, X., Fan, Y., Han, M., Chen, C., Chen, X., Guo, L., & Ye, W. (2023). Changes in terpene biosynthesis and submergence tolerance in cotton. *BMC Plant Biology*, 23(1), 330. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04334-4>
- Pei, Y., Cao, W., Yu, W., Peng, C., Xu, W., Zuo, Y., Wu, W., & Hu, Z. (2023). Identification and functional characterization of the dirigent gene family in *Phryma leptostachya* and the contribution of P1DIR1 in lignan biosynthesis. *BMC Plant Biology*

- gy, 23(1), 291. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04297-6>
18. Shin, S. Y., Lee, C.-M., Kim, H.-S., Kim, C., Jeon, J.-H., & Lee, H.-J. (2023). Ethylene signals modulate the survival of Arabidopsis leaf explants. *BMC Plant Biology*, 23(1), 281. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04299-4>
19. Ma, L., Ma, S., Chen, G., Lu, X., Wei, R., Xu, L., Feng, X., Yang, X., Chai, Q., Zhang, X., & Li, S. (2023). New insights into the occurrence of continuous cropping obstacles in pea (*Pisum sativum* L.) from soil bacterial communities, root metabolism and gene transcription. *BMC Plant Biology*, 23(1), 226. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04225-8>
20. Frazão, C. J. R., Wagner, N., Rabe, K., & Walther, T. (2023). Construction of a synthetic metabolic pathway for biosynthesis of 2,4-dihydroxybutyric acid from ethylene glycol. *Nature Communications*, 14(1), 1931. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37558-x>
21. Sajeevan, R. S., Abdelmeguid, I., Saripella, G. V., Lenman, M., & Alexandersson, E. (2023). Comprehensive transcriptome analysis of different potato cultivars provides insight into early blight disease caused by *Alternaria solani*. *BMC Plant Biology*, 23(1), 130. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04135-9>
22. Ma, X., Jin, Q., Wang, Y., Wang, X., Wang, X., Yang, M., Ye, C., Yang, Z., & XU, Y. (2023). Comparative transcriptome analysis reveals the regulatory mechanisms of two tropical water lilies in response to cold stress. *BMC Genomics*, 24(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12864-023-09176-w>
23. Pan, L., Li, H., & Zhao, J. (2023). Improvement of the prediction of a visual apple ripeness index under seasonal variation by NIR spectral model correction. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 302, 123075. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2023.123075>
24. Moing, A., Berton, T., Roch, L., Diarrassouba, S., Bernillon, S., Arrivault, S., Deborde, C., Maucourt, M., Cabasson, C., Bénard, C., Prigent, S., Jacob, D., Gibon, Y., & Lemaire-Chamley, M. (2023). Multi-omics quantitative data of tomato fruit unveils regulation modes of least variable metabolites. *BMC Plant Biology*, 23(1), 365. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04370-0>
25. Jeong, M.-J., Ko, B. J., & Kim, J. Y. (2023). Mass spectrometry-based metabolomics study for delay tomato fruit ripening by sound waves. *Journal of Analytical Science and Technology*, 14(1), 27. <https://doi.org/10.1186/s40543-023-00384-3>

PRESENCIA DE MICOTOXINAS Y SUS METABOLITOS, EFECTO DEL CONSUMO EN CEREALES

PRESENCE OF MYCOTOXINS AND THEIR METABOLITES, EFFECT OF CONSUMPTION IN CEREALS

	¹ Evelyn Alejandra Vargas Peralvo *	ea.vargasp@uea.edu.ec
	² Moreano Teran Nancy Fabiola	nancy.moreano@utc.edu.ec
	³ Miryam Janeth Cárdenas Bonifaz	mj.cardenasb@uea.edu.ec
	⁴ Stuard Nelson Montoya Vizuete	stumontoya@gmail.com

¹ Ingeniera Agroindustrial. Técnico - Docente. Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

² Investigador Universidad Técnica de Cotopaxi.

³ Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

⁴ SSV CONSULTING.

E-mail: * ea.vargasp@uea.edu.ec

RESUMEN

Las micotoxinas representan metabolitos tóxicos secundarios producidos por diversos hongos filamentosos, entre los cuales se incluyen especies como *Fusarium*, *Penicillium*, *Drechslera*, *Aspergillus*, *Claviceps*, *Monascus*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Nigrospora* y *Trichoderma*. En particular, los hongos *Aspergillus* y *Fusarium* son considerados los principales patógenos de plantas que provocan infecciones y generan micotoxinas en cultivos destinados al consumo humano. La presente investigación tiene como objetivo determinar la presencia de micotoxinas y sus metabolitos, efecto del consumo en cereales, se realizó una investigación bibliográfica para determinar las variables que más afectan el consumo en cereales y determinar factores que se presentan como resultado en los cuales se menciona que se ha documentado una extensa variedad de más de 400 micotoxinas, y entre ellas destacan la aflatoxina, las *fumonisin*as, los tricotecenos, la *zearalenona*, la *ocratoxina A*, la *citrinina*, los alcaloides del cornezuelo del centeno y la *patulina*. Estos compuestos están estrechamente asociados con diversos trastornos de la salud tanto en humanos como en animales, y su presencia en los alimentos puede conllevar serios riesgos para la salud. Las micotoxinas y sus subproductos pueden ocasionar graves intoxicaciones agudas, resultando incluso en la muerte, además de tener efectos perjudiciales a largo plazo para la salud, como el desarrollo de cáncer y trastornos inmunosupresores

tanto en seres humanos como en animales. La presencia de micotoxinas en productos agrícolas ha adquirido relevancia a nivel mundial debido a su toxicidad para los seres vivos, así como por su impacto en el comercio internacional. Nuestra meta consiste en brindar información completa acerca de las posibles micotoxinas presentes en los granos destinados al consumo humano y su significativo impacto en la salud humana.

Palabras clave: *Micotoxinas; Riesgo; Prevención; Hongos; Alimentos.*

ABSTRACT:

Mycotoxins represent secondary toxic metabolites produced by various filamentous fungi, including species such as *Fusarium*, *Penicillium*, *Drechslera*, *Aspergillus*, *Claviceps*, *Monascus*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Nigrospora* and *Trichoderma*. In particular, *Aspergillus* and *Fusarium* fungi are considered the main plant pathogens that cause infections and generate mycotoxins in crops intended for human consumption. The objective of this research is to determine the presence of mycotoxins and their metabolites, the effect of consumption in cereals, a bibliographic research was carried out to determine the variables that most affect the consumption of cereals and determine factors that are presented as a result in

which it is mentioned A wide variety of more than 400 mycotoxins have been documented, and among them are aflatoxin, fumonisins, trichothecenes, zearalenone, ochratoxin A, citrinin, ergot alkaloids and patulin. These compounds are closely associated with various health disorders in both humans and animals, and their presence in foods can carry serious health risks. Mycotoxins and their byproducts can cause serious acute poisoning, even resulting in death, in addition to having long-term detrimental health effects, such as the development of cancer and immunosuppressive disorders in both humans and animals. The presence of mycotoxins in agricultural products has acquired relevance worldwide due to their toxicity for living beings, as well as their impact on international trade. Our goal is to provide complete information about the possible mycotoxins present in grains intended for human consumption and their significant impact on human health.

Keywords: *Mycotoxins; Risk; Prevention; Fungus; Food.*

1. INTRODUCCIÓN

Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por ciertas especies de hongos que pueden contaminar una amplia variedad de alimentos, incluidos los cereales. Estos compuestos químicos representan una seria preocupación para la seguridad alimentaria y la salud humana, ya que pueden tener efectos perjudiciales en el consumidor y en los animales que se alimentan con estos productos contaminados. Diversos estudios han demostrado que las micotoxinas pueden tener un impacto negativo en la salud, tanto a corto como a largo plazo, y se han relacionado con una serie de enfermedades y trastornos, incluidos efectos tóxicos en órganos como el hígado, los riñones y el sistema nervioso (1).

Durante el cultivo y almacenamiento, los granos son propensos a la contaminación por micotoxinas, y la exposición a estas toxinas es cada vez más común a nivel mundial debido a los desafíos típicos de almacenamiento, los impactos del cambio climático y la escasez de agua. Específicamente, los productos derivados de los granos suelen estar afectados por la presencia simultánea de varias micotoxinas (2).

Los mohos productores de micotoxinas crecen en numerosos alimentos, tales como cereales, frutas desecadas, frutos secos y especias. Además, algunos cereales, como el maíz, el trigo, el arroz, la cebada y la avena, son una parte esencial de la dieta humana en todo el mundo, y su cultivo y almacenamiento pueden verse

afectados por condiciones ambientales propicias para el desarrollo de hongos productores de micotoxinas. Los factores como la humedad, la temperatura y la mala gestión durante el almacenamiento pueden facilitar la proliferación de hongos y la producción de micotoxinas (3).

Entre las micotoxinas más relevantes desde la perspectiva agrícola, destacan las aflatoxinas, que han sido vinculadas con el cáncer de hígado, así como con el deterioro del crecimiento en niños y la toxicosis aguda. Las fumonisinas, por su parte, han sido asociadas con el cáncer de esófago y defectos del tubo neural. Asimismo, los tricotecenos, incluyendo el deoxinivalenol (DON), son inmunotóxicos y pueden causar gastroenteritis, mientras que la ocratoxina A (OTA) se ha relacionado con enfermedades renales (2).

En este contexto, es crucial comprender el impacto que las micotoxinas pueden tener en los cereales y su posible transmisión a los productos finales, así como identificar métodos eficientes de detección y control para minimizar los riesgos para la salud pública. A lo largo de las últimas décadas, se ha llevado a cabo una extensa investigación en este campo, lo que ha permitido una mejor comprensión de los tipos de micotoxinas que afectan a los cereales, así como los posibles mecanismos de toxicidad y sus efectos sobre la salud. Para abordar esta preocupación, se han establecido límites máximos de micotoxinas en los alimentos, con el objetivo de proteger la salud pública. La vigilancia y el monitoreo regular de los niveles de micotoxinas en los cereales son esenciales para garantizar la seguridad alimentaria y tomar medidas preventivas adecuadas.

2. METODOLOGÍA

En la presente investigación se revisaron documentos que aportan en el desarrollo de información que aportan y describen los principales factores y variables que influyen en los cereales destinados al consumo, se revisaron bibliográficamente documentos que presentan resultados importantes en el efecto que causan las micotoxinas.

3. RESULTADOS

I. Impacto de los factores edáficos en la contaminación por micotoxinas

La contaminación de cereales con micotoxinas es un problema importante que afecta la calidad y la

seguridad de los alimentos. Las micotoxinas son metabolitos tóxicos producidos por hongos que pueden crecer en granos y otros productos agrícolas antes, durante y después de la cosecha, así como durante su almacenamiento y transporte (5). Estas toxinas representan un riesgo para la salud humana y animal, y pueden tener efectos negativos a corto y largo plazo.

La ingestión de alimentos contaminados con micotoxinas puede ocasionar diversos problemas de salud, que van desde síntomas leves en el sistema digestivo hasta efectos más serios y crónicos, como daño en el hígado, los riñones y la supresión del sistema inmunológico (6). Algunas micotoxinas, como las aflatoxinas, son cancerígenas y se han relacionado con un mayor riesgo de desarrollar cáncer de hígado en seres humanos (7).

El papel del suelo es fundamental en la producción y crecimiento de hongos productores de micotoxinas, y diversos elementos del suelo pueden afectar la contaminación de los cereales (8). Entre estos factores se encuentran:

- 1.1 Humedad:** desempeña un papel significativo en el crecimiento y la propagación de hongos productores de micotoxinas. Los suelos con niveles elevados de humedad favorecen la aparición de estos hongos, incrementando el riesgo de contaminación en los cereales (9).
- 1.2 Temperatura:** ejerce una influencia importante en el desarrollo de hongos. Ambientes cálidos pueden estimular el crecimiento de estos organismos y, por ende, aumentar la producción de micotoxinas en los cereales (10).
- 1.3 Contenido de nutrientes:** afecta la competencia entre hongos y otras especies microbianas. Un desequilibrio nutricional puede favorecer el crecimiento de hongos productores de micotoxinas (11).
- 1.4 pH:** influye en la disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana. Algunos hongos productores de micotoxinas prosperan en suelos ácidos o alcalinos (12).
- 1.5 Contaminación:** incrementar el riesgo de contaminación en los cereales cultivados en ese entorno (13).
- 1.6 Manejo agronómico:** desempeña un papel crucial en la presencia de hongos productores de micotoxinas en el suelo y, por ende, en la

contaminación de los cereales. Prácticas como la rotación de cultivos, el uso de fungicidas y una cosecha adecuada pueden tener un impacto en esta problemática (14).

II. Contaminación por *Aspergillus* y micotoxinas derivadas

La presencia de *Aspergillus* en los cereales y las micotoxinas que producen constituye una preocupación significativa en cuanto a la seguridad alimentaria y la calidad de los productos Según (15). *Aspergillus* es un género de hongos ampliamente distribuido en el medio ambiente, y algunas de sus especies tienen la capacidad de generar micotoxinas, que son compuestos tóxicos secundarios (16). En el caso de cereales como maíz, trigo, arroz y otros granos, la contaminación por *Aspergillus* puede ocurrir durante el cultivo en el campo o durante el almacenamiento posterior a la cosecha, especialmente bajo condiciones de alta humedad y temperatura (17).

2.1 Aflatoxinas

Las aflatoxinas, son un grupo de micotoxinas altamente tóxicas producidas por hongos como *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus*, representan un grave riesgo para la salud humana y animal debido a su potencial carcinogénico (18). A las micotoxinas se consideran extremadamente peligrosas debido a su potencial carcinogénico y su impacto negativo en la salud de seres humanos y animales (19). Los cereales, como el maíz, el trigo, el arroz, los cacahuets (maní) y otros granos, pueden contaminarse con aflatoxinas, esta contaminación puede ocurrir tanto durante el crecimiento y almacenamiento de los cultivos, como en las etapas posteriores a la cosecha si las condiciones favorecen el desarrollo de los hongos productores de aflatoxinas (20).

2.2 Ocratoxinas

Las ocratoxinas son un conjunto de toxinas producidas por ciertos tipos de hongos, especialmente por especies de *Aspergillus* y *Penicillium*. Entre las ocratoxinas más comunes se encuentran la ocratoxina A (OTA), la ocratoxina B (OTB), la ocratoxina C (OTC) y la ocratoxina α (OT α) (21).

Estas toxinas pueden contaminar distintos alimentos, incluyendo cereales como el maíz, el trigo, la cebada, el arroz y otros granos (22). La contaminación puede ocurrir durante diversas etapas, desde el cultivo hasta el almacenamiento y procesamiento de los cereales, especialmente bajo condiciones de alta humedad y

temperaturas moderadas (23). Consumo de cereales contaminados con ocratoxinas puede tener efectos negativos en la salud tanto humana como animal (24), el. La ocratoxina A es especialmente preocupante, ya que la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) de la Organización Mundial de la Salud (OMS) la ha clasificado como posiblemente carcinogénica para los seres humanos. Además, estas toxinas se han asociado con problemas renales, daño renal e incluso se han vinculado con la enfermedad nefropatía endémica de los Balcanes en seres humanos (25).

III. Contaminación causada por *Fusarium* y micotoxinas derivadas

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas (26). Debido a su capacidad de crecer a 37°C, son considerados oportunistas. El *Fusarium verticillioides* además de causar enfermedades a las plantas, daña la salud humana a través de micotoxinas cancerígenas y fusariosis potencialmente mortales (27),.

Los análisis comparativos han revelado que el genoma de *Fusarium* está compartimentado en regiones responsables del metabolismo primario y la reproducción (genoma central) y la virulencia del patógeno, la especialización del huésped y posiblemente otras funciones (genoma adaptativo) (28).

Son importantes patógenos de plantas y causan diversas enfermedades en los granos de cereal. El tizón de la espiga por *Fusarium* (FHB), causado por *Fusarium graminearum*, es una de las enfermedades del trigo más destructivas en todo el mundo.

3.1 Fumonisinias

Las fumonisinias, producidas por *F. verticillioides* y *F. proliferatum*, se han identificado en necropsias de equinos con leucoencefalomalacia, en porcinos con edema pulmonar y en humanos con cáncer esofágico y hepatocarcinomas celular. (29).

Las fumonisinias se producen debido a estos dos grupos de factores: Factores no biológicos y Factores biológicos. Cabe recalcar, que el consumo de cualquier alimento que esté contaminado por esta toxina provocará diferentes enfermedades en animales y humanos (30).

Existen 15 tipos de fumonisinias agrupadas en cuatro categorías (A, B, C, P); siendo las más conocidas

FB1, FB2 y FB3, de las cuales FB1 es la más tóxica y representa aproximadamente 70 % de la fumonisinina total.

Las más comunes son la fumonisinina B1 (FB1) y la fumonisinina B2 (FB2) (31).

- FB1 es un carcinógeno potente en animales de laboratorio y se sospecha que causa cáncer de esófago en humanos.
- FB2 Es estructuralmente similar a la FB1, pero es menos estudiada, sin embargo, se la ha relacionado con algunas enfermedades animales.

3.2 Tricotecenos (TCT) y deoxinivalenol (DON)

3.2.1 Tricotecenos (TCT)

Los tricotecenos son metabolitos sesquiterpenoides, biológicamente activos, de bajo peso molecular y de elevada termoestabilidad. Son producidos por el género *Fusarium* pueden ser clasificados en dos tipos:

- **TIPO A:** Caracterizado por poseer en el C-8 un grupo funcional distinto de una cetona. Estos incluyen al diacetoxiscirpenol (DAS), al monoacetoxiscirpenol (MAS), al T-2 y al HT-2, entre otros.
- **TIPO B:** Caracterizado por poseer una cetona como grupo funcional en el C-8. Este tipo comprenden deoxinivalenol (DON), 3 acetil- DON (3-ADON), 15 acetil-DON (15-ADON); nivalenol (NIV); fusarenona-X (FUS), y otros (32).

Sin embargo los tricotecenos se pueden dividir en cuatro tipos: A (toxinas T-2 y HT-2, diacetoxiscirpenol), B (desoxinivalenol, nivalenol), C y D, y estos son los grupos químicos principales y más diversos de las tres clases principales defusariummicotoxinas (33).

El tipo y la cantidad de micotoxinas producidas por una especie fúngica pueden variar de un año a otro, dependiendo fundamentalmente de los factores ambientales, de los cultivos y del almacenamiento.

3.2.2 Deoxinivalenol (DON)

El tricoteceno de tipo B (desoxinivalenol) es producido por; estas *Fusarium graminearum* y *Fusarium culmorum* especies productoras de micotoxinas se encuentran en el trigo, el centeno, la cebada y la avena. El deoxinivalenol se divide en cinco tipos (desoxinivalenol, 15-acetildeoxinivalenol, 3-acetildeoxinivalenol, fusarenon-X y nivalenol) (33).

Con frecuencia, los cereales pueden estar contaminados con micotoxinas, entre las que se encuentra el deoxinivalenol (DON). Este puede dañar la salud animal: por reducción en el consumo de alimento y en la ganancia en peso, alteración del sistema inmune, entre otros efectos adversos.

El deoxinivalenol (DON) es una de las micotoxinas más comunes detectadas en cereales y productos a base de cereales. Perteneció a la familia de los tricotecenos del grupo B, producido principalmente por *Fusarium graminearum*, *F. Culmorum* y *F. Crookwellense*. Una vez ingerido, el DON se absorbe rápidamente y llega al intestino, su principal diana, desarrollando lesiones intestinales, alterando la proliferación y diferenciación celular e interfiriendo en la función de la barrera epitelial (34).

Es uno de los tricotecenos más abundantes e importantes en alimentos y piensos, y es un contaminante importante debido a su frecuente presencia en concentraciones toxicológicamente relevantes en todo el mundo. La exposición a esta toxina es un riesgo permanente para la salud tanto de humanos como de animales de granja (35).

3.3 Zearalenona

La zearalenona es una micotoxina que tiene una estructura de lactona estrogénica; tienen suficiente similitud estructural y estos sintetizados por varios *Fusarium* especies - *F. graminearum*, *F. culmorum* y *F. crookwellense*. La zearalenona se encuentra en los cereales, principalmente el maíz, y en los alimentos procesados, y estos son una micotoxina no altamente tóxica (33).

La zearalenona es un compuesto estable, tanto durante el almacenamiento/molienda como durante el procesamiento/cocción de los alimentos, y no se degrada a altas temperaturas. Los estudios del metabolismo indican que la zearalenona se absorbe con bastante rapidez después de la administración oral, con la formación de alfa y beta-zearalenol y alfa y alfa-zearalanol, que posteriormente se conjugan con ácido glucurónico (36).

Se ha confirmado la presencia de zearalenona por cromatografía líquida de alta resolución con detector de fluorescencia. Esta prueba se lo realizó por cromatografía de gases con detector de ionización de llama.

IV. Contaminación causada por *Penicillium* y micotoxinas derivadas

Los cereales, frutos secos y sus derivados son alimentos altamente propensos a acumular toxinas producidas por hongos. Debido a su bajo contenido de agua, estas micotoxinas pueden mantenerse y conservarse en estos alimentos. Cuando las condiciones de cultivo o almacenamiento no son óptimas, los mohos pueden generar toxinas, que, al ser ingeridas por los consumidores, pueden dar lugar a lo que se conoce como micotoxicosis primaria (37).

Es conocido que *Aspergillus* y *Penicillium* son microorganismos patógenos oportunistas que tienden a multiplicarse, sobre todo, durante el periodo de almacenamiento poscosecha. Además, estos hongos también tienen un papel relevante en la agricultura debido a que ciertas especies de estos géneros producen metabolitos conocidos como micotoxinas, las cuales representan un riesgo para la salud humana y pueden afectar negativamente la productividad del ganado (38).

En ocasiones, los alimentos destinados al consumo humano o animal sirven de hábitat para diferentes especies de *Penicillium spp.* Algunas de estas especies son consideradas patógenas para frutas y verduras frescas, especialmente dentro de los subgéneros *Penicillium* y *Biverticillium*, así como para ciertas variedades de cereales en el subgénero *Penicillium*. Por lo tanto, ciertas especies de *Penicillium* tienen asociaciones específicas con ciertos alimentos, lo que permite realizar identificaciones presuntivas.

4.1 Citrinina (CTN)

La presencia de la micotoxina citrinina, que puede contaminar los alimentos, representa una seria preocupación a nivel mundial. Esta toxina se considera un contaminante inevitable en alimentos y piensos, dado que los hongos están ampliamente presentes en el medio ambiente. Los substratos más comúnmente afectados por la citrinina incluyen maíz, cebada, centeno, trigo, avena, arroz, soja, legumbres y productos derivados de estas materias primas (39).

La Citrinina es una toxina natural producida por diversos hongos como *Penicillium*, *Aspergillus* y *Monascus*. Se desarrolla en condiciones de almacenamiento deficientes después de la cosecha y suele encontrarse junto a la ocratoxina. Esta micotoxina puede manifestarse en alimentos como alubias, frutas, aceitunas, hierbas y especias. Es común en el arroz rojo fermentado con hongos tipo moho, utilizado en

Asia como conservante y colorante alimentario.

4.2 Patulina (PAT)

La patulina, una toxina producida principalmente por hongos de los géneros *Penicillium* (*P. expansum*, *P. claviforme*, *P. patulum* y *P. vulpinum*) y *Aspergillus* (*A. clavatus* y *A. terreus*), está estrechamente relacionada con manzanas en descomposición. Puede encontrarse en alimentos para animales, así como en frutas y verduras destinadas al consumo humano, siendo el mayor riesgo en la elaboración de jugos con frutas en mal estado. Aunque se necesitan dosis grandes para intoxicaciones en humanos y animales, en aves, la patulina actúa como neurotoxina, provocando síntomas como falta de coordinación, temblores, parálisis y debilidad, afectando significativamente a mamíferos (40).

Aunque la patulina no se considera extremadamente perjudicial, estudios han detectado efectos genotóxicos, indicando un potencial mutagénico o carcinogénico. La cantidad de patulina en productos derivados de la manzana se utiliza como indicador de la calidad de las manzanas en la producción de alimentos.

V. Contaminación causada por *Claviceps* y micotoxinas derivadas

Claviceps también conocida como Cornezuelo del Centeno, es una esponja de Ascomycota de la familia Clavicipitaceae. Los parásitos de parásitos son principalmente grano, principalmente centeno. Es un hongo específicamente un moho capaz de crear micotoxinas las cuales causan graves efectos en la salud cuando se llega a ingerir por lapsos prolongados de tiempo (41).

Viven en una amplia variedad de forrajes: raigrás, mijo, avena, trigo, centeno, miel, residuos de semillas, cereales, pastos maduros y maduros, ensilaje y heno (42).

Dado que la ray grass es un forraje ampliamente utilizado en la región pampeana húmeda, la mayoría de las intoxicaciones ocurren con esta gramínea.

5.1 Toxinas

El cornezuelo de centeno produce varios compuestos diferentes, los más importantes de los cuales son los alcaloides de la ergolina, como la:

- Ergotamina (18%),
- Ergosina (12%)
- Ergocristina (15%),
- Ergometrina (11%).

Estos compuestos tienen un espectro muy complejo de efectos farmacológicos, incluidos efectos vasoconstrictores sobre el sistema circulatorio y efectos sobre la transmisión de impulsos nerviosos. Actúan sobre los receptores de dopamina y serotonina (43).

5.2 Enfermedades que ocasiona

Los compuestos producidos por el cereal negro tienen efectos graves en el cuerpo humano, incluidas sus propiedades alucinógenas, que pueden causar alteraciones en la conciencia. Los científicos han atribuido la actitud violenta y la guerra de los vikingos al envenenamiento por comer centeno infectado con centeno negro. Los historiadores también han atribuido los famosos juicios de brujas de Salem al envenenamiento accidental de granos negros. En la Edad Media, a menudo ocurrían envenenamientos masivos por comer pan de centeno contaminado (44).

La exposición a sus metabolitos tóxicos puede causar:

Los principales mecanismos de estas manifestaciones son el estrés oxidativo y la genotoxicidad inducida por micotoxinas (44).

La exposición a sus metabolitos tóxicos puede causar:

- Carcinogenicidad
- Teratogenicidad
- Inmunosupresión
- Manifestaciones clínicas de neurotoxicidad
- Nefrotoxicidad
- Hepatotoxicidad
- Mielotoxicidad
- Toxicidad pulmonar
- Toxicidad endocrina

Los principales mecanismos de estas manifestaciones son el estrés oxidativo y la genotoxicidad inducida por micotoxinas (44).

VI. Métodos de prevención de micotoxinas

6.1 Aplicación de levadura para el control biológico de micotoxinas

Los volátiles de *Cyberlindnera jadinii* (una levadura antagonista) inhibieron significativamente el crecimiento y la propagación de las cepas de *A. parasiticus*, *A. niger* y *P. verrucosum*. Estos hallazgos sugieren la presencia de hongos toxigénicos y

micotoxinas en los cereales comercializados y las actividades de biocontrol de *Cyberlindnera jadinii* contra hongos toxigénicos, que potencialmente pueden reemplazar la aplicación de fungicidas sintéticos en la agricultura y la industria alimentaria (45).

6.2 Métodos más comunes de prevención

6.2.1 Cultivo del alimento

Deben seleccionar más claramente la variedad menos propensa a ser infectada con los hongos que producen micotoxinas. Se deben controlar las plagas con insecticidas para evitar un contagio directo. Se deben rotar los cultivos para evitar que el moho se adapte a un solo tipo de cultivo (46).

Se debe tener en cuenta claramente el tiempo de cosecha para evitar la contaminación por humedad, el procedimiento y la limpieza con la que se realice la recolección también cuenta suficientemente con los estándares para evitar generar condiciones de vida del moho (47).

6.2.2 Almacenamiento, transporte y distribución

Dentro del almacenamiento también se deben controlar los insectos ya que estos fungen como portadores.

Dentro de las instalaciones se deben controlar los factores de humedad y temperatura además de tener siempre la higiene correspondiente.

VII. Tratamientos de los alimentos contaminados

7.1. Métodos físicos de eliminación

Los tratamientos más usados en la industria son:

7.1.1. Limpieza y separación

Los granos infectados se pueden separar manualmente y por métodos de flotación gracias a que la densidad de los granos infectados cambia unos claros ejemplos de esto son el maíz y el maní (41).

El defecto de este método es que no es efectivo al cien por ciento lo que lo hace menos eficaz en caso de que haber infección (41).

7.1.2 Molienda húmeda

La aflatoxina y la zearalenona se concentran más en las aguas residuales de lavado y en la fibra de esta, de la molienda que en el mismo almidón resultante por lo

tanto es un método bastante útil para la obtención de un almidón más limpio (48).

7.2. Métodos físicos de detoxificación

7.2.1 Desactivación térmica

Como es de conocimiento las micotoxinas son resistentes a altas temperaturas lo que significa que resisten cocción, auto clavado u otros procesos térmicos. Existen ciertas excepciones como el de la aflatoxina la que se destruye cuando es expuesta a aceite hirviendo como en las frituras lo que ha sido probado en maní, otra buena opción es el tostado en el microondas (49).

7.3. Absorción

Este es uno de los sistemas más utilizados por excelencia en la elaboración de piensos animales. Actúan de manera que los absorbentes pueden unirse a las micotoxinas presentes en el pienso contaminado y quedarse así mientras es digerido hasta la eliminación de las heces fecales (50).

Los principales agentes absorbentes son:

- Carbón activado
- Silicatos aluminio, calcio, sodio, hidratados, (HSCAS) son un tipo de silicatos que se utilizan como adsorbentes de micotoxinas en la alimentación animal.
- Asociaciones mixtas de entre silicatos y compuestos orgánicos
- Paredes celulares de levaduras

7.4. Biotransformación

Este es un método de desactivación de micotoxinas y convierte las toxinas en metabolitos que no son peligrosos. Este proceso consiste en usar bacterias enzimáticas especializadas en alimentarse de micotoxinas este método está comprobado y autorizado por la unión europea (51).

4. DISCUSIÓN

En relación a las especies de hongos que más comúnmente producen micotoxinas, se observó que *Penicillium spp.* y *Alternaria spp.* fueron las más frecuentes en muestras de trigo sarraceno. En cuanto a las muestras de quinua, las especies fúngicas más

reportadas fueron *Penicillium spp.* y *Aspergillus spp.*, mientras que, en los granos de amaranto, se detectaron *Aspergillus spp.*, *Penicillium spp.* y *Fusarium spp.*, resaltando la presencia de contaminación por especies de *Fusarium* (3).

Las micotoxinas tricotecenos y aflatoxinas son sustancias contaminantes de origen natural, producidas por hongos filamentosos y que se encuentran comúnmente en el trigo. Su presencia en este cereal representa una preocupación significativa para la salud pública, ya que estas moléculas son altamente estables durante los procesos industriales a los que el trigo es sometido para obtener sus derivados, y, además, pueden ocasionar efectos tóxicos perjudiciales para la salud.

En un estudio llevado a cabo, se observó un incremento significativo en la contaminación de micotoxinas en los granos de quinua, con un porcentaje que varió del 0.8% al 3.2%, tal como se muestra en la tabla 1. Este aumento en los niveles de micotoxinas se registró en un lapso de tan solo dos años, aunque no se proporcionó información específica sobre los años más recientes. Es relevante destacar que las micotoxinas más frecuentemente encontradas durante los años 2012 al 2014 fueron la aflatoxina, fumonisina, zearalenona y la ocratoxina A (53).

Presencia de micotoxinas en Quinua			
Año	Porcentaje de micotoxinas en quinua (%)	Micotoxinas encontradas	Referencia
2011	0,0	No declara	
2012	0,8	Aflatoxina, fumonisina	(Peñafiel, 2022)
2013	2,2		
2014	3,2	Zearalenona y Ocratoxina A	

Nota. Elaborado por: Navas, S. 2023

En esta revisión, se examina la existencia de micotoxinas en diversos cereales y los riesgos vinculados a su consumo, subrayando la relevancia de mantener una vigilancia continua de los niveles de micotoxinas presentes en los granos, así como la imperiosa necesidad de aplicar medidas preventivas durante todas las fases de producción y almacenamiento con el fin de asegurar la inocuidad alimentaria (53).

En este estudio analizan los efectos de las micotoxinas tanto en la salud humana como en la producción animal. Examinan cómo estas sustancias pueden tener repercusiones en el sistema inmunológico, el hígado, el sistema nervioso central y otros órganos. Asimismo, enfatizan que la presencia de micotoxinas en cereales

puede ocasionar pérdidas económicas importantes en la industria ganadera (54).

Al examinar las tácticas y procedimientos para evitar y gestionar la contaminación de micotoxinas en cereales destinados tanto al consumo humano como animal. Abordan temas relacionados con prácticas agrícolas seguras, almacenamiento adecuado y tecnologías destinadas a detectar y eliminar las micotoxinas (55).

5. CONCLUSIONES

Para prevenir la presencia de micotoxinas en alimentos, se deben implementar diversas medidas, como la selección de agentes resistentes a hongos, el control de insectos y plagas, la fertilización y rotación adecuadas de cultivos, la cosecha en el momento óptimo, y un correcto manejo de secado y almacenamiento. En el transporte, es crucial mantener condiciones de sequedad y limpieza. En caso de contaminación, se pueden aplicar métodos físicos, químicos o fungistáticos para inhibir o eliminar las micotoxinas.

Para prevenir efectos negativos en animales, se pueden utilizar detoxificantes enzimáticos como FINTOX o agentes como el ozono, que reduce las moléculas de micotoxinas, convirtiéndolas en sustancias no peligrosas. Los filtros de carbón activo también son útiles para eliminar micotoxinas del aire. Es importante destacar que las micotoxinas se descomponen y pierden toxicidad con el tiempo.

Dado que las micotoxinas representan un riesgo grave para la salud, al contaminar alimentos como cereales, pueden causar intoxicaciones, enfermedades hepáticas, trastornos neurológicos y efectos cancerígenos. Por tanto, es fundamental aplicar medidas preventivas en todas las etapas de la cadena alimentaria para garantizar la seguridad de los productos derivados de cereales y proteger la salud de los consumidores.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. OMS. (2018, May 9). Micotoxinas.
2. Wu, F., Groopman, J. D., & Pestka, J. J. (2014). Public Health Impacts of Foodborne Mycotoxins. *Annual Review of Food Science and Technology*, 5(1), 351–372. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030713-092431>
3. Vila-López, M. V., Pallarés, N., Ferrer, E., & Tolsa, J. (2023). Mycotoxin Determination and Occurrence in Pseudo-Cereals Intended for Food and





- Feed: A Review. *Toxins*, 15(6), 379. <https://doi.org/10.3390/toxins15060379>
4. Richard, J. L. (2007). Some major mycotoxins and their mycotoxicoses—An overview. *International Journal of Food Microbiology*, 119(1–2), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.019>
 5. Battilani, P., Toscano, P., Van der Fels-Klerx, H. J., Moretti, A., Camardo Leggieri, M., Brera, C., Rortais, A., Goumperis, T., & Robinson, T. (2016). Aflatoxin B1 contamination in maize in Europe increases due to climate change. *Scientific Reports*, 6(1), 24328. <https://doi.org/10.1038/srep24328>
 6. Yu, M.-H., Pang, Y.-H., Yang, C., Liao, J.-W., & Shen, X.-F. (2023). Electrochemical oxidation diminished toxicity of zearalenone significantly, while reduction increased. *Food Chemistry*, 429, 136768. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136768>
 7. Teixido-Orries, I., Molino, F., Femenias, A., Ramos, A. J., & Marín, S. (2023). Quantification and classification of deoxynivalenol-contaminated oat samples by near-infrared hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, 417, 135924. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135924>
 8. Hobé, R. G., van Asselt, E. D., van den Heuvel, L., Hoek-van den Hil, E. F., & van der Fels-Klerx, H. J. (2023b). Methodology for risk-based monitoring of contaminants in food – A case study in cereals and fish. *Food Research International*, 168, 112791. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112791>
 9. Köprücü, Y., & Acaroğlu, H. (2023). How cereal yield is influenced by eco-environmental factors? ARDL and spectral causality analysis for Turkey. *Cleaner Environmental Systems*, 10, 100128. <https://doi.org/10.1016/j.cesys.2023.100128>
 10. DeFries, R., Liang, S., Chhatre, A., Davis, K. F., Ghosh, S., Rao, N. D., & Singh, D. (2023). Climate resilience of dry season cereals in India. *Scientific Reports*, 13(1), 9960. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37109-w>
 11. Nath, C. P., Dutta, A., Hazra, K. K., Praharaj, C. S., Kumar, N., Singh, S. S., Singh, U., & Das, K. (2023). Long-term impact of pulses and organic amendments inclusion in cropping system on soil physical and chemical properties. *Scientific Reports*, 13(1), 6508. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33255-3>
 12. Van de Vondel, J., Janssen, F., Wouters, A. G. B., & Delcour, J. A. (2023). Air-water interfacial and foaming properties of native protein in aqueous quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) extracts: Impact of pH- and heat-induced aggregation. *Food Hydrocolloids*, 144, 108945. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.108945>
 13. Sanaei Nasab, S., Zare, L., Tahmouzi, S., Nematoollahi, A., Mollakhalili-Meybodi, N., Abedi, A.-S., & Delshadian, Z. (2023). Effect of irradiation treatment on microbial, nutritional and technological characteristics of cereals: A comprehensive review. *Radiation Physics and Chemistry*, 212, 111124. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2023.111124>
 14. Ocwa, A., Harsanyi, E., Széles, A., Holb, I. J., Szabó, S., Rátonyi, T., & Mohammed, S. (2023). A bibliographic review of climate change and fertilization as the main drivers of maize yield: implications for food security. *Agriculture & Food Security*, 12(1), 14. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00419-3>
 15. Katati, B., Schoenmakers, P., Njapau, H., Kachapulula, P. W., Zwaan, B. J., van Diepeningen, A. D., & Schoustra, S. E. (2023a). Preharvest Maize Fungal Microbiome and Mycotoxin Contamination: Case of Zambia's Different Rainfall Patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6). <https://doi.org/10.1128/aem.00078-23>
 16. N'zi, F. A.-J. A., Kouakou-Kouamé, C. A., N'guessan, F. K., Poss, C., Teyssier, C., Durand, N., & Montet, D. (2023). Occurrence of mycotoxins and microbial communities in artisanal infant flours marketed in Côte d'Ivoire. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(5), 128. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03577-5>
 17. Zanon, M. S. A., Pena, G., Yerkovich, N., Bossa, M., Chiotta, M. L., & Chulze, S. N. (2023). Aflatoxins and fumonisins in maize under a climate change scenario. Biocontrol strategies at the pre-harvest stage. *European Journal of Plant Pathology*. <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02735-7>
 18. Kyei-Baffour, V. O., Ketemepi, H. K., Brew-Sam, N. N., Asiamah, E., Baffour Gyasi, L. C., & Amoah-Awua, W. K. (2023). Assessing aflatoxin safety awareness among grain and cereal sellers in greater Accra region of Ghana: A machine learning approach. *Heliyon*, 9(7), e18320. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18320>
 19. Magdalena Pisoschi, A., Iordache, F., Stanca, L., Ionescu Petcu, A., Purdoi, L., Ionut Geicu, O., Biltanu, L., & Iren Serban, A. (2023). Comprehensive overview and critical perspective on the analytical techniques applied to aflatoxin determination – A review paper. *Microchemical Journal*, 191, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108770>
 20. Alsulami, T. (2023). Analysis of synthetic food color additive, sugar, and mycotoxin content in traditional, cereal-based Sobia beverage using hi-

- gh-performance liquid chromatography and mass spectrometry. *Journal of King Saud University - Science*, 35(6), 102736. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102736>
21. Arbillaga, L., Azqueta, A., Ezpeleta, O., & Cerain, A. L. d. (2006). Oxidative DNA damage induced by Ochratoxin A in the HK-2 human kidney cell line: evidence of the relationship with cytotoxicity. *Mutagenesis*, 22(1), 35–42. <https://doi.org/10.1093/mutage/gel049>
 22. Śniegocki, T., Raszowska-Kaczor, A., Bajer, K., Sell, B., Kozdrun, W., Giergiel, M., & Posyniak, A. (2022). A preliminary study of the poultry body weight effect of carvacrol in litter and of carvacrol residue in organ tissue of exposed chickens. *Journal of Veterinary Research*, 66(4), 613–617. <https://doi.org/10.2478/jvetres-2022-0054>
 23. Li, A., Hao, W., Guan, S., Wang, J., & An, G. (2022). Mycotoxin contamination in feeds and feed materials in China in year 2020. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1016528>
 24. Karachaliou, C.-E., Koukouvinos, G., Zisis, G., Kizis, D., Krystalli, E., Siragakis, G., Goustouridis, D., Kakabakos, S., Petrou, P., Livaniou, E., & Raptis, I. (2022). Fast and Accurate Determination of Minute Ochratoxin A Levels in Cereal Flours and Wine with the Label-Free White Light Reflectance Spectroscopy Biosensing Platform. *Biosensors*, 12(10), 877. <https://doi.org/10.3390/bios12100877>
 25. Erdal, İ., & Yalçın, S. S. (2022). The relationship between ochratoxin A and blood pressure in adolescents. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 95, 103959. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2022.103959>
 26. Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Género *Fusarium*. *Revista Chilena de Infectología*, 31(1), 85–86. <https://doi.org/10.4067/S0716-10182014000100012>
 27. Yao, G., Chen, W., Sun, J., Wang, X., Wang, H., Meng, T., Zhang, L., & Guo, L. (2023). Gapless genome assembly of *Fusarium verticillioides*, a filamentous fungus threatening plant and human health. *Scientific Data*, 10(1), 229. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02145-8>
 28. Ma, L.-J., Geiser, D. M., Proctor, R. H., Rooney, A. P., O'Donnell, K., Trail, F., Gardiner, D. M., Manners, J. M., & Kazan, K. (2013). *Fusarium* Pathogenomics. *Annual Review of Microbiology*, 67(1), 399–416. <https://doi.org/10.1146/annurev-micro-092412-155650>
 29. Chavarri, M. C., Barroyeta, J., Ochoa Sánchez, Y. D., Rumbos Escalona, N. B., & Alezones, J. (2017). Detección de *Fusarium verticillioides* y fumonisinas en granos de maíz blanco provenientes de los estados Yaracuy y Guárico, Venezuela. *Nova Scientia*, 9(19), 171. <https://doi.org/10.21640/ns.v9i19.1035>
 30. Ahangarkani, F., Rouhi, S., & Gholamour Azizi, I. (2014). A review on incidence and toxicity of fumonisins. *Toxin Reviews*, 33(3), 95–100. <https://doi.org/10.3109/15569543.2013.871563>
 31. Mohammedi, D., Mohammedi, S., & Kardjadj, M. (2021). Prévalence des fumonisines dans les aliments pour volaille en Algérie. *Revue d'élevage et de Médecine Vétérinaire Des Pays Tropicaux*, 74(4), 207–211. <https://doi.org/10.19182/remvt.36814>
 32. Martinez, M., Castañares, E., Dinolfo, M. I., Pacheco, W. G., Moreno, M. V., & Stenglein, S. A. (2014). Presencia de *Fusarium graminearum* en muestras de trigo destinado al consumo humano. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 41–44. [https://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70046-X](https://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70046-X)
 33. Jimenez-Garcia, S. N., Garcia-Mier, L., Garcia-Trejo, J. F., Ramirez-Gomez, X. S., Guevara-Gonzalez, R. G., & Feregrino-Perez, A. A. (2018). *Fusarium* Mycotoxins and Metabolites that Modulate Their Production. In *Fusarium - Plant Diseases, Pathogen Diversity, Genetic Diversity, Resistance and Molecular Markers*. InTech. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72874>
 34. Narváez, A., Castaldo, L., Izzo, L., Pallarés, N., Rodríguez-Carrasco, Y., & Ritieni, A. (2022). Deoxynivalenol contamination in cereal-based foodstuffs from Spain: Systematic review and meta-analysis approach for exposure assessment. *Food Control*, 132, 108521. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108521>
 35. Awad, W. A., Ghareeb, K., Böhm, J., & Zentek, J. (2010). Decontamination and detoxification strategies for the *Fusarium* mycotoxin deoxynivalenol in animal feed and the effectiveness of microbial biodegradation. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 27(4), 510–520. <https://doi.org/10.1080/19440040903571747>
 36. Gajecki, M. (2002). Zearalenone--undesirable substances in feed. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 5(2), 117–122.
 37. Gómez, A. (2007). Alimentos y micotoxinas Implicaciones en la seguridad alimentaria.
 38. Katati, B., Schoenmakers, P., Njapau, H., Kachapulula, P. W., Zwaan, B. J., van Diepeningen, A. D., & Schoustra, S. E. (2023b). Preharvest Maize Fungal Microbiome and Mycotoxin Contamination: Case

- of Zambia's Different Rainfall Patterns. *Applied and Environmental Microbiology*, 89(6). <https://doi.org/10.1128/aem.00078-23>
39. Zargar, S., & Wani, T. A. (2023). Food Toxicity of Mycotoxin Citrinin and Molecular Mechanisms of Its Potential Toxicity Effects through the Implicated Targets Predicted by Computer-Aided Multidimensional Data Analysis. *Life*, 13(4), 880. <https://doi.org/10.3390/life13040880>
 40. San, V. ", Mártir, V., Valencia, ", Castañeda Sánchez, R., Chirivella Martorell, J., & Carbonell Baldoví, E. (2012). Micotoxicosis derivadas de la nutrición animal. Revisión del tema.
 41. Piquemal, R., Emmerich, J., Guilmot, J. L., & Fiesinger, J. N. (1998). Successful Treatment of Ergotism with Iloprost. *Angiology*, 49(6), 493–497. <https://doi.org/10.1177/000331979804900612>
 42. Límite legal. (n.d.).
 43. Correia, T., Grammel, N., Ortel, I., Keller, U., & Tuzynski, P. (2003). Molecular Cloning and Analysis of the Ergopeptide Assembly System in the Ergot Fungus *Claviceps purpurea*. *Chemistry & Biology*, 10(12), 1281–1292. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2003.11.013>
 44. Tricotecenos, F. (2015). Micotoxicosis y micotoxinas: generalidades y aspectos básicos. 29(1).
 45. Alkuwari, A., Hassan, Z. U., Zeidan, R., Al-Thani, R., & Jaoua, S. (2022). Occurrence of Mycotoxins and Toxigenic Fungi in Cereals and Application of Yeast Volatiles for Their Biological Control. *Toxins*, 14(6), 404. <https://doi.org/10.3390/toxins14060404>
 46. Kumar, P., Mahato, D. K., Gupta, A., Pandey, S., Paul, V., Saurabh, V., Pandey, A. K., Selvakumar, R., Barua, S., Kapri, M., Kumar, M., Kaur, C., Tripathi, A. D., Gamlath, S., Kamle, M., Varzakas, T., & Agriopoulou, S. (2022). Nivalenol Mycotoxin Concerns in Foods: An Overview on Occurrence, Impact on Human and Animal Health and Its Detection and Management Strategies. *Toxins*, 14(8), 527. <https://doi.org/10.3390/toxins14080527>
 47. Richard-Forget, F., Atanasova, V., & Chéreau, S. (2021). Using metabolomics to guide strategies to tackle the issue of the contamination of food and feed with mycotoxins: A review of the literature with specific focus on *Fusarium* mycotoxins. *Food Control*, 121, 107610. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107610>
 48. Mir, S. A., Dar, B. N., Shah, M. A., Sofi, S. A., Hamdani, A. M., Oliveira, C. A. F., Hashemi Moosavi, M., Mousavi Khaneghah, A., & Sant'Ana, A. S. (2021). Application of new technologies in decontamination of mycotoxins in cereal grains: Challenges, and perspectives. *Food and Chemical Toxicology*, 148, 111976. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.111976>
 49. Azam, Md. S., Ahmed, S., Islam, Md. N., Maitra, P., Islam, Md. M., & Yu, D. (2021). Critical Assessment of Mycotoxins in Beverages and Their Control Measures. *Toxins*, 13(5), 323. <https://doi.org/10.3390/toxins13050323>
 50. Turner, P. C., & Snyder, J. A. (2021). Development and Limitations of Exposure Biomarkers to Dietary Contaminants Mycotoxins. *Toxins*, 13(5), 314. <https://doi.org/10.3390/toxins13050314>
 51. Mousavi Khaneghah, A., Hashemi Moosavi, M., Oliveira, C. A. F., Vanin, F., & Sant'Ana, A. S. (2020). Electron beam irradiation to reduce the mycotoxin and microbial contaminations of cereal-based products: An overview. *Food and Chemical Toxicology*, 143, 111557. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111557>
 52. Peñafiel, M. (2022). Estudio de la generación de ocratoxina A en el proceso primario de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y su efecto en la salud humana.
 53. Golinski, P., Chelkowski, J., Konarkowski, A., & Szebiotko, K. (1983). Mycotoxins in cereal grain. Part VI. The effect of ochratoxin A on growth and tissue residues of the mycotoxin in broiler chickens. *Food / Nahrung*, 27(3), 251–256. <https://doi.org/10.1002/food.19830270318>
 54. Miller, J. D., Schaafsma, A. W., Bhatnagar, D., Bondy, G., Carbone, I., Harris, L. J., Harrison, G., Munkvold, G. P., Oswald, I. P., Pestka, J. J., Sharpe, L., Sumarah, M. W., Tittlemier, S. A., & Zhou, T. (2014). Mycotoxins that affect the North American agri-food sector: state of the art and directions for the future. *World Mycotoxin Journal*, 7(1), 63–82. <https://doi.org/10.3920/WMJ2013.1624>
 55. Patel, H. K., Kalaria, R. K., Kahimani, M. R., Shah, G. S., & Dholakiya, B. Z. (2021). Prevention and control of mycotoxins for food safety and security of human and animal feed. In *Fungi Bio-Prospects in Sustainable Agriculture, Environment and Nano-technology* (pp. 315–345). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821734-4.00013-7>

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ACÚSTICO SOBRE MAMPOSTERÍAS DE BLOQUES DE HORMIGÓN EN INSTALACIONES DE FAENAMIENTO ANIMAL.

Analysis of acoustic behavior on concrete block masonry in animal slaughter facilities.

	¹ Fabián Bastidas-Alarcón	fabian.bastidas@esPOCH.edu.ec
	² Lidia Castro-Cepeda*	lidia.castro@esPOCH.edu.ec
	² Andrés Noguera	andres.noguera@esPOCH.edu.ec
	² Christian Flores-Arévalo	giovanni.flores@esPOCH.edu.ec

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, GISAI, Riobamba, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Mecánica, GIDETER, Riobamba, Ecuador.

E-mail: * lidia.castro@esPOCH.edu.ec

RESUMEN

Este trabajo de investigación se enfoca en las instalaciones de faenamiento animal, cuyo propósito es el sacrificio de animales para obtener carne para el consumo humano. Estas instalaciones deben cumplir con regulaciones sanitarias y acústicas debido a que el ruido generado por máquinas y animales puede ser perjudicial tanto para los trabajadores dentro de las instalaciones como para las personas que viven cerca. El estudio tiene como objetivo determinar si el hormigón puede actuar como un inhibidor acústico en este contexto. Para ello, se realiza una búsqueda bibliográfica exhaustiva relacionada con la propagación del sonido y las propiedades del hormigón, centrándose en bloques huecos fabricados con este material. Se llevan a cabo ensayos experimentales siguiendo la norma NTE INEN, donde se analizan las pérdidas de transmisión se utilizan para realizar simulaciones utilizando el software COMSOL Multiphysics. El software utiliza el modelo matemático de Johnson-Champoux-Allard, que caracteriza las propiedades acústicas del hormigón en función del ángulo de incidencia de la onda y la frecuencia, desde 0° hasta 45°. Para validar el modelo, se comparan los valores de coeficiente de absorción acústica simulados y la impedancia de la superficie con los resultados analíticos obtenidos. Con este estudio, se identifica el comportamiento acústico del hormigón en forma de bloques huecos y se obtienen los valores del coeficiente de absorción acústica a través de las simulaciones y el diseño experimental. De esta manera, se valida la aplicación de este tipo de materiales en edificaciones destinadas

a actividades de faenamiento animal, ayudando a mitigar el impacto acústico.

Palabras clave: *faenamiento animal, absorción acústica, simulación, ruido, hormigón, modelado matemático.*

ABSTRACT:

This research focuses on animal slaughter facilities, whose purpose is to sacrifice animals to obtain meat for human consumption. These facilities must comply with sanitary and acoustic regulations due to the noise generated by machines and animals, which can be harmful to both workers inside the facilities and nearby residents. The study aims to determine if concrete can act as an acoustic inhibitor in this context. For this purpose, an exhaustive literature search related to sound propagation and concrete properties is conducted, focusing on hollow blocks made of this material. Experimental tests are carried out following the NTE INEN standard, where transmission losses are analyzed and used for simulations using COMSOL Multiphysics software. The software employs the Johnson-Champoux-Allard mathematical model, characterizing the acoustic properties of concrete based on the angle of incidence of the wave and frequency, ranging from 0° to 45°. To validate the model, simulated acoustic absorption coefficient values and surface impedance are compared with analytical results. This study identifies the acoustic behavior of hollow concrete blocks and obtains acoustic

absorption coefficient values through simulations and experimental design. Thus, it validates the application of these materials in buildings dedicated to animal slaughter activities, helping to mitigate the acoustic impact.

Keywords: *acoustic absorption, simulation, noise, concrete, mathematical modelling.*

1. INTRODUCCIÓN

Los alimentos de origen animal, especialmente ovinos y porcinos, son altamente demandados en las sociedades debido a su valor nutricional. Por esta razón, a lo largo de la historia, se han establecido lugares en las ciudades con el propósito de recibir y sacrificar animales para obtener carne destinada al consumo humano.[1]

La producción de carne debe cumplir estrictos controles sanitarios y acústicos. En el aspecto sanitario, se debe evitar la contaminación del producto y proteger la salud de los consumidores y el medio ambiente. En cuanto al aspecto acústico, el ruido generado por máquinas y animales es significativo y puede afectar tanto a los trabajadores dentro de las instalaciones como a las personas que viven cerca [2]. Es esencial encontrar materiales adecuados para la construcción de estas instalaciones, y se investiga si los bloques huecos de hormigón pueden proporcionar aislamiento acústico. El objetivo es mejorar las condiciones de trabajo para el personal en los mataderos y la calidad de vida de quienes viven cerca de estas instalaciones. [3]

En los últimos años, la contaminación acústica ha sido un problema de gran importancia a nivel internacional. El ruido ambiental ha aumentado debido al crecimiento de diversas actividades económicas, sociales e industriales. En muchas ciudades pobladas, se ha registrado que los niveles de ruido superan los 65 dB(A), afectando a al menos 130 millones de personas durante el día, según la OCDE. Muchas de estas personas enfrentan niveles de contaminación acústica que exceden los límites establecidos por la OMS [4], [5], [6], [7].

El ruido, que se origina por la cantidad de sonido que generan las actividades humanas, puede representar una amenaza para la salud auditiva a largo plazo si no se controla adecuadamente. Además, puede afectar el bienestar físico y mental de las personas, dificultando mantener un estilo de vida relajado y saludable. En este contexto, encontrar soluciones para reducir el ruido contribuirá a mejorar el ambiente tanto físico como mental [5], [8], [9].

A partir de este análisis bibliográfico surge la necesidad de proporcionar soluciones constructivas que protejan a los individuos de choques acústicos, que mejoren directamente la calidad de vida y los estándares de salud auditiva [10]. Los materiales utilizados en la construcción poseen distintas propiedades, las mismas que los caracterizan y son de utilidad para su selección, tomando en cuenta su forma, resistencia, dureza, versatilidad y tamaño.

Esta investigación se enfoca en analizar el coeficiente de absorción en bloques huecos de hormigón y su capacidad como inhibidor acústico a través de simulaciones. Se destaca la falta de consideración de las propiedades acústicas y absorbentes de los materiales de construcción en el momento de iniciar una obra, lo que puede resultar en una alta contaminación sonora y excesivo ruido ambiental en industrias y zonas habitacionales. La necesidad de evaluar el comportamiento acústico de los bloques de hormigón se resalta, ya que podrían ser una solución para reducir el impacto del ruido en la población, especialmente en zonas industriales donde los niveles de ruido pueden superar los límites permisibles [11].

La investigación consta de tres fases: un análisis inicial de la problemática, una revisión bibliográfica exhaustiva para establecer antecedentes, y la obtención de resultados y su discusión, seguida de las conclusiones. Para medir los niveles sonoros, se consideran la presión, intensidad y frecuencia del sonido, lo que permite determinar su intensidad. Se utiliza el Método de Elementos Finitos (FEM) con la función de dominio poroacústica basada en el modelo matemático de Johnson-Champoux-Allard para la simulación. Esto permitirá definir cómo el hormigón actúa como inhibidor acústico y su posible uso en construcciones expuestas a altos niveles de ruido, creando ambientes estructuralmente seguros y reduciendo la contaminación acústica

1.1 Simulación y comportamiento de ondas sonoras en materiales de construcción.

Los investigadores buscan mejorar las propiedades acústicas de los materiales de construcción para crear espacios con mejores condiciones de vida en zonas con altos niveles de ruido. Para lograrlo, se identifican las propiedades acústicas y se realiza un modelado matemático de las cargas acústicas de exposición. La atenuación del material dependerá de su porosidad y volumen. Se analiza la geometría de los poros y se considera la posibilidad de utilizar aditivos para mejorar la dispersión y atenuación de las ondas acústicas [12].

El hormigón es un material ampliamente utilizado en la construcción y es crucial considerar tanto su diseño estructural como sus propiedades acústicas. Estas características permiten crear espacios habitables cómodos y mejorar el confort de las personas. Los hormigones con diferentes composiciones tienen distintos comportamientos como conductores del sonido, siendo las mezclas densas reflectoras de sonido y las ligeras absorbentes. La reflexión del sonido en el hormigón depende de los agregados y de los cambios en el diseño de la mezcla. Para mejorar la absorción acústica del hormigón con aislamiento acústico (AIC), se pueden hacer cambios en su configuración y agregar elementos porosos o agentes de espuma [13], [14].

En su investigación, Pereira introduce el concepto de "hormigón meta poroso", un absorbente de sonido que consiste en hormigón poroso con resonadores acústicos incorporados. Se implementan dos modelos de elementos finitos con la teoría de fluido equivalente para describir las soluciones del hormigón meta poroso. Mediante un Resonador de Helmholtz y técnicas de tubo de impedancia, se realizan pruebas experimentales en muestras de hormigón poroso y probetas de hormigón para obtener las propiedades del fluido equivalente y validarlas con datos experimentales y predicciones analíticas. Los modelos numéricos y la metodología utilizada permiten predecir la absorción acústica en el hormigón meta poroso, lo que lo convierte en un material útil para el control del ruido en construcciones civiles exteriores [15].

1.2 Comportamiento de las ondas como inhibidores acústicos

En la búsqueda de soluciones para problemas de resonancia acústica, se han empleado diversas estrategias, como la colocación de elementos absorbentes en las esquinas de salas y el diseño de resonadores de Helmholtz. La eficiencia de estas estrategias depende de la gestión de las bandas de frecuencia [16]. Investigaciones recientes se han enfocado en el uso de láminas perforadas de cerámica, basadas en el principio de resonadores de Helmholtz, para lograr una absorción acústica efectiva en bandas de frecuencia estrechas. Estas láminas son perforadas y montadas en una superficie rígida. Para medir el coeficiente de absorción acústica a incidencia normal, se utiliza un tubo de impedancia o tubo de Kundt con ciertas dimensiones específicas. Las investigaciones también han abordado el problema de las zonas de atenuación con diferentes frecuencias en materiales, particularmente en losas perforadas con diferentes configuraciones geométricas. Utilizando el software de elementos finitos ANSYS, se han analizado las ondas de

flexión y las propiedades de la zona de atenuación en losas con perforaciones en forma de cruz, cuadrados y agujeros en forma de diamante. Para analizar el comportamiento acústico de las muestras, se emplea un método numérico y se desarrolla un código para simular la estructura en 3D. Se calculan la tortuosidad y dos longitudes características en un software numérico y se utiliza el modelo Johnson-Champoux-Allard (JCA) para predecir los coeficientes de absorción acústica en diferentes frecuencias. Los resultados muestran el comportamiento acústico de los paneles acústicos optimizados en términos de tiempo de reverberación y coeficiente de absorción aleatoria en una sala de reverberación [16], [17], [18], [19].

1.3 Métodos de simulación numérica de propagación de ondas

En las investigaciones actuales se utilizan los modelos matemáticos, que tienen como objetivo principal el de caracterizar el campo sonoro y esquematizar la réplica impulsiva del recinto formándose en una herramienta muy valiosa para el diseño y análisis acústico. Según Cravero, en su estudio presenta resultados de mediciones de tiempo de reverberación y propiedades acústicas en aulas mediante el método de la respuesta integrada según IRAM 4109-2. Como siguiente paso se comparan los valores medidos con los simulados mediante herramientas de cálculo computacional. Finalmente, en el análisis de resultados contrasta las mediciones con la recomendación dada en la norma ANSI S12.60 y referencias bibliográficas a nivel internacional [20]. Otro modelo matemático para el análisis vibro acústico de una estructura de 17 pisos, muestra una buena correlación con los resultados de los datos medidos. Se debe considerar que para la selección de un método numérico depende del dominio de frecuencia, para un dominio de baja frecuencia se prefiere el FEM o el método de elementos de contorno (BEM). Cabe señalar que se considera el FEM para las simulaciones computacionales ya que la investigación se limita a regiones de baja frecuencia [21].

Uno de los métodos numéricos más utilizados para análisis de porosidad y absorbentes es el modelo Johnson - Champoux - Allard - Lafarge (JCAL), aplicado para calcular los cinco parámetros de transporte del modelo JCAL, en los que se incluyen la permeabilidad viscosa, permeabilidad térmica, tortuosidad, longitud característica viscosa y longitud característica térmica. Estos valores permiten modelar los tubos rugosos en el material poroso, como tubos rugosos paralelos que tienen morfologías sinusoidales idealizadas.

Finalmente, los resultados han evidenciado que la existencia de la rugosidad en los tubos debilita el efecto térmico, pero refuerza drásticamente el efecto viscoso en la disipación de la energía del sonido, lo que resulta en el mejoramiento de absorción del sonido [22].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Equipos y materiales

2.1.1 Bloques huecos de hormigón

La norma usada para la fabricación de los bloques huecos de hormigón es: Bloques Huecos de hormigón. Definiciones, Clasificaciones y Condiciones. En la Tabla 1, se indica los tipos de bloques huecos existentes en el mercado y sus dimensiones, para este estudio se ha seleccionado al bloque de hormigón tipo B [23].

Tipo de bloque	DIMENSIONES NOMINALES			DIMENSIONES REALES			USOS
	largo	ancho	alto	largo	ancho	alto	
A, B	40	20 15 10	20	39	19 14 09	19	Paredes exteriores de carga, sin revestimiento. Paredes exteriores de carga, con revestimiento Paredes interiores de carga, con o sin revestimiento
C, D	40	10 15 20	20	39	09 14 19	19	Paredes divisorias exteriores sin revestimiento. Paredes divisorias exteriores, con revestimiento. Paredes divisorias interiores, con o sin revestimiento.
E	40	10 15 20 25	20	39	09 14 19 24	20	Losas alivianadas de hormigón armado

Tabla 1. Tipos de bloques huecos de hormigón y sus usos.

Fuente: Norma NTE-INEN [24] [23]

Las dimensiones del bloque que se va a utilizar son las siguientes, largo = 40 cm, ancho = 15 cm, altura = 19 cm y un peso aproximado de 8.5 kg como se muestra en la Figura 1, la normativa menciona que los bloques deben tener dimensiones uniformes, aunque no debe tener una variación de sus longitudes mayor a 5 mm [23].

2.1.2 Normas para la realización de los ensayos

En la Tabla 2 se detallan las normas a ser aplicadas en la fase experimental, para la realización de ensayos como: densidad, porosidad y resistencia mecánica, en los ladrillos y bloques de hormigón, parámetros necesarios para la realización de las simulaciones acústicas.

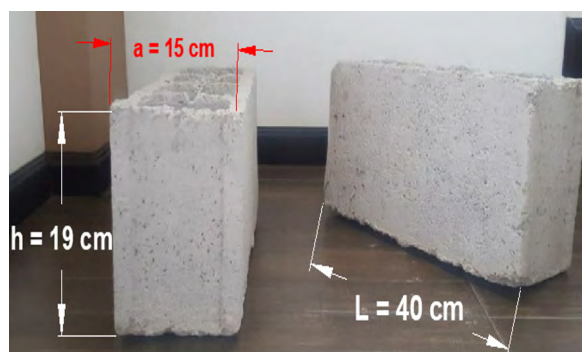


Figura 1. Longitudes muestras de bloques huecos de hormigón.

Ensayo	Norma utilizada	Parámetros
Densidad	Materiales Refractarios. Determinación De La Porosidad, absorción De Agua Y Densidad Aparente. NTE INEN 857:2010. Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo. NTE INEN 3066-2016	Densidad de las probetas
Porosidad	Materiales Refractarios. Determinación De La Porosidad, absorción De Agua Y Densidad Aparente. NTE INEN 573. Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo. NTE INEN 3066-2016	Porcentaje de porosidad total
Resistencia mecánica	Ladrillos Cerámicos. Parte 5: Métodos De Ensayo. NTE INEN 3049 Parte 5:2019. Bloques huecos de Hormigón, unidades relacionadas y prismas para mampostería. Refrentado para el ensayo de compresión. NTE INEN 2619:2012	Esfuerzo

Tabla 2. Normas NTE INEN usadas para la realización de los ensayos

Fuente: Normas NTE INEN [25][26], [27][28], [29][30], [31][32], [33]

2.1.3 Software Comsol Multiphysics

Comsol Multiphysics, es un software que se presenta un entorno eficaz de simulación utilizado para modelar y resolver problemas científicos y de ingeniería. Este software utiliza el FEM y ecuaciones diferenciales parciales. La interfaz se puede observar en la Figura 2. [34][35].

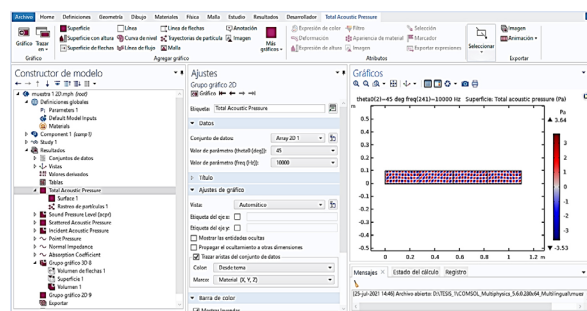


Figura 2. Interfaz COMSOL Multiphysics

Fuente: [36] [34]

2.1.4 Cálculo del Módulo de Young

El módulo de elasticidad es la razón entre el incremento de esfuerzo y el cambio correspondiente a la deformación unitaria, si el esfuerzo considerado es una tensión o una compresión el módulo se denomina de Young [37]. Para los bloques huecos de hormigón analizados se realizaron ensayos a compresión, donde se recolectaron datos del último esfuerzo aplicado y la deformación, la Ecuación 1 permite el cálculo. Donde, E representa el Módulo de Young, σ es la tensión o fuerza uniaxiales por unidad de superficie y ϵ es la deformación. El valor de la deformación (ϵ) se muestra en la Ecuación 2, donde ΔL variación de longitud y L es

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (1)$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2)$$

2.1.5 Velocidad del sonido

La velocidad del sonido es aquella que se propaga mediante una onda sonora a través de un medio material, como el aire, el agua o un sólido. La velocidad del sonido depende de las propiedades del medio a través del cual se propaga y de la temperatura de ese medio. La expresión utilizada en el análisis de las muestras de hormigón y está en función del Módulo de Young E y de la densidad p , como resultado se tiene la Ecuación 3.

$$v_s = \sqrt{\frac{E}{p}} \quad (3)$$

2.1.6 Impedancia acústica

La impedancia acústica como una propiedad que brinda información sobre el medio y el tipo de onda que se va a propagar, este cálculo de gran importancia involucra la transmisión de ondas acústicas de un medio a otro [38]. La siguiente expresión permite calcular la impedancia acústica (Z). Donde, p es la presión acústica y v la velocidad asociada a las partículas oscilantes en un medio.

$$Z = \frac{p}{v} \quad (4)$$

2.1.7 Cálculo del coeficiente de absorción en COMSOL Multiphysics

El coeficiente de absorción acústica se refiere a la capacidad que poseen todos los materiales para mitigar la propagación de las ondas de sonido cuando éstas inciden sobre ellos, por esto se debe considerar las bandas de octava, debido a que el oído humano escucha de manera logarítmica, y las frecuencias se dividen de esta forma, a esto se le conoce como octavas,

[39], donde una octava se define como el intervalo que separa a una frecuencia de otra de manera doble. Según la norma NTE INEN 266 [40], que se indica la Tabla 3, que indica los valores de octavas más utilizados.

Frecuencias centrales de las bandas de octava										
16	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000

Tabla 3. Bandas de octava más utilizadas en Hz.

Fuente: Norma NTE INEN 266[40]

En esta investigación, la propiedad será calculada mediante simulaciones del comportamiento acústico en el software Comsol Multiphysics, y se ha considerado que para mayor precisión y resolución del fenómeno la frecuencia desarrollada se dará en tercios de octava. Para lo cual se ha tomado como modelo de referencia el Porous Absorber, uno de los modelos en función del dominio Poro acústicos de la interfaz de presión acústica, descritos en la Guía del usuario del Módulo de Acústica, [41], que utiliza el modelo Johnson-Champoux-Allard como solucionador numérico para la caracterización de las propiedades de absorción de un ladrillo común en términos del ángulo de incidencia del sonido y frecuencia, [42].

De manera general este modelo analiza matrices porosas Johnson-Champoux-Allard (JCA), está definido por la densidad rígida equivalente $Prig(\omega)$ y el módulo volumétrico equivalente $K\omega$, a continuación, se describen sus expresiones matemáticas. Donde: T_∞ = factor de tortuosidad (límite de alta frecuencia), p_f = densidad del fluido, ϵ_p = porosidad, R_f = resistividad del flujo, μ = viscosidad dinámica, P_A = presión inactiva, γ = relación de calores específicos, L_v = longitud característica viscosa, P_{th} = longitud característica térmica, Pr = número de Prandtl [41]:

$$Prig = \frac{T_\infty p_f}{\epsilon_p} \left[1 + \frac{R_f \epsilon_p}{i \omega p_f T_\infty} \sqrt{1 + \frac{4 \omega T_\infty^2 \mu p_f}{R_f^2 L_v^2 \epsilon_p^2}} \right] \quad (5)$$

$$K = \frac{\gamma P_A}{\epsilon_p} \left[\gamma - (\gamma - 1) \left(1 + \frac{8 \mu}{i \omega L_{th}^2 Pr p_f} \sqrt{1 + \frac{i \omega L_{th}^2 Pr p_f}{16 \mu}} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (7)$$

2.1.8 Ensayos para cálculo de propiedades de los bloques.

Los ensayos realizados permitirán obtener datos por medio de experimentación que permiten su validación con los parámetros encontrados, para finalmente evaluar su comportamiento mediante la ejecución de las simulaciones en software especializado se describen a continuación:

Densidad y Absorción del bloque:

Este ensayo se realiza bajo la Norma NTE INEN 3066:2016-11 [32], Bloques de Hormigón. Requisitos y Métodos de Ensayo, Absorción, Densidad y otros. El cual permite determinar la densidad de las muestras, los pasos necesarios para su ejecución se describen a continuación,[31]:

- Se deben considerar 3 muestras completas para los ensayos sin defectos.
- Se necesitará de una balanza con una exactitud de $\pm 1g$ de masa.

Para el procedimiento de saturación se deben sumergir las muestras a una temperatura entre $16^\circ C$ y $27^\circ C$, durante un tiempo de 24 a 28 horas, en un recipiente que permita cubrirlas totalmente y registrar este valor como M_s .

A continuación, se debe sacar las muestras del agua y dejarlas escurrir durante 60 s, sobre una malla metálica, y secarlas con un paño húmedo, determinar la masa y registrarlo. Repetir el procedimiento cada 24 horas hasta que la diferencia en el pesaje sea inferior al 0.2 %. Registrar el resultado como M_s (masa de la muestra saturada). Secar las muestras en un horno ventilado, entre $100^\circ C$ y $115^\circ C$, realizar las mediciones de peso cada 24 horas, hasta que la diferencia de peso sea inferior al 0.2 %. Se debe registrar este valor como M_d (Masa de la muestra seca al horno).



Figura 3. Muestras de bloques sumergidas en agua, para el cálculo de la densidad y porcentaje de absorción.

Las ecuaciones para el cálculo de la densidad y la absorción según la norma [31], en bloques de hormigón se detallan a continuación:

Absorción:

$$Absorción = \frac{M_s - M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (7)$$

$$Absorción = \frac{M_s - M_d}{M_d} \times 100 \text{ [%]} \quad (8)$$

Densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{M_d}{M_s - M_i} \times 1000 \text{ [Kg/m}^3\text{]} \quad (9)$$

Donde, M_s masa de la unidad saturada, M_i masa de la unidad sumergida, M_d masa de la unidad seca al horno, las unidades están dadas en [kg].

- **Ensayos resistencia mecánica: Ensayo de compresión para el bloque hueco de hormigón.**

Para realizar este ensayo se consideran las recomendaciones Norma NTE INEN 640. Bloques huecos de hormigón. Determinación de la Resistencia a la compresión, que indica los siguientes pasos, [43]:

- Utilizar bloques enteros seleccionados de acuerdo con la norma INEN 639 [32].
- Los bloques deben ser sumergidos en agua por un periodo de 24 horas y luego recubiertos con mortero de cemento-arena con una capa no mayor a 6 mm de espesor, para que las superficies ensayadas sean regulares y paralelas.

Para ensayar las muestras, estas deben ser colocadas con respecto al centro de la rótula de aplicación de la carga. La aplicación de la carga será gradual, en un tiempo no menor a 1 min ni mayor a dos, considerando una velocidad constante.

- **Simulación del comportamiento acústico en Comsol Multiphysics V. 5.6, de las muestras bloques (B1, B2).**

Para la realización de las simulaciones se tomó como referencia el modelo de absorción acústica mediante una espuma acústica de celda abierta porosa (Porous Absorber), de donde se describen las instrucciones de modelado. [43].

- **Variables respuesta o resultados alcanzados**

La investigación se centra en la transmisión de ondas sonoras en materiales de construcción y sus propiedades acústicas, como absorción, transmisión y reflexión del sonido. El objetivo es determinar el coeficiente de absorción acústica para bloques huecos de hormigón mediante simulaciones en el software COMSOL Multiphysics. Se caracterizarán las propiedades de absorción en términos del ángulo de incidencia del sonido y la frecuencia. Los resultados del modelo serán comparados con datos analíticos para determinar si el ladrillo tradicional y el bloque hueco de hormigón cumplen con los requisitos para ser considerados como inhibidores acústicos.

3. RESULTADOS

3.1 Resultados obtenidos de ensayos

3.1.1 Bloques huecos de hormigón

Los bloques huecos de hormigón tienen una gran presencia en construcciones por su gran maniobrabilidad, los seleccionados para este estudio siguen la siguiente norma de construcción [24]. Bloques Huecos de hormigón. Definiciones, Clasificaciones y Condiciones. Las dimensiones y tipo de bloque usado en los ensayos y simulaciones se indican en la Tabla 4.

DIMENSIONES NOMINALES				DIMENSIONES REALES		
Tipo de bloque	Largo	Ancho	Alto	Largo	Ancho	Alto
A, B	40	20,15,10	20	39	19,14,09	19

Tabla 4. Tipo y dimensiones de bloques huecos de hormigón en cm.

Fuente: Elaborado por autor, según Norma NTE INEN [24]

Para el cálculo de la densidad en las muestras de bloques se considera la norma NTE INEN 3066-2016, Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo, Anexo D (normativo) Absorción, Densidad y otros. En la Tabla 5 se muestran los resultados.

Muestras	Masas [kg]			Densidad [kg/m ³]
	Masa de la unidad saturada [Ms]	Masa de la unidad seca al horno [Md]	Masa de la unidad sumergida [Mi]	
B1	10.05	8.21	10.01	205205
B2	10.00	8.43	9.96	210750

Tabla 5. Valores de densidad muestras de bloques huecos de hormigón.

3.1.2 Ensayo de Porosidad

Para el cálculo de la absorción se considera la norma NTE INEN 3066-2016, Bloques de hormigón. Requisitos y métodos de ensayo, ANEXO D (normativo) Absorción, Densidad y otros. Los resultados se muestran en la Tabla 6.

Muestras	Masas [kg]			Absorción [%]
	Masa de la unidad saturada [Ms]	Masa de la unidad seca al horno [Md]	Masa de la unidad sumergida [Mi]	
B1	10.05	8.21	10.01	22.41
B2	10.00	8.43	9.96	18.62

Tabla 6. Valores de absorción total [%]

3.1.3 Ensayos resistencia mecánica

En los bloques huecos de hormigón el ensayo de resistencia mecánica que se recomienda es el dado por la norma NTE INEN 2619:2012 Bloques huecos de Hormigón, unidades relacionadas y prismas para mampostería. Refrentado para el ensayo de compresión. La Tabla 7 indica los resultados obtenidos en el ensayo de compresión sobre los bloques.

Muestras	Probeta	Esfuerzo (σ)	Deformación (ϵ)
		[N/m ²]	[mm]
B1	1	225356.22	2.33
	2	174451.25	1.39
	3	157371.48	1.63
Promedio		185726.31	1.78
B2	1	226371.64	1.08
	2	197663.65	1.62
	3	166402.81	1.55
Promedio		196812.70	1.42

Tabla 7. Resultados ensayo de compresión (Esfuerzo y deformación)

Los valores obtenidos del módulo de Young y la velocidad del sonido para los bloques huecos de hormigón, se observan en la Tabla 8, estos parámetros son necesarios en la realización de las simulaciones.

Muestras	Módulo de Young	Velocidad sonido (c)
	[Pa]	[m/s]
B1	104145.59	0.71
B2	138926.61	0.81

Tabla 8. alores Modulo de Young y velocidad del sonido

3.1.4 Resultados de la simulación en COMSOL Multiphysics para la obtención del coeficiente de absorción acústica (α)

Los resultados se obtuvieron mediante simulaciones de muestras en bloques huecos de hormigón (B1 y B2). La simulación consideró un rango de frecuencias de 10 Hz a 10 KHz, con una incidencia angular de la onda de 0° a 45°. Se generaron gráficas de presión sonora vs frecuencia, impedancia vs frecuencia y coeficiente de absorción vs frecuencia en 2D, aplicadas a la cara principal del bloque. También se realizaron simulaciones en 3D para verificar la incidencia de la onda acústica sobre el material de construcción, obteniendo resultados adicionales.

- Resultados de la simulación 2D y 3D de las muestras de bloques huecos de hormigón B1 y B2

Simulaciones en muestra de bloque B1 en 3D

La simulación 3D de la muestra de bloque hueco de hormigón B1, se observa en la Figura 4, en donde la incidencia de la onda a 45°, con una frecuencia propia de 99.986 Hz, dando como resultado valores máximos de presión acústica (en color rojo) desde 2 a 4 [Pa], considerar que estos valores de concentración de presión se presentan en las caras del bloque donde existe mayor incidencia acústica. Además, se muestra el cuerpo estudiado en el plano YZ que permite identificar de mejor manera la incidencia de la presión sonora sobre la muestra simulada.

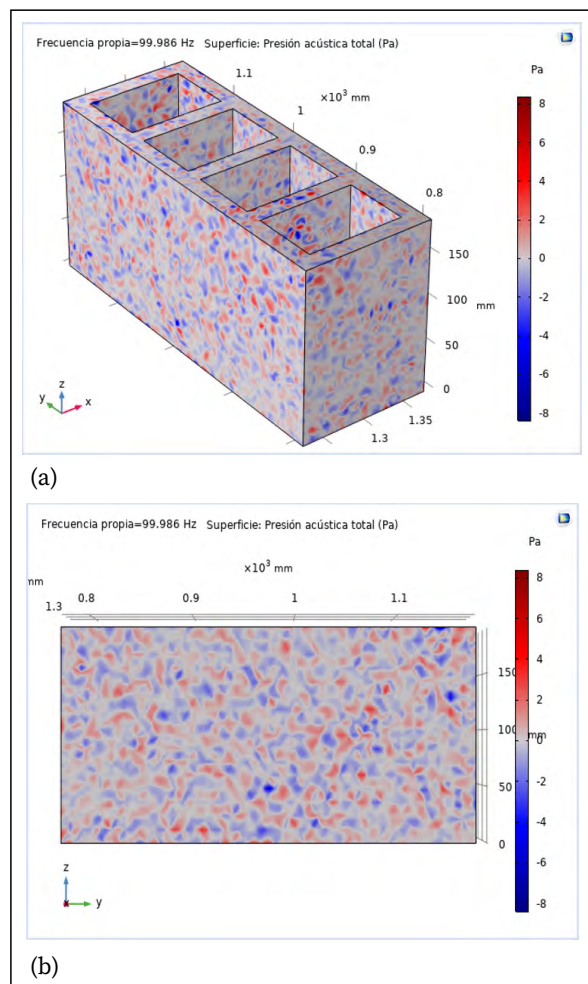


Figura 4. (a) Simulación de la Muestra B1. (b) Muestra B1 en el plano YZ.

La distribución del nivel de presión sonora sobre la muestra B1, se observa en la Figura 5, resultado de la simulación 3D, donde la frecuencia propia que tiene un valor de 99.989 Hz incide sobre las caras de

la muestra B1, generando valores de nivel de presión sonora sobre los huecos del bloque entre los 90 a 100 dB, es importante mencionar zonas de color amarillo en la totalidad de la muestra simulada con un valor aproximado de 70 dB. Estos valores pueden ir variando principalmente por la velocidad del sonido incidente sobre el material. La zona amarilla de la muestra se puede observar de mejor forma en el plano XZ.

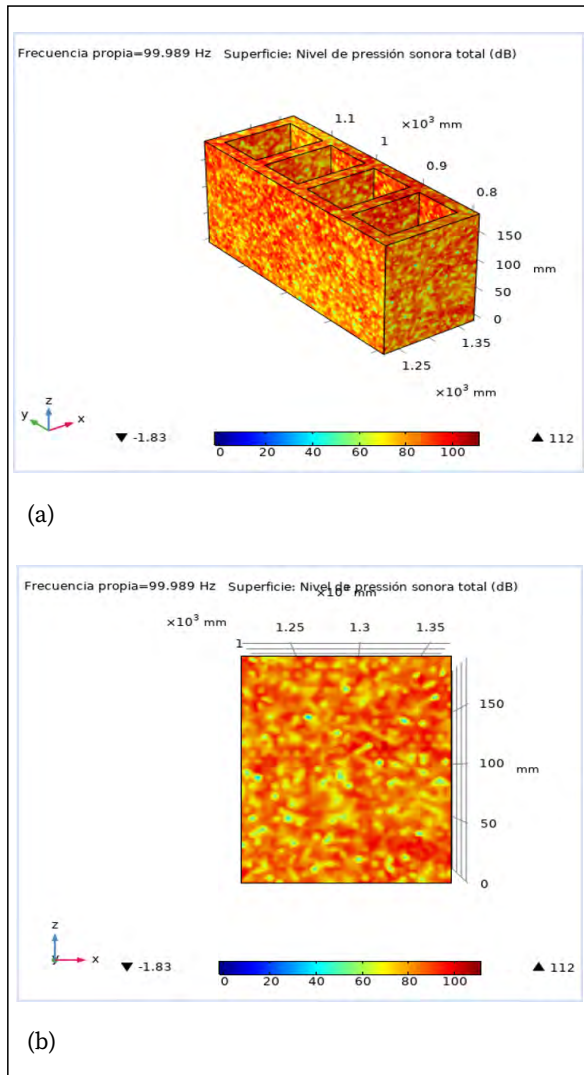


Figura 5. (a) Distribución del nivel de presión sonora sobre la muestra B1. (b) Distribución del nivel de presión sonora en el plano XZ.

Para obtener mejores resultados de nivel presión sonora en la simulación de la muestra B1, se procede a refinar la malla, con un valor de frecuencia propia de 99,996 Hz. Como se puede observar en la barra de colores de la Figura 4-13, estos valores están entre 85 a 100 dB, además se ve una trama diferente de la incidencia de la onda acústica sobre el bloque, estas imágenes se han producido principalmente por el número de elementos

que tiene la malla después del refinamiento, ayudando a la convergencia en la simulación.

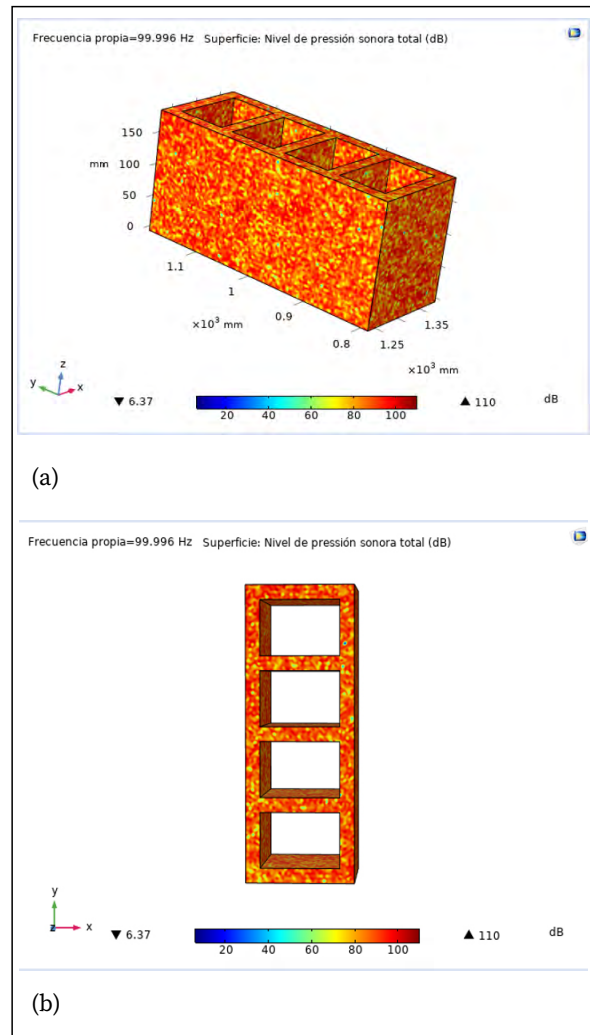


Figura 6. (a) Simulación de la Muestra B1 con malla refinada. (b) Muestra B1 en el plano XY con refinamiento de malla.

Simulaciones en 2D

La muestra B1 simulada en 2D permite los siguientes resultados:

Presión sonora vs la Frecuencia

En la Figura 7 se representa la presión sonora donde se relaciona la frecuencia [Hz] y la presión acústica total [Pa] considerando la incidencia de la onda, para lo cual se han analizado dos ángulos incidentes $(\theta) = 0^\circ$ y $(\theta) = 45^\circ$. El ángulo incidente (AI) $(\theta) = 45^\circ$ presenta un comportamiento irregular en comparación a la curva que describe el ángulo incidente (AI) $(\theta) = 0^\circ$, además como resultado se tiene un valor máximo de 4.83 [Pa] de presión acústica total con una frecuencia de 250

Hz. Estos valores obtenidos se encuentran dentro de la norma que el oído humano recepta y tolera que va desde los 20 a los 20000 Hz, la simulación ha permitido demostrar que el bloque si funciona como un inhibidor de sonido.

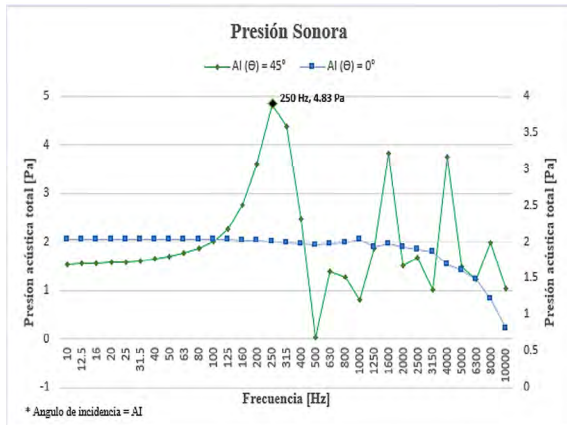


Figura 7. Presión acústica total vs Frecuencia en la muestra B1.

Impedancia vs Frecuencia

Al ser la impedancia una propiedad importante que relaciona la presión acústica y la velocidad con la que las partículas oscilantes se desarrollan en un medio, en una frecuencia determinada, la Figura 8, permite identificar estos valores, para lo cual se ha considerado la onda generada por el ángulo de incidencia $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica. (curva color negro), donde se observa que la impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta. Se tiene un valor de $Z = 21.63$ (adimensional) en una frecuencia de 10 Hz, este valor permanece estable, hasta un valor de $Z = 21.05$ en la frecuencia de 40 Hz, por tanto, se puede concluir que la velocidad de las partículas irá disminuyendo cuando la frecuencia aumente.

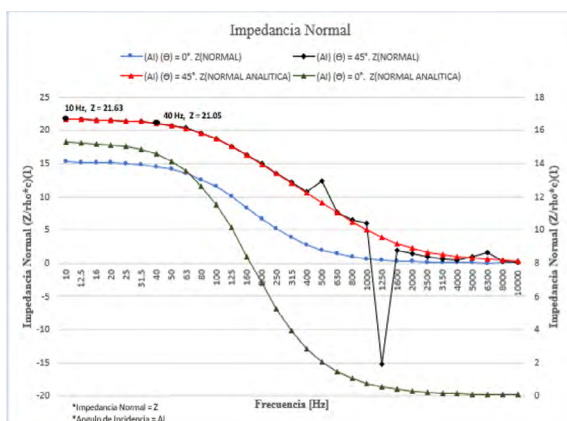


Figura 8. Impedancia Normal de la muestra B1, con los diferentes ángulos de incidencia: Angulo incidente (AI) $(\theta) = 45^\circ$; Angulo incidente (AI) $(\theta) = 0^\circ$; (AI) $(\theta) = 0^\circ$.

ZNORMAL Impedancia normal de superficie específica; (AI) $(\theta) = 0^\circ$. ZNORMAL ANALITICA Impedancia normal de superficie específica (analítica); (AI) $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica; (AI) $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica (analítica).

Coefficiente de absorción vs Frecuencia

La Figura 9 presenta los resultados de la simulación 2D en referencia al coeficiente de absorción $[\alpha]$ de la muestra B1, donde se puede identificar los valores del coeficiente en la curva para el coeficiente de absorción con incidencia a 45° ((AI) $(\theta) = 45^\circ$ α) un valor máximo $\alpha = 0.97$, $f = 1.0$ KHz, y de $\alpha = 0.29$, $f = 10$ KHz, que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° (curva analítica para el coeficiente de absorción con incidencia a 45° . (AI) $(\theta) = 45^\circ$. (α analítica)), esta diferencia entre estos valores se da por la irregularidad de la curva a 45° a partir de los 630 Hz, además del valor de la velocidad del sonido y la densidad del material propiedades de gran importancia en las simulaciones.

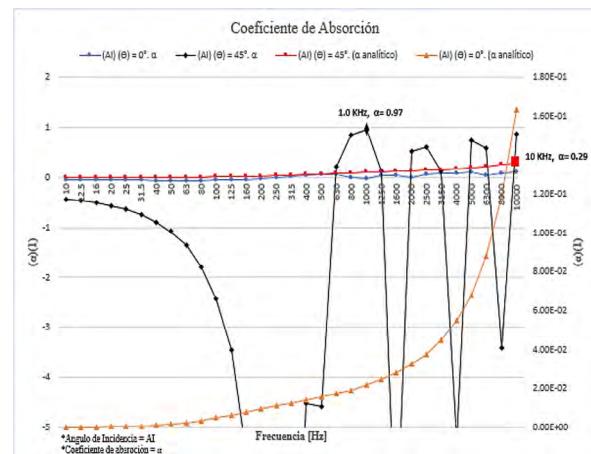


Figura 9. Coeficiente de absorción vs Frecuencia con los diferentes ángulos de incidencia: (AI) $(\theta) = 0^\circ$. α , (AI) $(\theta) = 0^\circ$. (α analítica); (AI) $(\theta) = 45^\circ$. α ; (AI) $(\theta) = 45^\circ$. (α analítica).

Simulaciones en muestra de bloque B2 en 3D

En la Figura 10 se presenta el resultado de la simulación en 3D de la segunda muestra de bloque hueco de hormigón (B2), en donde se observa la incidencia de la onda a 45° , con una frecuencia propia de 99.987 Hz, se pueden notar variaciones de presión que producen áreas de mayor concentración de partículas (áreas de color rojo) en las diferentes caras del material de construcción y valores que están entre los 2 a 6 [Pa]. Además, se ha considerado al plano XZ para el estudio que permite identificar de mejor manera la incidencia de la presión sonora sobre la muestra simulada.

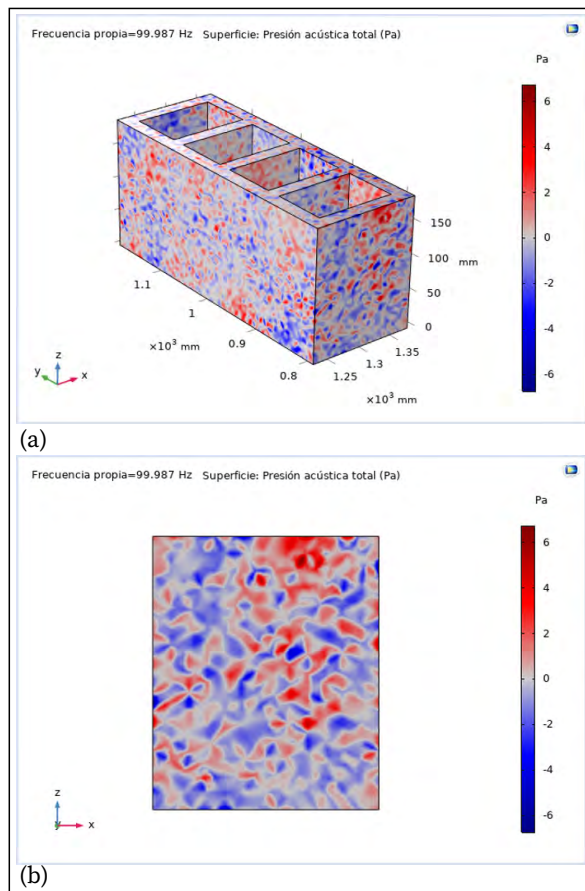


Figura 10. (a) Simulación de la Muestra B2. (b) Muestra M2 en el plano YZ.

La distribución del nivel de presión sonora sobre la muestra B2, se observa en la Figura 4-18, resultado de la simulación 3D, donde la frecuencia propia que tiene un valor de 99.991 Hz incide sobre las caras del bloque, generando valores de nivel de presión sonora entre los 90 a 100 dB, (zonas de concentración de color rojo). Es importante mencionar zonas de color amarillo que están presentes en la totalidad del bloque que se repite simultáneamente en función del tiempo (frecuencia) con un valor aproximado de 70 dB. La zona amarilla de la muestra se puede observar de mejor forma en el plano XZ.

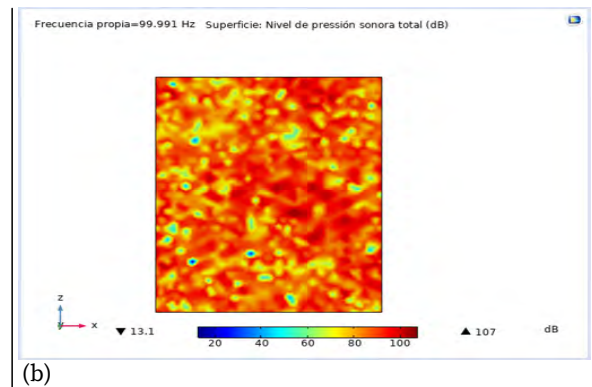
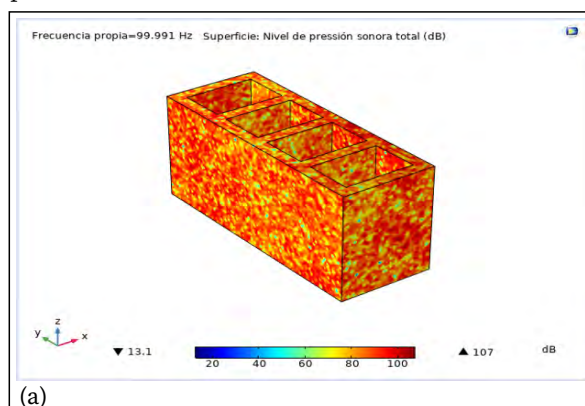


Figura 11. (a) Distribución del nivel de presión sonora sobre la muestra B2. (b) Distribución del nivel de presión sonora en el plano XZ.

El refinamiento de la malla permite observar los resultados de nivel presión sonora en la simulación de la muestra B2, con un valor de frecuencia propia de 99,995 Hz. Los valores de máxima concentración están entre 90 a 100 dB que se muestran en la barra de colores, además en la Figura 12 se ve una trama diferente de la incidencia de la onda acústica sobre el bloque, esto va a depender del valor de la velocidad del sonido que para esta muestra está en 0.81 m/s; cabe mencionar que estas imágenes se han producido principalmente por el número de elementos que tiene la malla después del refinamiento.

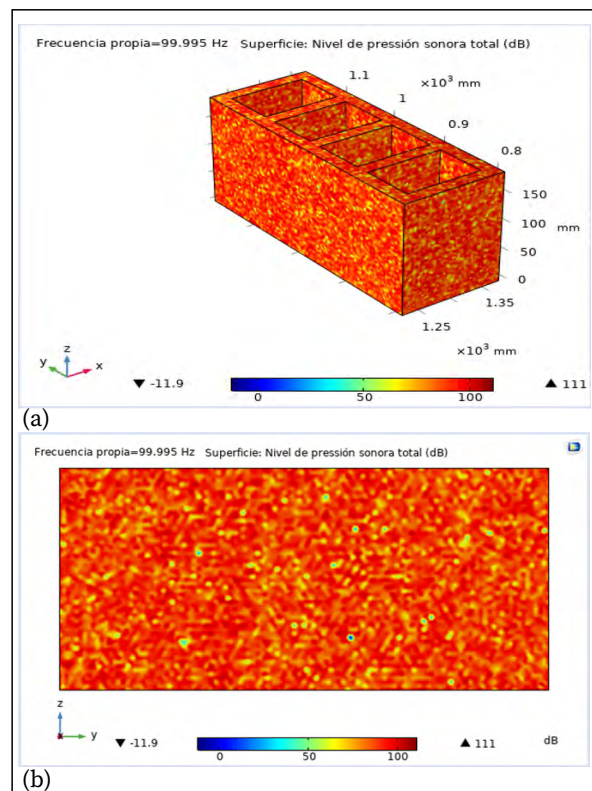


Figura 12. a) Resultados del nivel de presión sonora en la simulación de la muestra B2 con malla refinada. (b) Muestra B2 en el plano XZ con refinamiento de malla.

Simulaciones en 2D
Presión sonora vs la Frecuencia

La Figura 13 presenta la presión sonora considerando dos ángulos incidentes $(\theta) = 0^\circ$ y $(\theta) = 45^\circ$. El ángulo incidente (AI) $(\theta) = 45^\circ$ (curva color verde) presenta un comportamiento irregular en comparación a la curva que describe el ángulo incidente (AI) $(\theta) = 0^\circ$, además como resultado se tiene un valor máximo de 4.861 [Pa] de presión acústica total con una frecuencia de 250 Hz. Estos valores variarán según la velocidad del sonido que se tenga.

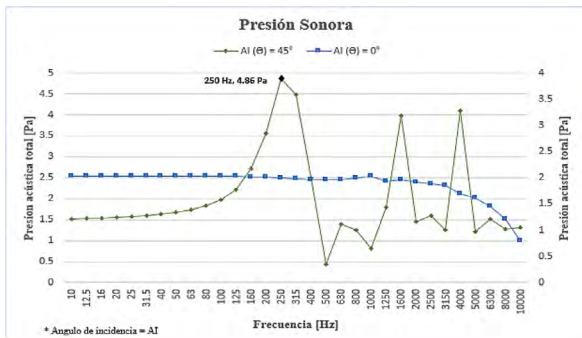


Figura 13. Presión acústica total vs Frecuencia en la muestra B2.

Impedancia vs Frecuencia

La Figura 14 muestra los valores de la impedancia, esta propiedad relaciona la presión acústica, la velocidad y la frecuencia con la que las partículas oscilantes se desarrollan en un medio, se ha considerado la onda generada por el ángulo de incidencia $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica. (curva color negro), donde se observa que la impedancia decrece a medida que la frecuencia aumenta. Se tiene un valor de $Z = 21.63$ (adimensional) en una frecuencia de 10 Hz, este valor permanece estable, hasta un valor de $Z = 21.07$ en la frecuencia de 40 Hz, por tanto, se puede determinar que la velocidad de las partículas que se desarrollan sobre un medio es un factor determinante en el valor de la impedancia.

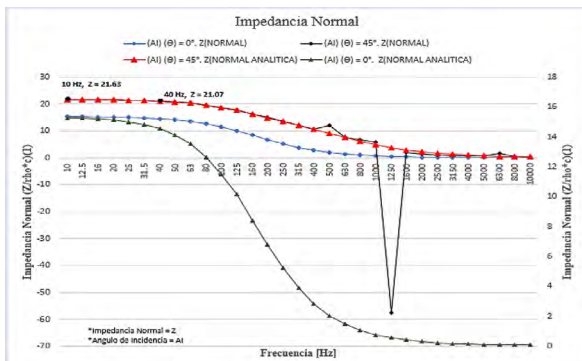


Figura 14. Impedancia Normal de la muestra B2, con los diferentes ángulos de incidencia: Angulo incidente (AI) $(\theta) = 45^\circ$; Angulo incidente (AI) $(\theta) = 0^\circ$; (AI) $(\theta) = 0^\circ$.

ZNORMAL Impedancia normal de superficie específica; (AI) $(\theta) = 0^\circ$. ZNORMAL ANALITICA Impedancia normal de superficie específica (analítica); (AI) $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica; (AI) $(\theta) = 45^\circ$. Impedancia normal de superficie específica (analítica).

Coefficiente de absorción vs Frecuencia

Los resultados del coeficiente de absorción se observan en la Figura 15, donde se puede identificar el valor del coeficiente de absorción en la curva con incidencia a 45° ((AI) $(\theta) = 45^\circ$) de $\alpha = 0.96$, $f = 1.6$ KHz, y de $\alpha = 0.28$, $f = 10$ KHz, que corresponde a la linealización del ángulo de incidencia a 45° (curva analítica para el coeficiente de absorción con incidencia a 45° . (AI) $(\theta) = 45^\circ$. (α analítica)), esta diferencia entre estos valores se da por la variabilidad de la curva en especial a partir de los 400 Hz, hay que considerar que la porosidad de los materiales es un factor de gran importancia en las simulaciones y por eso la disminución considerable del valor del coeficiente en la curva analítica a 45° .

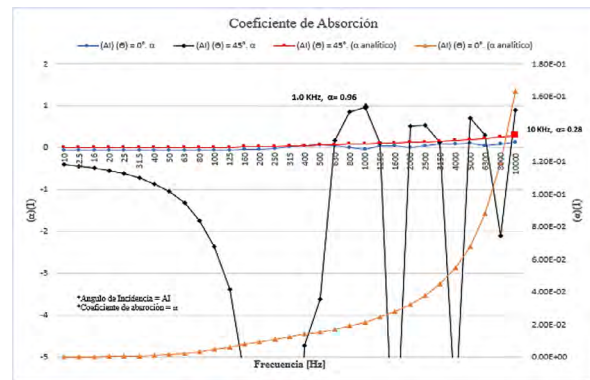


Figura 15. Coeficiente de absorción vs Frecuencia con los diferentes ángulos de incidencia: (AI) $(\theta) = 0^\circ$. α , (AI) $(\theta) = 0^\circ$. (α analítica); (AI) $(\theta) = 45^\circ$. α ; (AI) $(\theta) = 45^\circ$. (α analítica).

4. CONCLUSIONES

Al referirnos a la densidad de los bloques huecos de hormigón, la muestra B1 presenta la densidad más baja, registrando un valor de 205,205 kg/m³. Cabe destacar que, para calcular la densidad de este material de construcción, se tomaron en cuenta valores de masa tanto en condiciones de completa sequedad como cuando se encuentra completamente saturado, es decir, sumergido en agua. Estos valores de densidad son fundamentales para entender cómo el material se comporta cuando una onda acústica incide sobre él.

La porosidad es otro parámetro crucial para considerar en las simulaciones de materiales de construcción, ya que, si un material es muy poroso, permitirá el paso de ondas acústicas, lo que significa que no funcionará

como aislante de sonido. Al analizar los datos obtenidos de las muestras B1 y B2 de bloques huecos de hormigón, se determinaron porcentajes de porosidad de 22.41 y 18.62, respectivamente. Es evidente que estos bloques tienen una mayor porosidad en comparación con otros materiales de construcción, como los ladrillos, lo cual se traduce en que las simulaciones demostraron que estos bloques no poseen propiedades acústicas destacadas, afectando así el valor del coeficiente de absorción.

Los ensayos de compresión en los bloques permitieron calcular el valor del módulo de Young y la velocidad del sonido, que son características muy importantes para realizar las simulaciones de propagación acústica. Los resultados mostraron velocidades del sonido de 2.24 y 2.71 m/s, y módulos de Young de 0.71 y 0.81 m/s para las muestras B1 y B2, respectivamente. Estos parámetros permiten determinar la impedancia acústica, siendo el valor más bajo el del ladrillo B2, con un $Z = 16.74$. Es relevante tener en cuenta que esta propiedad analiza el movimiento de partículas en un medio.

Para llevar a cabo las simulaciones acústicas de las muestras de materiales de construcción, se utilizó el software COMSOL Multiphysics. Esto permitió calcular el coeficiente de absorción acústica considerando ángulos de incidencia de ondas de sonido de 0° y 45° , lo que facilitó identificar qué elemento analizado se comportaría mejor como inhibidor acústico. Los bloques obtuvieron valores de absorción de sonido de $B1 = 0.97$ y $B2 = 0.96$, lo que indica que el bloque B1 muestra el mejor comportamiento acústico, especialmente cuando la onda incide a un ángulo de 45° .

Mediante la experimentación y las simulaciones, se pudo determinar que los bloques de construcción estudiados tienen diferentes comportamientos cuando se someten a la incidencia de ondas de sonido, especialmente a un ángulo de incidencia crítico recomendado de 45° .

En resumen, los resultados de esta investigación muestran que el material estudiado, los bloques huecos de hormigón, es adecuado para la aplicación prevista debido a su alta tasa de absorción de ruido. Además, su bajo costo de producción lo convierte en una alternativa preferida para construir edificaciones destinadas al faenamiento animal.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA








- [1] Hipatia Delgado DemeraI;, Esnayra Roque PiñeroII;, Carlos Alfredo Cedeño Palacios;, and Alejandra Villoch CambasII;, "Análisis del cumplimiento de las Buenas Prácticas de faenado en cinco mataderos municipales de Manabí, Ecuador." http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2015000200001 (accessed Jul. 27, 2023).
- [2] J. Abel Pin Figueroa, "PROCESO DE FAENAMIENTO Y MANEJO DEL GANADO BOVINO Y LA INCIDENCIA EN LA CONTAMINACIÓN DE LAS CANALES EN EL MATADERO MUNICIPAL DEL CANTÓN PAJÁN," 2010.
- [3] J. D. Quishpe-López, J. P. Lliguicota-Guarquila, Sarduy-Pereira L. ;, and K. Diéguez-Santana, "La producción más limpia, como estrategia de valorización (ecoeficiencia) del centro de faenamiento, Puyo, Pastaza, Ecuador."
- [4] C. Velásquez, "DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN ACÚSTICA PRODUCIDO POR EL TRÁFICO VEHÍCULAR MEDIANTE MONITOREO AMBIENTAL EN LA CIUDADELA 'VIEJA KENNEDY' GUAYAQUIL," 2023.
- [5] A. Marcotti F, B. Alvear V, A. Marcotti F, and B. Alvear V, "Pruebas de fusión auditiva y de detección de gaps: Evaluación de la resolución auditiva temporal," Revista de otorrinolaringología y cirugía de cabeza y cuello, vol. 79, no. 2, pp. 248-260, Jun. 2019, doi: 10.4067/S0718-48162019000200248.
- [6] OCED (Organisation for Economic Co-operation and Development), "Home page - OECD," 2022. <https://www.oecd.org/> (accessed Mar. 21, 2023).
- [7] OMS, OMM, and PNUMA, "Cambio climático y salud humana-Riesgos y respuestas RESUMEN OMS OMM PNUMA," 2023.
- [8] Observatorio de Salud y Medio Ambiente, Unión Europea, and Gaes, "El Informe 'Ruido y Salud' se presenta con motivo del Día Mundial contra el Ruido," Ecodes, 2012. <https://archivo.ecodes.org/web/noticias/el-informe-ruido-y-salud-se-presenta-con-motivo-del-dia-mundial-contra-el-ruido> (accessed Mar. 21, 2023).
- [9] A.-E. CREȚU, "FACADE OF PERFORATED PLATE: ANALYSIS OF ITS ACOUSTIC BEHAVIOR," SCIENTIFIC RESEARCH AND EDUCATION IN THE AIR FORCE, vol. 18, no. 1, pp. 317-322, 2016, doi: 10.19062/2247-3173.2016.18.1.43.
- [10] A. Arjunan et al., "Sound frequency dependent mesh modelling to simulate the acoustic insulation of stud based double-leaf walls Crashworthiness and energy absorber design View project Additively manufactured functional biomaterials for bone reconstruction View project Sound frequency dependent mesh modelling to simulate the acoustic insulation of stud based double-leaf walls," 2014, Accessed: Mar. 21, 2023. [Online].

- Available: <https://www.researchgate.net/publication/330667963>
- [11] E. Nacional de Sanidad Instituto de Salud Carlos III, Efectos del ruido urbano sobre la salud: Estudios de análisis de series temporales realizados en Madrid. 2021. doi: 10.4321/repisalud.5434.
- [12] L. Fiala, P. Konrád, J. Maděra, and R. Crný, "Data acquisition and acoustic modeling of heterogeneous building materials," in AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC AIP Publishing, Jul. 2019, p. 070006. doi: 10.1063/1.5114057.
- [13] R. Fediuk, M. Amran, N. Vatin, Y. Vasilev, V. Lesovik, and T. Ozbakkaloglu, "Acoustic Properties of Innovative Concretes: A Review," Materials, vol. 14, no. 2, pp. 1-28, Jan. 2021, doi: 10.3390/MA14020398.
- [14] N. Holmes, A. Browne, and C. Montague, "Acoustic properties of concrete panels with crumb rubber as a fine aggregate replacement," Constr Build Mater, vol. 73, pp. 195-204, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2014.09.107.
- [15] M. Pereira, J. Carbajo, L. Godinho, J. Ramis, and P. Amado-Mendes, "Improving the sound absorption behaviour of porous concrete using embedded resonant structures," Journal of Building Engineering, vol. 35, p. 102015, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jobe.2020.102015.
- [16] T. J. Cox and P. D'Antonio, "Book Review: Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application," Building Acoustics, vol. 12, no. 4, pp. 293-294, Dec. 2005, doi: 10.1260/135101005775219076.
- [17] G. Ciaburro and G. Iannace, "Numerical simulation for the sound absorption properties of ceramic resonators," Fibers, vol. 8, no. 12, pp. 1-16, Dec. 2020, doi: 10.3390/fib8120077.
- [18] J. kun Huang, X. wei Liu, X. hua Chen, and H. jun Xiang, "Multiple flexural-wave attenuation zones of periodic slabs with cross-like holes on an arbitrary oblique lattice: Numerical and experimental investigation," J Sound Vib, vol. 437, pp. 135-149, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.jsv.2018.09.016.
- [19] R. Ibragimov and R. Fediuk, "Improving the early strength of concrete: Effect of mechanochemical activation of the cementitious suspension and using of various superplasticizers," Constr Build Mater, vol. 226, pp. 839-848, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.07.313.
- [20] G. A. Cravero, M. D. Flores, L. Budde, and C. Longoni, "Medición y simulación de tiempo de reverberación y otros parámetros acústicos de aulas," Mecánica Computacional, vol. XXXII, no. 34, pp. 19-22, 2013, Accessed: Mar. 22, 2023. [Online]. Available: <http://venus.santafe-conicet.gov.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4526>
- [21] S. Park, "Vibro-acoustic numerical simulation for analyzing floor noise of a multi-unit residential structure," Applied Sciences (Switzerland), vol. 9, no. 20, p. 4289, Oct. 2019, doi: 10.3390/app9204289.
- [22] Z. Xu, W. He, F. Xin, and T. J. Lu, "Sound propagation in porous materials containing rough tubes," Physics of Fluids, vol. 32, no. 9, p. 093604, Sep. 2020, doi: 10.1063/5.0017710.
- [23] NTE INEN 638, "NTE INEN 638 BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN. DEFINICIONES, CLASIFICACIÓN Y CONDICIONES GENERALES. HOLLOW BLOCKS OF CONCRETE. DEFINITIONS, CLASSIFICATION AND GENERAL CONDITIONS," 2010.
- [24] NTE INEN 638, "Bloques Huecos de hormigón. Definiciones , Clasificaciones Y Condiciones," Norma Técnica Ecuatoriana, vol. 2332, no. 1, pp. 1-5, 2002.
- [25] INEN 857, "Áridos. Determinación de la Densidad Relativa(Gravedad Específica) y Absorción del Arido Grueso. INEN 857," INEN 857, vol. 1, no. Primera Edición, pp. 1-14, 2010.
- [26] NTE INEN 857:2010, "Instituto Ecuatoriano de Normalización Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 857:2010 Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica)," 2010.
- [27] NTE INEN 573, "Ecuatoriana Nte Inen 2854," NTE INEN 573, no. VEHÍCULOS DE TRANSPORTE DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIA. REQUISITOS, p. 34, 2015.
- [28] N. Técnica Ecuatoriana, M. Refractarios, D. De, L. A. Porosidad, A. De Agua, and D. Aparente, "MATERIALES REFRACTARIOS DETERMINACION DE LA POROSIDAD ABSORCION DE AGUA Y DENSIDAD APARENTE INEN 573".
- [29] NTE INEN 3049, "NTE INEN 3049-2019. Ladrillos cerámicos. Parte 5: Métodos de ensayo," NTE INEN 3049, 2019.
- [30] NTE INEN 3049, "Equipos de protección individual contra caídas. Cuerdas trenzadas con envoltura, semiestáticas. Requisitos y métodos de ensayo," 2015.
- [31] NTE INEN 3066, "NTE INEN 3066: Bloques de hormigón, requisitos y métodos de ensayo. Servicio Ecuatoriano de Normalización," p. 27, 2016.

- [32] NTE INEN 3066, “Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria BLOQUES HUECOS DE HORMIGON REQUISITO INEN 3066,” 2016. Accessed: Mar. 22, 2023. [Online]. Available: <http://181.112.149.204/buzon/normas/643.pdf>
- [33] NTE INEN 2619:2012, “BLOQUES HUECOS DE HORMIGÓN, UNIDADES RELACIONADAS Y PRISMAS PARA MAMPOSTERÍA. REFRENTADO PARA EL ENSAYO A COMPRESIÓN,” 2012.
- [34] COMSOL Multiphysics Reference Manual, “COMSOL Multiphysics Reference Manual,” 2019. [Online]. Available: www.comsol.com/blogs
- [35] T. COMSOL, “Comsol Benefits,” COMSOL, Team, 2020.
- [36] COMSOL, “COMSOL Multiphysics® v. 5.4 Reference Manual,” p. 1622, 2018.
- [37] H. González, S. Hellwig, and J. A. Montoya, “Resultados del ensayo del módulo de Young y resistencia a la flexión de vigas laminadas de Guadua angustifolia Kunth.,” *Scientia et Technica*, vol. XIV, no. 40, pp. 291–296, 2008, doi: 10.22517/23447214.3057.
- [38] J. Torres, M. Petite, J. Carbajo, E. Segovia, and J. Ramis, “Caracterización de la impedancia de transferencia de materiales porosos-fibrosos usando holografía acústica de campo cercano (NAH),” 2014, Accessed: Mar. 23, 2023. [Online]. Available: <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/46005>
- [39] Lancón L, “EN MODELOS FÍSICOS A ESCALA Laura Angélica Lancón Rivera,” 2012.
- [40] I. 266 NTE, “EX,” 2014.
- [41] C. AB, “Acoustics Module,” *Acoustics Module, Interfaces*, p. 214, 2010.
- [42] P. A. COMSOL, “Porous Absorber,” COMSOL, Porous Absorber, pp. 1–22, 2012.
- [43] J. Gaibor, “Desarrollo, Elaboración y Caracterización de un material compuesto con base de materiales reciclados para la fabricación de ladrillos destinados a mamposterías con propiedades de aislamiento acústico,” *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*, 2021.

ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y FERMENTACIÓN RUMINAL IN VITRO DE ALIMENTOS FIBROSOS EN GANADO OVINO

ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION AND IN VITRO RUMEN FERMENTATION OF FIBROUS FEEDS IN SHEEP

	¹ Andrés Haro Haro*	andresharo86@hotmail.com
	¹ Diego Rodríguez Saldaña	diego.rodriguez@ucuenca.edu.ec
	³ Andrés Jacome Aucay	santiago.jacome@ucuenca.edu.ec
	³ Andrea Vintimilla Rojas	andrea.vintimillar@ucuenca.edu.ec
	³ Marco Picón Saavedra	marco.picon@ucuenca.edu.ec
	² Alex Villafuerte	andresharo86@hotmail.com
	³ María José Andrade Rojas	andresharo86@hotmail.com

¹ Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencia Agropecuarias, Departamento de Veterinaria, Cuenca, Ecuador.

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias Pecuarias, Departamento de Veterinaria, Riobamba, Ecuador.

³ Departamento del Conocimiento Ganadero, Consultora independiente Milk and Meat, Riobamba, Ecuador.

E-mail: * andresharo86@hotmail.com

RESUMEN

La alimentación de los ovinos en el Ecuador, corresponde a una base forrajera variable en sistemas de producción alto andino e intensivo, entre las más comunes destacan los tamos de cereales y henos de praderas. El aprovechamiento de estas bases forrajeras depende de su digestibilidad y valor nutritivo, por lo tanto, el objetivo de este estudio fue analizar el valor nutritivo de alimentos fibrosos representativos en la alimentación del ganado ovino. Mediante técnicas in vitro se fermentaron en líquido ruminal cinco muestras de alimentos forrajeros, tamos de cebada y trigo como alimentos de uso común en el alto andino y tres henos de triticale, alfalfa y ray grass como alimentos de uso común en sistemas intensivos. Los tamos de trigo y cebada tienen un contenido en FND, FAD y LAD mayor que los henos de triticale, alfalfa y ray grass ($P < 0,001$). Por otra parte, las concentraciones de proteína bruta de los tamos de trigo y cebada muestran menores porcentajes a diferencia de mayores concentraciones de proteína bruta de los henos de alfalfa, triticale y ray grass ($P < 0,001$), además, la degradabilidad efectiva de la materia seca fue mayor ($P < 0,001$) en los henos de alfalfa que los tamos, mientras que los henos de triticale y ray grass presentaron valores intermedios y mayores que los tamos. Por lo tanto, la composición química de los alimentos fibrosos fue variable por la diferencia de producción.

La inclusión de tamos se puede utilizar a modo complementario de fibra en las dietas para el ganado ovinos. Se recomienda el uso de henos de fuentes forrajeras o prados como alimentos completos en la alimentación de esta especie.

Palabras clave: *Ganado ovino, fermentación in vitro, forrajes, henos.*

ABSTRACT:

The feeding of sheep in Ecuador is based on forages, on high Andean and intensive production systems. The most common forages are cereal harvest residues and meadow hays. The use of forages depends on their digestibility and nutritional value; therefore, the objective of this study was to analyze the nutritional value of fibrous feed for sheep. Using in vitro techniques, 5 samples of forage feeds, barley and wheat straws and three triticale, alfalfa and ryegrass hays were fermented in ruminal fluid as feeds commonly used in this species. Wheat and barley hays have a higher FND, FAD and LAD content than triticale, alfalfa and ray-grass hays ($P < 0.001$). On the other hand, the crude protein concentrations of the wheat and barley stalks show lower percentages, unlike the higher crude protein concentrations of the alfalfa, triticale

and ray-grass hays ($P < 0.001$), in addition, the effective degradability of dry matter was higher ($P < 0.001$) in alfalfa hay than chaff, while triticale and ray-grass hay presented intermediate and higher values than chaff. Therefore, the chemical composition of fibrous feeds was variable due to the difference in production. The inclusion of chaff can be used as a supplementary fiber in diets for sheep. The use of hay from forage sources or pastures is recommended as complete feed for this species.

Keywords: sheep, in vitro fermentation, forage, hay

1. INTRODUCCIÓN

La producción de forrajes para la alimentación del ganado ovino en el Ecuador es poco variable, a diferencia de la producción forrajera para el ganado bovino con amplia variedad [1, 2]. La alimentación de los ovinos en el país, corresponde a una base forrajera en su totalidad, además, de existir dos sistemas marcados de producción, el sistema alto andino representado por granjas familiares que pastorean a los animales sobre los 3000 msnsm con pastos con calidad nutricional pobre como pajas nativas, kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), pasto de terciopelo (*Holcus lanatus*) y en abundancia los residuos de la cosecha de cereales, entre los populares los tamos de trigo y cebada [2, 3, 4]. Por otro lado, el sistema intensivo por estabulación y posible pastoreo rotativos y alimentación con pastos de calidad como henos de alfalfa, triticale y ray grass, cultivos específicos que se adaptan a zonas altas entre los 2200 hasta los 3000 msnm [2, 5].

Por otro lado, los rumiantes se distinguen del resto de los animales por la adaptación morfofisiológica de la parte anterior de su estómago [6]. Esta peculiaridad les permite convertir alimentos fibrosos en nutrientes de calidad para los animales, como la proteína microbiana y los ácidos grasos volátiles [7, 8]. El estudio de la fermentación y degradación de los alimentos en el rumen obliga a contemplar diferentes aspectos que pueden intervenir en ello. Sugiere plantearse aspectos como el nivel de producción, el nivel de ingesta de materia seca (MS) y su efecto sobre la velocidad de tránsito ruminal y síntesis de proteína microbiana de alimentos forrajeros utilizados como base alimenticia en el ganado ovino [8, 9].

Los estudios en la nutrición del ganado ovino en el Ecuador se dirigen a conformar dietas que maximicen la producción de proteína microbiana en el rumen y el máximo aprovechamiento de la fibra, ya que reducen la necesidad de suplementar la alimentación animal

con fuentes de proteínas no degradables en el rumen y contribuir a la salud ruminal [6, 10]. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue analizar, mediante técnicas in vitro, el valor nutritivo de alimentos fibrosos representativos en la alimentación del ganado ovino en el Ecuador.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Animales, Materias primas y Procedimientos Experimentales

Se utilizaron cuatro ovejas adultas ($67 \text{ kg} \pm 2,30 \text{ kg}$ PV) provistas de una cánula ruminal permanente. Las ovejas fueron alimentadas con una dieta mixta de heno de gramíneas y un concentrado comercial a nivel de mantenimiento de energía [11] distribuidos en dos comidas iguales. Todos los procedimientos con animales se realizaron de acuerdo con las directrices ecuatorianas para la protección de animales de experimentación, de acuerdo con la legislación y los procedimientos experimentales aprobados por el Comité de Ética en Experimentación Animal de la Republica del Ecuador.

Se utilizaron cinco alimentos fibrosos de mayor importancia en la alimentación del ganado ovino en el Ecuador, como sustrato para la prueba de fermentación in vitro, dos muestras de tamos de cebada y trigo como alimentos de uso común en el alto andino y tres henos de triticale, alfalfa y ray grass como alimentos comunes en la alimentación del ovino en sistemas de mayor tecnificación productiva. Los contenidos de MS, ceniza, nitrógeno y éter se determinaron de acuerdo a las normas de la AOAC [12]. El contenido de materia orgánica (MO) se calculó como 100 menos el contenido de cenizas. Los análisis de fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y lignina ácido detergente (LAD) se realizaron según lo descrito por Van Soest, Robertson y Lewis [13].

Las muestras fibrosas fueron molidas a 1 mm y se adicionaron 200 mg de muestra en viales de cristal de 60 ml de capacidad y se fermentaron in vitro con fluido ruminal en solución tampón. El contenido ruminal de cada oveja se mezcló con una solución tampón de Goering y Van Soest [14] en proporción 1:4 (vol/vol) a 39°C . Se adiciono 50 ml de contenido ruminal tamponado en los viales más las muestras. Los frascos se sellaron con tapones de goma y cápsulas de aluminio y se incubaron a 39°C . La producción de gas se midió con un transductor de presión (Delta Ohm DTP704-2BGI, Herter Instruments SL, Barcelona, España) en intervalos de tiempo de 3, 6, 9, 12, 21, 25, 30, 35, 48, 60,

72, 96, 120 y 144 h. Después de 144 h de incubación, se obtuvo el residuo y se secó a 50 °C por 48 h y se calculó la degradabilidad del sustrato.

Cálculos y análisis estadísticos

Para estimar los parámetros cinéticos de fermentación, los datos de producción de gas se ajustaron utilizando el modelo exponencial: $Y = PP (1 - e^{-(c \cdot t - \text{Lag})})$, en el que c representa el ritmo fraccional de producción de gas, PP su producción potencial, Lag es el tiempo necesario para que comience la producción de gas y t es el tiempo de medida. El ajuste de los datos se realizó por el procedimiento NLIN del paquete estadístico SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, EEUU). El ritmo medio de producción de gas (RM; ml/h) se definió como el ritmo de producción de gas entre el inicio de la incubación y el tiempo al que se alcanzó el 50% de la producción potencial de gas y se calculó según la siguiente fórmula: $RM = (PP \cdot c) / 2 [\ln(2) + (c \cdot \text{Lag})]$. La degradabilidad efectiva de la materia seca (DEMS) se calculó como: $DEMS = (DMS_{96} \cdot c) / (c + kp)$ e $(-c \cdot \text{Lag})$ para valores de kp (ritmo de paso a través del rumen) de 5%. Estos valores corresponden a ritmos de paso en animales en mantenimiento y en un nivel medio de producción, respectivamente. Los datos se analizaron con un ANOVA unidireccional utilizando el PROC GLM de SAS [16], seguido de la prueba de Tukey. Se declaró significación a $P < 0,05$, mientras que los valores de $P < 0,10$ se consideraron como una tendencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición química del tamo de cebada, tamo de trigo y henos de triticale, alfalfa y ray grass se muestra en la Tabla 1. Por un lado, los tamos de trigo y cebada tienen un contenido en FND, FAD y LAD mayor (valor promedio: 72,5, 42,6 y 6,3 %, respectivamente) que los henos de triticale, alfalfa y ray grass (valor promedio: 54,5, 31,5 y 5,4%, respectivamente). Por otra parte, las concentraciones de proteína bruta de los tamos de trigo y cebada muestran menores porcentajes (valor promedio: 4,0 %) a diferencia de mayores concentraciones de proteína bruta de los henos de alfalfa, triticale y ray grass (19, 10 y 9,0 %, respectivamente), todos los valores estuvieron dentro del rango los valores medios utilizados en la alimentación del ganado ovino [2, 4, 17], pero estos valores pueden variar por las condiciones geográficas del Ecuador, que se encuentran en función del abonado, la climatología y pisos altitudinales donde son cultivados [17]; es importante señalar que la franja andina y agrícola de mayor producción de estos alimentos fibrosos van desde los 2200 msnm hasta

los 3600 msnm y algunos de los casos sobre la franja agrícola más de los 3600 msnm [2, 4, 17].

Tabla 1. Composición química de las materias primas

Ítem ¹	Materia orgánica, %	Proteína bruta, %	FND, %	FAD, %	LAD, %	Extracto etéreo, %
Tamo de cebada	80,7	2,70	71,3	40,4	6,42	1,79
Tamo de trigo	90,8	5,24	73,6	44,8	6,08	1,37
Heno alfalfa	88,6	18,9	43,3	31,7	7,03	2,56
Heno triticale	91,4	9,58	58,7	31,5	3,74	2,38
Heno ray grass	92,6	9,44	61,6	31,4	5,33	2,18

¹FND: fibra neutro detergente; FAD: fibra ácido detergente; LAD: lignina ácido detergente

Los parámetros de la cinética de producción de gas de los alimentos fibrosos se muestran en la tabla 2 y las curvas de la producción de gas en la figura 1. Los henos de triticale y ray grass tuvieron una mayor producción potencial de gas ($P < 0,001$) que los dos henos de alfalfa y los tamos de trigo y cebada, pero un ritmo fraccional de producción de gas menor ($P < 0,001$) que los dos henos de alfalfa. Por el contrario, el tiempo hasta que empieza la producción de gas fue menor ($P < 0,05$) para los henos de alfalfa, triticale y ray grass con respecto a los tamos de trigo y cebada, lo que indicaría que la degradación ruminal de todos los henos se inició más rápido que los tamos, este hecho se puede observar en las curvas de producción de gas en la figura 1.

Tabla 2. Parámetros de la cinética de producción de gas de las materias

Materia prima	PP ¹ (ml/g MS)	c (%/h)	Lag (h)	RM (ml/l)	DEMS (%)
Tamo de cebada	198	2,40	2,62	3,09	12,1
Tamo de trigo	267	2,84	5,73	4,42	15,2
Heno alfalfa	238	5,56	0,61	9,13	31,3
Heno triticale	314	3,16	0,38	7,01	28,1
Heno ray grass	302	2,78	0,13	6,01	24,6
EEM ²	6,671	0,071	0,760	0,162	2,001
P valor	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹ PP: producción potencial de gas; c : ritmo fraccional de producción de gas. Lag: tiempo hasta que empieza la producción de gas; RM: ritmo medio de producción de gas; DEMS: Degradabilidad efectiva de la materia seca calculada para un ritmo de paso del 5%. ² EEM: Error estándar de la media.

Además, se puede observar que a partir de las 32 h el heno de triticale presentó una producción de gas similar a la de los henos de alfalfa (216 mL de gas/g de materia seca), asimismo, se puede observar que a partir de las 72 h el tamo de trigo presentó una producción de gas similar a la de los henos de alfalfa (233 mL de gas/g de materia seca). A partir de las 96 h los henos de ray grass y triticale superaron en producción de gas a los henos de alfalfa y los tamos. Los henos de alfalfa presentaron los valores más altos ($P < 0,001$) para el ritmo medio de producción de gas, debido a su mayor ritmo de degradación, lo que coincide con los resultados de otros autores [18, 19] que observaron que las leguminosas se degradan más rápidamente que las gramíneas, conjuntamente, los forrajes más fibrosos se degradan menos que residuos de cosecha como los tamos de cereales. La degradabilidad efectiva (DEMS) calculada para un ritmo de paso del 5% fue mayor ($P < 0,001$) en los henos de alfalfa que los tamos de trigo y cebada, mientras que los henos de triticale y ray grass presentaron valores intermedios y mayores que los tamos.

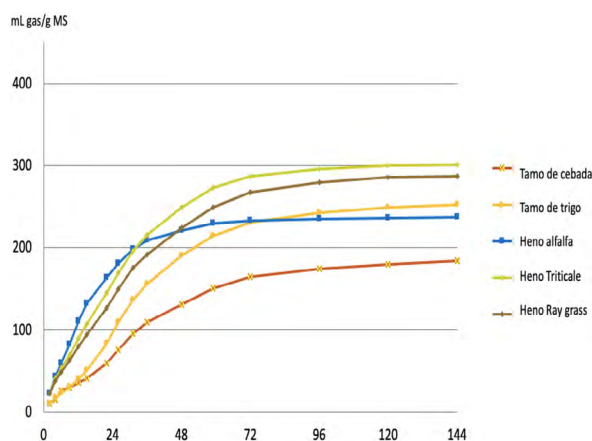


Figura 1. Cinética de producción de gas de los forrajes.

4. CONCLUSIONES

La composición química de los alimentos fibrosos fue variable por la diferencia de producción, los tamos son residuos de cosecha y los forrajes son cultivos para la alimentación completa de los ovinos en el Ecuador. La inclusión de tamos o subproductos del cultivo de cereales como el trigo y cebada se pueden utilizar a modo complementario de fibra en las dietas para el ganado ovinos, por su bajo contenido nutricional y menor degradabilidad en rumen. Bajo las condiciones de este estudio se sugiere el uso de henos de fuentes forrajeras o prados como alimentos completos que cubrirían las necesidades de mantenimiento en esta especie.

5. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] Ruiz, J. L. V., & Codero-Ahiman, O. V. (2019). Ensilaje como fuente alterna de alimentación del ganado de bovino en la producción lechera. *Revista Ecuatoriana de Ciencia Animal*, 3(2), 129-162. <http://www.revistaecuatorianadecienciaanimal.com/index.php/RECA/article/view/125>
- [2] Sinchipa, O. A., Cárdenas, F. R., & Paspuel, C. F. R. (2023). Valor nutricional y producción de los principales cultivos forrajeros en el cantón Guaranda-Bolívar-Ecuador. *Tesla Revista Científica*, 3(2), e192-e192. <https://doi.org/10.55204/trc.v3i2.e192>
- [3] Aguilar Lopez, E. Y., Borquez Gastelum, J. L., Dominguez Vara, I. A., Morales Osorio, A. N. D. R. E. S., Gutierrez Martinez, M. D. G., Castelan Ortega, O. A., & Gonzalez Ronquillo, M. A. N. U. E. L. (2015). Composición química y producción de gas in vitro de variedades de triticale (X tritico-secale Wittmack) y cebada (*Hordeum vulgare*) conservados mediante ensilaje y henificado. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/49656>
- [4] León, R., Bonifaz, N., & Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador: siembra y producción de pasturas. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19019>
- [5] Mestra, L. I., Santana, M. O., Mejia, L. J., Ortiz, C. R., & Paternina, S. E. (2020). Caracterización de sistemas de alimentación de ovinos en el departamento de Córdoba, Colombia. *Archivos de zootecnia*, 69(268), 432-443.
- [6] Haro, A. H., Rojas, M. J. A., & Suarez, A. (2022). Evidence-Based Ruminant Microbiota. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*, 29(2), 21-30. <https://doi.org/10.31243/aci.v29i2.1839>
- [7] Dewhurst, R.J., Aston, K., Fisher, W.J., Evans, R.J., Dhanoa, M.S. & McAllan, A.B. (1999). Comparison of energy and protein sources offered at low levels in grass silage based diets for dairy cows. *Anim. Sci.* 68:789. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75049-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75049-1)
- [8] Haro, A.N.; Carro, M.D.; De Evan, T.; González, J. (2020). Influence of feeding sunflower seed and meal protected against ruminal fermentation on ruminal fermentation, bacterial composition and in situ degradability in sheep. *Ar Anim Nutr.* 74(5): 380-396. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1756679>
- [9] Cui, X., Wang, Z., Fan, Q., Chang, S., Yan, T., & Hou, F. (2023). *Ligularia virgaurea* improved nutrient digestion, ruminal fermentation, and bacterial

- composition in Tibetan sheep grazing on the Qinghai-Tibetan plateau in winter. *Animal Feed Science and Technology*, 299, 115628. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115628>
- [10] Beever, D. E., & Cottrill, B. R. (1994). Protein systems for feeding ruminant livestock: a European assessment. *Journal of Dairy science*, 77(7), 2031-2043. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77148-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77148-4)
- [11] St-Pierre, N. R. (2003). Reassessment of biases in predicted nitrogen flows to the duodenum by NRC 2001. *Journal of Dairy Science*, 86(1), 344-350. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73612-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73612-1)
- [12] Association of Official Analytical Chemists. (1999). *Official methods of analysis*, 16th edn. 5th rev. Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists International.
- [13] Van Soest, P. J., Robertson, J. B., & Lewis, B. A. (1991). Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74, 3583-3597. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2)
- [14] Goering, M. K., & Van Soest, P. J. (1970). Forage fiber analysis (apparatus, reagents, procedures and some applications). *Agricultural Handbook*, no. 379. Washington DC, USA: Agricultural Research Services, USDA.
- [15] Carro, M. D., & Ranilla, M. J. (2003). Effect of the addition of malate on in vitro rumen fermentation of cereal grains. *British Journal of Nutrition*, 89, 181-188. <https://doi.org/10.1079/BJN2002759>
- [16] SAS Institute Inc. (2012). *SAS/STAT® 12.2 User's guide*. Cary, NC, USA: SAS Inst Inc.
- [17] Deroche, B., Pradel, P., & Baumont, R. (2020). Long-term evolution and prediction of feed value for permanent mountain grassland hay: Analysis of a 32-year data set in relation to climate change. *Grass and Forage Science*, 75(1), 18-27. <https://doi.org/10.1111/gfs.12465>
- [18] Hofmann, R.R. (1993). Anatomía del conducto gastrointestinal. En: *El Rumiante. Fisiología Digestiva y de la Nutrición*. Church D.C. (ed.). Acribia, Zaragoza, España. p. 15-46.
- [19] Van Soest, P.J. (1994). *Nutritional Ecology of the Ruminant*. (2nd Ed). Diet quality and ungulate diversity. Cornstock Publishing 408 Associates, Cornell University Press. Ithaca. NY, EEUU. ISBN: 0-8014-2772-X



epoch

Facultad
de Ciencias
Pecuarias



RECIENTA

Revista Científica Agropecuaria

ED. ESPECIAL

Líneas de investigación:

Ciencias agrícolas y agroindustriales

Ciencias zootécnicas y biológicas

Ciencia e ingeniería de Alimentos

Ciencia e ingeniería de biomateriales

Medicina animal

Procesos agropecuarios y agroindustriales

Economía, gerencia y negocios agropecuarios

Aplicaciones de otras ciencias a estas áreas.

✉ Información: reciena.fcp@epoch.edu.ec

epoch.edu.ec