PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, NATURALES Y AMBIENTALES

CARRERA DE CIENCIAS QUÍMICAS

Título de monografía:

Metabisulfito de sodio como inhibidor de melanosis en camarones (*Litopenaeus vannamei*) de consumo nacional: revisión bibliográfica.

Monografía previa a la obtención del título de: Químico

EMILIO MARCELO TORO MOREIRA

QUITO, 2025

CERTIFICACION

Certifico que la monografía de Química “Metabisulfito de sodio como inhibidor de melanosis en camarones (*Litopenaeus vannamei*)” del señor Emilio Marcelo Toro Moreira ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.



Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
GABRIELA FERNANDA
CUEVA TIRIRA

Mst. Gabriela Cueva Tirira
CC 1715024491
Quito, 16 de Junio del 2026

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres por su amor incondicional, su esfuerzo constante y su apoyo inquebrantable a lo largo de mi formación personal y académica. Gracias por ser mi ejemplo de responsabilidad, perseverancia y, sobre todo, responsabilidad, brindándome siempre la confianza necesaria para alcanzar mis metas.

A mis abuelos, gracias por sus enseñanzas y sabiduría, dejando una huella invaluable en mi vida. Su apoyo y consejos han sido una fuente permanente de inspiración, durante todo mi camino académico y personal.

A mi hermana, por su compañía y apoyo durante todas las etapas de este proceso, así como por los momentos compartidos que apoyaron a mi crecimiento tanto personal como profesional.

A mi novia, por su cariño infinito, su paciencia y su motivación constante; gracias por acompañarme en todos los desafíos y logros de este camino, creyendo en mí incluso en los momentos más difíciles y por ser una fuente permanente de fortaleza e inspiración.

A mi madrina, por su cariño y apoyo incondicional, gracias por acompañarme a lo largo de los años con palabras llenas de aliento y calidez, siendo una persona tan importante en mi vida

A todos ellos, mi más sincero agradecimiento, pues este logro también les pertenece.

Tabla de contenido

Carátula i

DEDICATORIA iii

1. RESUMEN 1

2. ABSTRACT 2

3. INTRODUCCIÓN 3

4. OBJETIVOS 6

4.1 OBJETIVO GENERAL 6

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 6

5. Desarrollo teórico 7

5.1 Metabisulfito de sodio 7

5.1.1. Definición y características. 7

5.1.2. Estructura química. 7

5.1.3 Propiedades físico químicas y comportamiento químico del metabisulfito de sodio en solución acuosa. 8

5.1.4 Usos en la industria alimentaria. 9

5.2 El camarón *(litopenaeus vannamei)* 9

5.2.1 Características generales 9

5.2.2 Morfología del camarón 10

5.2.3 Etapas de crecimiento 11

5.2.4 Producción y consumo nacional 11

5.3 MELANINA Y MELANOSIS EN CAMARONES 12

5.3.1 Melanina. 12
5.3.2 Mecanismo bioquímico de melanosis 13
5.3.3 Factores que influyen en la melanosis 13
5.4 Aplicación del metabisulfito de sodio en camarón. 14
5.4.1 Mecanismos de acción. 14
5.4.2 Reacciones químicas presentes en la inhibición de melanosis . 15
5.4.3 Método de aplicación 16
5.4.4 Concentraciones usadas 16
5.4.5 Aplicación según el tipo de presentación en camarón 17
5.4.6 Efectividad en la conservación 17
5.5 Riesgos del metabisulfito de sodio 18
5.5.1 Riesgos para la salud humana 18
5.5.2 Riesgos en campo para productores y trabajadores 19
5.5.3 Impacto ambiental 20
5.5.4 Determinación de sulfitos residuales analíticamente 20
5.6 Normativas sobre el uso de metabisulfito de sodio en camarón .. 22
5.6.1 Norma INEN 456:2013 22
5.6.2 Codex Alimentarius 23
5.6.3 Límites máximos permitidos de sulfitos en camarón. 24
5.6.4 Control residual de metabisulfito de sodio según presentación . 25
5.7 Alternativas al uso de metabisulfito en camarón 27
5.7.1 Ácido ascórbico 27
5.7.2 Extractos naturales antioxidantes 28
5.7.3 4-hexilresorcinol 30
6. CONCLUSIONES 33
7. RECOMENDACIONES 35
8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 36

Lista de Tablas

Tabla 1. Comparación de resultados basados en tratamientos de inhibición de melanosis, aplicados a camarón según distintos estudios. 18
Tabla 2. Límites máximos permitidos de SO_2 residual en camarón de consumo humano, según normativas nacionales e internacionales. 24
Tabla 3. Concentración de SO_2, riesgo de melanosis por categoría de presentación del camarón..... 25
Tabla 4. Comparación entre metabisulfito de sodio y alternativas estudiadas para el control de melanosis en camarón de consumo humano. 31

1. RESUMEN

El camarón constituye uno de los productos de tipo acuícola con mayor importancia económica para el Ecuador, siendo un producto de consumo nacional y exportado a distintos mercados internacionales. Durante su procesamiento y almacenamiento, puede existir una melanosis en el producto, siendo un proceso enzimático que ocasiona manchas oscuras en el exoesqueleto del camarón, afectando de manera negativa su valor comercial debido a su apariencia visual. Este fenómeno puede ser controlado a través del uso de un agente antioxidante como el metabisulfito de sodio. La presente monografía tiene como objetivo analizar a través de revisión bibliográfica, el uso del metabisulfito de sodio en camarones destinados a consumo nacional, considerando el mecanismo de acción, el método de aplicación, normativas vigentes para aplicación de concentraciones permitidas y en caso de exceder, los efectos sobre la salud del consumidor y el medio ambiente. Asimismo, se revisan alternativas al uso de sulfitos, como los compuestos antioxidantes naturales y el 4-hexilresorcinol, evaluando su eficacia en comparación con el metabisulfito de sodio. Por medio de la revisión de artículos científicos, normativas nacionales e internacionales, se identificó que el metabisulfito sigue siendo uno de los tratamientos más eficaces en la prevención de la melanosis, sin embargo, el uso excesivo del mismo puede presentar riesgos sanitarios en consumidores sensibles a estos y a su vez a los productores. Finalmente, se concluye que los controles adecuados de las concentraciones aplicadas del producto junto al cumplimiento de las normativas vigentes son primordiales para garantizar la inocuidad del producto final, mientras que con otras alternativas como el 4-hexilresorcinol se presentan opciones prometedoras para la reducción del uso de sulfitos en la industria camaronera.

Palabras clave: Conservación, camarón, melanosis, sulfitos, metabisulfito de sodio.

2. ABSTRACT

Shrimp is one of Ecuador's most economically important aquaculture products, consumed both domestically and exported to various international markets. During processing and storage, melanosis can occur, an enzymatic process that causes dark spots on the shrimp's exoskeleton, negatively impacting its commercial value due to its visual appearance. This phenomenon can be controlled through the use of an antioxidant such as sodium metabisulfite, known to be a potent inhibitor of melanosis. This monograph aims to analyze, through a literature review, the use of sodium metabisulfite in shrimp beds intended for domestic consumption, considering its mechanism of action, application method, current regulations regarding permitted concentrations, and, if exceeded, the effects on consumer health and the environment. Alternatives to the use of sulfites are also reviewed, including natural antioxidant compounds and 4-hexylresorcinol, evaluating the efficacy of each in direct comparison with sodium metabisulfite. Through a review of scientific articles and national and international regulations, it was identified that metabisulfite remains one of the most effective treatments for preventing melanosis. However, its excessive use can pose health risks to consumers who are sensitive to these sulfites and, in turn, to producers. Finally, it is concluded that adequate controls on the concentrations applied to the product, along with compliance with current regulations, are essential to guarantee the safety of the final product. Meanwhile, other alternatives, such as 4-hexylresorcinol, present promising options for reducing sulfite use in the shrimp industry.

Keywords: Preservation, shrimp, melanosis, sulfites, sodium metabisulfite.

3. INTRODUCCIÓN

Ecuador es reconocido a nivel mundial por ser uno de los principales productores de camarón, siendo una actividad que constituye una de las fuentes más importantes de ingresos económicos para el país ya que tiene una alta participación en cuanto al comercio internacional, debido a la exportación hacia diversos mercados, lo que ha fortalecido las relaciones internacionales con respecto al comercio. (López & Bayas, 2023).

En Ecuador, la producción de camarón es una de las actividades acuícolas de mayor importancia, siendo el 90% de la producción total del país, teniendo como principal destino China, Europa y Estados Unidos. Por otro lado, entre enero y junio del año 2025, el país exportó 718 000 toneladas de camarón, lo cual superó incluso a las exportaciones de petróleo durante el mismo periodo mencionado, situando a la producción de camarón como una de las mayores fuentes de ingresos de Ecuador. (Primicias, 2025).

Sin embargo, los productos de exportación deben cumplir ciertos requisitos, como una buena apariencia visual, percepción de olor y sabor sin que estos sean afectados a través del tiempo que toma el proceso del producto desde su pesca hasta su empaquetamiento y posterior venta, pero sobre todo el tiempo de exportación del producto, por lo que se han generado varias alternativas aplicadas a la preservación del alimento. (López & Bayas, 2023).

Uno de los parámetros visuales del camarón tanto nacional como de exportación, es la melanosis, la cual consiste en un proceso de tipo enzimático que se presenta en este producto y en crustáceos, en donde el camarón toma un tono oscuro en su piel al momento de empezar el proceso postmortem. La melanosis ocurre en un corto período de tiempo, por lo que hay que tomar medidas oportunas para inhibir este proceso enzimático, ya que, al ser poco agradable a la vista, causa pérdidas a los comerciantes al no tener la venta esperada. (Álvarez, 2000).

Para evitar esta problemática, las empacadoras y plantas de procesamiento de camarón hacen uso de conservantes y antioxidantes, entre los cuales destaca el

metabisulfito de sodio, siendo un compuesto inorgánico que se comercializa como polvo blanco soluble en agua, es un conservante y antioxidante melanótico a la vez. Este producto tiene varios usos en la industria alimentaria, por sus propiedades como agente reductor, inhibiendo la acción enzimática y por consiguiente la preservación fresca del camarón, ayudando a mantener su sabor y textura durante el transporte y almacenamiento. (González, 2021).

El uso del metabisulfito de sodio aplicado al camarón como antioxidante y conservante, al no ser controlado de manera adecuada puede llegar a generar efectos adversos en la salud para personas sensibles a los sulfitos añadidos, teniendo efectos como reacciones respiratorias, alergias o más comúnmente, síntomas gastrointestinales e irritaciones en zonas de la piel. (Bermúdez & Panta, 2020). En Ecuador, el uso de este aditivo se regula a través de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 456:2013, “Camarones o Langostinos congelados. Requisitos”, en donde se establece que el contenido máximo permitido de metabisulfito de sodio residual en el producto final no debe exceder los 150 mg/kg. (Bermúdez & Panta, 2020).

La presente monografía tiene como finalidad realizar un análisis del uso del metabisulfito de sodio en el procesamiento de camarones que se destinan para consumo nacional y principalmente al de exportación, a través de revisión bibliográfica. De igual manera, se analizan los posibles efectos sanitarios qué pueden existir tanto en la exposición como en el consumo de sulfitos residuales, considerando la evidencia científica reportada en la literatura. A su vez, se analiza el impacto que tiene el uso de este compuesto como aditivo en la inocuidad, aceptación visual y calidad del camarón junto a sus implicaciones tanto ambientales como regulatorias. La revisión comparativa de distintos métodos y niveles de aplicación y concentración nos permitirá identificar prácticas qué puedan optimizar la conservación del producto sin comprometer la seguridad sanitaria o el cumplimiento de la normativa vigente.

En el contexto descrito, el presente trabajo adquiere una importancia desde el punto de vista sanitario y académico, ya que permitirá la organización, la recopilación y análisis crítico de información científica que se relaciona con el uso del metabisulfito de sodio en el procesamiento de camarones que se destinan para el consumo nacional y de exportación. La monografía se centra en la descripción de las propiedades químicas de este compuesto, su mecanismo de acción como inhibidor en el proceso de melanosis del camarón a través de la inhibición de la actividad de la enzima polifenol oxidasa y a su vez, la interacción de este compuesto con el alimento, así como la revisión de la normativa vigente y el impacto de los residuales de este conservante en el camarón y el medio ambiente. (Álvarez, 2000; Bermúdez & Panta, 2020; González, 2021).

El metabisulfito, al ser un aditivo que no altera de manera perceptible las características organolépticas del producto, puede pasar inadvertida su ingesta, reforzando la importancia de revisar la evidencia científica que se dispone sobre su uso y control. De esta manera, el trabajo presente plantea un aporte académico de carácter descriptivo y analítico a través de una revisión bibliográfica, con el fin de aportar un marco teórico claro y fundamentado sobre su uso en productos destinados a consumo nacional. (Espinal, 2013; García et al., 2012).

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

4.1.1 Mediante una revisión bibliográfica, analizar el uso del metabisulfito de sodio en el procesamiento de camarones que se destinan al consumo nacional y de exportación, abordando los efectos sanitarios reportados en la literatura, el mecanismo de acción como inhibidor de melanosis y el marco normativo vigente aplicado.

4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

4.2.1 Detallar las propiedades fisicoquímicas del metabisulfito de sodio y su mecanismo de acción como inhibidor de proceso de melanosis en camarones.

4.2.2 Describir el marco normativo vigente en Ecuador sobre el uso del metabisulfito de sodio en camarones congelados.

4.2.3 Analizar los posibles efectos sanitarios del metabisulfito de sodio en los consumidores y productores, a través de evidencia científica.

4.2.4 Revisar bibliográficamente los niveles de concentración y métodos de tratamiento reportados sobre la aplicación de metabisulfito de sodio en camarones de consumo nacional.

5. DESARROLLO TEÓRICO

5.1 METABISULFITO DE SODIO

5.1.1. Definición y características.

El metabisulfito de sodio es un compuesto inorgánico que se usa ampliamente en la industria alimentaria especialmente como conservante, cuenta con una fórmula química $Na_2S_2O_5$ y se presenta a la venta como un polvo blanco de tipo cristalino, con un olor característico a dióxido de azufre que se concentra al estar en contacto con el agua. En el tema alimentario, el metabisulfito de sodio es identificado como aditivo E223 y es empleado generalmente por su capacidad reductora, es decir, debido a que permite tener un retraso en los procesos oxidativos y ayudar en la conservación de sus características del producto final, incluso en el tiempo de almacenamiento y transporte (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019). En el procesamiento de camarones, el metabisulfito de sodio se usa especialmente para la prevención de la melanosis, el cual es un oscurecimiento enzimático que afecta la apariencia visual del camarón luego de su muerte, sabiendo que la melanosis no implica necesariamente deterioro de tipo microbiológico, si genera una disminución de aceptación comercial, ya que, las manchas negras en el producto se perciben como una señal de mala calidad, falta de frescura o mal almacenamiento (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019).

5.1.2. Estructura química.

También conocido como bisulfito de sodio o pirosulfito de sodio, con formula química $Na_2S_2O_5$. La estructura que posee le permite actuar como agente reductor, ya que reacciona con compuestos oxidantes que se presentan en los alimentos, siendo una de sus características principales para su uso en productos marinos. El metabisulfito de sodio logra interferir en las reacciones de oxidación que se producen en el camarón, retrasando la generación de pigmentos oscuros en el proceso de melanosis y conservando el color

natural del camarón, prolongando su tiempo útil de aceptación visual en el mercado y en su procesamiento para venta (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019).

5.1.3 Propiedades físico químicas y comportamiento químico del metabisulfito de sodio en solución acuosa.

El metabisulfito de sodio es soluble en agua, con un peso molecular de aproximadamente 190,1 g/mol y su pH tiende a ser ácido al estar en soluciones acuosas. Al contacto con el agua, libera especies que se derivan del dióxido de azufre, siendo estas las responsables y parte fundamental de su acción antioxidante y antimicrobiana a su vez. (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019). Otra característica de este compuesto es su alta solubilidad, lo que lo hace ideal para usar en soluciones de inmersión, una de las formas en las que se trata el camarón post cosecha. Cabe mencionar de igual manera que esta propiedad puede ser favorable o no, ya que aumenta la presencia de residuos de sulfitos en el producto final y por ello, es necesario el control de las concentraciones aplicadas y el uso de los límites permitidos por la normativa vigente (García et al., 2012).

Cuando el metabisulfito de sodio entra en contacto con un medio acuoso, como el agua usada en cosecha, este compuesto experimenta una hidrólisis, lo que produce iones bisulfito, siendo especies químicas derivadas del dióxido de azufre, que son los encargados directos de la inhibición de la melanosis (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019).

El proceso que se desarrolla se puede presentar a través de la ecuación:

$$Na_2S_2O_5 + H_2O \rightarrow 2\ NaHSO_3$$

Los iones bisulfito establecen equilibrios químicos con especies sulfitadas que se encuentran en la solución, siendo en este caso el ion sulfito y el dióxido de azufre. En condiciones ácidas tiende a ser predominante la presencia de dióxido de azufre, mientras que, con valores básicos, aumenta la presencia de iones sulfito, en este caso el pH forma parte fundamental en la distribución y proporción de estas especies. El equilibrio formado

es parte importante en este aspecto, determinando la capacidad antioxidante del sistema y como resultado, la eficacia del metabisulfito de sodio en el proceso de inhibición de la melanosis en el camarón (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019).

5.1.4 Usos en la industria alimentaria.

El metabisulfito de sodio tiene usos diversos en alimentos al ser conservante y agente inhibidor, empleado en frutas deshidratadas, jugos, vegetales procesados y, sobre todo, productos marinos.

En el camarón, el uso de este sulfito es práctico debido a su facilidad de aplicación, su bajo costo y su eficacia al inhibir la melanosis en este producto, sin embargo su uso debe ser regulado y controlado, ya que en concentraciones elevadas puede llegar a presentar riesgos para consumidores sensibles a los sulfitos y a su vez, para trabajadores expuestos durante el procesamiento del mismo (García et al., 2012).

5.2 EL CAMARÓN *(LITOPENAEUS VANNAMEI)*

5.2.1 Características generales

El camarón blanco de tipo *Litopenaeus vannamei,* es una especie de crustáceo decápodo de la familia *Penaeidae*, siendo una de las especies más cultivadas a nivel mundial, por su rápido crecimiento. En Ecuador, este tipo de camarón es una de las principales especies acuícolas, ya que su producción ha permitido el crecimiento de la industria camaronera nacional, aportando a su vez con el crecimiento en las exportaciones del país (FAO, 2026).

La producción exitosa del camarón *Litopenaeus Vannamei* está relacionada con su capacidad de adaptación a diversas condiciones ambientales, logrando desarrollarse en amplios rangos de salinidad, condición que puede variar debido a lluvias densas cotidianas o la escasez de estas en un corto periodo de tiempo. Esto favorece su cultivación en sistemas semi-intensivos e intensivos, de igual manera, presenta una eficiencia alta en

cuanto a conversión alimenticia, mejorando de esta manera la tasa de crecimiento semanal del camarón, comparando con otras especies cultivadas para comercialización. Estas características permiten que el camarón *Litopenaeus Vannamei* se convierta en una de las especies más importantes en el ámbito acuícola, siendo este reconocimiento otorgado a nivel mundial, tomando como punto importante que este producto corresponde a uno de los principales exportados del sector pesquero del Ecuador (FAO, 2026; López & Bayas, 2023).

5.2.2 Morfología del camarón

El cuerpo del camarón se distinguen 2 partes: el abdomen y cefalotórax. El cefalotórax está protegido por un caparazón rígido, el cual contiene en su interior órganos vitales como el corazón, hepatopáncreas y el estómago. En esta misma zona se encuentra las antenas, los ojos, las patas y los maxilípedos. Está compuesta por quitina, minerales y también proteínas, cumpliendo una función de tipo protectora y apoyando los procesos naturales del camarón, tales como su muda para posterior crecimiento.

La zona del abdomen, está formada por segmentos móviles que le permiten al camarón moverse en su hábitat a través de la natación. Se denomina exoesqueleto, el cual puede llegar a presentar manchas oscuras en zonas como la cabeza y bordes del caparazón, debido a la melanosis después de su muerte (FAO, 2020; Wyban & Sweeney, 1991).

Cabe mencionar que el exoesqueleto de este crustáceo, cumple con funciones que tienen relación con la protección del camarón frente a peligros como agentes externos o depredadores naturales, siendo principalmente constituido por una proteína llamada quitina, la cual le da la forma rígida, pero con flexibilidad para movimiento del camarón.

El exoesqueleto es donde se desarrolla principalmente la melanosis inicialmente, por ello, las alternativas para su conservación tienen como objetivo actuar primero sobre la superficie externa del crustáceo apenas es cosechado (FAO, 2020; Wyban & Sweeney, 1991).

5.2.3 Etapas de crecimiento

El ciclo de la vida del camarón se divide en varias etapas, siendo estas de manera ordenada: huevo, Nauplio, Zoea, Misis, Postlarva, juvenil y adulto. En el transcurso de estas fases existen cambios morfológicos y fisiológicos en el mismo siendo estos los que ayudan a su desarrollo progresivo. El desarrollo correcto del camarón va a depender de factores cruciales como el oxígeno disuelto en el área o piscina, su temperatura, la salinidad correcta, su alimentación y la calidad de agua en cuanto a bacterias y algas. Al tener correctamente controlados estos parámetros, se obtiene una producción eficiente, teniendo como resultado un camarón apto para procesamiento y consumo (Wyban & Sweeney, 1991; FAO, 2020).

5.2.4 Producción y consumo nacional

Ecuador es conocido por ser uno de los principales exportadores y productores de camarón a nivel mundial, siendo esta actividad acuícola una fuente importante de ingresos económicos y desarrollo productivo. Gran parte de la producción nacional se destina a exportación, siendo los mercados principales Europa, China y Estados Unidos (López & Bayas, 2023; Primicias, 2025).

Por otro lado, a nivel nacional también existe demanda de camarón, donde este se comercializa fresco y en diferentes presentaciones: pelado, desvenado y descabezado. Debido a la variedad en su presentación, su método de conservación va a adaptarse y variar según el producto y su tiempo de almacenamiento requerido (López & Bayas, 2023; Primicias, 2025).

El camarón no solo tiene una importancia en cuánto a exportación, el crecimiento sostenido que se ha visto en la actividad camaronera ha generado no solo un aumento en la parte económica, de igual manera ha impulsado al desarrollo tecnológico de empresas que son productoras, generando de manera industrial la implementación de mejores prácticas de manejo, sistemas rigurosos de calidad y certificaciones que permiten tener la trazabilidad del producto, cumpliendo los requisitos que se exigen de manera nacional e

internacional. Por esta razón, la calidad visual que tiene el camarón al momento de su comercialización es uno de los factores más importantes para la determinación del valor comercial del mismo, por ello, el usar compuestos que prevengan el inicio o aparición de melanosis se han convertido en prácticas indispensables dentro de lo que conlleva la cadena productiva en cuanto al camarón (Primicias, 2025).

5.3 MELANINA Y MELANOSIS EN CAMARONES

5.3.1 Melanina.

La melanina es conocida por ser un pigmento oscuro que se forma como resultado de la oxidación de los compuestos fenólicos, particularmente en los crustáceos, debido a la acción de enzimas como la polifenol oxidasa, la cual cataliza la conversión de compuestos fenólicos en quinonas, las cuales se polimerizan y generan pigmentos oscuros que se observan en el exoesqueleto del camarón.

La melanina es natural en el proceso biológico postmortem del camarón, sin embargo, puede llegar a presentar un problema comercial al dañar la apariencia visual del producto. Esto se debe a que la apariencia oscura de los pigmentos se asocia directamente con una descomposición, no obstante, no necesariamente indica una descomposición o una pérdida de inocuidad (Álvarez, 2000; Bermúdez & Panta, 2020).

La melanina en el aspecto químico, se denomina un polímero complejo, el cual está formado a partir de oxidación y condensación de los compuestos fenólicos que constituyen al camarón, esto posteriormente produce coloración oscura a la superficie del camarón. A diferencia de lo que se piensa por estos oscurecimientos, la presencia de melanosis en el producto no representa una alteración microbiológica, sin embargo, el aspecto que otorga puede llegar a ser un problema grande en la parte económica, al ser rechazado, tomando el oscurecimiento como falta de frescura del producto (Álvarez, 2000; Bermúdez y Panta, 2020).

5.3.2 Mecanismo bioquímico de melanosis

El mecanismo bioquímico de la melanosis se relaciona directamente con la enzima polifenol oxidasa y su actividad. Al morir el camarón se desarrollan cambios celulares que ayudan a mejorar el contacto entre sustratos fenólicos y enzimas; por consiguiente, la polifenol oxidasa oxida los compuestos y forma quinonas, siendo altamente reactivas, se polimerizan produciendo las manchas características de la melanosis. (Bermúdez & Panta, 2020).

Todo este proceso ocurre en presencia de oxígeno, la exposición excesiva, su manipulación prolongada y el retraso en su refrigeración pueden acelerar este proceso.

Los procesos anti melanosis tienen como objetivo la reducción de la actividad de la polifenol oxidasa, manteniendo la apariencia natural del camarón al limitar la oxidación del mismo. (González, 2021).

5.3.3 Factores que influyen en la melanosis

La melanosis y su aparición dependen de diversos factores biológicos, físicos y químicos; entre ellos se encuentra principalmente su exposición al oxígeno, el daño mecánico que se provoca por su manipulación, tiempo de almacenamiento, temperaturas irregulares en la cadena de frío. (Álvarez, 2000).

Las buenas prácticas en el manejo del camarón cosechado son fundamentales para la disminución en la aparición de la melanosis en el proceso de empaquetamiento, distribución y venta del producto. La temperatura es uno de los factores más importantes en el desarrollo de la melanosis, ya que cuando el camarón permanece tiempo prolongado en temperaturas no constantes y que no son adecuadas para su refrigeración, la reacción que desencadena la melanosis aumenta su velocidad, el adecuado manejo de la cadena de frio desde el momento de su cosecha logra evitar considerablemente el desarrollo de la melanosis, aumentando así su tiempo disponible para las etapas de procesamiento y comercialización. (Álvarez, 2000).

Otro aspecto importante son las heridas que pueden darse en los camarones en el proceso de su cosecha, el transporte y su clasificación, ya que este tipo de daños pueden llegar a favorecer el contacto entre las enzimas y sustratos fenólicos encontrados en el camarón y así, facilitar su proceso oxidativo; los camarones que tienden a ser sometidos a una extrema manipulación pueden presentar mayor rapidez en la aparición de la melanosis, comparando con camarones que tienen una mínima manipulación y mejor tratamiento en el proceso (González, 2021).

Otro aspecto importante según Bermúdez & Panta (2020) es el contenido de oxígeno disponible, el cual también logra influir directamente en la velocidad que tiene el proceso, una mayor exposición al oxigeno da como resultado la formación de quinonas, que por consiguiente desarrollarán la melanosis. Tomando estos dos puntos importantes, se conoce que las buenas prácticas de conservación suelen combinar el manejo adecuado, el uso de aditivos antioxidantes y una perfecta cadena de refrigeración (Espinal, 2013).

5.4 APLICACIÓN DEL METABISULFITO DE SODIO EN CAMARÓN.

5.4.1 Mecanismos de acción.

Este tipo de sulfito actúa como inhibidor de la melanosis, reaccionando con las quinonas formadas durante la oxidación enzimática, evitando de esta forma la polimerización de estas sin que puedan llegar a formar la melanosis; de esta forma interrumpe la ruta química que es responsable del oscurecimiento superficial del camarón. Por otro lado, el sulfito puede disminuir la actividad de la polifenol-oxidasa ayudando a retrasar la aparición de las manchas oscuras (Bermúdez & Panta, 2020).

El proceso inicial y su rapidez va a depender directamente de la cantidad de oxígeno que se encuentre disponible, lo que variaría la actividad de la enzima polifenol oxidasa, conocida por sus siglas como PPO. Al momento de formarse las quinonas, estas tienen una reacción rápida entre sí, junto a otras moléculas que están presentes en los

tejidos, esto por consecuencia desarrolla el color oscurecido de la melanosis. Es esta razón que permite una breve explicación sobre el porqué la melanosis tiende a desarrollarse incluso al mantenerse el producto bajo refrigeración, sin embargo, la temperatura aporta un ambiente donde la velocidad de su aparición baja considerablemente (Bermúdez & Panta, 2020).

5.4.2 Reacciones químicas presentes en la inhibición de melanosis

La melanosis se produce a través de una secuencia de reacciones tanto enzimáticas como químicas, las cuales ocurren post mortem en el camarón. En el trascurso de este proceso la enzima polifenol oxidasa comienza a tener contacto con compuestos fenólicos presentes en los tejidos, generando una catálisis en su oxidación en presencia de oxígeno. Por consecuente, se generan moléculas altamente reactivas denominadas quinonas, las cuales constituyen los procesos intermediarios del oscurecimiento enzimático que se presenta en la melanosis.

Por consiguiente, las quinonas reaccionan con otras moléculas presentes en el tejido y entre sí a través de procesos de polimerización y condensación, lo que comienza el origen de las manchas oscuras que se observan en exoesqueleto del camarón (Álvarez, 2000; Bermúdez & Panta, 2020).

El metabisulfito de sodio tiene como objetivo el interrumpir la ruta química descrita, esto a través de la formación de iones bisulfito, los cuales reaccionan de manera directa con las quinonas que se generan en el proceso de oxidación enzimática. En consecuencia, la reacción produce compuestos incoloros más estables, impidiendo el proceso normal de la polimerización para el desarrollo de la melanina, de esta manera se disminuye la velocidad en la que los pigmentos oscuros se forman, conservando por un mayor tiempo la apariencia fresca y natural del camarón. El mecanismo descrito resulta eficiente, ya que actúa directamente sobre los intermediarios que son responsables del oscurecimiento del exoesqueleto, reduciendo de manera significativa la aparición de melanosis en el proceso

de almacenamiento, transporte, comercialización y consumo del producto. (Álvarez, 2000; Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019; González, 2021).

5.4.3 Método de aplicación

Puede ser aplicado por varios métodos, entre ellos el más usado es por inmersión, en donde el camarón ingresa en soluciones preparadas con concentraciones determinadas del conservante. Este proceso permite que el compuesto tenga un contacto más directo con la superficie del camarón, logrando actuar sobre todas las zonas del camarón y su exoesqueleto. (Espinal, 2013).

En la industria camaronera, se usan soluciones entre 1% y 2,5% de metabisulfito de sodio, teniendo tiempos regularizados de exposición a la solución de entre 1 a 15 minutos, esto depende directamente del tamaño del camarón y su presentación final (Álvarez, 2000; Espinal, 2013). Fueron evaluadas las metodologías en cuanto al tratamiento del camarón en soluciones para inmersión, observando una disminución importante en la aparición de la melanosis en camarones enteros en un rango de porcentaje de concentración de 1,25% y 2,5% (Álvarez, 2000; Espinal, 2013).

Por otro lado, Espinal (2013) reportó que los tratamientos con concentraciones elevadas y con tiempos prolongados pueden llegar a aumentar la absorción residual de sulfitos en los tejidos del camarón, aumentando al ser aplicado en camarones enteros.

5.4.4 Concentraciones usadas

Las concentraciones utilizadas de los sulfitos en camarón van a depender directamente del tipo de presentación del mismo y su tiempo requerido de conservación. El instituto Ecuatoriano de Normalización (2013) reporta tratamientos capaces de generar residuos cercanos al límite máximo permitido en camarones enteros, siendo de 150 mg/kg, esto debido a la actividad alta de las enzimas presentes en la cabeza del camarón, así como sus branquias y hepatopáncreas.

Por otro lado, Espinal (2013) reportó que los camarones enteros presentan mayores niveles residuales comparándolo con otras presentaciones como descabezado y pelado; los niveles reportados radican entre los 80 y 180 mg/kg dependiendo del método de su tratamiento y la exposición del producto a estos sulfitos.

Para camarones descabezados según Bermúdez & Panta (2020), se utilizan normalmente niveles residuales que radican entre los 75 a 100 mg/kg, comparando con presentaciones del producto pelado y desvenado, en donde las concentraciones residuales se encuentran entre 25 y 50 mg/kg esto basado en la disminución de tejidos que pueden llegar a ser más susceptibles al desarrollo de la melanosis.

5.4.5 Aplicación según el tipo de presentación en camarón

La cantidad de sulfitos aplicados en el producto va a depender directamente de la presentación a la venta, sabiendo que los camarones enteros requieren un tratamiento más concentrado en comparación al camarón pelado y desvenado. (Álvarez, 2000).

Al reducir los tejidos con más posibilidad de desarrollar melanosis, hace que se disminuya la velocidad y formación de melanosis lo que permite utilizar cantidades menores y concentraciones más bajas del metabisulfito de sodio. Por este motivo, los camarones pelados y desvenados requieren niveles mínimos de concentración de sulfitos al tener su tejido muscular directamente expuesto a este conservante, sin embargo, se aumenta el riesgo de tener una acumulación residual de sulfitos en la parte comestible del camarón (Espinal, 2013).

5.4.6 Efectividad en la conservación

A través de diversos estudios se ha logrado demostrar que el metabisulfito de sodio tiene una eficacia primordial en cuanto a la inhibición del proceso de melanosis en camarón fresco o congelado.

Tabla 1. Comparación de resultados basados en tratamientos de inhibición de melanosis, aplicados a camarón según distintos estudios.

Autor	Resultados
Álvarez (2000)	Los tratamientos realizados con soluciones de 2,5% mantienen apariencia visual aceptable durante varios días, comparando con muestras no tratadas con metabisulfito de sodio.
Bermúdez & Panta (2020)	Compararon metabisulfito de sodio con 4-hexilresorcinol, observando que ambos tratamientos disminuyen el desarrollo de melanosis. Sin embargo, 4-hexilresorcinol logró una mayor estabilidad y menor riesgo relacionado a sulfitos.

Fuente. Elaboración propia, base en autores especificados.

El Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013) dice que, a pesar de la efectividad de estos sulfitos, su uso excesivo puede afectar las características químicas del producto final y a su vez, generar residuos superiores a los límites máximos permitidos por la normativa sanitaria, por ello, debe ser aplicado bajo condiciones específicas y controladas. Los resultados que se reportan de diversos autores señalan principalmente la eficacia del metabisulfito, mencionando es influida por la concentración aplicada y por el tiempo que transcurre desde su cosecha hasta su consumo, el tipo de almacenamiento, temperatura y sobre todo la presentación comercial del producto. Los tratamientos que se dan de manera inmediata después de su cosecha proporcionan buenos resultados debido a que se disminuye considerablemente la actividad en primeras etapas del polifenol oxidasa, retrasando desde su cosecha el inicio de melanosis (Álvarez, 2000; Espinal, 2013).

5.5 RIESGOS DEL METABISULFITO DE SODIO

5.5.1 Riesgos para la salud humana

El alto consumo de sulfitos residuales puede llegar a generar efectos adversos en personas principalmente asmáticas o con una sensibilidad alta a los sulfitos y sus

derivados. Se han reportado casos de reacciones como dificultad respiratoria, dermatitis por contacto y sensibilidad al dióxido de azufre que se deriva de este compuesto (García et al., 2012).

La Organización Mundial de la Salud estableció que la ingesta diaria aceptada de sulfitos en todos los productos es de aproximadamente 0,7 mg/kg de peso corporal, expresado directamente como dióxido de azufre; si el consumo excede los niveles aceptables, pueden presentar síntomas como reacciones respiratorias, dolor abdominal, nauseas o diarrea. (FAO, 2019).

En personas sanas, los sulfitos consumidos se metabolizan a través de la acción de la enzima sulfito oxidasa, la cual transforma en sulfatos y luego ser eliminados a través de los riñones. No obstante, algunas personas pueden llegar a presentar reacciones adversas inclusive con concentraciones que se encuentran dentro del límite máximo permitido, debido a esto se desarrolla un control estricto sobre los niveles de SO_2 residual que se presenta en alimentos que se destinan para el consumo humano (FAO, 2019; García et al., 2012).

5.5.2 Riesgos en campo para productores y trabajadores

La exposición prolongada al metabisulfito de sodio puede llegar a generar dermatitis por contacto, irritación ocular o afecciones respiratorias derivadas de la liberación de dióxido de azufre durante la preparación de la solución para inmersión. (García et al., 2012).

Las hojas de seguridad química recomiendan usar de manera obligatoria guantes resistentes al químico, gafas de seguridad y mascarilla durante la manipulación del compuesto y su aplicación, de igual manera, se recomienda desarrollar este proceso en áreas con amplia ventilación evitando así, su acumulación (NIOSH, 2011).

Como medida de prevención, siempre resulta importante implementar programas de seguridad, que puedan incluir a su vez una capacitación constante para el personal, en

donde se indique de la mejor manera la importancia del uso de protección y cuidado en todo tipo de manejos para la preparación de soluciones químicas, con el fin de reducir los riesgos de manera significativa en cuanto a los sulfitos y su mala manipulación en todo el procesamiento del camarón (NIOSH, 2011).

5.5.3 Impacto ambiental

Los residuos de las soluciones utilizadas para el procesamiento del camarón pueden cambiar parámetros en el agua residual, como el pH, llegando a contribuir a la contaminación de cuerpos de agua cercanos al área de procesamiento. Sabiendo que el tratamiento de aguas residuales tiene un costo alto, existe actualmente interés en buscar alternativas para la buena conservación del camarón, buscando el menor impacto ambiental al evitar el desarrollo de residuos químicos. Entre las alternativas se encuentra el 4-hexilresorcinol y antioxidantes naturales, los cuales han logrado demostrar resultados alentadores y favorables en estudios que buscan la inhibición de la melanosis (Bermúdez & Panta, 2020).

Debido a la preocupación en el tema ambiental, se ha impulsado el desarrollo de diversas investigaciones que van orientadas a la búsqueda de alternativas más sostenibles para la conservación de este tipo de productos pesqueros, incluyendo entre estas alternativas el uso de compuestos menos nocivos, que contengan la misma capacidad antioxidante que contiene el metabisulfito de sodio, inhibiendo de manera favorable la actividad de la enzima polifenol oxidasa; con esto, se pretende disminuir la cantidad de residuos químicos en el ambiente, y a su vez, sin llegar a comprometer de manera desfavorable la calidad e inocuidad del camarón en el proceso de almacenamiento y distribución (Bermúdez & Panta, 2020).

5.5.4 Determinación de sulfitos residuales analíticamente

La determinación de sulfitos residuales a través de la química analítica se toma como una de las herramientas de mayor importancia en cuanto al control de calidad en la industria pesquera, esto se debe a su capacidad para la verificación de concentraciones

del metabisulfito de sodio aplicadas en su procesamiento, cumplen con los límites máximos permitidos en las normativas establecidas. El uso de métodos de cuantificación de este tipo de residuos es parte fundamental para evitar restricciones de comercio tanto de mercados nacionales como internacionales al lograr garantizar verazmente la inocuidad del producto analizado, debido a esto, plantas procesadoras establecen controles periódicos, con el fin de asegurar un producto final con la calidad requerida, evitando presentar riesgos a la salud de los consumidores (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013; González, 2021).

La norma NTE INEN 456:2013 establece el uso del método Optimized Monier-Williams (AOAC 990.28), siendo este uno de los procedimientos analíticos oficiales más usados hablando en cuanto a la determinación de sulfitos totales en alimentos, permitiendo una cuantificación tanto de la parte reproducible de los sulfitos unidos a compuestos que se encuentran presentes en la matriz alimentaria como los sulfitos libres, expresando como dióxido de azufre el resultado final. Este método tiene una excelente precisión y reproducibilidad, siendo adoptado por esto como el método de referencia en controles regulatorios de alimentos, específicamente los que contienen sulfitos (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Este método consiste en la liberación de dióxido de azufre que se encuentra presente en la muestra, esto a través de calentamiento en medio ácido. En el desarrollo del análisis, los sulfitos reaccionan, transformándose en gas SO_2 el cual se arrastra mediante corriente de nitrógeno hacia una solución de peróxido de hidrógeno. En la solución el dióxido de azufre llega a oxidarse formando ácido sulfúrico y su cantidad es determinada a través de titulación usando hidróxido de sodio estandarizado; en este caso, la cantidad de ácido sulfúrico que se produce es directamente proporcional a la concentración de sulfitos que se encuentran presentes en la muestra (AOAC 990.28).

Este método muestra una importancia en la industria camaronera ya que permite la verificación del cumplimiento de límites permitidos vigentes, procurando evitar un riesgo

para el consumidor final, controlando así de manera correcta, eficaz y reproducible las cantidades de metabisulfito de sodio durante el procesamiento del camarón destinado a consumo humano.

5.6 NORMATIVAS SOBRE EL USO DE METABISULFITO DE SODIO EN CAMARÓN

5.6.1 Norma INEN 456:2013

La norma NTE INEN 456:2013 establece que requisitos tanto microbiológicos como fisicoquímicos debe cumplir el camarón congelado que se destina a consumo humano. La normativa se aplica tanto para producto crudo como precocido, en diversas presentaciones que sean provenientes de pesca o de acuicultura respectivamente. Dentro de los parámetros químicos que se establecen, esta normativa determina que el límite máximo permitido de sulfitos residuales es de 150 mg/kg en el producto final, esto se analiza a través del método AOAC 99.28, el cual es un método estándar oficial para la determinación del contenido total de sulfitos y dióxido de azufre en alimentos, siendo también uno de los requisitos principales de normativas internacionales. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Esta normativa, además, establece los parámetros que se relacionan con nitrógeno básico volátil total, conocido por sus siglas como NBVT, el cual no debe exceder los 30mg/100g de la muestra, ya que este indicador está relacionado con el deterioro o perdida de frescura de los productos marinos, exigiendo una ausencia de microorganismos patógenos y cumplimiento directo de los limites microbiológicos específicos para poder tener una garantía en cuanto a la inocuidad del producto. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Al tener límites máximos permitidos en cuanto a residuos de sulfitos, se toma como prioridad responder a la necesidad de protección al consumidor, estableciendo criterios que nos ayuden a garantizar la calidad del producto y su inocuidad, ya que, al ser un requisito indispensable para la comercialización del producto, debe cumplirse rigurosamente para su aceptación nacional e internacional. En este caso, los controles analíticos que se realizan a través del periodo de procesamiento nos permiten verificar las concentraciones residuales obtenidas en el momento, evitando de esta manera posibles restricciones comerciales a futuro debido a sanciones regulatorias por incumplir los parámetros establecidos y a su vez, permitir una estandarización en cuanto al procesamiento del camarón entre productores, empacadoras y exportadores. (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

5.6.2 Codex Alimentarius

El Codex Alimentarius establece diversos lineamientos internacionales para obtener un uso seguro de aditivos alimentarios destinados al consumo humano, en este caso, el Codex ayuda a la regularización del uso de sulfitos bajo criterios específicos de inocuidad y buenas prácticas en cuanto a manufactura, teniendo como objetivo el evitar riesgos toxicológicos que se derivan de residuos excesivos de sulfitos en alimentos marinos. (Bermúdez-Medranda, 2019).

Se conoce al Codex Alimentarius como una referencia aplicada para el establecimiento de los criterios que se relacionan con la calidad del producto final, su inocuidad y el uso adecuado de aditivos; siendo un programa desarrollado de la mano por la OMS, FAO - Organización de las Naciones Unidas para la alimentación, teniendo como objetivo la protección de la salud de los consumidores, promoviendo practicas estándar en el comercio internacional de alimentos; en el caso de productos acuícolas, este establece lineamientos que se destinan a la garantizar que los aditivos alimentarios aplicados en su procesamiento, cumplen con un límite y no representan un riesgo a la salud humana. (Codex Alimentarius, 2024).

5.6.3 Límites máximos permitidos de sulfitos en camarón.

Tabla 2. Límites máximos permitidos de SO_2 residual en camarón de consumo humano, según normativas nacionales e internacionales.

País	Límite máximo permitido	Expresión química	Observación
Ecuador (INEN 456:2013)	150 mg/kg	Metabisulfito de sodio (residual)	Análisis mediante AOAC 990.28 para camarón de consumo humano
Unión Europea	150-200 mg/kg	Dióxido de azufre equivalente	Camarones de familia Penaeidae-Solenoceridae con etiquetado obligatorio.
Estados Unidos (FDA)	100 mg/kg	Sulfitos residuales y dióxido de azufre	Establece 100 mg/kg como límite regulatorio, necesita etiquetado obligatorio.
China	Menor o igual a 150 mg/kg	Dióxido de azufre residual	Control estricto en producto importado, exige declaración de sulfitos.
Codex Alimentarius	Varía según categoría y presentación	Dióxido de azufre y sulfitos	Permite sulfitos bajo buenas prácticas de manufactura, regula 4 hexilresorcinol hasta 50 mg/kg

Fuente. Elaboración propia, basado en FDA, Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013) y Codex Alimentarius (2024).

Las diferencias que existen entre los límites máximos permitidos de metabisulfito de sodio residual en el camarón dependen principalmente de criterios de inocuidad alimentaria. Ecuador mantiene límite de 150 mg/kg de sulfitos residuales siguiendo criterios similares a los aplicados en la Unión Europea en cuanto a productos marinos; en comparación, Estados Unidos aplica limites menores cercanos a 100 mg/kg debido a regulaciones relacionadas también a control de alérgenos. Por contraste, China mantiene controles estrictos y rigurosos sobre los residuos químicos en productos acuícolas importados. Las diferencias reportadas sobre las regulaciones demuestran la importancia del control de tipo analítico de los sulfitos residuales en camarón, logrando garantizar cumplir con los requisitos internacionales, evitando riesgos de tipo toxicológicos que puedan llegar a asociarse con el consumo de sulfitos en productos marinos.

5.6.4 Control residual de metabisulfito de sodio según presentación

Tabla 3. Concentración de SO_2, riesgo de melanosis por categoría de presentación del camarón.

Presentación del camarón.	**Riesgo de melanosis**	**Concentración residual**	**Observaciones**
Camarón entero	Riesgo alto	≈80-150 mg/kg	Mayor actividad enzimática en cabeza
Camarón sin cabeza	Riesgo moderado	≈40-100 mg/kg	Menor desarrollo melanosis
Camarón pelado	Riesgo bajo	≈20-50 mg/kg	Mayor exposición del tejido muscular

Camarón desvenado	Riesgo bajo	≈20-50 mg/kg	Menor tejido susceptible a degradación
Camarón tratado 1% MBS	Riesgo controlado experimental	44,3 mg/kg	Valor experimental comparativo

Fuente. Elaboración propia basada en Instituto Ecuatoriano de Normalización (2013), Castro (2021) y Espinal (2013).

El control de residuos de sulfitos en alimentos depende directamente de la presentación comercial del producto, los camarones enteros, presentan mayores niveles residuales debido a que requieren de una mayor concentración de sulfitos por la actividad enzimática presente en la cabeza del camarón. Los camarones descabezados, pelados o desvenados requieren una menor concentración de sulfitos debido a la reducción de tejidos con actividad enzimática elevada. (Espinal, 2013).

Con base experimental, Castro (2021) hizo una evaluación de los residuos de sulfitos en camarón de la familia *Vannamei*, aplicando tratamientos de inmersión con soluciones de metabisulfito de sodio al 0,5% y al 1% en un rango de tiempo de 4, 8 y 10 minutos; como resultado, se obtuvo que el tratamiento con 1% de metabisulfito de sodio en un rango de tiempo de 10 minutos presentó residuos promedio de 44,3 mg/kg de sulfitos, siendo un valor por debajo del límite máximo permitido por la normativa ecuatoriana de regularización, representando aproximadamente 29,5% del límite establecido, concluyendo que el tiempo de inmersión y contacto con los sulfitos llega a influir de gran manera en la absorción residual de los sulfitos, mientras que el incremento moderado de la concentración no es necesariamente un causante de un aumento proporcional en el residuo químico del producto final.

Los estudios realizados en base a los residuos de sulfitos en camarón, demuestran que la concentración residual va a depender directamente del tiempo de inmersión, sus

condiciones de aplicación y presentación del camarón. Se reportó concentraciones residuales promedio de 44,3 mg/kg en camarón que tuvo un tratamiento con metabisulfito de sodio al 1% por un tiempo de 10 minutos, siendo valores inferiores a lo establecido en los límites máximos permitidos por la normativa en vigencia NTE: INEN 456:2013, resultado que nos aporta mediante evidencia que al encontrarse en condiciones controladas en el proceso, puede existir una protección adecuada en cuanto a la inhibición de melanosis, con la ventaja de estar por debajo del límite establecido para camarón destinado a consumo humano, siendo 150 mg/kg el límite máximo (Castro, 2021).

5.7 ALTERNATIVAS AL USO DE METABISULFITO EN CAMARÓN

El metabisulfito de sodio ha sido utilizado como el principal inhibidor de melanosis en camarones durante décadas, debido a su alta eficacia y su bajo costo. No obstante, existe una creciente preocupación por los posibles efectos secundarios que se asocian a los sulfitos, así como la creciente demanda de alimentos sostenibles y más saludables; esto ha generado el impulso de la búsqueda de alternativas que puedan ser capaces de mantener la calidad visual del camarón sin tener un efecto adverso en la inocuidad alimentaria. Existen diferentes alternativas, siendo estas el ácido ascórbico, extractos naturales con propiedades antioxidantes y el 4-hexilresorcinol, cada uno con un mecanismo de acción distinto, así como su nivel de eficacia en el desarrollo de la melanosis (Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019; Montero et al., 2004).

5.7.1 Ácido ascórbico

El ácido ascórbico, con estructura molecular $C_6H_8O_6$ es conocido como vitamina C, siendo un antioxidante hidrosoluble utilizado ampliamente en la industria alimentaria, ya que tiene capacidad para actuar como agente reductor. El mecanismo de acción del ácido ascórbico se basa en donar electrones a compuestos oxidados, en este caso, reduciendo las quinonas que se forman en el proceso de oxidación enzimática antes de su polimerización y formación de melanina. Basándonos en esta propiedad, el ácido ascórbico

puede retrasar de manera parcial la aparición de la melanina en camarones y en otros productos pesqueros a su vez y ser un potencial compuesto para uso. (Montero et al., 2004).

La molécula del ácido ascórbico posee un grupo hidroxilo, por lo que en el proceso en el que actúa, dona electrones a compuestos oxidantes que se presentan en el medio y disminuye la formación de los pigmentos oscuros en el camarón.

Se ha demostrado mediante estudios que este compuesto tiene la capacidad de disminuir la aparición de melanosis al ser utilizado en soluciones de inmersión o en algunos casos, al combinarse con otros antioxidantes. No obstante, puede verse una reducción en su eficacia ya que este llega a oxidarse y perder gradualmente su capacidad protectora al encontrarse en almacenamiento, teniendo una eficacia menor a la obtenida con el metabisulfito de sodio. (Montero et al., 2004).

Desde el punto de vista toxicológico, las principales ventajas del ácido ascórbico son su gran eficacia en su perfil de seguridad, ya que este no es asociado con reacciones alérgicas ni problemas respiratorios en comparación con el metabisulfito de sodio, siendo aceptado por organismos reguladores internacionales.

La principal limitación de este compuesto es su capacidad de controlar la melanosis durante tiempos prolongados de almacenamiento, comparando con tratamientos con metabisulfito de sodio que puede mantener una protección durante varias semanas, el ácido ascórbico disminuye su protección con mayor rapidez por degradación química de la misma. Por esta razón, aunque se conoce como una alternativa segura y ambientalmente favorable, es considerado más como un complemento antioxidante mas no un sustituto favorable al uso de sulfitos en la industria camaronera. (Montero et al., 2004).

5.7.2 Extractos naturales antioxidantes

Al existir una demanda creciente de alimentos que contengan un menor contenido de aditivos sintéticos, se impulsó el estudio de extractos naturales con abundantes compuestos antioxidantes, siendo otra posible alternativa al uso de sulfitos para control de

melanosis en camarones. La característica de este tipo de extractos es su contenido de moléculas bioactivas, capaces de neutralizar radicales libres, reducir la formación de pigmentos oscuros que generen deterioro visual del producto y la disminución de procesos oxidativos del mismo. (Nirmal & Benjakul, 2011).

Los extractos con más estudiados se obtienen a partir de plantas como el romero, el té verde, la cúrcuma y clavo de olor, teniendo un alto contenido de flavonoides, polifenoles y compuestos antioxidantes que ayudan con la intervención de las reacciones oxidativas existentes en el desarrollo de la melanosis. Los compuestos fenólicos poseen grupos hidroxilo, los cuales logran donar electrones y estabilizar los radicales libres, reduciendo de esta manera la oxidación de los compuestos fenólicos que se presentan en los tejidos del camarón. Diversas investigaciones han logrado demostrar que estos extractos naturales ricos en antioxidantes disminuyen de manera significativa la aparición de melanosis, sin embargo, su eficacia depende de factores como la concentración, la composición química del extracto, su método de extracción y sobre todo las condiciones en las que el producto es almacenado. (Nirmal & Benjakul, 2011).

Compuestos encontrados en estos extractos como flavonoides, taninos y ácidos fenólicos, presentan estructuras aromáticas que logran estabilizar radicales libres a través de resonancia electrónica, reduciendo la velocidad de oxidación de las moléculas presentes en el alimento. Estos extractos naturales representan una alternativa con alto potencial para la diminución del uso de conservantes sintéticos, obteniendo así sistemas de conservación más sostenibles. La limitación del uso de esta alternativa es la capacidad de algunos extractos para modificar características sensoriales en el camarón, siendo las principales el aroma y su sabor característico, por lo que su aplicación a gran escala es muy limitada, de igual manera, existe una variabilidad natural en la composición química de los extractos aplicados, lo que dificulta la obtención de resultados que puedan llegar a ser reproducibles a lo largo del tiempo.

5.7.3 4-hexilresorcinol

El 4-hexilresorcinol, con estructura molecular $C_{12}H_{18}O_2$ se considera actualmente una de las alternativas más eficaces para el control de la melanosis en crustáceos, siendo un compuesto fenólico que actúa a través de la inhibición directa de la enzima polifenol oxidasa, la cual es la encargada de la catálisis de la oxidación de compuestos fenólicos en el camarón y la pronta formación de melanina. (Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019).

La estructura química de este compuesto contiene un anillo aromático con dos grupos hidroxilo y una cadena alquílica con seis carbonos, siendo una configuración molecular que favorece a la interacción con el sitio activo de la polifenol oxidasa, reduciendo así la capacidad catalítica de esta.

Este compuesto actúa antes de iniciar el proceso oxidativo, inhibiendo la actividad catalítica de la polifenol oxidasa, disminuyendo de manera significativa la producción de quinonas, teniendo como resultado una disminución favorable de la formación de melanosis, mientras que el metabisulfito de sodio tiene un mecanismo basado en la reducción directamente de quinonas que ya se encuentran formadas. Varios estudios han revelado la alta eficacia de este compuesto, donde Bermúdez-Medranda y Panta-Vélez (2019) observaron que concentraciones entre porcentajes del 2% al 2,5% arrojaron resultados comparables al obtenido con metabisulfito de sodio en la conservación visual requerida para el camarón.

Este mecanismo resulta muy eficiente al evitar desde el inicio la formación de quinonas, disminuyendo de manera considerable la velocidad en la que se genera la melanina y otorgando una prolongación a la apariencia fresca del camarón en su almacenamiento. Una gran ventaja al usar este compuesto es que no pertenece al grupo de los sulfitos, por lo que no genera residuos sulfitados asociados a reacciones adversas en consumidores, por ello, Codex Alimentarius permite su uso en crustáceos frescos con límite permitido de 50 mg/kg.

El 4-hexilresorcinol al pasar por evaluaciones toxicológicas han concluido que este compuesto tiene un perfil favorable al usarse dentro de los límites permitidos, siendo actualmente considerado una de las alternativas con mayor potencial para la sustitución parcial o incluso total del uso de sulfitos en camarones.

Tabla 4. Comparación entre metabisulfito de sodio y alternativas estudiadas para el control de melanosis en camarón de consumo humano.

Tratamiento	**Mecanismo químico**	**Eficacia Anti-melanosis**	**Limite regulatorio reportado**	**Riesgo Toxicológico**
Metabisulfito de sodio	Reduce quinonas, libera SO_2	Alta	Ecuador: 150 mg/kg residual UE: 150-200 mg/kg SO_2 residual.	0,7 mg/kg Peso corporal/día expresado en SO_2 (JECFA/EFSA).
Extractos naturales antioxidantes	Neutraliza radicales libres y reduce oxidación fenólica.	Moderada/Variable	Variable según extracto aplicado.	Reconocidos como seguros por GRAS, depende del extracto utilizado y reproducibilidad.
Ácido ascórbico	Antioxidante reductor, convierte quinonas en compuestos fenólicos.	Moderada	Sin IDA especifica por su baja toxicidad, exceso se elimina por vía renal.	No suele tener límite máximo permitido especifico. (GMP)
4-hexilresorcinol	Inhibe de manera directa la	Alta-Muy Alta	Codex Alimentarius 50 mg/kg en	JECFA establece de 0-0,5 mg/kg peso

	polifenol oxidasa		crustáceos frescos.	corporal/día. Baja toxicidad en concentraciones autorizadas.

Fuente. Elaboración propia basada en Codex Alimentarius (2024), Bermúdez-Medranda y Panta-Vélez (2029) y Montero et al. (2004).

Incluso al tener una variedad de disponibilidad en cuanto a alternativas, el metabisulfito de sodio sigue siendo el tratamiento más aplicado en la industria pesquera y camaronera, esto debido a factores como su bajo costo, su fácil almacenamiento al no requerir características específicas para su facilidad de conservación y sobre todo, su ata eficacia para el tratamiento de melanosis.

No obstante, en la actualidad existe un gran mercado impulsado hacia la reducción parcial o total del uso de sulfitos en alimentos, por lo que se siguen desarrollando estrategias de conservación que combinen antioxidantes naturales junto a compuestos inhibidores de melanosis, presentándose como una alternativa con alta viabilidad, disminuyendo las cantidades necesitadas de aplicación de este tipo de aditivos químicos. (Bermúdez-Medranda & Panta-Vélez, 2019; Álvarez, 2000).

6. CONCLUSIONES

6.1 La melanosis es considerada un proceso químico y enzimático, el cual se relaciona con la presencia y actividad de la polifenol oxidasa, siendo la responsable de catalizar la oxidación de compuestos fenólicos, formando así quinonas. Ya que este proceso no llega a representar un riesgo microbiológico para el consumidor, se usa principalmente para mejoría de apariencia visual.

6.2 El metabisulfito de sodio es considerado uno de los principales agentes en la inhibición de melanosis, utilizados ampliamente en la industria camaronera por su alta capacidad para evitar la formación de melanina a través de reducción de quinonas en el proceso de oxidación enzimática, permitiendo mantener una apariencia fresca del camarón, evitando el oscurecimiento superficial del producto y su posible rechazo.

6.3 La eficacia del metabisulfito de sodio se basa en la concentración aplicada, presentación para venta del camarón y su tiempo de exposición a cambios de temperatura en su almacenamiento, basándonos en estudios, queda demostrado que la adecuada aplicación de este compuesto permite controlar de manera eficaz la melanosis, sin embargo, su uso excesivo desmedido puede incrementar concentraciones de residuos de sulfitos en el producto a consumir.

6.4 Se evidenció a través de la normativa vigente, que en Ecuador se establece un límite máximo permitido de 150 mg/kg de sulfitos residuales en camarones congelados destinados al consumo humano, a través de la NTE INEN 456:2013, en base a la revisión bibliográfica realizada, no se encontró en camarón de consumo humano una cantidad mayor a la permitida por la normativa vigente, siendo menores a esta o moderadamente cercanas al límite.

6.5 Junto a la evidencia científica, se determina que las exposiciones del producto a concentraciones altas de sulfitos pueden llegar a generar efectos adversos en los consumidores, de igual manera, su mala manipulación en el procesamiento del

camarón puede generar riesgos en los trabajadores, ya que al ser una cantidad alta de metabisulfito la que se aplica al inicio del procesamiento, siendo un polvo fino, puede presentar riesgos cómo irritación ocular, respiratoria o dérmica, evidenciando la necesidad del uso de medidas de protección en su aplicación.

6.6 A través de revisión bibliográfica, se demostró en los métodos de tratamiento, que la aplicación a través de una inmersión sigue siendo la técnica mayormente aplicada para el control en la inhibición de la melanosis, tomando en cuenta que parámetros como la concentración aplicada, la presentación final del producto y el tiempo de inmersión del mismo influyen de manera directa a la cantidad de sulfitos residuales en el final del procesamiento, aportando un adecuado control tanto en la inhibición de melanosis como en la regulación de los límites permitidos por la normativa vigente.

7. RECOMENDACIONES

7.1 A través del punto toxicológico, el control de residuos y su cumplimiento en cuanto a límites máximos permitidos, son aspectos fundamentales para el aseguramiento de la inocuidad y calidad del camarón destinado a consumo, evitando con ello reacciones adversas generadas por residuos altos de sulfitos en el producto final.

7.2 En la comparación de alternativas, el compuesto 4-hexilresorcinol fue una opción prometedora, actuando a través de la inhibición directa de la enzima polifenol oxidasa, controlando de esta manera la reacción que corresponde a la melanosis desde su primera etapa, además, presentó un menor riesgo en el tema toxicológico, ya que no genera residuos de la familia de los sulfitos.

7.3 Se recomienda el seguimiento de investigaciones que se orienten a evaluar la eficacia del 4-hexilresorcinol y otros compuestos alternativos, para obtener un posible sustituto ya sea parcial o total del metabisulfito de sodio en el área de la acuacultura.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez, M. (2000). *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en camarones enteros para prevenir melanosis*. Escuela Agrícola Panamericana.

Bermúdez-Medranda, A. E., & Panta-Vélez, R. P. (2019). Effects of 4-hexylresorcinol and sodium metabisulfite on melanosis in fresh shrimps (*Penaeus vannamei*). *Revista Bio Ciencias, 6*, e465. https://doi.org/10.15741/revbio.06.e465

Castro Rosado, F. A. (2021). Evaluación de residuos de metabisulfito de sodio en camarón blanco (Litopenaeus vannamei) tratado con diferentes concentraciones y tiempos de inmersión [Trabajo de titulación, Universidad Agraria del Ecuador].

Codex Alimentarius. (2024). *General Standard for Food Additives (GSFA): 4-Hexylresorcinol*. FAO/WHO.

Espinal, E. (2013). Comparación de tres metodologías para la captación de sulfitos en camarones tratados con metabisulfito de sodio. *Revista Ciencia y Tecnología, 14*, 62–76. https://doi.org/10.5377/rct.v0i14.1796

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020*. FAO.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2026). *Cultured AquaticSpecies Information Programme: Penaeus vannamei*. FAO.

García, J., Parente, J., & Goossens, A. (2012). Allergic contact dermatitis caused by sodium metabisulfite: A challenging allergen. A case series and literature review. *Contact Dermatitis, 67*(5), 260–269. https://doi.org/10.1111/j.1600-0536.2012.02135.x

González, K. (2021). *Análisis de metabisulfito de sodio y evaluación microbiológica en camarones empacados de Litopenaeus vannamei* [Tesis de posgrado, Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí].

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *NTE INEN 456:2013. Camarones o langostinos congelados. Requisitos*. INEN.

López, P. A. O., & Bayas, L. A. M. (2023). Análisis breve sobre el impacto del precio del camarón en exportaciones del Ecuador periodo 2018–2022. *South Florida Journal of Development, 4*(7), 2800–2812. https://doi.org/10.46932/sfjdv4n7-019

Montero, P., Martínez-Álvarez, O., Gómez-Guillén, M. C., & López-Caballero, M. E. (2004). Control of melanosis in crustaceans by the use of natural antioxidants. *Food Chemistry, 85*(3), 465–469.

Nirmal, N. P., & Benjakul, S. (2011). *Use of tea extracts for inhibition of polyphenoloxidase and retardation of quality loss of Pacific white shrimp during iced storage*. LWT - Food Science and Technology, 44**(**4), 924–932. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.10.014

National Institute for Occupational Safety and Health. (2011). Sodium metabisulfite: International Chemical Safety Card (ICSC 1134). NIOSH/ILO/WHO. https://www.cdc.gov/niosh

National Institute for Occupational Safety and Health. (2011). Sodium metabisulfite: International Chemical Safety Card (ICSC 1134). NIOSH/ILO/WHO. CDC NIOSH

Primicias. (2025). *Exportaciones de camarón en Ecuador*. Primicias. https://www.primicias.ec/

Wyban, J., & Sweeney, J. (1991). *Intensive Shrimp Production Technology*. The Oceanic Institute.