

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Evaluación de la dosificación de metabisulfito de sodio en camarón entero
congelado de exportación

INGE – 2507

Proyecto integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Alimentos

Presentado por:

Iziz Kristhel Bermúdez Moreira

Melanie Dayanna Valarezo Franco

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Dedicatoria

En primer lugar, quiero dedicarle mis esfuerzos y logros a Dios por permitirme estar presente en cada responsabilidad, sin sus ángeles en la tierra nada de esto hubiera sido posible. Por supuesto a mis padres Belisario y Selmira, que me ayudaron en todo momento, cada viaje, cada recibimiento fueron fundamentales para mantener el camino claro. A mi hermana Karen, por ayudarme a creer en mí. A mi prima Grety, que siempre ha estado pendiente de mi salud y bienestar. Y a todas las personas que algún día creyeron en mí y me apoyaron en lo que fuese necesario.

Iziz Bermúdez.

Dedicatoria

Este proyecto está dedicado a mi familia, mis padres, Martha y Oswaldo, los cuales han sido un gran apoyo para lograr mis metas y han sabido guiarme a lo largo de mi vida, a mis hermanos, Stefannia, Andrés y Ronald los cuales son un ejemplo de superación y motivación, a mis tíos, Egduar y William, que son mis segundos padres, a mi perrito Scott que me acompañó en todas las noches de estudio y no lo tengo ahora conmigo, y por último, y no menos importante a esas grandes amistades que Dios ha puesto en mi camino, vecinos, del colegio y la universidad, las cuales puedo considerar familia, que supieron estar conmigo y darme palabras de apoyo cada que lo necesitaba y mejoran mis días.

Melanie Valarezo.

Agradecimientos

Tengo un agradecimiento especial a mis padres, hermanos, primos, pero sobre todo a mis amigos. Vivir en otra ciudad no hubiera sido tan llevadero si no los hubiera tenido, Steven, Ayllin gracias por todo el apoyo brindado. A todas las personas que alguna vez me dieron algún bocado de comida y un espacio en su casa mientras estudiaba. A mis perritas Mar y Arena por su amor incondicional. A los laboratorios IPIAP por prestarnos las facilidades de hacer la experimentación sobre todo a la Ingeniera Daniela P. Y por su puesto a mi amiga y compañera de tesis Melanie V. quién me ayudó a pasar cada travesía y obstáculo de este proyecto.

Iziz Bermúdez.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento y darme la resiliencia para avanzar y poner personas increíbles en mi vida. Tengo un agradecimiento especial a mis padres, tíos, hermanos y abuela por cuidarme y darme todo lo que estaba a su alcance. A mis amigos de la universidad, los desde el inicio y que se mantuvieron y a los que fui conociendo a lo largo de la carrera, especialmente a mis amigos “Vortex” los cuales algunos puedo llamar colegas. Desde luego totalmente agradecida con mi amiga y compañera de tesis Iziz B. por ser una gran pareja de trabajo y su optimismo que fue un apoyo para superar los obstáculos que se nos presentaban, y a aquellos profesores y demás personas que supieron ayudarnos en este proyecto.

Melanie Valarezo.

Declaración Expresa

Nosotros Iziz Kristhel Bermudez Moreira y Melanie Dayanna Valarezo Franco acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me/nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi/nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al/los autor/es que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 21 de mayo del 2024.

Iziz Kristhel Bermúdez
Moreira

Melanie Dayanna
Valarezo Franco

Evaluadores

Denisse Yagual, MSc.

Profesor de Materia

Patricio Cáceres, PhD.

Tutor de proyecto

Resumen

El sector camaronero en Ecuador es una relevante fuente de ingresos, siendo el principal producto no petrolero de exportación. No obstante, este enfrenta desafíos frente a una alerta sanitaria presentada en febrero 2024 emitida por el Gobierno de China, sobre la detección de niveles no permitidos de residual sulfito (RS). Provocando así, pérdidas económicas y de producción en distintas empresas. Por consiguiente, el objetivo del presente proyecto es establecer la estandarización del tratamiento con metabisulfito de sodio en una camaronera de Ecuador. Para ello, se realizó un análisis de datos e investigación de causas con ayuda de un diagrama de Ishikawa y gráfico de Pareto. Además, se desarrolló una prueba experimental con respecto a la solución del tratamiento en distintas concentraciones: 2% y 3,96% en camarones vivos y 2%, 3,5% y 5% en camarones muertos, ambos a 12 y 15 minutos de inmersión, enfocando su efectividad de no presentar melanosis y RS <100 ppm. Considerando costos se concluyó que la solución de 2% en 12 minutos es la más conforme con los estándares de calidad, precio y requisitos de normativas. Finalmente, con estos resultados se propuso acciones correctivas para el proceso de dosificación.

Palabras Clave: Residual de sulfitos, melanosis, acciones correctivas

Abstract

The shrimp sector in Ecuador is a relevant source of income, being the main non-oil export product. However, it faces challenges in the face of a health alert presented in February 2024 issued by the Government of China, regarding the detection of impermissible levels of residual sulfite (RS). Thus, causing economic and production losses in different companies. Therefore, the objective of this project is to establish the standardization of sodium metabisulfite treatment in a shrimp farm in Ecuador. For this, a data analysis and investigation of causes was carried out with the help of an Ishikawa diagram and Pareto chart. In addition, an experimental test was developed with respect to the treatment solution in different concentrations: 2% and 3.96% in live shrimp and 2%, 3.5% and 5% in dead shrimp, both at 12 and 15 minutes. immersion, focusing on its effectiveness of not presenting melanosis and RS <100 ppm. Considering costs, it was concluded that the 2% solution in 12 minutes is the most in line with quality standards, price, and regulatory requirements. Finally, with these results, corrective actions for the dosing process were proposed.

Keywords: *residual sulfites, melanosis, corrective actions*

Índice general

Resumen.....	i
<i>Abstract</i>	ii
Índice general.....	iii
Abreviaturas.....	vi
Simbología.....	vii
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	ix
Capítulo 1.....	1
1.1 Introducción.....	2
1.2 Descripción del problema.....	3
1.3 Justificación del problema.....	3
1.4 Objetivos.....	4
<i>1.4.1 Objetivo general</i>	4
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i>	4
1.5 Marco teórico.....	4
1.5.1 Tipo, tallas y alimentación.....	4
1.5.2 Melanosis.....	5
1.5.3 Aplicación de metabisulfito de sodio.....	6
1.5.4 Normativas de residual de sulfitos.....	7
1.5.4.1 Nacional.....	7
1.5.4.2 Internacional.....	8
1.5.5 Métodos de determinación residual de sulfitos.....	8

1.5.6 Método de Monier-Williams	8
1.5.7 Procesamiento de camarón congelado	9
1.5.8 Requerimientos del mercado para exportación	11
1.5.9 Importancia de capacitación de personal operativo	12
Capítulo 2.....	13
2.1 Metodología	14
2.1.1 Recolección y análisis de datos	14
2.1.2 Investigación de causas	14
2.1.3 Prueba experimental.....	15
2.1.3.1 Método adaptado de Monier-Williams	18
2.1.3.2 Análisis computarizado de melanosis	20
2.1.4 Desarrollo de acciones correctivas	20
2.1.4.1 Elaboración de protocolo estándar de proceso de dosificación	20
2.1.4.2 Elaboración de hoja de control de proceso de dosificación.....	20
Capítulo 3.....	21
3.1 Recolección y análisis de datos.....	22
3.2 Investigación de causas.....	24
3.3 Prueba experimental.....	27
3.4 Acciones correctivas	32
3.5 Costos.....	33
Capítulo 4.....	35
4.1 Conclusiones	36
4.2 Recomendaciones	36

Bibliografía	38
Apéndices.....	42

Abreviaturas

CM	Camarón muerto
CV	Camarón vivo
MBS	Metabisulfito de sodio
M-W	Monier-Williams
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización
PPO	Polifenol oxidasa
RS	Residual de sulfitos
UE	Unión Europea
USA	Estados Unidos

Simbología

g	gramos
Kg	Kilogramos
L	Litro
lb	libra
min	minutos
mg	miligramos
ml	mililitros
N	Normal concentración
ppm	Partes por millón
°C	Grado Celsius
m ³	Metros cúbicos
\$	Dólar estadounidense

Índice de figuras

Figura 1 <i>Melanosis en camarón blanco (Litopenaeus vannamei)</i>	6
Figura 2 <i>Desarrollo de mancha negra</i>	7
Figura 3 <i>Diagrama de flujo del proceso de camarón congelado</i>	10
Figura 4 <i>Imagen de referencia para evaluación visual de melanosis en camarón</i>	17
Figura 5 <i>Gráfico de resultados mayor a 100 ppm</i>	23
Figura 6 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	24
Figura 7 <i>Diagrama de Pareto</i>	27
Figura 8 <i>Procedimiento computarizado para determinar pardeamiento enzimático en los camarones</i>	31

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Camarón vivo para inmersión. Talla 36-40, temperatura de 4-12 °C</i>	16
Tabla 2 <i>Camarón muerto para inmersión. Talla 40-50, temperatura de 4-12 °C</i>	16
Tabla 3 <i>Cantidades requeridas para la solución de MBS usada en la simulación de piscina camaronera</i>	17
Tabla 4 <i>Reactivos, materiales y equipos usados para análisis de residuo de sulfito en camarón</i>	18
Tabla 5 <i>Datos porcentuales de la empresa camaronera</i>	22
Tabla 6 <i>Matriz de causa y efecto</i>	25
Tabla 7 <i>Resultados de cantidad RS y píxeles para melanosis en los tratamientos de CV y CM</i>	32
Tabla 8 <i>Cantidad de MBS en kg para 1 bin</i>	33
Tabla 9 <i>Costo de MBS para 1 bin preparado</i>	33
Tabla 10 <i>MBS y costo total por bines en proceso de dosificación</i>	34

Capítulo 1

1.1 Introducción

El sector camaronero representa una importante fuente de ingresos en el Ecuador al ser uno de los principales productos no petroleros de exportación. La principal especie de cultivo en la costa ecuatoriana es el camarón blanco del Pacífico (*Litopenaeus vannamei*), la más consumida a nivel global y representa el 95% de su producción. Entre los principales compradores están China, la Unión Europea y Estados Unidos (León, 2023).

En febrero de 2024, nueve empresas camaroneras ecuatorianas fueron suspendidas para exportar a China. Esto representó una alerta de las autoridades sanitarias chinas sobre la detección de elevados niveles de residuos de sulfitos sobrepasando en envíos específicos de camarón el límite máximo permitido de 100 ppm de residual de sulfitos, lo cual preocupa a las industrias exportadoras de camarón, ya que el mercado chino representa el destino de mayor exportación de este producto. En comparación con el primer trimestre de 2023 la venta de camarón a China cayó un 43 % en ingresos y un 27 % en volumen (González, 2024). Por su parte, la Comunidad Económica Europea actualmente acepta hasta 150 ppm de residual de sulfitos en camarones (Herrera, 2000).

Este tema ha impulsado la participación de partes claves interesadas, incluida la Cámara Nacional de Acuicultura (CNA), en esfuerzos de colaboración con organismos diplomáticos, autoridades sanitarias y representantes del sector exportador. El objetivo principal de estas interacciones ha sido mejorar los protocolos internos y preparar informes de gestión de crisis para garantizar el cumplimiento de las regulaciones del mercado (Camposano, 2024).

El camarón entero congelado como producto puede presentar problemas, debido a que sus órganos y enzimas digestivas, que se ubican en el área del cefalotórax del camarón, son los primeros en descomponerse post mortem (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

La calidad y el cumplimiento de estándares internacionales son factores cruciales para el permiso de exportación. Por lo que las empresas optan por la aplicación de ciertos preservantes, como el MBS, con la finalidad de combatir posibles efectos adversos en el camarón, tal como la melanosis. Este problema es común en la industria pesquera, caracterizado por la coloración marrón o negra de la piel de los camarones debido a reacciones enzimáticas al morir (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

La aplicación de algunos compuestos químicos necesita aprobación de entidades gubernamentales con un límite de aplicación para el uso en los alimentos, siendo el caso del MBS. El uso de este compuesto se da por inmersión en soluciones a ciertas concentraciones o mediante un rocío, siendo totalmente soluble en agua y de bajo precio comercial (Franco et al., 2019).

Es crucial que los procedimientos estén cuidadosamente controlados para garantizar la seguridad alimentaria. De lo contrario, existe el riesgo de que altas concentraciones del aditivo puedan terminar siendo consumidas junto con el alimento, lo cual plantea preocupaciones adicionales para la salud (Franco et al., 2019).

1.2 Descripción del problema

El sector camaronero ecuatoriano se enfrenta a un desafío debido a la detección de niveles no permitidos de MBS en envíos de camarón destinados al mercado chino. Esta situación amenaza el acceso a uno de los principales mercados de exportación, poniendo en riesgo los ingresos económicos y la reputación del sector. Esto a causa de que se evidencia una inadecuada estandarización del tratamiento con MBS en camaroneras ecuatorianas.

1.3 Justificación del problema

Esta problemática radica en la falta de estandarización un control adecuado en el tratamiento con MBS en las camaroneras ecuatorianas. La ausencia de protocolos uniformes

y prácticas estandarizadas ha llevado a variaciones en las dosis y procedimientos utilizados, lo que ha resultado en niveles residuales del compuesto que exceden los límites máximos permisibles establecidos por las regulaciones de importación.

Es imperativo establecer procedimientos estandarizados y capacitar adecuadamente al personal involucrado en el tratamiento con MBS, asegurando así el cumplimiento de los estándares internacionales y mejorando la competitividad y sostenibilidad del sector camaronero ecuatoriano en los mercados globales.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Establecer la estandarización del tratamiento con metabisulfito de sodio en una camaronera de Ecuador para el procesamiento del camarón.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el proceso de dosificación en una planta camaronera para la detección de las causantes de las irregularidades residuales de sulfitos.
2. Evaluar la cantidad de residuos de sulfitos en camarones tratados con MBS utilizando un método adaptado de Monier-Williams relacionándolo con el control de melanosis.
3. Desarrollar un plan de mejora para el proceso de dosificación de MBS enfocado en acciones correctivas que aseguren el cumplimiento con los estándares de exportación.

1.5 Marco teórico

1.5.1 Tipo, tallas y alimentación

Las empresas ecuatorianas destacan en la producción de camarón de distintos tamaños, las tallas más populares y demandadas incluyen los camarones de tamaño mediano a grande, como los que tienen un conteo de 10-30 piezas por libra.(FAO, 2009).

La alimentación de estos camarones se basa principalmente en piensos balanceados, específicamente formulados para optimizar su crecimiento y salud. Estos piensos suelen estar compuestos por una mezcla de ingredientes como harinas y aceites de pescado, harinas de soja, cereales, vitaminas, minerales y otros aditivos nutricionales. La alimentación se administra de manera controlada y se ajusta según las etapas de desarrollo del camarón, asegurando un crecimiento eficiente y saludable (FAO, 2009).

1.5.2 Melanosis

El Codex Alimentarius define la melanosis como la aparición de pigmentos oscuros causada por reacciones enzimáticas oxidativas seguidas de autooxidación y polimerización. La enzima polifenol oxidasa (PPO), tirosinasa, está presente en los camarones y actúa como catalizador en la reacción que causa este pardeamiento, sintetizando melanina (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

Estas manchas negras ocurren al entrar en contacto con el oxígeno atmosférico, y reducen el valor de mercado de estos productos generando inacceptabilidad por parte del consumidor (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

La Figura 1 representa la melanosis en el camarón blanco. Debido a la rápida degradación de los mariscos y a la estrecha relación entre este deterioro y su temperatura de almacenamiento, es crucial congelarlos inmediatamente después de su cosecha. Aunque este proceso puede ralentizar la reacción, no la previene por completo. Durante la congelación, las enzimas causantes de la melanosis se vuelven inactivas, pero al descongelarse, estas enzimas presentes en la hemolinfa y las glándulas digestivas se liberan y activan fácilmente si hay suficiente sustrato, acelerando la aparición de la melanosis (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

Las variaciones de temperatura y las interrupciones en la cadena de frío facilitan los procesos enzimáticos y microbiológicos que conllevan al deterioro. Por lo general, la melanosis se desarrolla más rápidamente que el deterioro microbiano. Aunque no representa

un riesgo directo para la salud humana, su presencia frecuentemente señala deficiencias en las prácticas adecuadas de almacenamiento y manejo, las cuales también están vinculadas al crecimiento de microorganismos (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

Figura 1

Melanosis en camarón blanco (Litopenaeus vannamei)



Obtenido por (Gonçalves & de Oliveira, 2016)

1.5.3 Aplicación de metabisulfito de sodio

Para impedir la melanosis en camarones, es necesario implementar la reducción de la enzima polifenol oxidasa (PPO) mediante la regulación del pH o la temperatura, así como el uso de inhibidores de PPO. La inhibición se concentra en eliminar uno o más de los componentes esenciales del proceso: la enzima y el oxígeno (García et al., 2008).

Tradicionalmente, los sulfitos, especialmente el MBS, conocido como el preservante E223, son los aditivos más utilizados para prevenir la melanosis en mariscos. Pues, el dióxido de azufre y sus sales se han utilizado con fines de conservación por sus ventajas de inhibición enzimática (Bahan et al., 2012).

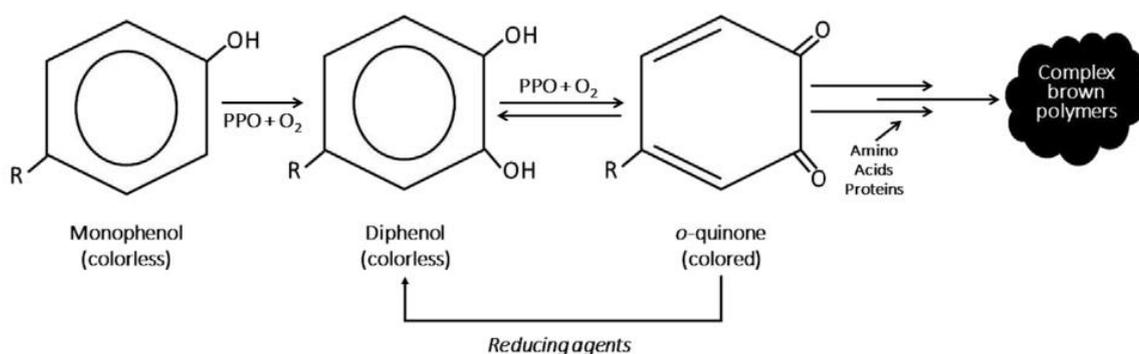
La Figura 2 ilustra como se genera el pardeamiento enzimático. Los sulfitos, como agentes reductores, pueden bloquear la actividad de la PPO, reduciendo las quinonas que son

precursoras de pigmentos a difenoles incoloros y menos reactivos y mantener una apariencia aceptable del producto (Gonçalves & de Oliveira, 2016).

La dosificación de los camarones con MBS se realiza comúnmente sumergiéndolos en tanques que contienen la mezcla homogenizada de agua, hielo y el aditivo. Se debe controlar que la temperatura sea igual en todo el tanque. La concentración puede variar según factores que influyen en la concentración son el método de aplicación, regulaciones del mercado de destino, condiciones ambientales, prácticas específicas de la empresa, la etapa de procesamiento y el objetivo de preservación (Llerena, 2011).

Figura 2

Desarrollo de mancha negra



Obtenido por (Gonçalves & de Oliveira, 2016)

1.5.4 Normativas de residual de sulfitos

1.5.4.1 Nacional

De acuerdo con las normas ecuatorianas, específicamente la NTE INEN 456:2013, los camarones congelados tienen como requisito un máximo de 150 ppm de concentración de residual de sulfitos (INEN Ecuador, 2013).

1.5.4.2 Internacional

Por su parte, el CODEX ALIMENTARIUS establece un límite máximo de 100 ppm. Si el compuesto supera el límite máximo permitido, puede ocasionar una reacción alérgica en la persona que consume el alimento (Codex Alimentarius, 1995).

Debido al peligro potencial, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) requiere que los productos alimenticios expuestos a sulfitos incluyan una declaración sobre la presencia de sulfitos en sus etiquetas. La etiqueta es obligatoria si el residuo de sulfito es mayor que el límite detectable en camarones. Consecuentemente, esta entidad ha establecido un límite máximo regulatorio de 100 ppm para residuos de sulfito en camarones, siendo este el máximo en países de Asia y USA. El límite legal varía entre países: en Unión Europea, el límite de residuos de sulfito es de 150 ppm (Khan & Lively, 2020).

1.5.5 Métodos de determinación residual de sulfitos

Las concentraciones de sulfitos en el tejido del camarón se determinan a través de varios métodos estándares de laboratorio (Voor et al., 1991). Los principales incluyen:

- Método Monier-Williams (M-W): Aceptado a nivel internacional, tiene como desventaja requerir mucho tiempo.
- Iodometría (IM): Es un método rápido, pero no tan exacto.
- Método de destilación Kjeldahl: Es más económico en comparación con el M-W, medianamente preciso, y permite analizar una o más muestras simultáneamente

El método de Monier-Williams e Iodometría son los aceptados por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (USFDA) (Voor et al., 1991).

1.5.6 Método de Monier-Williams

El método AOAC Monier-Williams se ha utilizado ampliamente y considerado estándar para medir sulfitos en alimentos durante años. Es conocido por su precisión y

exactitud, y ha servido como punto de referencia frente a nuevos métodos (Bermúdez & Panta, 2020).

Debido a la naturaleza reactiva de los sulfitos, se debe manejar con cuidado la preparación y el almacenamiento de las muestras analíticas (Taylor et al., 2014).

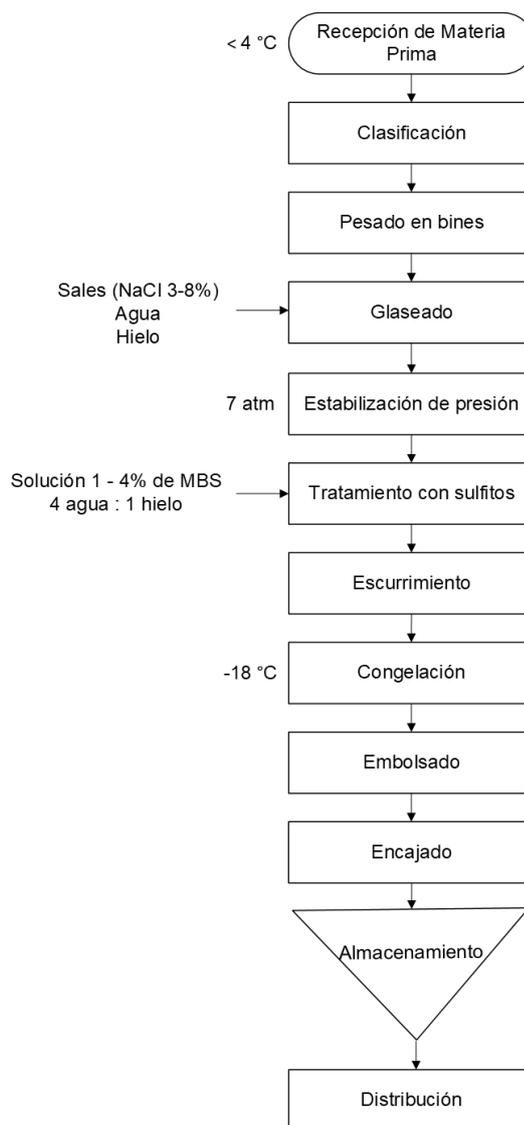
Este método mide tanto los sulfitos libres como una porción reproducible de sulfitos unidos, como los productos de adición de carbonilo, presentes en los alimentos. El proceso implica calentar la muestra con HCl 1N a reflujo para liberar SO₂, que luego se arrastra mediante N₂ a través de un condensador enfriado por agua hacia una solución de H₂O₂ al 3%, donde se oxida a H₂SO₄. La cantidad de sulfito está directamente relacionada con la cantidad de H₂SO₄ generado, que se determina mediante valoración con una solución estandarizada de NaOH (Hillery et al., 1989).

1.5.7 Procesamiento de camarón congelado

A continuación, se muestra en la figura 2 el diagrama de flujo del proceso que experimenta el camarón desde que llega al área de recepción de materia prima en la planta, por el área de conservación (tratamiento con sulfitos y congelación) y finalmente llega al área de almacenamiento y transporte (Iñiguez, 2018).

Figura 3

Diagrama de flujo del proceso de camarón congelado



Las principales actividades se detallan a continuación:

En la etapa de recepción, el camarón cosechado llega a la planta en embarcaciones y se coloca en bines con hielo. Se realiza un análisis fisicoquímico para verificar la presencia de RS, cumpliendo con los estándares de la norma Codex Stan 92-1981 (Iñiguez, 2018).

El glaseado es una técnica realizada para retrasar las consecuencias de la oxidación y deshidratación, esta implica la cobertura de los bines o cajas que contienen camarón con agua potable o de mar limpia según CODEX STAN 92-1981, tratados con soluciones que

contienen sales como cloruro de sodio, tetrapirofosfato de sodio y tripolifosfato de sodio (Gonçalves & Gindri Junior, 2009).

En el tratamiento con MBS los camarones se sumergen en una solución de agua fría que contiene hasta el 4 % del conservante, teniendo en cuenta que el tiempo de inmersión depende del porcentaje aplicado (Boyd & Gautier, 2002). Luego de esto se da la etapa de escurrimiento para el posterior empaçado (EcoBusinessFund, 2021).

En la etapa de empaçado y etiquetado, se utiliza cartón plástico-corrugado para el empaque primario y cartón corrugado para el secundario (máster), conforme a las especificaciones del mercado. Las etiquetas deben ser precisas en cuanto al idioma y contener información obligatoria como vida útil, lote, contenido neto, alérgenos, talla y color del producto (EcoBusinessFund, 2021).

Finalmente, el producto empaçado se almacena en pallets dentro de cámaras de mantenimiento a -35°C , no mayores a -18°C y luego se distribuye al mercado (EcoBusinessFund, 2021).

1.5.8 Requerimientos del mercado para exportación

El Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca (MPCEIP) y la Administración General de Aduanas de la República Popular China (GACC) concretaron un acuerdo denominado “Protocolo para la Inspección, Cuarentena y Requisitos Sanitarios Veterinarios para Camarones Blancos Congelados a exportarse desde Ecuador a China” (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2024).

Un requisito principal es que los establecimientos ecuatorianos: plantas de procesamiento, barcos, buques de carga y granjas acuícolas para exportar camarones congelados a China deben registrarse en la GACC, si no, el producto no puede exportarse. Además, cada lote se solicita al menos una Certificación Sanitaria original. La GACC llevará a cabo en el punto fronterizo una inspección y cuarentena y solo se permite la entrada del

producto que se encuentre conforme con los requisitos de las leyes, reglamentos y normas chinas (Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca, 2024).

Por otra parte, Estados Unidos al ser uno de los mercados de productos pesqueros más grandes del mundo los productos que se exportan deben cumplir ciertos requisitos como las BPA globales, el Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control (HACCP), Alimentos de Calidad Segura y el Consejo de Administración de Acuicultura (Global GAP y Safe Quality Food). Los certificados de evaluación de calidad de agua pueden aumentar el valor y la competitividad de los productos agrícolas a largo plazo debido a mejoras en su calidad (Khiem et al., 2022).

Para exportar camarón ecuatoriano a la Unión Europea (UE), se debe estar registrado en el Sistema Ecuatoriano de Acuicultura (SEA), implementar Buenas Prácticas Acuícolas (BPA), obtener un Certificado Sanitario de Exportación y cumplir con requisitos de trazabilidad, tamaño, presentación y embalaje. El camarón debe estar libre de residuos y contar con etiquetado según la normativa europea (Cámara Nacional de Acuicultura, 2020).

1.5.9 Importancia de capacitación de personal operativo

Es necesario que las empresas puedan vincular los conocimientos técnicos que se requiere entre los colaboradores en las distintas áreas. Así, se crearían los planes de capacitación específica que de paso a la actualización y reforma de conocimientos en las áreas que se necesita (Jamaica, 2015).

Capítulo 2

2.1 Metodología

La presente investigación se desarrolló siguiendo un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) con un diseño experimental para abordar de manera integral la problemática del uso de MBS en el procesamiento de camarón entero congelado. El estudio se llevó a cabo en las siguientes fases principales:

2.1.1 Recolección y análisis de datos

La recolección de datos se realizó durante dos trimestres consecutivos, los meses de diciembre 2023 y enero, febrero y marzo, abril, mayo del 2024, siendo como punto intermedio la fecha de alerta generada por China. Esta información es proporcionada por la base de datos de una empresa exportadora de camarón entero. Se recopiló la información de ambos trimestres en número de lotes exportados mensualmente.

El análisis de datos abarca la información recopilada de los dos trimestres. Se evaluó los lotes de producción para identificar los lotes con elevados niveles de residuo de sulfitos (RS). Para este fin se utilizó el *software* Minitab para procesar y analizar los datos cuantitativos.

2.1.2 Investigación de causas

Para identificar las posibles causas de los problemas implicados con los elevados RS, se implementó una metodología sistemática de análisis de causa raíz. Se elaboró un diagrama de Ishikawa o diagrama de causa y efecto, donde a través de un análisis y lluvia de ideas estructuradas se identificaron causas contribuyentes. Para cada factor identificado se evaluó según su impacto. Se utilizó una técnica complementaria como el análisis por medio de un diagrama de Pareto para profundizar en las causas subyacentes de los problemas más significativos. El gráfico de Pareto resultante se utilizó para priorizar las áreas de enfoque en las fases subsiguientes del estudio, especialmente en el desarrollo de acciones correctivas.

2.1.3 Prueba experimental

La fase de prueba experimental se diseñó para evaluar la efectividad de diferentes concentraciones de MBS en el control de melanosis y su impacto en la cantidad RS. Se estableció tratamientos con distintas concentraciones de MBS: baja y alta para camarones vivos (CV) y concentraciones baja, media y alta para camarones muertos (CM), en base a la investigación de rangos identificados en el proceso de dosificación habitual para camarones. Para cada tratamiento se utilizó 1 lb de camarón, con una relación 4:1 de agua y camarón. Para CV se proporcionó camarones talla 36-40 y para CM se evaluó en talla 50-60, escogida según disponibilidad de la empresa. Las muestras fueron sometidas a los respectivos tratamientos bajo condiciones controladas, simulando el proceso de producción estándar, los cuales se muestran en la tabla 1 y tabla 2. En la tabla 3 se detalla las cantidades requeridas para la solución de MBS usada en los distintos tratamientos. Se realizó un análisis de RS para cada porcentaje de MBS en los dos tiempos de inmersión, 12 y 15 minutos, mediante el método adaptado de M-W.

Paralelamente, se realizó un seguimiento en la evolución del camarón durante tres días luego del tratamiento aplicado utilizando una escala de evaluación visual de la aparición de melanosis y también un análisis computarizado mediante las imágenes tomadas en este lapso.

Los resultados de estos análisis sirvieron para establecer la concentración óptima de MBS que balancee efectivamente el control de la melanosis con la minimización de residuos de sulfitos.

Tabla 1*Camarón vivo para inmersión. Talla 36-40, temperatura de 4-12 °C*

Talla camarón	Tratamiento	Descripción del tratamiento	% concentración de MBS	Tiempo de inmersión (min)
36-40	C1	Control 1	0	0
	T1	Tratamiento 1	2	12
	T2	Tratamiento 2	2	15
	T3	Tratamiento 3	3.96	12
	T4	Tratamiento 4	3.96	15

Tabla 2*Camarón muerto para inmersión. Talla 40-50, temperatura de 4-12 °C*

Talla camarón	Tratamiento	Descripción del tratamiento	% concentración de MBS	Tiempo de inmersión (min)
40-50	C2	Control 2	0	0
	T5	Tratamiento 5	2	12
	T6	Tratamiento 6	2	15
	T7	Tratamiento 7	3.5	12
	T8	Tratamiento 8	3.5	15
	T9	Tratamiento 9	5	12
	T10	Tratamiento 10	5	15

Tabla 3

Cantidades requeridas para la solución de MBS usada en la simulación de piscina camaronera

Porcentaje concentración MBS	2%	3.5%	3.96%	5%
MBS (g)	80	140	174	200
Agua (L)	3,68	3,68	3,68	3,68
Hielo (g)	320	320	320	320
Camarón (lb)	1	1	1	1

Figura 4

Imagen de referencia para evaluación visual de melanosis en camarón



2.1.3.1 Método adaptado de Monier-Williams

Tabla 4

Reactivos, materiales y equipos usados para análisis de residuo de sulfito en camarón

Reactivos	Materiales	Equipos
Peróxido de hidrogeno al 3%	Matraz 250 ml	Balanza gramera
Ácido clorhídrico al 3.7%	Balón Kjeldahl 800 ml	Licuadora
Antifoam	Probeta 1000 ml	Equipo Kjeldahl
Agua destilada	Cápsulas de porcelana	Calefactores
Hidróxido de sodio 0.01 N	Espátula	
Rojo de metileno al 1%	Jarras de 1000 ml	
	Dispensador de ácido	
	Recipiente para licuadora	

Procedimiento paso a paso realizado para el análisis de residuos de sulfitos en camarón:

El proceso comenzó con la preparación de la muestra de camarón. Primero, se descongela el camarón y se retiró cuidadosamente la cáscara, asegurándose de dejar solo el músculo rotular y eliminando cualquier residuo de cáscara. Luego, se licuó el camarón hasta obtener una masa homogénea.

Para el análisis en sí, se inició preparando el matraz con 100 ml de peróxido de hidrógeno al 3%, al cual se añadieron 3 gotas de colorante rojo de metilo, resultando en una solución fucsia. Esta se neutralizó con gotas de hidróxido de sodio 0.01 N hasta lograr un color amarillo pálido, y se colocó en el tubo de burbujeo.

A continuación, se preparó la muestra pesando 30 gramos y colocándola en un balón de Kjeldahl. Se agregan 200 ml de agua destilada, 4 gotas de antifoam y 10 ml de ácido clorhídrico concentrado. El balón se tapó inmediatamente y se colocó en la hornilla de calentamiento del equipo de destilación.

Se procedió a encender la hornilla a fuego alto hasta que la muestra hierva, luego se regula el calor para evitar que la espuma contamine la muestra. Mientras se mantuvo el proceso durante aproximadamente 20 minutos desde el inicio de la ebullición. Un cambio de color a fucsia en la solución indica la presencia de SO₂.

Una vez recolectados 200 ml en el matraz, se retiró y se conectó un recipiente con agua destilada para el retro lavado. El contenido del matraz se tituló con hidróxido de sodio 0.01 N, agitando constantemente hasta que el color cambiase de fucsia a amarillo pálido. Finalmente, se registró el consumo total de NaOH y se calcula el contenido de SO₂ utilizando la ecuación 2.1.

$$SO_2 \text{ ppm } \left(\frac{mg}{kg} \right) = \frac{(\text{Consumo NaOH} - \text{Blanco}) * 32.03 * F * 1000}{W} \quad (2.1)$$

Consumo NaOH = Lectura en bureta.

Blanco = Consumo de NaOH sin utilizar muestra.

32.03 = Factor de SO₂ constante.

F = Factor del NaOH indicado en la etiqueta del reactivo

1000 = factor de conversión de miliequivalente.

W = Peso de la muestra (máximo 30.5)

Para la obtención del valor del blanco se debió realizar el mismo procedimiento utilizando agua destilada y sin muestra, registrando el consumo de hidróxido de sodio. Los valores de consumo deben ser inferiores a 0.7 ml. El blanco debe realizarse una vez por turno en cada uno de los puestos de destilación.

2.1.3.2 Análisis computarizado de melanosis

Con ayuda del lenguaje de programación Python y el paquete de Visión por Computadora OpenCV se realizó un procesamiento de imágenes. El proceso incluyó pasos secuenciales: recortar una sección del cuello o cefalotórax del camarón para detectar posibles signos de melanosis, ajustando el tamaño del recorte según la distancia de la cámara. Luego, se convirtió la imagen de RojoVerdeAzul (RGB) a escala de grises para simplificar la dimensionalidad de los píxeles. Posteriormente, se aplicó un filtro de umbralización binaria invertida para eliminar los píxeles con alta luminiscencia causados por la luz incidente, cambiando estos valores a cero (negro). Después, se eliminaron los píxeles con valor cero para evitar sesgos en el análisis. Finalmente, se calculó el promedio de los valores de intensidad de los píxeles.

2.1.4 Desarrollo de acciones correctivas

Se seleccionó para el desarrollo de acciones correctivas como foco principal las causas con mayor impacto. Antes de la implementación de las acciones correctiva se someten a una prueba piloto para validar su efectividad y realizar ajustes necesarios.

2.1.4.1 Elaboración de protocolo estándar de proceso de dosificación

A través del análisis realizado y la identificación de las causas con mayor impacto, siendo punto clave para dar más atención al momento de elaborar el protocolo, con el objetivo de mitigar el problema y buscar mejoras significativas.

2.1.4.2 Elaboración de hoja de control de proceso de dosificación

Se elaboró una hoja de control para la etapa de dosificación en piscinas según los datos experimentales, a partir de los valores ppm obtenidos, estableciendo un rango de % de MBS y de tiempo de inmersión en la solución, lo cual asegure no se genere melanosis en el camarón, ni sobrepase los límites de exportación permitidos.

Capítulo 3

3.1 Recolección y análisis de datos

Para la fase principal de analizar la problemática y su magnitud, desde la emisión de la alerta sanitaria mencionada en la introducción sobre el incumplimiento de residuos de sulfitos, fue necesario una recolección de datos. En la tabla 5 se presentan los respectivos meses con el porcentaje de unidades analizadas mensualmente y porcentaje de incumplimiento de límites de RS. Mencionando así, que las muestras escogidas fueron tomadas al azar y corresponden a un porcentaje menor al 1% de las toneladas producidas diariamente.

Se describe que el primer trimestre comienza desde diciembre 2023 hasta febrero 2024, con un total de unidades analizadas entre el 12% al 19% del total de lotes producidos por mes, las cuales entre el 26% al 31% superaron el límite permitido de residuos de sulfitos en ppm. A diferencia del segundo trimestre en el que se presentó un total de 15% de unidades analizadas, de las cuales cada mes están en un rango de 4% a 6% que mostraron valores superiores a 100 ppm.

Tabla 5

Datos porcentuales de la empresa camaronera

Mes	% unidades analizadas	% de resultados >100ppm
diciembre	12	31
enero	17	28
febrero	19	26
marzo	17	6
abril	17	5
mayo	17	4

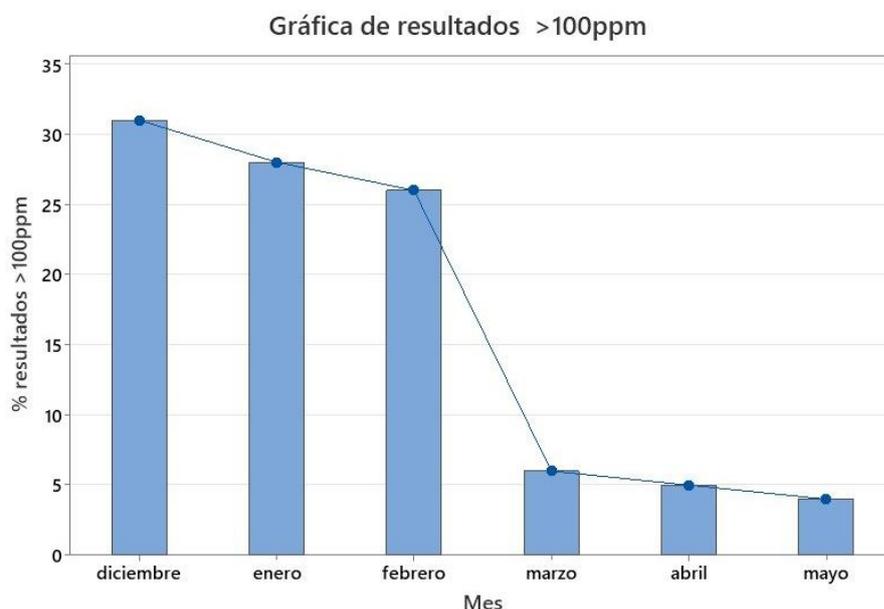
Además, se ha representado en un gráfico de barras (Figura 5) realizado en el *software* Minitab, el cual aporta claridad visual y una rápida comparación en el transcurso

temporal de los seis meses, indicando un notorio descenso de muestras con problema de RS. También, se muestra que el 15% de las muestras analizadas durante este segundo trimestre no cumplen con el estándar establecido, lo cual evidencia la presencia de falla en los controles del proceso de producción y plantea un riesgo económico para la exportación.

A pesar de, la notable reducción de lotes que incumplen con la normativa en el segundo trimestre (Figura 5), se resalta la eficacia de las medidas correctivas implementadas que influyen tanto de manera directa como indirecta en el proceso de dosificación con MBS. El interés de la empresa exportadora es prevenir cualquier recurrencia de la situación anterior a la alerta, buscando no solo mantener los niveles mejorados, sino también optimizar continuamente sus procesos, ya que, el cumplimiento con las normativas de calidad es crucial para garantizar la seguridad y condición del producto. Sin embargo, pese al esfuerzo persistente, el desafío enzimático que tienen las empresas camaroneras exportadoras con su producto supera los mismos y es necesario mantener una gestión constante y viable que pueda evitar complicaciones en los demás problemas naturales que puedan darse.

Figura 5

Gráfico de resultados mayor a 100 ppm



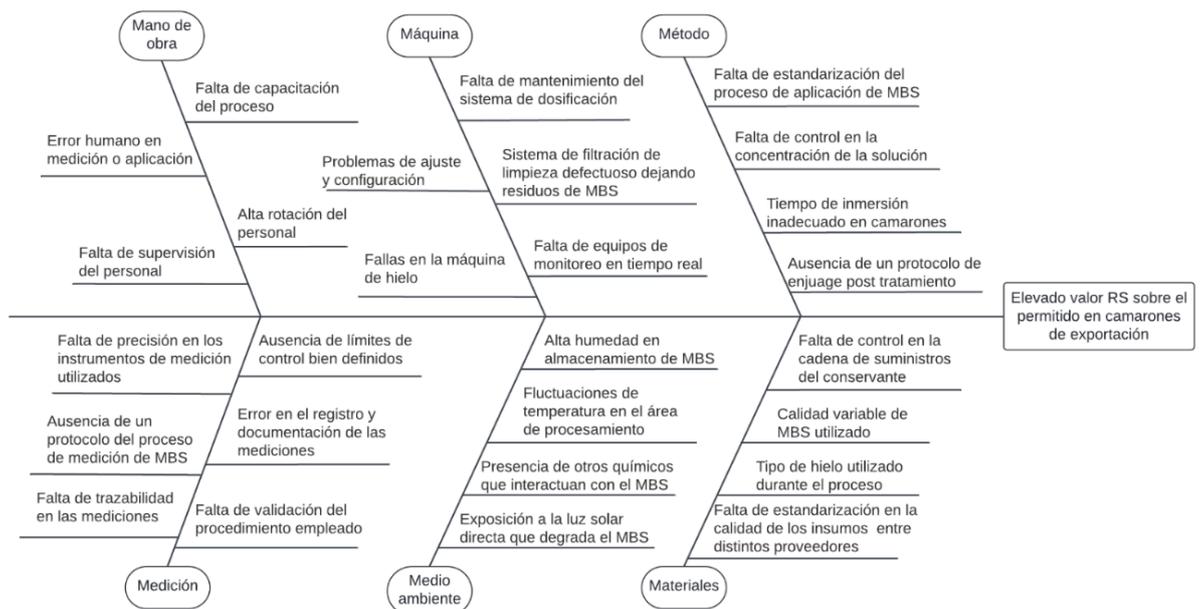
3.2 Investigación de causas

El análisis del problema a mencionar se llevó a cabo mediante la combinación de dos herramientas de gestión de calidad, el diagrama de Ishikawa y el gráfico de Pareto.

El diagrama de Ishikawa permitió visualizar las posibles causas del problema. Para el uso de esta herramienta visual se definieron las categorías como ramas/espinas primarias: mano de obra, métodos, maquinaria, materiales, medición y medio ambiente. Siendo también descritas como las 6M, usadas comúnmente para problemas en cadenas productivas. Las causas mostradas se obtuvieron a partir de información obtenida en planta y comprensión de procesos, las cuales se interrelacionan al problema raíz presentado como el elevado valor RS permitido en camarones enteros para exportación. Observar la figura 6.

Figura 6

Diagrama de Ishikawa



Posteriormente, para la aplicación del gráfico de Pareto se priorizó estas causas en función de su impacto en el problema, a través de una matriz de causa y efecto, lo que se puede observar en la tabla 6.

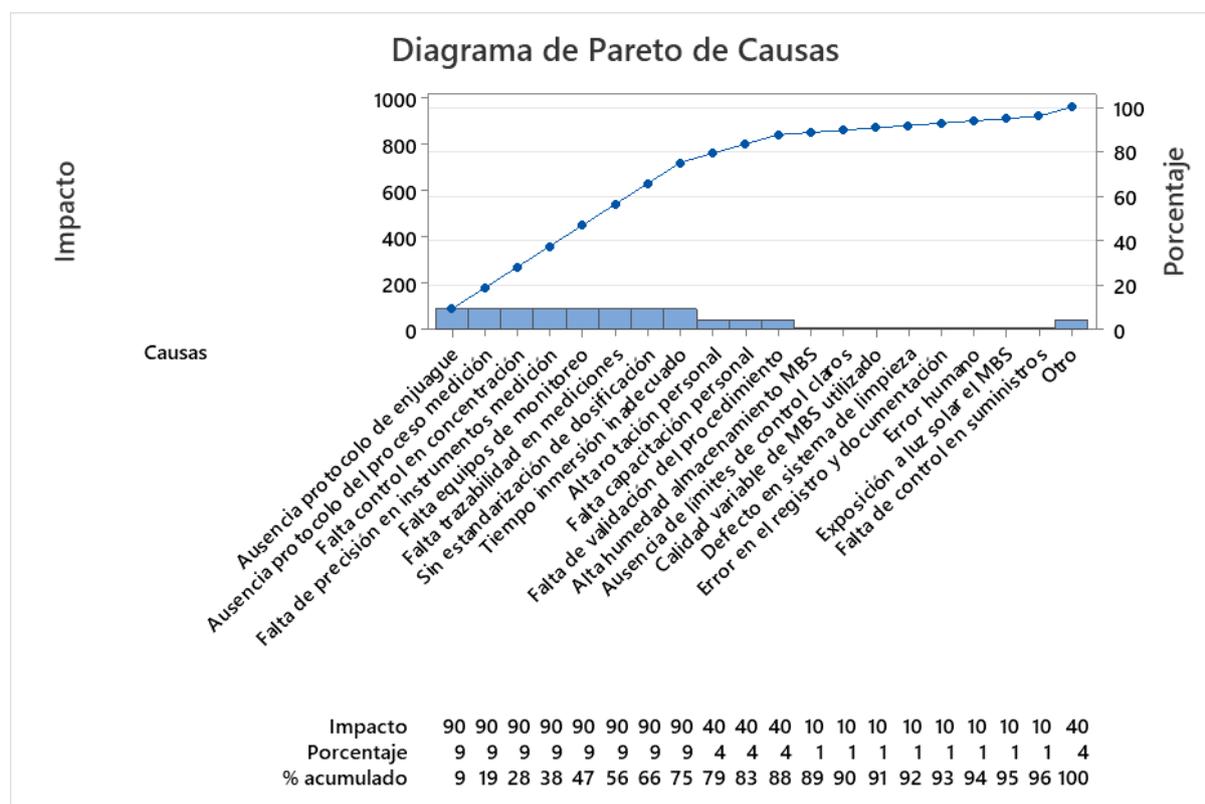
De todas las causas analizadas, nueve surgieron como las más significativas en términos de su impacto potencial sobre el problema en cuestión. Estas categorías críticas fueron identificadas en las categorías de "medición" y "métodos" (Figura 7). El principio de Pareto sugiere que el 80% de los problemas pueden ser atribuidos al 20% de las causas. El hallazgo sugiere que los esfuerzos de mejora deberían enfocarse prioritariamente en optimizar los procedimientos metodológicos empleados en el procesamiento de los camarones y en perfeccionar los sistemas y protocolos de medición utilizados para controlar los niveles de sulfitos (Alkiayat, 2021).

Tabla 6

Matriz de causa y efecto

0	No hay relación		
1	Relación débil		
4	Relación moderada		
9	Relación fuerte		
Importancia	Alto residual de sulfito en camarones	10	
Categorías	Causas	Valor	Total
Mano de obra	Falta de capacitación específica del proceso	4	40
	Alta rotación del personal	4	40
	Falta de supervisión efectiva del personal	1	10
	Error humano en medición o aplicación del producto	1	10
Máquina	Falta de mantenimiento regular del sistema de dosificación	1	10
	Problemas de ajuste y configuración	1	10
	Sistemas de filtración de limpieza defectuosos que no eliminan residuos de MBS	1	10
	Máquina de hielo que no mantiene temperaturas adecuadas durante el proceso	0	0
	Falta de equipos de monitoreo en tiempo real	9	90
Método	Falta de control en la concentración de la solución	9	90
	Falta de estandarización del proceso de aplicación de MBS	9	90

	Tiempo de inmersión inadecuado en camarones	9	90
	Ausencia de un protocolo de enjuague post tratamiento	9	90
Medio ambiente	Fluctuaciones de temperatura en el área de procesamiento	0	0
	Alta humedad en almacenamiento de MBS	1	10
	Presencia de otros químicos que interactúan con MBS	0	0
	Exposición a luz solar directa que degrada el MBS	1	10
Medición	Falta de precisión en los instrumentos de medición utilizados	9	90
	Ausencia de un protocolo del proceso de medición de MBS	9	90
	Falta de trazabilidad en las mediciones realizadas	9	90
	Falta de validación del procedimiento empleado	4	40
	Error en el registro y documentación de las mediciones	1	10
	Ausencia de límites de control claros y bien definidos	1	10
Materiales	Falta de control en la cadena de suministros de los materiales entregados	1	10
	Calidad variable de MBS utilizado	1	10
	Tipo de hielo utilizado durante el proceso	0	0
	Falta de estandarización en la calidad de los insumos entre los diferentes proveedores	1	10

Figura 7*Diagrama de Pareto*

Es importante decir que, a partir de las causas del diagrama de Pareto (Figura 7) se determinaron algunas causas para las futuras acciones correctivas, entre ellas, la ausencia de protocolos, sobre todo de medición de MBS, el cual se puede definir desarrollando pruebas experimentales para asegurarse de contar con valores efectivos tanto en tiempo como % de solución.

3.3 Prueba experimental

En la tabla 3, se describen las cantidades de la materia prima utilizada para preparar la solución donde se sumergieron los camarones vivos y muertos. Mientras, en la tabla 1 y 2 se muestra que se realizaron cinco muestras para camarón vivo (CV) y siete muestras para camarón muerto (CM), respectivamente, que posterior a la simulación del proceso de dosificación fueron congelados a temperaturas menor a -18°C (Douglas B., n.d.).

Al iniciar con la experimentación, la temperatura del agua se encontraba al ambiente dentro de la costa ecuatoriana, entre 22- 28°C (Falvey & Garreaud, 2009), y se agregaba suficiente hielo una vez agregado el MBS para obtener el rango adecuado para la inmersión que ronda entre 4-12°C, las mismas que son sugeridas y utilizadas por las empresas camaroneras visitadas, ya que temperaturas fuera de este rango podrían afectar su absorción (Llerena, 2011). Sin embargo, para mantenerlas fue importante tener suficiente cantidad de hielo, sobre todo en la granja, por la distancia a un proveedor de este.

Las tallas del CM utilizadas fueron receptadas por disposición entregada del cliente, los mismos que detallaron que eran 40/50 en entero y 26/30 sin cola. A diferencia de la talla del CV que se proporcionaron de 36/40, ya que en cada tratamiento se usó 1 libra. Cabe mencionar que las tallas de exportación rondan entre 16/20 y muy escasa 36/40, según lo mencionado en plantas procesadoras visitadas.

Como se describió en secciones pasadas, la melanosis es un proceso de pardeamiento enzimático el cual comienza en áreas sensibles, sobre todo bajo el caparazón del cefalotórax (Gonçalves & de Oliveira, 2016). La PPO se activa luego de 18 a 20 horas de la muerte del camarón, siendo así que esta reacción enzimática natural se extiende desde la cabeza hasta la cola (Castro, 2021). Por lo que, la melanosis fue observada en cada muestra, durante los siguientes tres días del tratamiento, imágenes en Apéndice A.

De manera visual y con referencia a la escala de la Figura 4, por parte de los CV durante los días analizados se evidencia que los camarones presentan únicamente una ligera mancha en la parte superior, en la unión entre cabeza y cuerpo, por lo que se considera leve. Así mismo, el cambio de la temperatura, pH y exposición a la luz harían que este problema con la cáscara se desarrolle aún más (Llerena, 2011). Para los CM a simple vista no se puede diferenciar los detalles mínimos en la coloración.

A su vez, se utilizó una herramienta tecnológica que ayudó a cuantificar el oscurecimiento de los camarones. Con ayuda del lenguaje de programación Python y el paquete de Visión por Computadora OpenCV (*OpenCV - Open Computer Vision Library*, n.d.) se realizó un procesamiento de imágenes, tal como se menciona en metodología. Al ser una imagen una matriz de píxeles que representan la intensidad de luz captada por los fotodiodos del sensor de la cámara, realizando este procedimiento, se pudo cuantificar la intensidad de luz en sectores reconocidos del camarón que presentan oscurecimiento por la melanosis. En la figura 8 se muestra el procedimiento realizado en orden para cada tratamiento, incluyendo imágenes de referencia de los camarones antes de su inmersión. En este proceso como se mencionó, el recorte de la primera imagen del camarón en cada tratamiento al día 3 después de la inmersión. Para CV la imagen es 172x146 píxeles y para CM de 66x66 píxeles porque se tenían más lejos los camarones. Cabe mencionar que, la escala de grises da facilidad en la dimensionalidad de los píxeles. Asimismo, para el exceso de luminiscencia ocasionados por rayos de luz que inciden en el caparazón del camarón durante la captura de imágenes fue indispensable el filtro. Al haber umbralizado la imagen en el paso anterior, estos píxeles con valor cero fueron eliminados para evitar sesgo en el resultado final. Al final, mientras menor sea el promedio, indica que la zona evaluada es más oscura.

El uso de esta herramienta tecnológica de visión por computadora nos permitió validar la interpretación de los datos visuales, a pesar de que es un apoyo referencial, ya que incide mucho las condiciones de cada imagen siendo estas el brillo, la saturación y los espacios de fondo. En el análisis de cada imagen se obtienen distintos valores cuantitativos de la intensidad de luz de los píxeles de zona evaluada, de estos se obtiene un promedio el cual se indica en la tabla 7 respectivamente para cada tratamiento. Cabe indicar que la escala de esta intensidad lumínica va desde 0 (negro) hasta 255 (blanco). Explicándose así en los promedios

obtenidos que la muestra de control es aquella que presentó mayores cambios de color respecto a nuestra imagen principal. Y que, el tratamiento que mejor mantuvo el color según esta consideración sería la solución del T3 con un promedio de píxeles 96,27, el mismo que, su cantidad residual está bajo del máximo permitido con 52,01 ppm. Las imágenes de cada tratamiento desde el día 1 al día 3 se pueden evidenciar en el Apéndice 1.

Sin embargo, para CM se evidencia que los cambios de oscurecimiento entre estos son pequeños, indicando que las soluciones mencionadas se absorbieron de mejor manera incluso en esta etapa post mortem, donde según estudios realizados el procedimiento es más complejo incluso en % de solución bajos (Llerena, 2011). Apuntando que el control es aquel que tiene un mayor cambio a oscuro, lo cual hace sentido a que fueron aquellos que no se le realizó ningún tipo de tratamiento. También se puede destacar que la solución que mejor mantuvo la coloración fue T6 con un promedio de píxeles de 111,23 seguido del T5 con 106,56. No obstante, el RS de T6 se considera un error experimental.

Por otra parte, se tuvo como resultado que la concentración 2% y el tiempo de inmersión 12 minutos (T5) se evita de manera efectiva la presencia de melanosis en los camarones y al mismo tiempo no sobrepasa en sus RS teniendo 52,39 ppm.

Todos los tratamientos en CV se encuentran en rangos aceptables en ambos criterios de calidad. A diferencia de que, para CM no se recomiendan las soluciones del T9 y T10, por su exceso de RS.

En el análisis de los resultados, se identificaron valores que se desviaron significativamente de las tendencias observadas en el resto de los datos. En la cantidad residual el C1 y T6 son valores atípicos, se atribuyeron a errores experimentales. Estos errores pueden surgir de diversas fuentes, como variaciones no controladas en las condiciones ambientales, imprecisiones en la medición, fallos momentáneos en los equipos, o errores humanos durante la manipulación de las muestras o la recopilación de datos. De igual

manera, en el promedio de píxeles, durante el análisis computarizado del control de melanosis en camarones mediante procesamiento de imágenes, se proporcionaron valores que se desviaron significativamente de los rangos esperados y carecían de coherencia, estos son del T7 al T10. Se determinó que estos resultados anómalos eran probablemente consecuencia de la calidad variable de las fotografías analizadas. Factores como diferencias en la iluminación, sombras no deseadas, reflejos en la superficie de los camarones, o variaciones en el enfoque de la cámara pueden haber influido en la capacidad del software para interpretar correctamente los niveles de oscurecimiento

Es importante reconocer la presencia de estos errores, ya que forman parte inherente del proceso científico. Sin embargo, para mantener la integridad del análisis, estos valores se excluyeron en las conclusiones del estudio, asegurando así que los resultados finales reflejen con mayor precisión los efectos reales de los tratamientos aplicados.

Figura 8

Procedimiento computarizado para determinar pardeamiento enzimático en los camarones

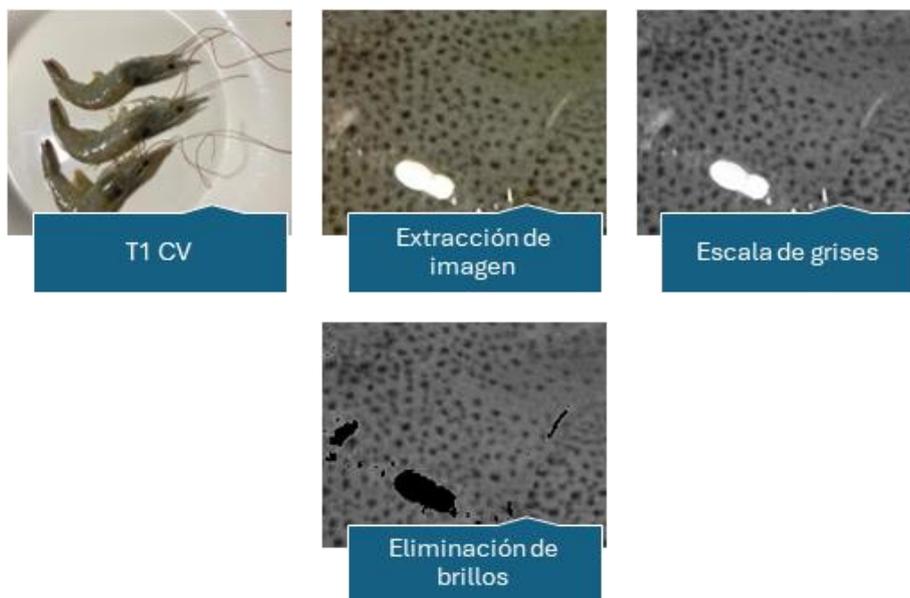


Tabla 7

Resultados de cantidad RS y píxeles para melanosis en los tratamientos de CV y CM

	Tratamiento	Cantidad de RS (ppm)	Promedio de píxeles
Camarón vivo	C1	35,04 ± 2,74	49,90
	T1	37,06 ± 2,74	94,17
	T2	38,77 ± 2,74	90,28
	T3	52,01 ± 5,68	96,27
	T4	69,82 ± 5,68	62,74
Camarón muerto	C2	17,8 ± 2,74	94,33
	T5	52,39 ± 5,68	106,56
	T6	109,15 ± 13,03	111,23
	T7	60,93 ± 5,68	104,65
	T8	68,46 ± 5,68	104,24
	T9	132,07 ± 13,03	101,31
	T10	241,51 ± 21,13	100,77

3.4 Acciones correctivas

Con base en, el análisis del diagrama de Ishikawa (Figura 6) y el gráfico de Pareto (Figura 7), se establecieron acciones correctivas para las causas, por el cual se ha desarrollado un protocolo integral para el control y medición de MBS en camarones (Apéndice 2), adaptado específicamente a las necesidades de la empresa camaronera. Este protocolo estandariza los procesos de tratamiento, medición y control de calidad, abordando las principales causas de variabilidad identificadas previamente. La implementación de este protocolo ofrece múltiples ventajas para la empresa, incluyendo una mayor precisión y consistencia en el tratamiento con MBS, reducción de residuos de sulfitos en el producto final, mejora en la trazabilidad de las mediciones, y un sistema robusto de control de calidad.

Por último, se desarrolló una hoja de control, adjunta en la sección de Apéndice 3, como parte de la propuesta de mejora continua del proceso de dosificación de MBS. Aquellas hojas de control pueden ser verificadas y monitoreadas por parte del personal técnico de control de calidad de dicha empresa, con finalidad de la hoja es evaluar su efectividad a largo plazo y centrarse en cualquier ajuste tanto en mediciones como en formulaciones de ser necesario. Estas tienen apartados de información general y parámetros de control donde a través de la experimentación realizada se establecieron las cantidades óptimas de los componentes de la solución para el proceso de dosificación, especificando tanto como el rango de temperaturas, el porcentaje de MBS como el tiempo de inmersión.

3.5 Costos

A partir de los tratamientos realizados se consideró la materia prima a usar en cada uno, donde se escogieron los dos mejores para definir los costos (2% y 3,96%).

La presentación más vendida es el MBS en sacos de 25 kg, el cual tiene un costo de 0,79 centavos el kilo, por lo tanto:

Tabla 8

Cantidad de MBS en kg para 1 bin

Contenedor	Dosificación propuesta 2% (kg)	Dosificación propuesta 3,96% (kg)
1 Bin (1m ³)	20	43,5

Tabla 9

Costo de MBS para 1 bin preparado

Contenedor	Costo al 2% (\$)	Costo al 3,96% (\$)
1 Bin (1m ³)	15,8	34,37

Para cada procesamiento de camarón se estableció que se puede trabajar con nueve bins en el proceso de dosificación en planta. En cada bin se tiene en promedio 200 libras de camarón. Para los nueve bins se podrían procesar 1800 libras de camarón donde el costo total por procedimiento se presenta en la tabla 10.

Tabla 10

MBS y costo total por bins en proceso de dosificación

Contenedores (bins)	Concentración	MBS total (kg)	Costo total MBS (\$)
9	2%	180	142,2
	3,96%	391,5	309,33

En base al análisis en el tratamiento de los bins que se realizan en el proceso se tiene que a la concentración de 3,96% el costo es más del doble que a la concentración de 2%. De todos modos, se demostró en la experimentación que ambos tratamientos cumplen con el control de melanosis y el residual de sulfitos dentro de los límites permitidos, por lo que se seleccionó la solución al 2% como la óptima y recomendable.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones

Al finalizar la implementación de las fases propuestas, se derivan las siguientes conclusiones clave:

- De acuerdo con las causas investigadas y el impacto de los posibles efectos en la problemática de la alerta sanitaria de RS, se crea un protocolo de mejoras en el proceso de dosificación de MBS ya realizado por la empresa camaronera en planta, y poder implementarse en granjas de camarón de exportación.
- Luego de realizar el análisis de RS, y costos para el proceso dosificación se determina que la solución más efectiva es de 2% a 12 minutos en camarones vivos y también en camarones muertos, donde a esta concentración se permite un control sobre la melanosis y el RS se obtiene por debajo del límite máximo de aceptación para exportación.
- La determinación de acciones correctivas para el proceso de dosificación de MBS resulta crucial para el continuo mejoramiento, de igual forma, ayuda a mantener una estructura que incluya un manejo eficiente de las responsabilidades del personal, monitoreo continuo de materia prima, y procedimientos claros que resultan en la garantía de productos finales de alta calidad.

4.2 Recomendaciones

En base al desarrollo y resultados obtenidos en el proyecto integrador se proponen las siguientes recomendaciones:

- Usar hielo en escamas o picado ya que proporciona una mayor superficie de contacto con los camarones en comparación con otros tipos de hielo. Esto permite una distribución más uniforme del frío y del MBS en la solución. Además, es definido

como suave y menos propenso a causar daños físicos a los camarones en comparación con el hielo en bloques o cubos.

- La rotación de personal es una causa que no se evalúa en el desarrollo de acciones correctivas, sin embargo, es un factor importante para considerar por lo que para mitigar su impacto en la problemática se recomienda programas de capacitación intensos y continuos que no solo instruyan sobre los procedimientos técnicos, sino que también expliquen la importancia de cada paso en el proceso.
- Para mejorar la precisión de los instrumentos de medición, se recomienda invertir en equipos de alta precisión, establecer un programa riguroso de calibración y mantenimiento regular, y capacitar al personal en su uso correcto.
- Implementar un programa de análisis del agua utilizada para el proceso, con el fin de determinar la presencia de niveles de sulfitos. Con el propósito de control y que no sea un factor que influya en el resultado de RS en camarones.

Bibliografía

- Alkiayat, M. (2021). A Practical Guide to Creating a Pareto Chart as a Quality Improvement Tool. *Global Journal on Quality and Safety in Healthcare*, 4(2), 83. <https://doi.org/10.36401/JQSH-21-X1>
- Bahan, P., Kimia, T., & Perikanan, P. P. (2012). *The use of chemical additives for fisheries product preservation*.
- Bermúdez-Medrandá, & Panta-Vélez. (2020). Efectos del 4-hexilresorcinol y metabisulfito de sodio sobre la melanosis en camarones frescos (*Penaeus vannamei*). *Revista Bio Ciencias*, 6. <https://doi.org/10.15741/REVBIO.06.E465>
- Boyd, C., & Gautier, D. (2002, August 10). *Sodium bisulfite treatments improve shrimp appearance but require proper disposal*. <https://www.globalseafood.org/advocate/sodium-bisulfite-treatments-improve-shrimp-appearance-but-require-proper-disposal/>
- Cámara Nacional de Acuacultura. (2020). *Europa amplía cupo de importación con cero arancel para camarón a países que no tienen acuerdo comercial*. <https://www.cna-ecuador.com/europa-amplia-cupo-de-importacion-con-cero-arancel-para-camaron-a-paises-que-no-tienen-acuerdo-comercial/>
- Camposano, J. A. (2024). *Pedido de la cna al ministerio de producción comercio exterior, inversiones y pesca*.
- Carlos Vélez León. (2023). *Estudio del mercado internacional para la exportación del camarón ecuatoriano hacia el mercado español*. <https://doi.org/https://doi.org/10.34070>
- Castro Rosado, F. A. (2021). *Análisis de residuos de sulfitos en camarón entero*.

- Codex Alimentarius. (1995). *Norma general para los aditivos alimentarios*.
<http://www.who.int/ipcs/food/jecfa/en/>
- Daniel, R. M., Dines, M., & Petach, H. H. (1996). The denaturation and degradation of stable enzymes at high temperatures. *Biochem. J*, 317, 1–11.
- Douglas B. (n.d.). *Procedimiento de conservación de pescados y mariscos*.
- EcoBusinessFund. (2021). *Guía para el procesamiento del camarón*.
- Falvey, M., & Garreaud, R. D. (2009). Regional cooling in a warming world: Recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979-2006). *Journal of Geophysical Research*, 114(114), D04102–D04102. <https://doi.org/10.1029/2008jd010519>
- FAO. (2009). *Penaeus vannamei*.
https://www.fao.org/fishery/docs/DOCUMENT/aquaculture/CulturedSpecies/file/es/es_whitelegshrimp.htm
- Franco, R., Navarro, G., & Martínez-Pinilla, E. (2019). Antioxidants versus food antioxidant additives and food preservatives. *Antioxidants*, 8(11).
<https://doi.org/10.3390/ANTIOX8110542>
- García-Carreño, F. L., Cota, K., & Del Toro, M. A. N. (2008). Phenoloxidase Activity of Hemocyanin in Whiteleg Shrimp *Penaeus vannamei*: Conversion, Characterization of Catalytic Properties, and Role in Postmortem Melanosis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(15), 6454–6459.
<https://doi.org/10.1021/JF800839X>
- Gonçalves, A. A., & de Oliveira, A. R. M. (2016). Melanosis in crustaceans: A review. *LWT*, 65, 791–799. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2015.09.011>

- Gonçalves, A. A., & Gindri Junior, C. S. G. (2009). The effect of glaze uptake on storage quality of frozen shrimp. *Journal of Food Engineering*, 90(2), 285–290.
<https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2008.06.038>
- González Patricia. (2024). *Nueve camarónicas están suspendidas para exportar a China desde febrero de 2024*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/camarónicas-exportaciones-suspension-china/>
- Herrera, R. (2000). *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis*.
- Hillery, B. R., Elkins, E. R., Warner, C. R., Daniels, D., Fazio, T., Balazs, P., Bosquez, M. H., Chaddha, R., Cordes, S., & Couture, K. (1989). Optimized Monier-Williams Method for Determination of Sulfites in Foods: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 72(3), 470–475.
<https://doi.org/10.1093/JAOAC/72.3.470>
- INEN Ecuador. (2013). *Resolución No 304 NTE INEN 456 Requisitos para camarones o langostinos congelados*. www.inen.gob.ec.
- Íñiguez Kristhian. (2018). *Evaluación del proceso de salmuera en camarón entero congelado para mejorar las características del producto final*.
- Jamaica, F. (2015). *Los beneficios de la capacitación y el desarrollo del personal de las pequeñas empresas*.
- Khan, M., & Lively, J. A. (2020). Determination of sulfite and antimicrobial residue in imported shrimp to the USA. *Aquaculture Reports*, 18, 100529.
<https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2020.100529>
- Khiem, N. M., Takahashi, Y., Yasuma, H., Dong, K. T. P., Hai, T. N., & Kimura, N. (2022). A novel machine learning approach to predict the export price of seafood products based on competitive information: The case of the export of Vietnamese

shrimp to the US market. *PLOS ONE*, 17(9), e0275290.

<https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0275290>

Llerena, C. (2011). *Evaluación del proceso de absorción del sulfito de sodio en el músculo del camarón (L.vannamei) para el control de la melanosis.*

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2019). *Acreditación de metabisulfito de sodio y arsénico en camarón – Ministerio de Agricultura y Ganadería.*

<https://www.agricultura.gob.ec/inp-primero-en-el-pais-que-tiene-acreditado-metabisulfito-de-sodio-y-arsenico-en-camaron/>

Ministerio de Producción Comercio Exterior Inversiones y Pesca. (2024). *Protocolo sobre medidas sanitarias y de bioseguridad de camarón ecuatoriano de exportación a China se suscribió y tiene plena vigencia –.*

<https://www.produccion.gob.ec/protocolo-sobre-medidas-sanitarias-y-de-bioseguridad-de-camaron-ecuatoriano-de-exportacion-a-china-se-suscribio-y-tiene-plena-vigencia/>

OpenCV - Open Computer Vision Library. (n.d.). Retrieved August 14, 2024, from

<https://opencv.org/>

Taylor, S. L., Bush, R. K., & Nordlee, J. A. (2014). Sulfites. *Food Allergy: Adverse Reactions to Foods and Food Additives: Fifth Edition*, 361–374.

<https://doi.org/10.1002/9781118744185.CH29>

Voor, B., Onderzoek, L., Voor, R., Onderzoek -Gent, L., Hovart, P., & Vyncke, W. (1991). *Determination of total sulfite in shrimp: a review of methodology.*

Apéndices

Apéndice 1

Control de melanosis en camarones

Parte A: camarón vivo

DÍA 1



C1



T1



T2



T3



T4

DÍA 2

C1



T1



T2



T3



T4

DÍA 3

C1



T1



T2



T3



T4

PARTE B: Camarón muerto

DÍA 1



C2



T5



T6



T7



T8



T9



T10

DÍA 2



C2



T5



T6



T7



T8



T9



T10

DÍA 3



C2



T5



T6



T7



T8



T9



T10

Apéndice 2

Protocolo

Control y Medición de Metabisulfito de Sodio en Camarones

1. Objetivo

Establecer un procedimiento estandarizado para el control de la concentración de metabisulfito de sodio (MBS) y su medición en camarones, garantizando la producción de productos seguros y legales, en conformidad con el plan de Inocuidad Alimentaria APPCC.

2. Alcance

Este protocolo se aplica a todo el proceso de tratamiento con MBS y medición de residuos en camarones destinados a la exportación.

3. Responsabilidades

1. Personal

Jefe de Calidad: Supervisar la implementación del protocolo y autorizar cambios.

Operadores de Producción: Aplicar correctamente el tratamiento con MBS.

Personal de Laboratorio: Realizar las mediciones de MBS y mantener los registros.

2. Equipos y Materiales

- Sistema automatizado de dosificación de MBS
- Equipos de medición de alta precisión (especificar modelo)
- Materiales de laboratorio estandarizado.

3. Procedimiento

3.1 Correcta limpieza de las tinas de dosificación

- Realizar sistema de monitoreo de adecuado pre-enjuague, y realizar pruebas periódicas para verificar su efectividad.

3.2 Preparación de la Solución de MBS

- Utilizar el sistema automatizado de dosificación para preparar la solución al 2% de metabisulfito de sodio.
- Verificar la concentración antes de cada uso.

3.3 Tratamiento de Camarones

- El camarón debe estar vivo antes de aplicar el tratamiento.
- Seguir los tiempos de inmersión especificados.
- Mantener la temperatura de la solución entre 2-4°C.
- Registrar cada lote tratado con un código único.

3.4 Medición de Residuos de MBS

- Utilizar el método estandarizado (Monier-Williams modificado).
- Realizar mediciones por duplicado para cada lote.
- Registrar los resultados en el sistema digital, vinculándolos al código del lote.

3.5 Control de Calidad

- Realizar controles de calidad internos diariamente.

