



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON
METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS**

Fabiola Alejandra Estrada Leal

Asesorado por el Ing. Miguel Arnoldo Lemus Gudiel

Guatemala, noviembre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON
METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

FABIOLA ALEJANDRA ESTRADA LEAL

ASESORADO POR EL ING. MIGUEL ARNOLDO LEMUS GUDIEL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Sergio Alejandro Recinos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Salvador Wong Davi
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 7 marzo 2016.

Fabiola Alejandra Estrada Leal

Guatemala 02 de marzo de 2020

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela Ingeniería Química
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el Informe Final del trabajo de graduación titulado: **"NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS"**, elaborado por el estudiante de la carrera de Ingeniería Química, Fabiola Alejandra Estrada Leal, quien se identifica con el registro académico 2008-15418 y con el CUI 1788 36826 01 01.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,

Atentamente,



Ing. Miguel Arnoldo Lemus Gudiel

ASESOR

Ingeniero Químico

Colegiado activo no. 569

Miguel Lemus Gudiel
INGENIERO QUIMICO
MAESTRIA EN ALIMENTOS
COLEGIADO No. 569



Guatemala, 09 de marzo de 2020.

REF.EPS.DOC.224.03.2020.

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Usac.

Ing. Argueta Hernández:

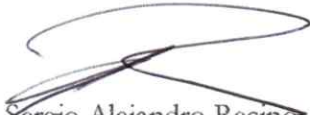
Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), de la estudiante universitaria **Fabiola Alejandra Estrada Leal** de la Carrera de Ingeniería Química, con carné No. **200815418**, procedí a revisar el informe final, cuyo título es **“NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS”**.

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”


Ing. Sergio Alejandro Recinos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Química



c.c. Archivo
SAR/ra



Guatemala, 09 de marzo de 2020.
REF.EPS.D.105.03.2020.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Álvarez Mejía.

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **"NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS"** que fue desarrollado por la estudiante universitaria Fabiola Alejandra Estrada Leal, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ingeniero Sergio Alejandro Recinos.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte del Asesor - Supervisor de EPS, en mi calidad de Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Ing. Oscar Argueta Hernández
Director Unidad de EPS



/ra



Guatemala, 29 de septiembre de 2021.
Ref. EIQ.TG-IF.029.2021.

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el registro de evaluación, correlativo **067-2015**, le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL

Solicitado por el estudiante universitario: **Fabiola Alejandra Estrada Leal**.

Identificado con número de camé: **1788368260101**.

Identificado con registro académico: **200815418**.

Previo a optar al título de la carrera: **Ingeniería Química**.

En la modalidad: **Informe Final EPS (6 meses), Seminario de Investigación**.

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por:

Miguel Arnoldo Lemus Gudiel, profesional de la Ingeniería Química

Habiendo encontrado el referido trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Gerardo Ordoñez
profesional de la Ingeniería Química
COORDINADOR DE TERNA
Tribunal de Revisión
Trabajo de Graduación

M.Sc. Ing. Gerardo Ordoñez
Ingeniero Químico
Colegiado No. 1296
Maestría Seguridad Industrial

C.c.: archivo



Guatemala, 26 de noviembre de 2021
Ref. EIQ.277.2021

Aprobación del informe final del trabajo de graduación

Ingeniera
Aurelia Anabela Cordova Estrada
Decana
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Revisado el INFORME FINAL DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN (EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO), DENOMINADO **NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS** del(la) estudiante Fabiola Alejandra Estrada Leal, se conceptúa que el documento presentado, reúne todas las condiciones de calidad en materia administrativa y académica (rigor, pertinencia, secuencia y coherencia metodológica), por lo tanto, se procede a la autorización del mismo, para que el(la) estudiante pueda optar al título de Ingeniería Química.

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Williams G. Avaroz Méndez; M.I.Q., M.U.I.E.
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química

Cc. Archivo
WGAM/wgam



ACAAI

Agencia Centroamericana de Acreditación de
Programas de Arquitectura y de Ingeniería



Formando Ingenieros Químicos en Guatemala desde 1939



**NO SALGAS
QUÉDATE EN
CASA**



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad de Ingeniería
24189102 - 24189103
secretariadecanato@ingenieria.usac.edu.gt

DTG.722.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **NORMALIZACIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DE CAMARÓN CON METABISULFITO DE SODIO PARA CONTROL DE MELANOSIS**, presentado por la estudiante universitaria: **Fabiola Alejandra Estrada Leal**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, noviembre de 2021

ACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Quien me ha guiado por el buen camino, por brindarme fuerza, sabiduría e inteligencia para seguir adelante, porque sin él no hubiera sido posible alcanzar esta meta.
- Mis padres** Byron Estrada y Fabiola Leal de Estrada. Por su amor y apoyo incondicional. Gracias por enseñarme a luchar por lo que deseo y no darme por vencida a pesar de los obstáculos que se atraviesen.
- Mis hermanos** Marcela, Rodrigo y Gabriel Estrada. Por ser mi alegría, motivación y apoyo en cada momento de mi vida y por nunca dejarme sola.
- Mis abuelos** Byron Estrada, (q. e. p. d.), Rosa Leonardo, Rodrigo Leal (q. e. p. d.), y Carmen Trangay, por su cariño, apoyo y sabios consejos. Por su ejemplo de perseverancia, valor y abnegación.
- Mis tíos** Rodrigo Leal e Ingrid de Leal, Francisco Leal y Nineth de Leal, José Ángel Estrada y Ligia de Estrada, Luis Carlos Estrada y Claudia de Estrada, Marylena Estrada. Por compartir

momentos significativos conmigo y ayudarme en todo momento.

Mis primos

José Adrián Leal, Ana Laura Leal, Rodrigo Leal, José Andrés Estrada, Luis Ángel Estrada, Valeria Estrada, Sebastián Estrada, Sophia Estrada. Por hacer mis recuerdos más amenos y contagiarme de su alegría.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por brindarme los recursos para mi formación profesional.

Facultad de Ingeniería

Por haberme brindado todos los conocimientos adquiridos a lo largo de toda mi carrera.

Mi asesor

Ing. Miguel Arnoldo Lemus, por el apoyo y dedicación a lo largo del proceso de elaboración de este trabajo de graduación.

Mis amigos

Rocío Aguilar, Alejandra Mata, Diana Estrada, Julissa Garza, Miguel Lemus, Leonel Rosales, Belén Martínez porque han estado conmigo en las buenas y malas, sé que a pesar de que los años pasan siempre podré contar con ese cariño de hermanos y apoyo que me han brindado en todo momento; A Andrea Tejeda, Flor Valdez, Sofía Fonseca, Lervy Monzón, Laura y Mariana del Valle por las aventuras, anécdotas y horas de estudio compartidas hicieron que esta travesía en la universidad, fuera más agradable. A Julio Suasnavar, Ronaldo Morataya, Paulo Avalos por su amistad incondicional.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Control de procesos	5
2.1.1. Variable de control.....	6
2.1.2. Variable terminal.....	6
2.2. Normalización del proceso	6
2.3. Control estadístico de proceso (CEP)	8
2.3.1. Gráficos de control.....	9
2.3.2. Capacidad de proceso.....	10
2.4. El camarón	10
2.4.1. Biología.....	10
2.4.2. Proceso industrial del camarón.....	12
2.5. Melanosis	15
2.5.1. Inhibidores	16
2.5.2. Técnicas de prevención de melanosis.....	18
2.5.2.1. Conservación química del camarón.....	18

2.5.3.	Conservación a bajas temperaturas.....	19
2.6.	Metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	20
2.7.	Determinación de sulfitos en camarón	21
2.7.1.	Método Iodométrico.....	21
2.7.1.1.	Técnica.....	22
2.7.1.2.	Fundamento	22
2.7.1.3.	Cálculo	22
2.7.1.4.	Ventajas y desventajas del método.....	22
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	23
3.1.	Variables	23
3.2.	Delimitación de campo de estudio	24
3.3.	Recursos humanos disponibles	25
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	25
3.5.	Técnica cuantitativa.....	28
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	29
3.6.1.	Control estadístico del proceso actual.....	30
3.6.2.	Preparación de reactivos.....	30
3.6.2.1.	Disolución de yodo 0,05 N.....	30
3.6.2.2.	Disolución de almidón al 10 %	30
3.6.3.	Preparación de materia prima	31
3.6.3.1.	Obtención	31
3.6.3.2.	Acondicionamiento	31
3.6.4.	Análisis químico	32
3.6.4.1.	Determinación de dióxido de azufre (SO_2)	32
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	33
3.8.	Análisis estadístico.....	34

3.8.1.	Análisis de regresión múltiple	34
3.8.2.	Regresión múltiple lineal.....	34
3.8.3.	Suma de cuadrados.....	35
3.8.4.	Grados de libertad para la regresión	36
3.8.5.	Cálculo de cuadrados medios.....	36
3.8.6.	Prueba de hipótesis.....	36
3.8.7.	Coefficiente de determinación múltiple	37
3.8.8.	Regresión no lineal múltiple.....	37
3.8.9.	Regresión polinomial	38
4.	RESULTADOS	39
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	43
6.	LOGROS OBTENIDOS.....	47
	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	APÉNDICES	59
	ANEXOS	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Camarón (<i>Litopenaeus yannamai</i>)	11
2.	Diagrama de flujo del proceso productivo de camarón para exportación.....	14
3.	Grados de melanosis en camarón	15
4.	Esquema global para la técnica cuantitativa	29
5.	Gráfico de control estadístico del proceso previo al estudio	39
6.	Gráfico de control estadístico del proceso durante el estudio	40
7.	Comparación de concentración determinada con el modelo matemático A vs., concentración real.....	41
8.	Comparación de cantidad de MBS determinado con el modelo matemático B vs., cantidad de MBS agregado	42
9.	Comportamiento de la concentración de MBS respecto a la dureza del caparazón del camarón	42

TABLAS

I.	Reglamentación de la Comunidad Económica Europea que Definen la Máxima Concentración Autorizada de Sulfitos en Crustáceos Expresados en mg/kg.....	19
II.	Definición operacional y descripción de las variables independientes.....	23
III.	Definición operacional y descripción de las variables dependientes....	24

IV.	Formulario para tabulación y el ordenamiento de la concentración residual de sulfitos en el músculo del camarón	33
V.	Formulario para tabulación y el ordenamiento del tiempo de contacto del camarón con el metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	33
VI.	Mejores tratamientos evaluados	40
VII.	Modelos matemáticos obtenidos por regresión múltiple	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
[]	Concentración
CEP	Control Estadístico de Proceso
SO₂	Dióxido de azufre
g	Gramos
h	Horas
kg	Kilogramos
lb	Libras
M_{MBS}	Masa de metabisulfito de sodio
MBS	Metabisulfito de sodio
mg	Miligramos
ml	Mililitros
N	Normal
ppm	Partes por millón
PFO	Polifenoloxidasa
%	Porcentaje
Tam	Tamaño del camarón

GLOSARIO

Abiótico	Dicho especialmente de un factor ambiental: Desprovisto de vida.
AGEXPORT	Asociación Guatemalteca de Exportadores.
Antioxidante	Que evita la oxidación.
Biótico	Característico de los seres vivos o que se refiere a ellos.
Crustáceo	Dicho de un animal: Del grupo de los artrópodos, con un número variable de apéndices, dos pares de antenas, cuerpo cubierto por un caparazón, generalmente calcificado, y respiración branquial.
Desnaturalizar	Alterar una sustancia de manera que deje de ser apta para los usos que tenía, entre ellos el alimentario.
Endógena	Que se origina en virtud de causas internas.
Enzima	Proteína que cataliza específicamente una reacción bioquímica del metabolismo.

Estandarización	Acción de ajustar algo a un patrón, modelo o punto de referencia para medir las cosas de la misma forma.
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
FDA	Administración de Medicamentos y Alimentos (<i>Food and Drug Administration</i>)
Fenol	Alcohol derivado del benceno, obtenido por destilación de los aceites de alquitrán, que se usa como antiséptico en medicina.
Inhibidor	Que suspende transitoriamente una función o actividad del organismo mediante la acción de un estímulo adecuado.
ISO	Organización Internacional de Normalización.
Muda	Acto de mudar la pluma o la piel ciertos animales.
Normalización	Acción de adaptar algo a una norma, una regla o un modelo común, para que pueda ser medido de la misma manera.
OMS	Organización Mundial de la Salud.

Oxidación	Acción y efecto de oxidar u oxidarse. Pérdida de electrones.
Proceso	Conjunto de las fases sucesivas de un fenómeno natural o de una operación artificial.
Quinona	Uno de los dos isómeros de la ciclohexanodiona o bien un derivado de los mismos. Su fórmula química es $C_6H_4O_2$. Alude a toda la clase de ciclohexanodionas.
RTCA	Reglamento Técnico Centroamericano.
Sulfito	Sal mineral u orgánica del ácido sulfuroso.
Sustrato	Sustancia sobre la que actúa una enzima.
Titulación	Acción y efecto de valorar una disolución.

RESUMEN

La investigación consistió en la normalización del proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio para control de melanosis.

Para esto, se llevó a cabo un diagnóstico del comportamiento del proceso, fundamentado en las concentraciones residuales de sulfitos obtenidas por medio de gráficos de control.

Una vez realizado el control estadístico del proceso, se inició con las modificaciones al procedimiento utilizado en las fincas de producción, con el fin de cuantificar a través del método iodométrico, la concentración residual de sulfitos en el camarón, y denotar la influencia que diversos parámetros causan en ella, siendo estos el tiempo de tratamiento, cantidad de metabisulfito de sodio sólido agregado, dureza y tamaño del camarón.

Asimismo, con base a los resultados se determinó un modelo matemático que permite predecir la cantidad de metabisulfito de sodio a usar según las condiciones de cosecha, y de esta forma se obtuvo mejorías en el procedimiento de tratamiento.

Los análisis químicos fueron realizados en el laboratorio de control de calidad de la planta procesadora, zona 12, Guatemala, a temperatura promedio de 20 grados centígrados.

OBJETIVOS

General

Normalizar el proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio para control de melanosis.

Específicos

1. Estudiar el proceso de tratamiento de camarón para prevención de melanosis, por medio del control estadístico de proceso.
2. Determinar la concentración de sulfitos presentes en el músculo del camarón crudo por medio del método iodométrico, tomando en cuenta el tiempo de tratamiento y el tamaño del camarón.
3. Evaluar la cantidad de metabisulfito de sodio a agregar, tomando en cuenta el tiempo de tratamiento y el tamaño del camarón.
4. Analizar los resultados para determinar el mejor procedimiento de tratamiento.
5. Establecer el efecto de la dureza en la concentración residual de sulfitos según el tratamiento realizado, basado en el porcentaje de aceptación para el mercado europeo.

6. Realizar un modelo matemático que permita predecir la cantidad de metabisulfito de sodio a usar según las condiciones de cosecha.

HIPÓTESIS

La normalización del proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio para la prevención de la melanosis, permite una concentración uniforme entre lotes y dentro de los límites establecidos del sulfito residual en el músculo de camarón, considerando el tiempo de tratamiento, porcentaje de dureza y tamaño del camarón.

Hipótesis alternativa:

La normalización del proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio para la prevención de la melanosis, no permite una concentración uniforme entre lotes y dentro de los límites establecidos del sulfito residual en el músculo de camarón, considerando el tiempo de tratamiento, porcentaje de dureza y tamaño del camarón.

INTRODUCCIÓN

Guatemala dispone de costas marinas en el Océano Pacífico y en el Atlántico. Especialmente el Océano Pacífico es rico en recursos camaroneros y peces. Los camarones constituyen el segundo producto en valor del sector hidrobiológico del país. El cultivo de camarón en Guatemala tiene una gran importancia a nivel comercial, sin embargo, el mercado internacional cada vez se vuelve más exigente, en cuanto a la calidad del producto el camarón con presencia de melanosis, manchas negras en cabeza y cola, es rechazado. Tampoco es aceptado cuando los “residuos de sulfitos son superiores a 100 mg/kg”³, ya que este aditivo en concentraciones superiores a los límites causa daños a la salud del ser humano.

Para mantener los altos niveles de sus productos la industria camaronera guatemalteca actualmente, utiliza en sus prácticas de producción la tecnología más avanzada y cumple con los estándares internacionales de inocuidad, medio ambiente y laborales. Sus operaciones abarcan la producción de semilla, las piscinas de cultivo, transporte, elaboración de alimentos y finalmente, las plantas de proceso de producto terminado y mercadeo. Como parte del compromiso de mantener la calidad de sus productos en esta industria se tiene un control de procesos estricto.

En el caso del camarón proveniente de Guatemala tiene una gran aceptación en el mercado europeo y este bastante bien cotizado. El tipo de camarón que Guatemala exporta a la UE es el Camarón Blanco o *Litopenaeus vannamei* primordialmente. Los principales mercados de exportación del Camarón en

Guatemala son: La Unión Europea (6,8 %); seguido por México (3 %), EEUU (2,7 %) y otros con el (2 %).”¹

El movimiento de las exportaciones de Guatemala ha sido bastante positivo pues está se incrementando no solamente en volumen sino también en valor. En base a las estadísticas publicadas por el Banco de Guatemala, al mes de abril de 2014, en estos primeros meses se observó un importante crecimiento en las exportaciones de 54 variedades de productos vendidos a la UE.

Entre los productos que crecieron se destacan las legumbres y hortalizas (26,2 %), frutas frescas (9,6 %), semillas de ajonjolí (16,25 %), banano (13,5 %), flores y follajes (10 %), camarón y langosta (56 %), muebles para el hogar (40 %), máquinas y aparatos para usos electrotécnicos y artículos de vestuario (55 %). Todos estos productos son beneficiados por las preferencias arancelarias en el marco del Acuerdo de Asociación.²

¹ ALVÁREZ HERRERA, Mario Roberto. *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis*. p. 400.

² *Ibíd.* p. 400.

1. ANTECEDENTES

El trabajo de Álvarez Herrera, sobre la evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis, es decir el pardeamiento enzimático en cabeza y cola, propone que:

“Al utilizar una metodología de inmersión controlada y tomando en cuenta el peso de los camarones estudiados, es posible obtener una conservación adecuada del camarón, evitando la aparición de melanosis y manteniendo los residuales de sulfitos en una tasa de concentración aceptable. Por medio de este estudio se comprueba que es posible normalizar el proceso de aplicación de metabisulfito de sodio”³.

La publicación de Carranza, Análisis de residuos de sulfitos en camarón entero, presenta diferentes métodos de determinación de sulfitos en camarones tratados con metabisulfito de sodio, entre los cuales se encuentran:

“El método iodométrico y el método de Monier-Williams haciendo una comparación entre ambos métodos precisando que los resultados más exactos fueron obtenidos con el método oficial Monier-Williams, sin embargo, no debe descartarse el uso del método iodométrico ya que este brinda información valiosa en un tiempo reducido. Por lo que la determinación de sulfitos mediante el método iodométrico es válida para el análisis de la concentración de estos en el camarón”⁴.

La investigación realizada por Flores, referente a la variación del residual de sulfito en el camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* almacenado en hielo plantea que:

³ ALVÁREZ HERRERA, Mario Roberto. *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis*. p. 400.

⁴ CARRANZA ESPINAL, Edgar Osiris. *Análisis de residuos de sulfitos en camarón entero*. <http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2202/1/T1448.pdf>. Consulta: 13 de agosto de 2014.

“El tiempo de tratamiento es un factor de vital importancia en el proceso de aplicación de metabisulfito de sodio ya que este afecta directamente a la cantidad de sulfitos presentes en el camarón, indica también que es de igual importancia la vigilancia de la concentración de sulfitos a través del tiempo de almacenamiento. Por lo que determinar el tiempo de inmersión⁵.

El trabajo de Álvarez Herrera, sobre la evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis, es decir:

“El pardeamiento enzimático en cabeza y cola, propone que al utilizar una metodología de inmersión controlada y tomando en cuenta el peso de los camarones estudiados, es posible obtener una conservación adecuada del camarón, evitando la aparición de melanosis y manteniendo los residuales de sulfitos en una tasa de concentración aceptable. Por medio de este estudio se comprueba que es posible normalizar el proceso de aplicación de metabisulfito de sodio⁶.

La publicación de Carranza, Análisis de residuos de sulfitos en camarón entero, presenta diferentes métodos de determinación de sulfitos en camarones tratados con metabisulfito de sodio, entre los cuales se encuentran:

“El método iodométrico y el método de Monier-Williams haciendo una comparación entre ambos métodos precisando que los resultados más exactos fueron obtenidos con el método oficial Monier-Williams, sin embargo no debe descartarse el uso del método iodométrico ya que este brinda información valiosa en un tiempo reducido. Por lo que la determinación de sulfitos mediante el método iodométrico es válida para el análisis de la concentración de estos en el camarón⁷.

La investigación realizada por Flores, referente a la variación del residual de sulfito en el camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* almacenado en hielo plantea que:

⁵ FLORES GUTIÉRREZ, E.R., ESPINO MARTÍNEZ, R., WONG WONG, C., PÉREZ LUIS, M. *Variación del residual de sulfito en el camarón de cultivo Litopenaeus vannamei almacenado en hielo*. <http://www.oceandocs.net/bitstream/1834/3448/1/pdf%20Flores.pdf>. Consulta: 14 de agosto de 2014.

⁶ ALVÁREZ HERRERA, Mario Roberto. Op. cit. p. 3.

⁷ CARRANZA ESPINAL, Edgar Osiris. Op. Cit.

“El tiempo de tratamiento es un factor de vital importancia en el proceso de aplicación de metabisulfito de sodio ya que este afecta directamente a la cantidad de sulfitos presentes en el camarón, indica también que es de igual importancia la vigilancia de la concentración de sulfitos a través del tiempo de almacenamiento. Por lo que determinar el tiempo de inmersión óptimo reviste gran importancia en el manejo post-cosecha, ya que el residual de sulfito puede dar una medida de la protección que presenta el camarón contra la aparición de la melanosis”⁸.

Mientras que el estudio realizado por Llerena Ramírez en 2011, acerca de la evaluación del proceso de absorción del sulfito de sodio en el músculo del camarón (*L. vannamei*) para el control de la melanosis, el aporte de Cruz Rodríguez en 2012, con respecto a la determinación de dosis adecuadas de metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) como preservante para camarón (*Litopenaeus vannamei*) de exportación.

La investigación de Astudillo Morán en 2013, sobre la evaluación de la melanosis del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* procesado en empacadora y sometido a congelación, proponen un estudio de la cinética de absorción de metabisulfito de sodio variando la temperatura de tratamiento, la concentración de la solución, el tiempo de inmersión y la talla del camarón, a fin de establecer investigativamente en que tiempos y a que concentración el camarón se preserva adecuadamente. En base los registros de estos trabajos es permisible determinar que dichas variables pueden ser relacionadas y establecidas mediante la determinación residual de sulfitos en el músculo del camarón

El cultivo de camarón comenzó en Guatemala en 1983, y no fue un camino fácil hacia el desarrollo actual de la industria, que se basa en la costa del Océano Pacífico y en el camarón blanco nativo del Pacífico (*Litopenaeus*

⁸ FLORES GUTIÉRREZ, E.R., ESPINO MARTÍNEZ, R., WONG WONG, C., PÉREZ LUIS, M. *Variación del residual de sulfito en el camarón de cultivo Litopenaeus vannamei almacenado en hielo*. <http://www.oceandocs.net/bitstream/1834/3448/1/pdf%20Flores.pdf>. Consulta: 14 de agosto de 2014.

vannamei). Además de los frecuentes terremotos, las erupciones volcánicas, las inundaciones y los problemas socioeconómicos que habitualmente afectan al país, los productores de camarones se vieron afectados con frecuencia por las principales enfermedades del camarón como el virus de la necrosis hipotérmica infecciosa y hematopoyética en 1990; el Virus del Síndrome de Taura (TSV) en 1994; la Hepatopancreatitis Necrotizante (NHP) en 1997; bacterias *Streptococcus* en 2008; y vibriosis desde 2014. La melanosis es considerada el principal problema en la industria del camarón entero, ya que reduce el valor comercial y la aceptación del producto, por lo que controlarla es de vital importancia en el proceso productivo del camarón.

El control organoléptico más importante para realizar en los camarones es la apariencia. De allí que la aparición de la melanosis o manchas negras sea uno de los aspectos con mayor relevancia de controlar, ya que el aspecto melanizado afecta severamente la aceptación de estos productos por los consumidores, es por esta razón que normalizar el proceso de control de la melanosis puede ser causante de evitar pérdidas económicas muy importantes.

2. MARCO TEÓRICO

Los camarones constituyen uno de los productos con mayor valor del sector hidrobiológico del país. Guatemala dispone de costas marinas en el Océano Pacífico y en el Atlántico, ricos en recursos camaroneros y peces.

2.1. Control de procesos

El control de los procesos es una parte fundamental en cualquier operación de ingeniería química. En todos los procesos se presenta la necesidad de mantener dentro de ciertos límites flujos, presiones, temperaturas, composiciones, entre otros, por razones de seguridad o bien por especificaciones. Lo más frecuente es que este tipo de control se realice midiendo la variable que se necesita controlar, se compara esta medida con el valor al que se desea mantener la variable controlada y se ajusta alguna variable adicional, que tiene un efecto directo sobre la variable controlada, hasta que se obtiene el valor deseado. Es importante mantener la variable controlada en base al control de procesos, a pesar de las perturbaciones. Es conveniente enumerar algunas de las razones por las cuales esto es importante, tal vez no sean las únicas, pero sí las más importantes:

- Mantener la calidad del producto (composición, pureza, color, entre otros) en un nivel continuo.
- Mantener la tasa de producción de la planta al costo mínimo.

2.1.1. Variable de control

Indican los puntos que deben ser medidos y controlados para garantizar la correcta operación del proceso. Ya que, en caso de no ser controlados afectan la calidad.

La importancia del control de los procesos químicos radica en el estudio de variables tales como: temperaturas, presiones, flujos y compuestos que por naturaleza son procesos dinámicos, en ellos siempre ocurren cambios y si no se emprenden las acciones pertinentes, las variables importantes del proceso, es decir, aquellas que se relacionan con la seguridad, la calidad del producto y los índices de producción, no cumplirán con las condiciones de diseño.

2.1.2. Variable terminal

Es la variable a observar como consecuencia del desempeño de un proceso que dependerá directamente de los puntos de control, normalmente son valores especificados en los requisitos indicados por la compañía.

2.2. Normalización del proceso

Para ofrecer un producto de alta calidad, sus especificaciones deben ser controladas a lo largo de todo el proceso, siguiendo un conjunto de actividades programadas para lograr una uniformidad del producto y un correcto funcionamiento de sus equipos. Esto se logra cumpliendo con procedimientos normalizados que permitan tener una guía o parámetro de comparación para determinar que el proceso se encuentra bajo control.

Ante las exigencias que presenta el mercado globalizado, la normalización de los procesos se vuelve una herramienta útil que genera una ventaja competitiva para muchas empresas. Por lo que es necesario homogenizar los procedimientos utilizados en cualquier proceso productivo ya que esto permite mantener la calidad y hacer un uso eficiente del tiempo.

Las especificaciones son patrones que seguir, es decir un conjunto de normas y recomendaciones. Un estándar, tal como lo define la ISO "son acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otros criterios precisos para ser usados consistentemente como reglas, guías o definiciones de características para asegurar que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan con su propósito. Por lo que al normalizar un proceso este debe cumplir con especificaciones técnicas y criterios definidos⁹.

Entre las ventajas de normalizar los procesos productivos se encuentran: facilitar la producción, mejorar la información, encontrar soluciones a problemas repetitivos, ahorro de tiempo, dinero y duplicación de esfuerzos.

La normalización de procesos en ingeniería química son las normas técnicas que se utilizarán como parámetro de evaluación de la calidad. Es decir que se utiliza para establecer los niveles mínimo y máximo deseados, o aceptables de calidad que debe tener el resultado de una acción, una actividad, un programa, o un proceso.

Las medidas de normalización de procesos alimenticios y de bebidas en la región centroamericana están establecidas en el Reglamento Técnico Centroamericano, Alimentos y Bebidas Procesadas. Aditivos Alimentarios, en el cual se determinan cuáles son los aditivos alimentarios y sus límites máximos permitidos en las distintas categorías de alimentos.

⁹ Organización Internacional de Normalización. *¿What is a standard?* <http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>. Consulta: 14 de agosto de 2014.

2.3. Control estadístico de proceso (CEP)

“La capacidad estadística permite saber cuándo se necesita realizar ajustes en el proceso para hacerlo más eficiente. Hay dos formas diferentes de diseño y análisis de sistemas de control que utilizan herramientas estadísticas”¹⁰.

- Control Estadístico de Proceso (CEP)
- Control adaptativo

El control estadístico de proceso es una herramienta estadística que se utiliza en el puesto de trabajo para conseguir el producto adecuado.

A pesar del correcto diseño y control de cualquier proceso productivo, siempre existirá una cierta variabilidad natural, que no se puede evitar. Esta variabilidad natural o ruido de fondo, es el efecto acumulado de muchas pequeñas causas de carácter incontrolable. Cuando el ruido de fondo es relativamente pequeño se considera aceptable el nivel de funcionamiento del proceso y se dice que la variabilidad natural es originada por un sistema estable de causas de azar. Un proceso sobre el que solo actúan causas de azar se dice que está bajo control estadístico.

Existen otras causas de variabilidad que pueden estar presentes y que actuarán sobre el proceso, la variabilidad producida por estas causas suele ser grande en comparación con el ruido de fondo y habitualmente sitúa al proceso en un nivel inaceptable de funcionamiento. Estas causas son llamadas

¹⁰ WALPOLE, R.; MYERS, R.; MYERS, S., YE, K. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 699.

asignables y se dice que un proceso funcionando bajo causas asignables está fuera de control.

Un objetivo fundamental del CEP es detectar rápidamente la presencia de causas asignables para emprender acciones correctoras que eviten la fabricación de productos defectuosos.

2.3.1. Gráficos de control

Los gráficos de control o cartas de control son una importante herramienta utilizada en control de calidad de procesos. Es un gráfico en el cual se representan los valores de algún tipo de medición realizada durante el funcionamiento de un proceso continuo, y que sirve para controlar dicho proceso.

Los gráficos de control constituyen el procedimiento básico del CEP con dicho procedimiento se pretende cubrir tres objetivos:

- Seguimiento y vigilancia del proceso
- Reducción de la variación
- Menos costo por unidad

El objetivo básico de un gráfico de control es detectar, de la forma más rápida posible, cambios en el proceso.

2.3.2. Capacidad de proceso

La Capacidad de un proceso es la aptitud para generar un producto que cumpla con determinadas especificaciones. Los límites de tolerancia natural del proceso deben encontrarse dentro de los límites de especificación del producto. De esta manera se puede asegurar que toda la producción cumplirá con las especificaciones. Para analizar la capacidad del proceso se puede utilizar un histograma de frecuencias.

Los límites de tolerancia natural no pueden fijarse voluntariamente, dependen del proceso y de las variables no controlables del mismo. “Generalmente se toma un rango para la fluctuación natural de tres sigmas”¹. Los límites de especificación de un producto son fijados voluntariamente por el cliente, por el fabricante o por alguna norma.

2.4. El camarón

El camarón es un crustáceo decápodo del suborden Natantia, comúnmente llamados penidos. Tradicionalmente, los términos camarón y langostino se usan indistintamente para diferentes especies en diferentes partes del mundo. La convención de FAO es denominar a las formas marinas y de aguas salobres camarones y a las formas de agua dulce langostinos¹¹.

2.4.1. Biología

“Existen diferentes especies, de ellas, el camarón blanco *Litopenaeus vannamei* es también conocido como *Penaeus vannamei*. La clasificación biológica de este crustáceo será como sigue”¹².

¹¹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Glosario de acuicultura*. WWW.FAO.ORG. Consulta: 14 de agosto de 2014.

¹² PÉREZ-FARFANTE, i.; KENSLEY, b. f. *penaeoid and sergestoid shrimps and prawns of the world. keys and diagnoses for the families and genera*. p. 235.

- *Phylum: Arthropoda*
- Clase: *Malacostraca*
- Orden: *Decapoda*
- Suborden: *Dendobranchiata*
- Superfamilia: *Penaeoidea*
- Familia: *Penaeidae*
- Género: *Litopenaeus*
- Especie: *vannamei*

Figura 1. **Camarón (*Litopenaeus vannamei*)**



Fuente: GUEVARA, Roy. *Litopenaeus vannamei*.

<http://www.sealacthonduras.com/index.php/shrimp-tail/>. Consulta: 29 de septiembre de 2015.

Este crustáceo se caracteriza por presentar coloración blanca con puntos marrón en todo el cuerpo, dos antenas y porción terminal conocida como telson con

cuatro urópodos de color rojizo siendo más intensa la coloración en los machos. El camarón se divide en dos regiones principales: cefalotórax, conocido también como cabeza, y abdomen, denominada también cola, esta última es la porción que se consume¹³.

2.4.2. Proceso industrial del camarón

Una vez que los camarones cuentan con el peso adecuado son cosechados en las fincas de producción localizadas en la costa sur de Guatemala, y como primer paso del tratamiento post-cosecha, antes del transporte a la planta de proceso ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala, se emplea un agente antioxidante, metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), para evitar, reducir o al menos retardar la melanosis, un fenómeno común que puede ser observado en frutas y vegetales, así como en los mariscos.

Como resultado de los procesos enzimáticos, el quebrantamiento de los animales causa el oscurecimiento del músculo del camarón de forma rápida por la secreción de tirosinasa, también llamada polifenol oxidasa. Esta enzima es muy importante para ciertas funciones fisiológicas de los crustáceos, tales como el endurecimiento del caparazón después de la muda o en la curación de heridas¹⁴.

Esta enzima endógena cataliza los pasos iniciales de la formación de la mancha negra y permanece activa durante todo el proceso post-cosecha, a menos que el camarón sea sometido a cocción o congelación. En este último caso, la enzima puede reanudar su actividad en caso de que ocurra la descongelación¹⁵.

Para evitar la aparición de melanosis después de la cosecha se agrega metabisulfito de sodio en recipientes aislados, donde viene el camarón con hielo y agua, se pone a recircular determinado tiempo para su posterior transporte a planta, el tratamiento es continuo hasta que es procesado en la planta.

¹³ CARRILLO, O.; VEGAS, F. *El dicamarón. diccionario de camaronicultura*. p. 304.

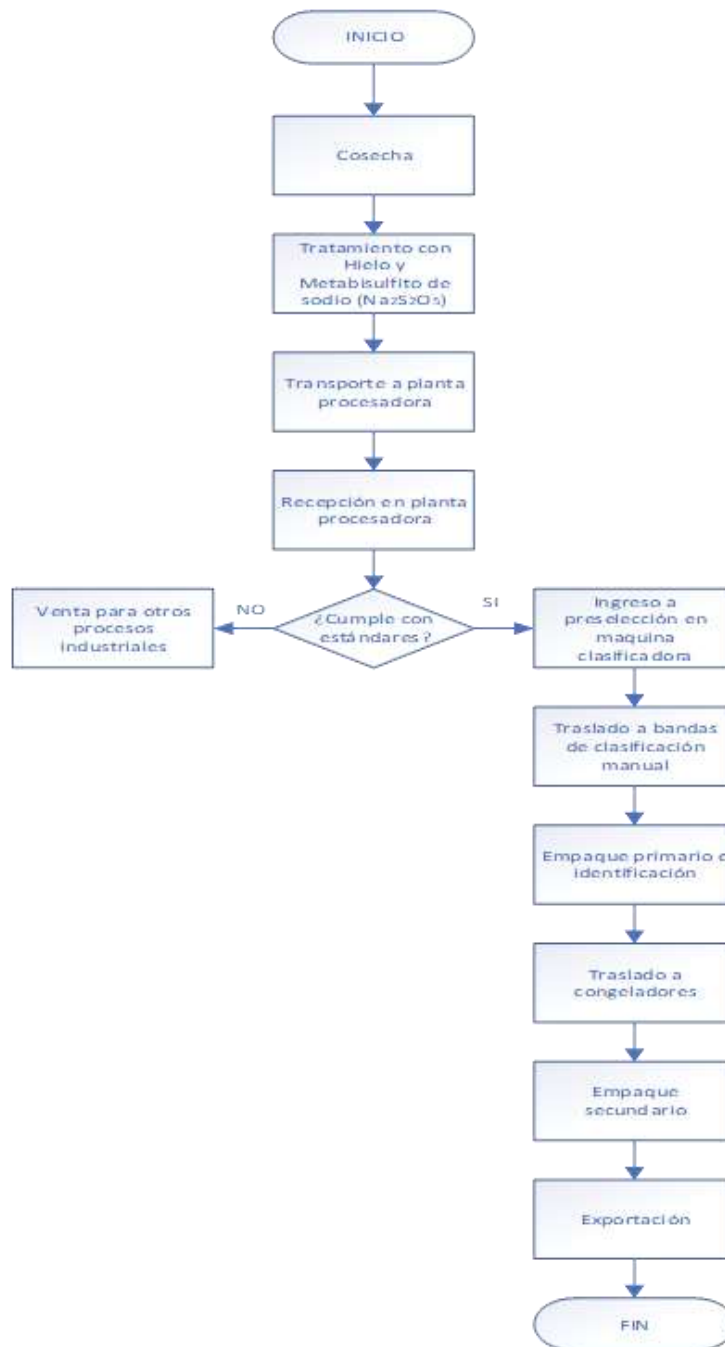
¹⁴ LUCIEN-BRUN, H. *melanosis y metabisulfito de sodio*. p. 30.

¹⁵ MCEVILY, A. J., IYENGAR, R.; OTWEL., *Sulphite alternative prevents shrimp melanosis*. p. 80.

El camarón es recibido en la planta de los vehículos en que es transportado desde las fincas camaroneras; fresco con cabeza y enhielado en recipientes plásticos, es inspeccionado por el personal de calidad para comprobar que cumpla con los requisitos de producción. Luego es preseleccionado por una maquina clasificadora, el camarón luego de pasar por los rodillos clasificadores cae por las bandas de las líneas de clasificación, donde hay personal encargado de separar el producto que no corresponda con la calidad requerida.

El producto es llevado a las mesas de empaque y pesado, donde se procede a verificar la clasificación y pesos correctos, además de rotular las cajas según su talla, peso, importador, entre otros. Tras el proceso de empaque es dirigido a los congeladores para su conservación. Para su comercialización es reenvasado en un empaque secundario (máster) que es la caja exterior que contiene el empaque primario.

Figura 2. Diagrama de flujo del proceso productivo de camarón para exportación



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2020.

2.5. Melanosis

El camarón es uno de los crustáceos que se ve afectado por la oxidación, formándose manchas negras en su cabeza y cola.

Este fenómeno conocido también como melanosis se debe a la enzima fenoloxidasa, la cual también se conoce con el nombre de tirosinasa, polifenoloxidasa, catecolasa y cresolasa. La fenoloxidasa es la enzima responsable de la melanización observada en crustáceos. Esta última es responsable de la oxidación de fenoles en quinonas los cuales se polimerizan en melanina¹⁶.

Figura 3. Grados de melanosis en camarón



Fuente: DIAZ RENGIFO, Pilar Mariana. *Utilización del metabisulfito de sodio como preservante en las camaronerías*. p.10.

¹⁶ SÖDERHÅLL, K. Y L. CERENIUS. Crustacean immunity. Ann rev of fish diseases. www.revistaaquatic.com. Consulta: 14 de agosto de 2014.

Los elementos relacionados en el proceso de melanosis son:

- La enzima *polifenol oxidasa* (tirosinasa), cuya acción es inhibida con un valor de pH igual a 3, pero este grado de acidez desnaturaliza la carne de los camarones.
- El oxígeno, el cual actúa directamente en todas las reacciones de oxidación. Es en este nivel que puede actuar un antioxidante.
- La presencia de uno o más sustratos adecuados como la tirosina.
- La influencia de varios factores externos, bióticos y abióticos, tales como el estado de muda, la especie, la temperatura, si tienen heridas, entre otros. A baja temperatura se hace lenta la reacción enzimática, pero no se detiene. De cualquier manera, este es uno de los motivos por los cuales el pronto enfriamiento en los camarones después de la cosecha es de vital importancia¹⁷.

La utilización de los agentes sulfitantes (E220 a E228) inició en la década de los 50 y por años ha sido el método más empleado a nivel mundial. Son usados para inhibir la formación de las manchas negras, pero en la actualidad, existen regulaciones relativas a la cantidad de sulfito residual permisible en la carne del camarón¹⁸.

2.5.1. Inhibidores

Los agentes inhibidores, utilizados en la prevención de melanosis, pueden clasificarse por su forma de actuar en seis tipos, los cuales son:

- Agentes reductores

¹⁷ LUCIEN-BRUN, H. Op. cit. p. 34.

¹⁸ MONTERO, P.; ET AL. *The effects of inhibitor and high pressure treatment to prevent melanosis and microbial growth on chilled prawns (penaeus japonicus)*. p. 1201.

- Agentes queladores
- Inhibidores enzimáticos
- Acidulantes
- Agentes complejantes
- Tratamientos enzimáticos

La cantidad de inhibidores del oscurecimiento que son aceptados con relación a la seguridad de la salud de los seres humanos y a su costo para emplearse como sustituto de los sulfitos, es muy reducida. Estos compuestos que controlan el ennegrecimiento enzimático no deben alterar el sabor del producto, su textura y color.

Para que un producto pueda ser utilizado para prevenir la melanosis debe contar con las siguientes características: que “inhiban o compitan con la *Poly-Phenol-Oxidase (PPO)*, reduzcan las quinonas a difenoles, reduzcan el Cu^{2+} a Cu^+ , interaccionen en la formación de quinonas y disminuyan la absorción de oxígeno.”¹⁹

Entre los inhibidores de la melanosis, se tienen a los: “sulfitos y 4-hexilresorcinol solos o en combinación con otros productos químicos compuestos, han sido intensamente estudiados.”²⁰

¹⁹ GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, M. P. *Polyphenol uses in seafood conservation*. p. 595.

²⁰ *Ibíd.* p. 595.

2.5.2. Técnicas de prevención de melanosis

Para prevenir el efecto de melanosis se utilizan distintos antioxidantes, los cuales son indispensables para mantener calidad de los productos sin embargo su uso debe ser controlado. Algunas sustancias conservadoras son eficaces únicamente para algunos tipos de alimentos y en todos los casos, la concentración del aditivo deberá ser regulada estrictamente. Cada país cuenta con leyes diferentes sobre alimentos por lo que antes de utilizar cualquier tipo de aditivo debe ser asesorado tanto si el producto se destina al consumo interno como a la exportación.

2.5.2.1. Conservación química del camarón

Para prevenir melanosis en el camarón se han investigado gran cantidad de conservantes químicos los cuales trabajan principalmente en la inhibición de la enzima polifenoloxidasas, basan su acción en la eliminación de sus sustratos (oxígeno y fenoles) o bien funcionan como un sustrato preferido. Uno de los compuestos más usados ha sido el metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$).

El tratamiento de los camarones con metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) debe ser iniciado antes de que los mecanismos post-mortem permitan la aparición de la melanosis.

Cuando estos mecanismos empiezan, sólo se pueden retrasar con frío, y si esto ocurre el riesgo es alto, pues a la hora de descongelar el producto habrá un espectacular pico de melanosis, lo cual puede tener horribles consecuencias comerciales. En función del tamaño de los camarones, la concentración empleada de metabisulfito de sodio puede variar entre 6 y 15 %²¹.

²¹ GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, M. P. *Polyphenol uses in seafood conservation*. p. 34.

A pesar del tratamiento químico aplicado en la etapa correcta del proceso post-cosecha, el tiempo de almacenamiento también es un factor importante a tomar en cuenta ya que este afecta la tasa de metabisulfito de sodio residual en los tejidos del camarón:

Disminuyendo he incluso permitiendo que los mecanismos inicien nuevamente cuando esta se vuelve insuficiente. Por lo que es necesario aplicar un tratamiento lo suficientemente fuerte para producir un efecto duradero, pero sin que las tasas máximas del residual de sulfitos en la carne del camarón sobrepasen a las autorizadas. Dichas tasas son precisas, pero cambian de un mercado a otro²².

Tabla I. Reglamentación de la Comunidad Económica Europea que Definen la Máxima Concentración Autorizada de Sulfitos en Crustáceos Expresados en mg/kg

Presentación /tipo/ralla	Máximo nivel expresado en sulfito (mg/kg)
Camarón crudo congelado	
Hasta 80 unidades por kg	150
Entre 80 a 120 unidades por kg	200
Sobre las 120 unidades por kg	300
Camarón cocido de todas las tallas	50

Fuente: EUROPEAN PARLIAMENT AND COUNCIL DIRECTIVE No 95/2/EC. *On food additives other than colours and sweeteners*. p. 5.

2.5.3. Conservación a bajas temperaturas

Una práctica común en la conservación de alimentos es mantenerlos a bajas temperaturas ya que esto causa una disminución en la velocidad de descomposición de estos. Los pescados y crustáceos son organismos más

²² FINNE, G., y otros. *Effect of treatment, ice storage and freezing on residual sulfite in shrimp*. p. 231.

sensibles a los cambios térmicos debido a que no poseen termorregulación corporal y están adaptados a las bajas temperaturas del agua de mar. Este factor es determinante ya que hace que se requieran temperaturas más bajas para su conservación en comparación con las que necesitan otros alimentos de origen animal.

Debido a la veloz descomposición que sufre el camarón, es necesario implementar un enfriamiento rápido hasta temperaturas cercanas a 0°C y ser procesados en un ambiente inocuo, antes de ser congelados:

En cualquier caso se hace importante estudiar el comportamiento de los camarones durante su almacenamiento congelado pues ha sido reportado que se puede producir un 20,5 % de reducción de residuos de sulfitos a lo largo de seis semanas de almacenamiento en los camarones tratados según el peso²³.

Otros autores han reportado que durante la congelación y un breve período de almacenamiento congelado, hubo una pérdida promedio de un 17 % en el residual de sulfito en camarones, donde el sulfito residual en la porción comestible varió desde 92,7 hasta 60,9 mg/kg, siendo el promedio 80,2 mg/kg.

Por otro lado, existen otros defectos comúnmente observados durante el almacenamiento a bajas temperaturas, entre los cuales se encuentran la melanosis, la hepatopáncreas roja y el semi descabezado²⁴.

2.6. Metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅)

El metabisulfito de sodio se utiliza actualmente para prevenir la melanosis o las manchas negras en camarones y otros crustáceos. Este compuesto forma parte del grupo de aditivos llamados sulfitos, los cuales previenen reacciones químicas causadas por enzimas conocidas como *polifenoloxidasas* (PFO), que están implicadas en el proceso natural de muda de la cáscara de los crustáceos. Son polvos y cristales con una alta solubilidad en agua por lo que se aplican con facilidad en un gran número de alimentos²⁵.

²³ GÓMEZ-GUILLÉN, M. C.; MONTERO, M. P. *Polyphenol uses in seafood conservation*. p. 34.

²⁴ FINNE, G. *Effect of treatment, ice storage and freezing on residual sulfite in shrimp*. p. 231.

²⁵ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Ficha técnica de metabisulfito de sodio*. www.fao.org. Consulta: 14 de agosto de 2014.

Los sulfitos y el dióxido de azufre (SO₂) son compuestos que tiene una gama muy amplia de funciones y son muy comunes en el procesamiento de los alimentos; entre sus atribuciones sobresalen el evitar las reacciones de oscurecimiento enzimático pues su poder reductor inhibe la síntesis de quinonas además de que pueden tener una acción inhibitoria sobre la propia enzima también ejercen una acción antimicrobiana definida sobre diversos hongos, levaduras y bacterias²⁶.

2.7. Determinación de sulfitos en camarón

Las normas internacionales y organismos como la FDA (Food and Drug Administration) permiten un máximo de 100 ppm de SO₂ en el producto terminado. Debido a esto se hace necesario precisar los métodos de determinación del dióxido de azufre (SO₂).

Existen diferentes métodos para determinar la concentración de sulfitos, entre los más importantes utilizados en la industria de alimentos, se encuentran: el método Iodométrico que tiene la ventaja de ser rápido, pero no es tan exacto, sirve para mantener la concentración adecuada durante el proceso. El método modificado de Monier Williams es más exacto y es el aceptado a nivel internacional, pero tiene la desventaja de ser muy lento. El método de destilación Kjeldahl, permite analizar una o más muestras al mismo tiempo dependiendo de la capacidad del equipo, es más económico en relación con el de Monier Williams, pero es medianamente preciso.

2.7.1. Método Iodométrico

Las concentraciones de sulfitos en el tejido del camarón son determinadas a través de métodos estándares de laboratorio, uno de ellos es el método iodométrico. El cual consiste en la titulación de una muestra de camarón macerada.

²⁶ FENNEMA, O.R. *Food Chemistry*. p. 47.

2.7.1.1. Técnica

La técnica que se emplea consiste básicamente en una destilación en medio ácido, para su posterior valoración por medio de una titulación iodométrica del dióxido de azufre (SO₂) generado.

2.7.1.2. Fundamento

El bisulfito disuelto en el agua de la alícuota tomada es oxidada a SO₂ al entrar en contacto con el ácido clorhídrico (HCl), el SO₂ reductor durante la titulación reacciona con la potente acción oxidante del iodo hasta neutralización y el exceso reacciona con la solución de almidón formando un complejo color azul fácilmente identificable para determinar el punto final de la reacción.

2.7.1.3. Cálculo

$$ppm SO_2 = \frac{1\ 600 \times ml\ de\ yodo\ gastados}{peso\ de\ la\ muestra\ en\ gramos}$$

Donde:

ppm SO₂ = concentración de dióxido de azufre en partes por millón o mg/kg

2.7.1.4. Ventajas y desventajas del método

Entre las ventajas se encuentra que es el más rápido y sencillo de todos, no requiere mayor preparación de muestra y equipo. Es más económico en relación a los métodos de Monier Williams y Kjeldahl. Como desventajas se tiene que “es el más inexacto, ya que los resultados varían mucho²⁷.”

²⁷ ALVÁREZ HERRERA, Mario Roberto. Op. Cit. p. 402.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

Para normalizar el proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio para control de melanosis, se realizó un análisis gráfico de medidas del residual de sulfitos durante el tiempo establecido del estudio.

3.1. Variables

Como resultado de la investigación, recopilación y estudio de la información presente en libros y en artículos científicos sobre los factores que influyen en el proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio, se determinaron las variables independientes que fueron medidas para determinar su efecto sobre las variables dependientes o de respuesta.

Tabla II. **Definición operacional y descripción de las variables independientes**

N.º	Variable	Dimensional	Descripción
1	Cantidad de Metabisulfito de sodio agregado	kg	Masa de metabisulfito de sodio utilizada para el tratamiento
2	Tiempo de tratamiento	h	Tiempo de contacto del metabisulfito de sodio con el camarón
3	Tamaño del camarón	kg	Masa promedio individual del camarón analizado
4	Porcentaje de dureza	%	Porcentaje de camarón suficientemente duro para aceptación en mercado europeo

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla III. **Definición operacional y descripción de las variables dependientes**

N.º	Variable	Dimensional	Descripción
1	Concentración residual de sulfitos en el músculo del camarón	ppm	Cantidad de sulfitos presentes en el camarón al finalizar el tratamiento

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

3.2. Delimitación de campo de estudio

Es fijar los límites específicos del campo, área, línea y sector industrial de los cuales forma parte la investigación, así como el lugar, espacio físico o ambiente geográfico en donde se ejecuta dicho proyecto.

- Campo: ingeniería química.
- Área: procesos químicos industriales.
- Línea: control de procesos.
- Industria: tecnología de los alimentos.
- Proceso: estudio y estandarización del tratamiento de camarón (*Litopenaeus vannamei*) con metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) para prevención de melanosis.
- Ubicación: el camarón (*Litopenaeus vannamei*) se obtendrá de tres fincas de cultivo ubicadas en la Costa del Pacífico de Guatemala, Centro

América. Los análisis químicos serán realizados en el Laboratorio de Control de Calidad de una planta procesadora ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

- Clima: templado, con una temperatura promedio anual máxima de 25,9 grados Celsius, mínima de 15,4 grados Celsius, y media de 20,5 grados Celsius, con presión atmosférica media de 85,49 kilo-Pascales durante el 2013, según el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

3.3. Recursos humanos disponibles

Es el conjunto de personas que contribuirá al desarrollo de la investigación, aportando su desempeño y conocimientos, desde la preparación hasta la presentación del informe final.

- Investigador: Br. Fabiola Alejandra Estrada Leal
- Asesor: Ing. Qco. Miguel Lemus Gudiel
- Co-asesor: Ing. Qco. Miguel Figueroa Sanabria

3.4. Recursos materiales disponibles

Es el conjunto de todos aquellos recursos tangibles y de consumo que serán utilizados en el desarrollo de la investigación, tales como materias primas, reactivos, insumos, cristalería y equipo.

- Materia prima

- Camarón (*Litopenaeus vannamei*)
- Metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)
- Reactivos
 - Ácido clorhídrico (HCl) concentrado p.a.
 - Disolución de almidón al 10 %
 - Disolución de yodo 0,05 N
 - Yoduro potásico (KI)
 - Agua desmineralizada para uso industrial
- Equipo de medición
 - Másico
 - Balanza analítica
 - Volumétrico
 - Probeta – 100 ml
 - Probeta – 25 ml
 - Bureta – 25 ml

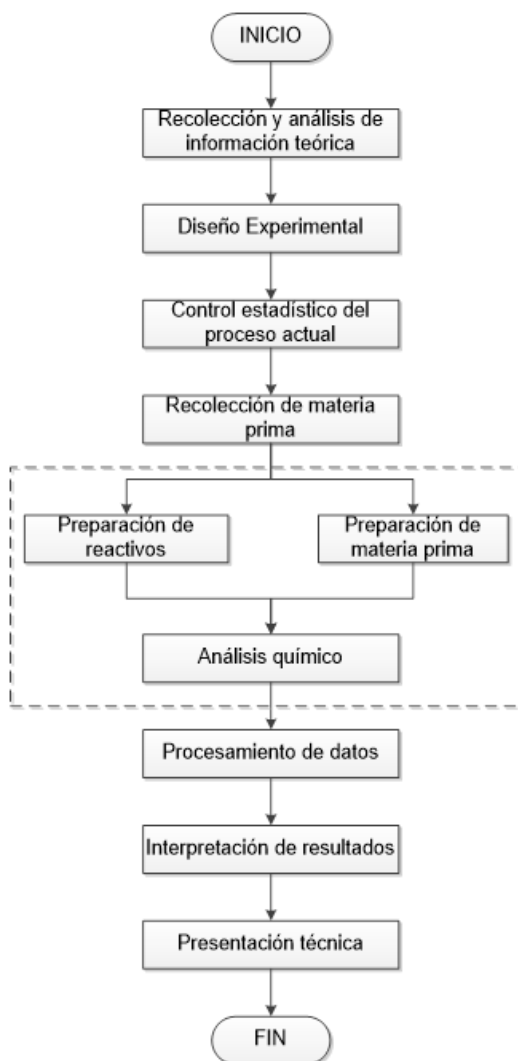
- Balón aforado – 1 000 ml
- Equipo auxiliar
 - Vidrio
 - Ampolla de decantación
 - Cabezal de Claisen
 - Balón de destilación – 1 000 ml
 - Tubo en U
 - Condensador de serpentín
 - Beaker – 200 ml
 - Metálico
 - Soporte universal
 - Pinzas de sujeción
 - Espátula de laboratorio de acero inoxidable
 - Tela de asbesto
 - Anillo

- Plástico
 - Mangueras
 - Colador
- Equipo térmico
 - Mechero de Bunsen
- Consumibles
 - Guantes descartables de látex
 - Hielo
 - Mascarilla
 - Papel absorbente en rollo para secado y limpieza

3.5. Técnica cuantitativa

Debido a la naturaleza del objeto de estudio, la investigación se desarrollará a través de técnicas cuantitativas con base en las variables descritas, para su posterior interpretación.

Figura 4. **Esquema global para la técnica cuantitativa**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Visio 2020.

3.6. **Recolección y ordenamiento de la información**

Define los métodos de experimentación a través de los cuales se realizará la recopilación y el ordenamiento de los datos, es decir los métodos necesarios para llevar a cabo el estudio.

3.6.1. Control estadístico del proceso actual

- Recolectar los datos de residual de sulfitos presentes en camarón de los meses anteriores al estudio.
- Construir gráficos de control que permitan analizar la fluctuación natural del proceso.

3.6.2. Preparación de reactivos

Define los métodos de elaboración de los reactivos, a través de los cuales se realiza el análisis de las muestras de camarón para la determinación de la concentración de sulfitos residuales.

3.6.2.1. Disolución de yodo 0,05 N

- Disolver 20 g de yoduro de potasio (KI) en 100 ml de agua destilada.
- Pesar 6,35 g de yodo y agregar a la disolución.
- Trasladar la disolución con el yodo disuelto a un balón aforado de 1 000 ml.
- Enrasar a un litro con agua destilada.

3.6.2.2. Disolución de almidón al 10 %

- Pesar 10 g de almidón

- Disolver el almidón en 100 ml de agua destilada

3.6.3. Preparación de materia prima

Los camarones son cosechados y como primer paso del tratamiento post-cosecha, antes del transporte a la planta procesadora, se emplean agentes antioxidantes como el metabisulfito de sodio para evitar, reducir o al menos retardar la melanosis.

3.6.3.1. Obtención

El camarón se obtendrá de las fincas de producción localizadas en la costa sur de Guatemala, para su posterior análisis en el laboratorio de control de calidad de la planta de proceso ubicada en la zona 12 de la ciudad de Guatemala.

3.6.3.2. Acondicionamiento

- Tomar una muestra de análisis de las mesas de proceso
- Retirar la cabeza y piel del camarón
- Pesar 50 g de muestra y cortar en trozos pequeños
- Introducir el camarón en un balón de destilación de 1 000 ml y añadir 200 ml de agua desmineralizada

3.6.4. Análisis químico

La técnica que se emplea consiste básicamente en una destilación en medio ácido y posterior valoración iodométrica del dióxido de azufre (SO₂) generado.

3.6.4.1. Determinación de dióxido de azufre (SO₂)

- Conectar el matraz que contiene la muestra de análisis con el cabezal de Claisen para evitar proyecciones de líquido, a su vez unir con la ampolla de decantación y ensamblar por medio de un tubo en U con el condensador.
- Agregar 20 ml de ácido clorhídrico concentrado en el embudo de decantación.
- Añadir en un *beaker* 5 ml de disolución de almidón y 50 ml de agua, y sumergir en la disolución el extremo del condensador.
- Llenar la bureta con la disolución de yodo 0,05N.
- Una vez preparado el sistema vaciar el ácido del embudo y cerrarlo.
- Encender el mechero para provocar una ebullición rápida.
- Iniciada la ebullición dejar caer gota a gota la disolución de yodo en el *beaker*, hasta que la disolución de almidón se torne a una coloración lila.
- Terminar la valoración cuando el color lila se mantenga constante durante un minuto.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Para reunir la información, e interpretar correctamente el objeto de investigación, es necesario tabular, ordenar y procesar los datos. Dicha información será clasificada por medio de los formularios representados en las tablas IV a V.

Asimismo, se utilizará equipo de cómputo, de manera concreta el programa Microsoft Excel 2016, para procesar los datos obtenidos en forma más confiable y en un menor tiempo.

Tabla IV. **Formulario para tabulación y el ordenamiento de la concentración residual de sulfitos en el músculo del camarón**

N.º Bin	Tamaño de camarón (kg)	Cantidad agregada de metabisulfito de sodio (Na ₂ S ₂ O ₅) (kg)			
		1,361	1,587	1,814	2,041
		Residual de sulfitos (ppm)			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla V. **Formulario para tabulación y el ordenamiento del tiempo de contacto del camarón con el metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅)**

N.º Bin	Fecha de cierre	Hora de cierre	Fecha de proceso	Hora de proceso	Tiempo de tratamiento (h)

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

3.8. Análisis estadístico

El análisis de los resultados se lleva a cabo por medio de la prueba de regresión múltiple, la cual describe la correlación entre las variables evaluadas.

3.8.1. Análisis de regresión múltiple

En ocasiones la información brindada por una variable independiente no es suficiente para explicar el comportamiento completo de un fenómeno. Cuando se usa más de una variable independiente para predecir los valores de una variable dependiente, el proceso se llama análisis de regresión múltiple, incluye el uso de ecuaciones lineales y no lineales.

3.8.2. Regresión múltiple lineal

La ecuación lineal tiene la forma $\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_mx_m$. Es posible encontrar los valores de $b_0, b_1, b_2 \dots b_m$ usando el método de mínimos cuadrados, al igual que en el método de regresión lineal simple. El método requiere resolver ecuaciones lineales, conocidas como ecuaciones normales, son:

$$\begin{aligned}\sum y &= nb_0 + b_1(\sum x_1) + b_2(\sum x_2) + \dots + b_m(\sum x_m) \\ \sum x_1y &= b_0(\sum x_1) + b_1(\sum x_1^2) + b_2(\sum x_1x_2) + \dots + b_m(\sum x_1x_m) \\ \sum x_my &= b_0(\sum x_m) + b_1(\sum x_1x_m) + b_2(\sum x_2x_m) + \dots + b_m(\sum x_m^2)\end{aligned}$$

Donde:

n = número de grupos de elementos de la muestra.

m = número de variables independientes.

$b_0, b_1, b_2 \dots b_m$ = parámetros a estimar.

$p = m + 1$ = número de parámetros.

3.8.3. Suma de cuadrados

La suma total de cuadrados SST se descompone en dos componentes: suma de cuadrados para la regresión, y suma de cuadrados del error.

La suma de cuadrados para la regresión es aquella parte de la suma total de cuadrados que se atribuye a las variables independientes. Mientras que la suma de cuadrados del error es aquella porción de la suma de cuadrados total y que no se debe a las variables independientes, por ello se llama suma de cuadrados del error.

$$SST = SSR + SSE$$

$$SST = \sum (y - \bar{y})^2$$

$$SSE = \sum (y - \hat{y})^2$$

$$SSR = SST - SSE$$

Donde:

SST = suma total de cuadrados

SSR = suma de cuadrados para la regresión

SSE = suma de cuadrados del error

3.8.4. Grados de libertad para la regresión

$$gl_T = gl_R + gl_E$$

$$gl_T = n - 1$$

$$gl_R = k$$

$$gl_E = n - (k + 1)$$

Donde:

k = número de variables independientes

3.8.5. Cálculo de cuadrados medios

$$MSR = \frac{SSR}{gl_R}$$

$$MSE = \frac{SSE}{gl_E}$$

Donde:

MSR= Cuadrado medio de la regresión

MSE= Cuadrado medio del error.

3.8.6. Prueba de hipótesis

Para determinar si el modelo lineal describe adecuadamente los datos, se usa la prueba F. El valor del estadístico F se encuentra dividiendo MSR entre MSE. Se busca el valor crítico para $F_\alpha(1, n - 2)$

$$F = \frac{MSR}{MSE}$$

En la prueba F se considera la razón de las dos varianzas muestrales, es decir, la razón de los cuadrados de las desviaciones estándar. Si la hipótesis nula es verdadera, entonces la razón de varianzas debe estar próxima a 1.

Las diferencias respecto de 1 se deben a variaciones aleatorias, pero si las diferencias son demasiado grandes no se pueden atribuir a esta causa. Si el valor calculado de F excede un cierto valor crítico (ver anexo 1), entonces se rechaza la hipótesis nula. Este valor crítico depende del tamaño de las dos muestras, del nivel de significación y del tipo de contraste realizado.

3.8.7. Coeficiente de determinación múltiple

Representa la proporción de la variación total de y que es explicada por las variables involucradas en la ecuación de regresión múltiple; se puede calcular a partir de la ecuación¹:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST}$$

Donde:

R^2 = coeficiente de determinación

3.8.8. Regresión no lineal múltiple

La forma general de una ecuación de regresión no lineal múltiple es:

$$y = b_0 x_1^{b_1} x_2^{b_2} x_3^{b_3} \dots$$

Esta expresión se puede transformar en una ecuación de regresión lineal múltiple utilizando logaritmo natural en ambos lados de la igualdad, para luego sustituir los logaritmos por nuevas incógnitas.

$$\ln y = \ln b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + b_3 \ln x_3 \dots$$

$$z = b_0' + b_1 w_1 + b_2 w_2 + b_3 w_3 \dots$$

3.8.9. Regresión polinomial

“La ecuación polinomial de grado m es: $y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + b_3 x^3 \dots$ para el ajuste de los pares de valores, se puede utilizar la metodología descrita para el caso de la ecuación lineal múltiple, siendo las ecuaciones normales.”²⁸

$$\sum y = nb_0 + b_1(\sum x) + b_2(\sum x^2) + b_3(\sum x^3) + \dots + b_m x^m$$

$$\sum xy = b_0(\sum x) + b_1(\sum x^2) + b_2(\sum x^3) + b_3(\sum x^4) + \dots + b_m x^{m+1}$$

$$\sum x^2 y = b_0(\sum x^2) + b_1(\sum x^3) + b_2(\sum x^4) + b_3(\sum x^5) + \dots + b_m x^{m+2}$$

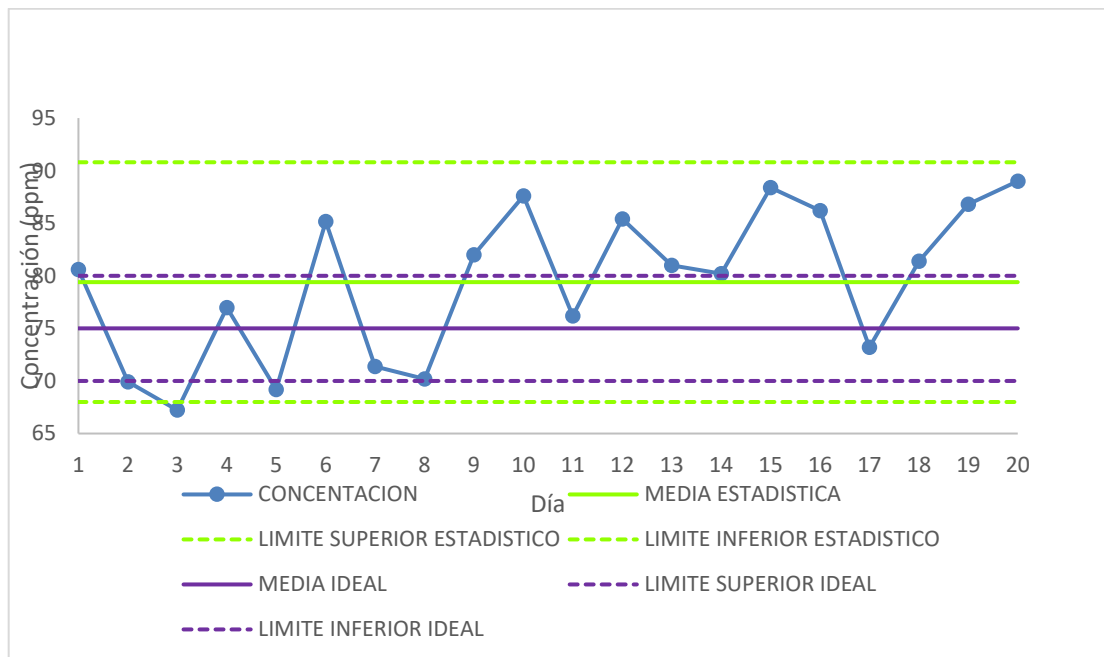
$$\sum x^m y = b_0(\sum x^m) + b_1(\sum x^{m+1}) + b_2(\sum x^{m+2}) + b_3(\sum x^{m+3}) + \dots + b_m x^{2m}$$

²⁸ VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología estadística*. p. 281-294.

4. RESULTADOS

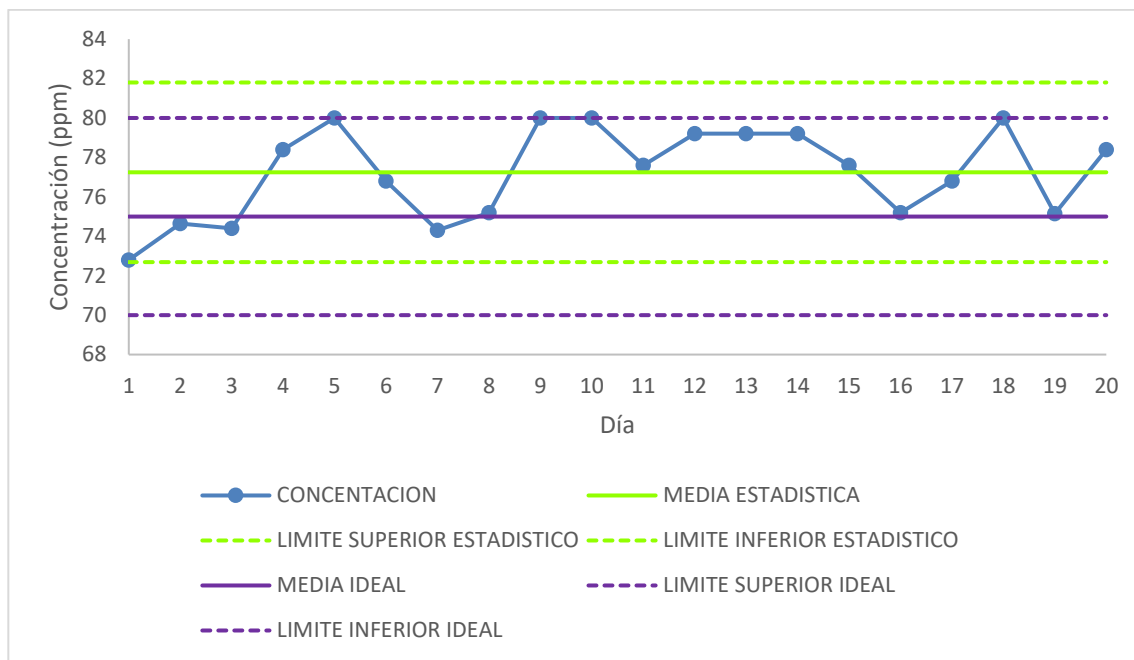
La normalización del proceso se lleva a cabo por medio del análisis de gráficos de control y la determinación de modelos matemáticos, para la evaluación de la influencia de las variables estudiadas en la concentración de sulfitos residuales, a través de regresiones múltiples.

Figura 5. **Gráfico de control estadístico del proceso previo al estudio**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016

Figura 6. **Gráfico de control estadístico del proceso durante el estudio**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016

Tabla VI. **Mejores tratamientos evaluados**

Cantidad MBS Agregada (kg)	Tamaño del camarón (kg)	Tiempo de tratamiento (h)
1,587	0,0110	13,5
1,814	0,0120	13
2,041	0,0125	12

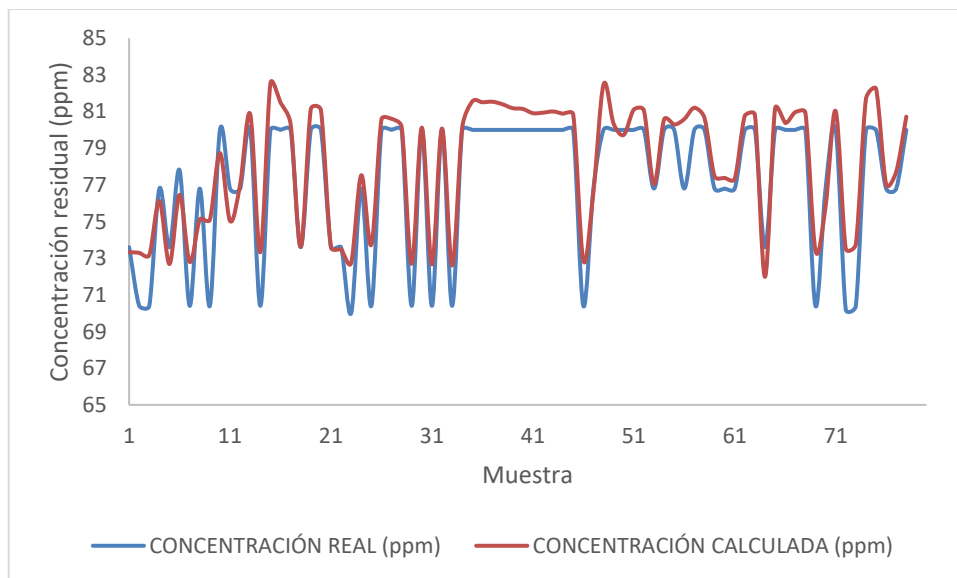
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Tabla VII. **Modelos matemáticos obtenidos por regresión múltiple**

Identificación del modelo	Variables relacionadas	Modelo matemático obtenido	Desviación estándar
A	Concentración (ppm) en base a tamaño (kg) y tiempo (h)	$[] \text{ (ppm)} = 600,6383T_{\text{am}} \text{ (kg)} - 0,0277t \text{ (h)} + 70,414$	$\pm 3,7175$
B	Cantidad de metabisulfito agregado (kg) en base a tamaño (kg) y tiempo (h)	$M_{\text{MBS}} \text{ (kg)} = 91,0191T_{\text{am}} \text{ (kg)} - 0,0032t \text{ (h)} + 0,7971$	$\pm 0,1392$

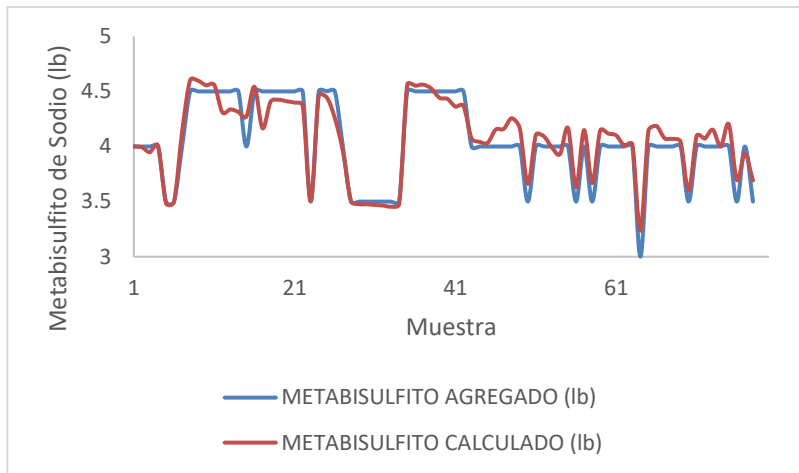
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Figura 7. **Comparación de concentración determinada con el modelo matemático A vs., concentración real**



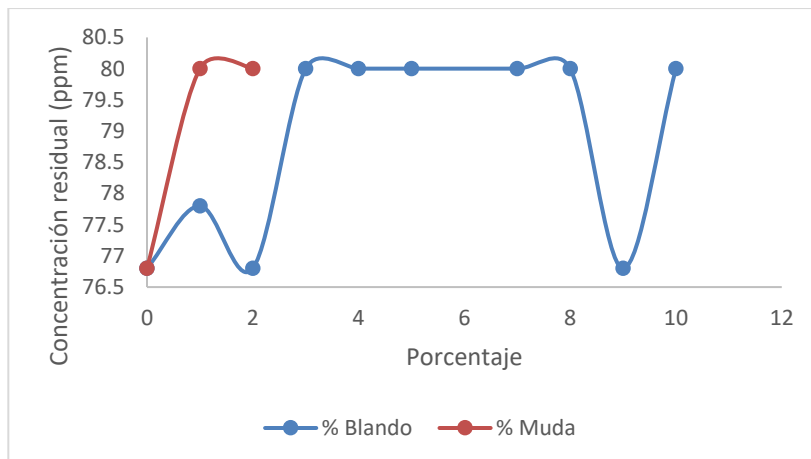
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 8. **Comparación de cantidad de MBS determinado con el modelo matemático B vs., cantidad de MBS agregado**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

Figura 9. **Comportamiento de la concentración de MBS respecto a la dureza del caparazón del camarón**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel 2016.

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

El estudio consistió en la normalización del proceso de tratamiento de camarón con metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) para control de melanosis. Para esto, se llevó a cabo una evaluación y diagnóstico del comportamiento del proceso, fundamentado en las concentraciones residuales de sulfitos, obtenidas por medio de gráficos de control.

En dicha evaluación se analizaron las concentraciones obtenidas en los veinte días previos al estudio tomando en cuenta las reglas de Western Electric y Nelson, los cuales como se puede observar en la figura 5, muestran un proceso que se encuentra fuera de control basado en el punto fuera de sus límites estadísticos ($\pm 3\sigma$), necesita ser ajustado para cumplir tanto con los límites estadísticos como los ideales permitidos en la planta de producción.

Debido a esto se procedió a analizar los datos que, si se encontraban dentro del rango establecido, encontrando una tendencia en las condiciones de producción que permitieron definir los ajustes a realizar en el proceso de tratamiento con MBS, siendo el principal de estos el establecer una cantidad específica de MBS a agregar tomando en cuenta el rango en que se encontraba el tamaño del camarón (kg) y el tiempo (h) en el que este se encontraba en contacto con el MBS.

Con base en el objetivo 4, se procedió a implementar el uso las restricciones determinadas por la observación de las concentraciones previas al estudio, permitiendo estas optimizar el proceso de tratamiento del camarón, viéndose reflejado en la figura 6 un proceso bajo control estadístico y a su vez

un proceso que permite cumplir con las especificaciones internas de los límites de concentración de sulfitos manejados en la planta.

Teniendo el proceso bajo control se procedió a encontrar los patrones de comportamiento que relacionaran las variables establecidas como condiciones de cosecha (tiempo de tratamiento, tamaño del camarón y cantidad de MBS agregado) pudiendo de esta forma determinar el modelo matemático B, definido en la tabla VII, siendo este capaz de predecir la cantidad necesaria a agregar de MBS al camarón para que este conserve sus propiedades organolépticas y cumpla con los límites permisibles de residual de sulfitos.

En las figuras 7 y 8 se puede observar una comparación de los resultados obtenidos por medio del método iodométrico y los modelos matemáticos A y B los cuales siguen un patrón de comportamiento similar, respaldando de esta forma la funcionalidad de los modelos predictivos.

En cuanto a prevenir la aparición de la melanosis, el residual de sulfito puede dar una medida de protección de las propiedades organolépticas del camarón, por lo que para determinar el mejor manejo postcosecha se tomaron ejemplares de camarón y se sometieron a un tratamiento de MBS empleando diferentes cantidades agregadas de dicho preservante según el tamaño del espécimen y diferentes tiempos de inmersión, determinándose los residuales de sulfito en el producto obtenido en cada caso.

La capacidad anti melanosis en el camarón que tuvieron las tres cantidades de MBS evaluadas, 1,587, 1,814 y 2,041 kg fue positiva, pues no existió presencia de melanosis en el camarón. Todas las cantidades de MBS utilizadas en la investigación, analizadas en varios tiempos, tuvieron la capacidad para preservar el camarón, cada cantidad agregada presentó

concentraciones resultantes diferentes, en promedio 76,65, 77,26 y 77,58 ppm de sulfitos residuales respectivamente, ofreciendo la preservación organoléptica al ser absorbido por el camarón.

El porcentaje de aceptación de camarón blando y camarón en muda para el mercado europeo varía según los requerimientos del cliente al que se exporta, sin embargo, el rango generalmente oscila entre 8-10 % de blando y 2 % de muda, por lo que se procedió a analizar los datos dentro de los rangos de aceptación. La falta de un patrón en el comportamiento descrito en la figura 9 comprueba que la dureza del caparazón en camarón blando no tiene influencia directa en la concentración residual de sulfitos, mientras se demuestra una tendencia al aumento de la concentración respecto al aumento del porcentaje de muda.

6. LOGROS OBTENIDOS

- Se normalizó el proceso por medio del análisis estadístico del mismo.
- Se determinó un modelo matemático capaz de predecir la cantidad de MBS a utilizar teniendo en cuenta las condiciones de cosecha.
- Se establecieron las condiciones del mejor tratamiento post cosecha para varios tamaños de camarón.
- Se determinó la influencia de la dureza del caparazón del camarón en la absorción y concentración residual de sulfitos.

CONCLUSIONES

1. El control estadístico del proceso permitió su normalización permitiendo de esta forma tener estabilidad y constancia en los resultados obtenidos.
2. La metodología tradicional evaluada en este estudio resultó en un control efectivo de melanosis en los camarones tratados con MBS.
3. Teniendo un proceso controlado fue posible determinar las condiciones óptimas de tratamiento post cosecha.
4. El tratamiento post cosecha establecido, inmersión controlada en MBS, evaluado en este estudio cumplió con las exigencias del mercado europeo para concentración residual de sulfitos.
5. El modelo matemático B, descrito en la tabla VII, permitió predecir las cantidades de MBS que debían agregarse explicando de esta forma la relación de las variables en el proceso y manteniendo este bajo control.
6. La dureza del caparazón del camarón no tiene impacto directo en la concentración residual de sulfitos en camarón blando, mientras en camarón en proceso de muda tiende a aumentar la concentración al aumentar el porcentaje de muda.

RECOMENDACIONES

1. Recomendar realizar el control estadístico del proceso periódicamente para verificar que se mantiene bajo control y es estable.
2. Hacer uso del modelo predictivo para determinar las cantidades adecuadas de MBS a agregar según las condiciones específicas de tratamiento y optimizar el proceso.
3. Investigar el efecto de otras condiciones biológicas, climáticas y del entorno del ecosistema que podrían estar relacionados con favorecer el desarrollo de la melanosis en el camarón tal como pH en los tejidos de los camarones, presencia oxígeno y cobre en la solución de MBS, y exposición de los camarones a altas temperaturas y la luz solar.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALVÁREZ HERRERA, Mario Roberto. *Evaluación de tres metodologías de tratamiento con metabisulfito de sodio en la cosecha de camarones enteros para prevenir melanosis*. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana, 2000. 215 p.
2. ARIAS, Luz; DE NOGALES, Christian y DUEÑAS, Pedro. *Fundamentos de acuicultura marina*. Colombia: INPA, 1995. 224 p.
3. Asociación Guatemalteca de Exportadores. *Exportaciones a la Unión Europea*. [en línea]. <<http://agexporthoy.export.com.gt/2014/06/guatemala-diversifica-en-mercados-y-productos-a-la-union-europea/>>. [Consulta: 19 de agosto de 2014].
4. ASTUDILLO MORÁN, MARÍA JOSÉ. *Evaluación de la melanosis del camarón blanco *Litopenaeus vannamei* procesado en empacadora y sometido a congelación*. [en línea]. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/3124/1/_TESIS.pdf>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].
5. ÁVILA MESA, Irene. *Los sulfitos como conservantes y su control en los alimentos: ¿Beneficio o riesgo para la salud?* [en línea]. <<http://www.madridsalud.es/temas/aditivos.php>>. [Consulta: 12 de agosto de 2014].

6. CARRANZA ESPINAL, Edgar Osiris. *Análisis de residuos de sulfitos en camarón entero*. [en línea]. <<http://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2202/1/T1448.pdf>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
7. CARRILLO, Olimpia. y VEGAS, Fernando. *El dicamarón. Diccionario de camaronicultura*. Cuba: Universidad de la Habana, 2002. 124 p.
8. Codex Alimentarius. *Normas Alimentarias FAO/OMS*. [en línea]. <<http://www.codexalimentarius.net/gsfaonline/foods/details.html?id=151>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
9. Comisión del Codex Alimentarius y Comité Mixto FAO/OMS de Expertos en Aditivos Alimentarios. *Principios generales para el uso de aditivos alimentarios*. [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/meeting/005/04459s/04459S17.htm>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
10. Comités Técnicos de Normalización y de Reglamentación Técnica de los Países de la Región Centroamericana. *Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 67.04.54:10 Alimentos y Bebidas*. Reglamento Centroamericano: Aditivos Alimentarios. 2012. 410 p.
11. CRUZ RODRÍGUEZ, Lorena. *Determinación de dosis adecuadas de metabisulfito de sodio (Na₂S₂O₅) como preservante para camarón (Litopenaeus vannamei) de exportación*. [en línea]. <<http://repositorio.utmachala.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/1510/1/T-UTMACH-FCS-PRE-061..pdf>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].

12. DÍAZ RENGIFO, Pilar Marina. *Utilización del metabisulfito de sodio como preservante en las camaronas*. [en línea]. <<http://www.monografias.com/trabajos81/metabisulfito-sodio-preservante-camaronas/metabisulfito-sodio-preservante-camaronas3.shtml#ixzz3n99Oqoji>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].
13. European Parliament and Council Directive No 95/2/EC. *Food additives other than colours and sweeteners*. [en línea]. <https://www.naturalin.com/food_beverage.html?gclid=Cj0KCQjww4OMBhCUARIsAILndv6mYAgqiAdrh2yGCuTxz7qY_HXCZEKSk2jh3eMxq3W-ld0lz3r6NtMaAkQXEALw_wcB>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
14. FENNEMA, Owen. *Food Chemistry*. 3ª ed. New York, USA: Marcel Dekker, 1996. 1262 p.
15. FINNE, Gunnar; WAGNER, Tom, DeWITT, Bernard y MARTIN, Roy. *Effect of treatment, ice storage and freezing on residual sulfite in shrimp*. [en línea]. <<https://ift.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2621.1986.tb10879.x>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
16. FLORES, E.R., ESPINO, R., WONG, C., PÉREZ, M., *Variación del residual de sulfito en el camarón L. vannamei*. [en línea]. <http://www.oceandocs.org/bitstream/1834/2338/1/VarMBSVanPE_SCA2007RFlores.pdf>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].

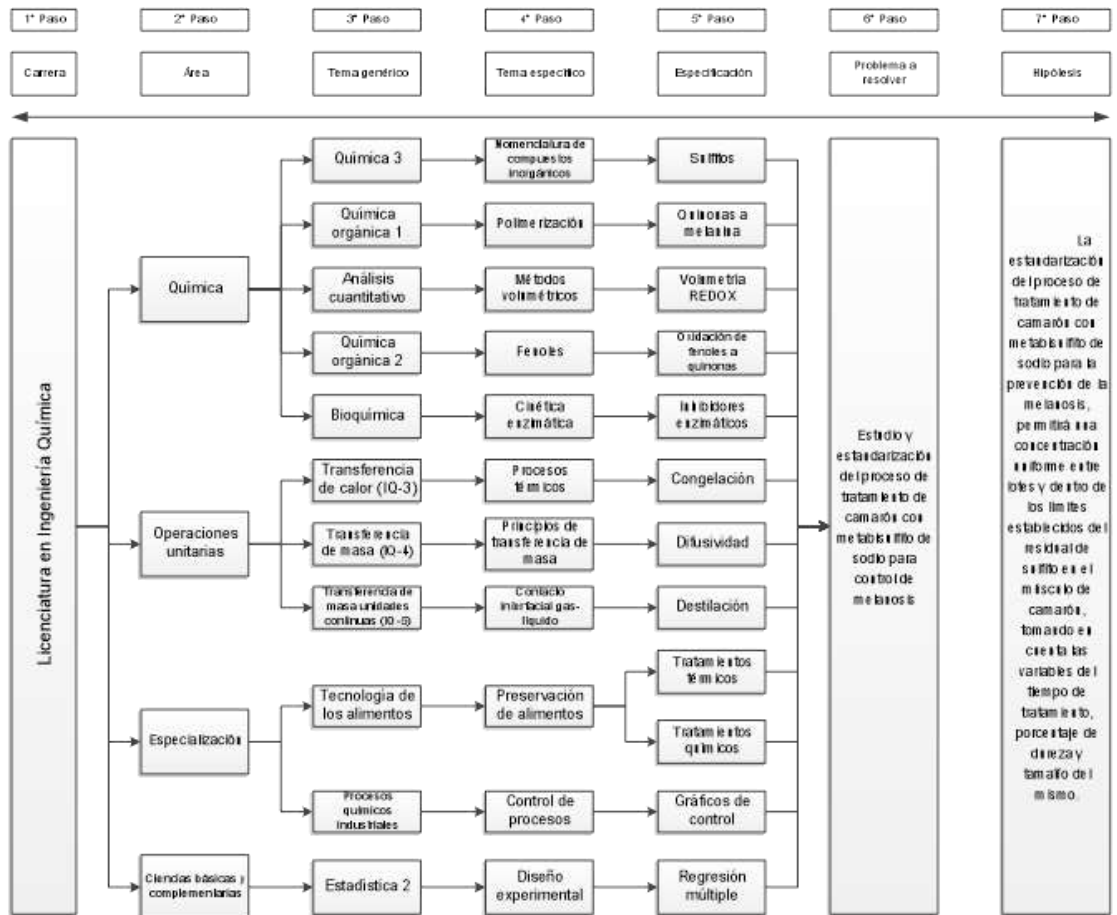
17. FLORES GUTIÉRREZ, E.R., ESPINO MARTÍNEZ, R., WONG WONG, C., PÉREZ LUIS, M. *Variación del residual de sulfito en el camarón de cultivo Litopenaeus vannamei almacenado en hielo*. [en línea]. <<http://www.oceandocs.net/bitstream/1834/3448/1/pdf%20Flores.pdf>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].
18. GÓMEZ-GUILLÉN, M.C. Y MONTERO, M.P. *Polyphenol Uses in Seafood Conservation*. [en línea]. <<https://scialert.net/abstract/?doi=ajft.2007.593.601>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].
19. Grupo Quirola. *Manual de la Empresa Camaronera STAR. Manual de Métodos y Análisis. Determinación de Sulfitos*. [en línea] <<http://www.monografias.com/trabajos81/metabisulfito-sodio-preservante-camaroneras/metabisulfito-sodio-preservante-camaroneras3.shtml#ixzz3BEnU5ieT>>. [Consulta: de 12 de agosto 2014].
20. HERVÁS, José Antonio. *Manual de control estadístico de procesos*. [en línea]. <<https://www.matematicasypoesia.com.es/Estadist/index.htm>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].
21. LLERENA RAMÍREZ, Carmen Emperatriz. *Evaluación del proceso de Absorción del sulfito de sodio en el músculo del camarón (L. vannamei) para el control de la melanosis*. [en línea]. <<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/20975/1/tesis%20de%20ingeniera%20llerena.pdf>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].

22. LUCIEN-BRUN, Hervé. *Decisiones críticas para la cosecha y empaque de camarón, Parte 2*. [en línea]. <<https://www.globalseafood.org/advocate/decisiones-criticas-para-la-cosecha-y-empaque-de-camaron-parte-2/>>. [Consulta: de 12 de agosto 2014].
23. MCEVILY, A.J., IYENGAR, R. Y OTWELL, *Sulphite Alternative Prevents Shrimp Melanosis*. [en línea]. <<https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US19920008209>>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
24. MONTERO, Pilar; LÓPEZ, María y PÉREZ, Miriam. *The Effects of Inhibitor and High Pressure Treatment to Prevent Melanosis and Microbial Growth on Chilled Prawns (Penaeus japonicus)*. [en línea]. <<https://digital.csic.es/bitstream/10261/87613/4/chilledprawns.pdf>> [Consulta: 13 de agosto de 2014].
25. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. *Aseguramiento de calidad de los productos pesqueros*. [en línea]. <<http://www.fao.org/docrep/003/t1768s/t1768s06.htm>> [Consulta: 13 de agosto de 2014].
26. _____. *Ficha técnica de metabisulfito de sodio*. [en línea]. <<http://www.fao.org/ag/agn/jecfa-additives/specs/Monograph1/Additive-414.pdf>>. [Consulta: 14 de agosto de 2014].

27. _____. Glosario de acuicultura. [en línea]. <http://www.fao.org/fi/glossary/aquaculture/spec-term-n.asp?id_glo=17673&id_lang=TERMS_S&lang=es>. [Consulta: 13 de agosto de 2014].
28. Organización Internacional de Normalización, ISO. *What is a standard?* [en línea]. <<http://www.iso.org/iso/home/standards.htm>>. [Consulta: 16 de agosto de 2014].
29. PÉREZ, Isabel. y KENSLEY, Brian. *Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World. Keys and Diagnoses for the families and Genera.* [en línea]. <<https://sciencepress.mnhn.fr/en/collections/memoires-du-museum-national-d-histoire-naturelle/penaeids-and-sergestoid-shrimps-and-prawns-world>>. [Consulta: 16 de agosto de 2014].
30. SÖDERHÄLL, Kenneth y CERENIUS, Lage. *Crustacean immunity. Ann Rev of Fish Diseases.* [en línea]. <http://www.revistaaquatic.com/aquatic/pdf/19_4.pdf?origin=publication_detail>. [Consulta: 25 de agosto de 2014].
31. VILLÓN BÉJAR, Máximo. *Hidrología estadística.* Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica. 2006. 425 p.
32. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon y YE, Keying. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias.* 9ª ed. México: Pearson, 2007. 816 p.

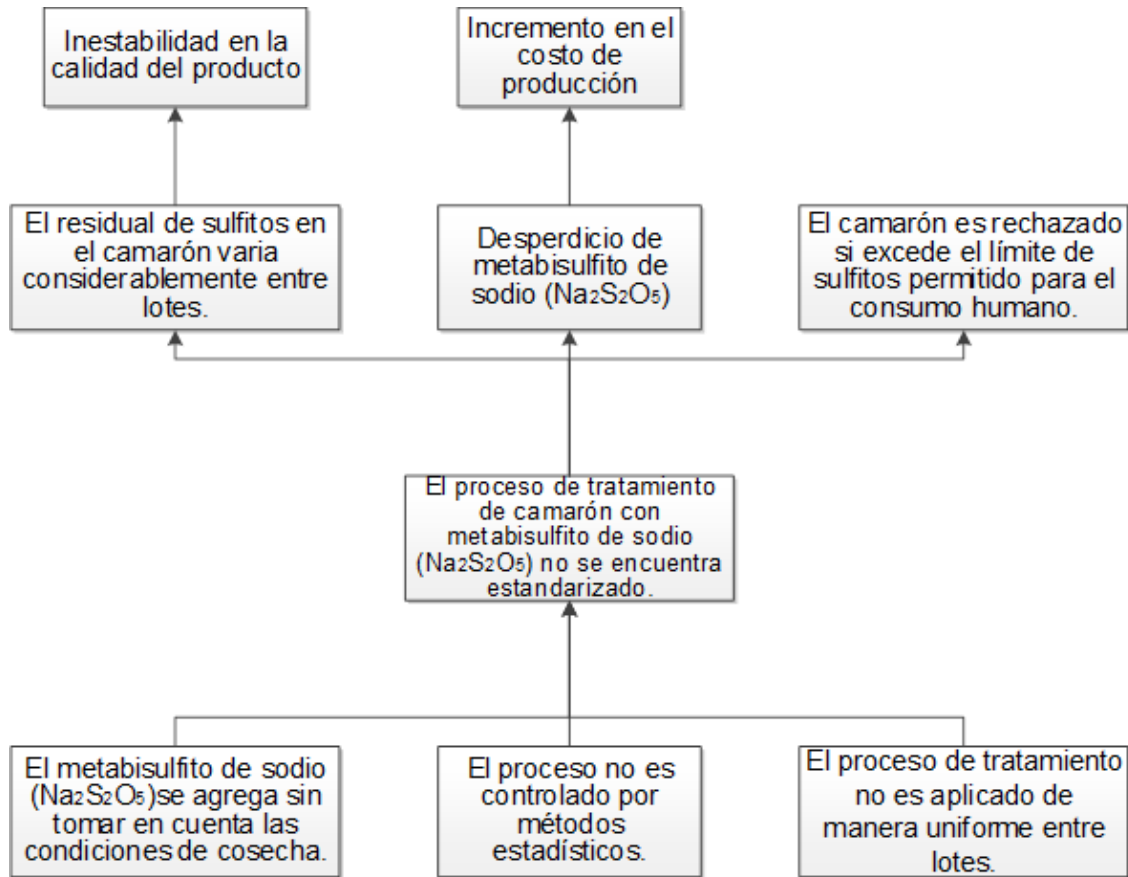
APÉNDICES

Apéndice 1. Requisitos académicos



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**




Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Word 2016.

ANEXOS

Anexo 1. Valores críticos de la distribución F

Tabla A.6* Valores críticos de la distribución F



v_2	$f_{0.05}(v_1, v_2)$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.45	199.50	215.71	224.58	230.16	233.99	236.77	238.88	240.54
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.18	2.09	2.02	1.96
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

*Reproducida de la tabla 18 de *Biometrika Tables for Statisticians*, vol. 1, con autorización de E. S. Pearson y Biometrika Trustees.

Continuación del anexo 1.

Tabla A.6 (continuación) Valores críticos de la distribución F

v_2	$f_{0.05}(v_1, v_2)$									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	241.88	243.91	245.95	248.01	249.05	250.10	251.14	252.20	253.25	254.31
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
4	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
5	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
6	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
7	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
8	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
9	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
10	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
11	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40
12	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
13	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
14	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
15	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
16	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
17	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
18	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
19	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
20	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
21	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
22	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
23	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
24	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
25	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
26	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
27	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
28	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
29	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
30	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
40	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
60	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
120	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.43	1.35	1.25
∞	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Continuación del anexo 1.

Tabla A.6 (continuación) Valores críticos de la distribución F

v_2	$f_{0.01}(v_1, v_2)$								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4052.18	4999.50	5403.35	5624.58	5763.65	5858.99	5928.36	5981.07	6022.47
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.49	27.35
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72
120	6.85	4.79	3.95	3.48	3.17	2.96	2.79	2.66	2.56
∞	6.63	4.61	3.78	3.32	3.02	2.80	2.64	2.51	2.41

Continuación del anexo 1.

Tabla A.6 (continuación) Valores críticos de la distribución F

v_2	$f_{0.01}(v_1, v_2)$									
	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞
1	6055.85	6106.32	6157.28	6208.73	6234.63	6260.65	6286.78	6313.03	6339.39	6365.86
2	99.40	99.42	99.43	99.45	99.46	99.47	99.47	99.48	99.49	99.50
3	27.23	27.05	26.87	26.69	26.60	26.50	26.41	26.32	26.22	26.13
4	14.55	14.37	14.20	14.02	13.93	13.84	13.75	13.65	13.56	13.46
5	10.05	9.89	9.72	9.55	9.47	9.38	9.29	9.20	9.11	9.02
6	7.87	7.72	7.56	7.40	7.31	7.23	7.14	7.06	6.97	6.88
7	6.62	6.47	6.31	6.16	6.07	5.99	5.91	5.82	5.74	5.65
8	5.81	5.67	5.52	5.36	5.28	5.20	5.12	5.03	4.95	4.86
9	5.26	5.11	4.96	4.81	4.73	4.65	4.57	4.48	4.40	4.31
10	4.85	4.71	4.56	4.41	4.33	4.25	4.17	4.08	4.00	3.91
11	4.54	4.40	4.25	4.10	4.02	3.94	3.86	3.78	3.69	3.60
12	4.30	4.16	4.01	3.86	3.78	3.70	3.62	3.54	3.45	3.36
13	4.10	3.96	3.82	3.66	3.59	3.51	3.43	3.34	3.25	3.17
14	3.94	3.80	3.66	3.51	3.43	3.35	3.27	3.18	3.09	3.00
15	3.80	3.67	3.52	3.37	3.29	3.21	3.13	3.05	2.96	2.87
16	3.69	3.55	3.41	3.26	3.18	3.10	3.02	2.93	2.84	2.75
17	3.59	3.46	3.31	3.16	3.08	3.00	2.92	2.83	2.75	2.65
18	3.51	3.37	3.23	3.08	3.00	2.92	2.84	2.75	2.66	2.57
19	3.43	3.30	3.15	3.00	2.92	2.84	2.76	2.67	2.58	2.49
20	3.37	3.23	3.09	2.94	2.86	2.78	2.69	2.61	2.52	2.42
21	3.31	3.17	3.03	2.88	2.80	2.72	2.64	2.55	2.46	2.36
22	3.26	3.12	2.98	2.83	2.75	2.67	2.58	2.50	2.40	2.31
23	3.21	3.07	2.93	2.78	2.70	2.62	2.54	2.45	2.35	2.26
24	3.17	3.03	2.89	2.74	2.66	2.58	2.49	2.40	2.31	2.21
25	3.13	2.99	2.85	2.70	2.62	2.54	2.45	2.36	2.27	2.17
26	3.09	2.96	2.81	2.66	2.58	2.50	2.42	2.33	2.23	2.13
27	3.06	2.93	2.78	2.63	2.55	2.47	2.38	2.29	2.20	2.10
28	3.03	2.90	2.75	2.60	2.52	2.44	2.35	2.26	2.17	2.06
29	3.00	2.87	2.73	2.57	2.49	2.41	2.33	2.23	2.14	2.03
30	2.98	2.84	2.70	2.55	2.47	2.39	2.30	2.21	2.11	2.01
40	2.80	2.66	2.52	2.37	2.29	2.20	2.11	2.02	1.92	1.80
60	2.63	2.50	2.35	2.20	2.12	2.03	1.94	1.84	1.73	1.60
120	2.47	2.34	2.19	2.03	1.95	1.86	1.76	1.66	1.53	1.38
∞	2.32	2.18	2.04	1.88	1.79	1.70	1.59	1.47	1.32	1.00

Fuente WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon y YE, Keying. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 757 a 760.

Anexo 2. Factores para la elaboración de gráficas de control

Tabla A.23* Factores para la elaboración de gráficas de control

Obs. en la muestra, n	Gráfica para promedios		Gráfica para desviaciones estándar						Gráfica para rangos				
	Factores para los límites de control		Factores para la línea central		Factores para los límites de control				Factores para la línea central		Factores para los límites de control		
	A_2	A_3	c_4	$1/c_4$	B_3	B_4	B_5	B_6	d_2	$1/d_2$	d_3	D_3	D_4
2	1.880	2.659	0.7979	1.2533	0	3.267	0	2.606	1.128	0.8865	0.853	0	3.267
3	1.023	1.954	0.8862	1.1284	0	2.568	0	2.276	1.693	0.5907	0.888	0	2.574
4	0.729	1.628	0.9213	1.0854	0	2.266	0	2.088	2.059	0.4857	0.880	0	2.282
5	0.577	1.427	0.9400	1.0638	0	2.089	0	1.964	2.326	0.4299	0.864	0	2.114
6	0.483	1.287	0.9515	1.0510	0.030	1.970	0.029	1.874	2.534	0.3946	0.848	0	2.004
7	0.419	1.182	0.9594	1.0423	0.118	1.882	0.113	1.806	2.704	0.3698	0.833	0.076	1.924
8	0.373	1.099	0.9650	1.0363	0.185	1.815	0.179	1.751	2.847	0.3512	0.820	0.136	1.864
9	0.337	1.032	0.9693	1.0317	0.239	1.761	0.232	1.707	2.970	0.3367	0.808	0.184	1.816
10	0.308	0.975	0.9727	1.0281	0.284	1.716	0.276	1.669	3.078	0.3249	0.797	0.223	1.777
11	0.285	0.927	0.9754	1.0252	0.321	1.679	0.313	1.637	3.173	0.3152	0.787	0.256	1.744
12	0.266	0.886	0.9776	1.0229	0.354	1.646	0.346	1.610	3.258	0.3069	0.778	0.283	1.717
13	0.249	0.850	0.9794	1.0210	0.382	1.618	0.374	1.585	3.336	0.2998	0.770	0.307	1.693
14	0.235	0.817	0.9810	1.0194	0.406	1.594	0.399	1.563	3.407	0.2935	0.763	0.328	1.672
15	0.223	0.789	0.9823	1.0180	0.428	1.572	0.421	1.544	3.472	0.2880	0.756	0.347	1.653
16	0.212	0.763	0.9835	1.0168	0.448	1.552	0.440	1.526	3.532	0.2831	0.750	0.363	1.637
17	0.203	0.739	0.9845	1.0157	0.466	1.534	0.458	1.511	3.588	0.2787	0.744	0.378	1.622
18	0.194	0.718	0.9854	1.0148	0.482	1.518	0.475	1.496	3.640	0.2747	0.739	0.391	1.608
19	0.187	0.698	0.9862	1.0140	0.497	1.503	0.490	1.483	3.689	0.2711	0.734	0.403	1.597
20	0.180	0.680	0.9869	1.0133	0.510	1.490	0.504	1.470	3.735	0.2677	0.729	0.415	1.585
21	0.173	0.663	0.9876	1.0126	0.523	1.477	0.516	1.459	3.778	0.2647	0.724	0.425	1.575
22	0.167	0.647	0.9882	1.0119	0.534	1.466	0.528	1.448	3.819	0.2618	0.720	0.434	1.566
23	0.162	0.633	0.9887	1.0114	0.545	1.455	0.539	1.438	3.858	0.2592	0.716	0.443	1.557
24	0.157	0.619	0.9892	1.0109	0.555	1.445	0.549	1.429	3.895	0.2567	0.712	0.451	1.548
25	0.153	0.606	0.9896	1.0105	0.565	1.435	0.559	1.420	3.931	0.2544	0.708	0.459	1.541

Fuente: WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon y YE, Keying. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. p. 790.

