

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

**“Desarrollo de métodos enzimáticos para la extracción de quitina en
desecho de camarón (*Litopenaeus setiferus*).”**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Laura Fernanda
Estrada Fajardo
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias
de Alimentos

Guatemala

2023

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE
GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



Excelencia que trasciende

DEL VALLE
GRUPO EDUCATIVO

**“Desarrollo de métodos enzimáticos para la extracción de quitina en
desecho de camarón (*Litopenaeus setiferus*).”**

Trabajo de graduación en modalidad de tesis presentado por Laura Fernanda
Estrada Fajardo
para optar al grado académico de Licenciada en Ingeniería en Ciencias
de Alimentos

Guatemala

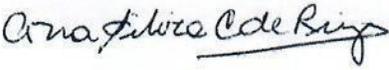
2023

Vo. Bo.

(f) 

MSc. Ana Alicia Paz

Tribunal Examinador:


(f) _____
MSc. Ana Silvia Colmenares

(f) 

MSc. Ana Alicia Paz

(f) 

MSc. Patricia Palomo

Fecha de aprobación del examen de graduación:
Guatemala, 06 de diciembre de 2023

Prefacio

Agradezco a Dios por la sabiduría que me ha brindado para completar mi tesis con éxito. Su guía constante ha iluminado mi camino, permitiéndome superar obstáculos y alcanzar metas que parecían inalcanzables. Estoy profundamente agradecida por su amor incondicional que me ha dado fuerza en los momentos de debilidad y esperanza en los momentos de incertidumbre. Gracias a Dios por ser mi roca, mi inspiración y mi refugio en todo momento. Esta tesis es un testimonio de su gracia y misericordia en mi vida.

Agradezco a mis padres Fernando y Paty, por su incansable apoyo durante los cinco años de mi carrera universitaria y especialmente por su ayuda invaluable en la realización de mi tesis. Su constante aliento, amor y sacrificio han sido mi ancla en los momentos difíciles y mi mayor fuente de motivación. Agradezco infinitamente por nunca dejarme sola en este viaje académico, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por estar a mi lado en cada paso del camino. Esta tesis es el resultado de su amor incondicional y de su dedicación incansable. Cada logro que he alcanzado es un testimonio de su apoyo y orientación. Estoy eternamente agradecida por tener padres tan maravillosos que han sido mi mayor inspiración y fortaleza.

Agradezco a mi hermano Fernando por su inquebrantable apoyo. Su ayuda inestimable al limpiar la cáscara de camarón no sólo alivió mis cargas, sino que también demostró su dedicación y generosidad. Además, su constante ánimo y apoyo incondicional han sido mi fuerza motriz. Siempre ha estado ahí para echarme porras, infundiéndome confianza en mí y alentándome a perseverar incluso en los momentos más difíciles. Su presencia y aliento han sido un faro de luz en mi vida, mostrándome que nunca estoy sola en mis desafíos. Estoy profundamente agradecida por tener a alguien tan solidario y alentador como mi hermano, y valoro cada gesto y palabra de aliento que ha compartido conmigo. Su influencia positiva ha sido invaluable y ha hecho una diferencia significativa en mi vida. Con gratitud y cariño, reconozco su impacto y le agradezco por ser un apoyo inquebrantable en mi viaje de ingeniería,

Agradezco de todo corazón a Celeste, mi amiga de toda la vida, por ser mi confidente y consejera incansable. Su ayuda durante la Elaboración de mi tesis, también me recordó constantemente que tenía la capacidad de superar cualquier desafío y que no debía dejarme vencer por el estrés. A Anghie, otra amiga única, no sólo me ayudó en la tarea de limpiar cáscara de camarón, sino que también estuvo ahí para recordarme lo lejos que había llegado y cuánto había logrado. Agradezco a mi novio Kevin, quien ha sido un apoyo incondicional constante y una de mis fuentes de determinación.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en mi viaje académico y personal. En primer lugar, a mi abuela Ruty, cuyo amor

incondicional y sabios consejos han sido mi luz en los momentos oscuros. A mi abuela Amalia y abuelo Beto, cuyo apoyo constante me ha dado fuerza para superar los desafíos. También quiero agradecer a mi tía Paty por su apoyo incansable y creer en mi potencial. Cada uno de ustedes ha sido una fuente de inspiración y motivación en mi vida, y este logro también pertenece a ustedes. Gracias por su amor, aliento y presencia constante en mi vida.

Agradezco a mi asesora, Ana Paz, por su orientación, sabiduría y apoyo incondicional durante todo el proceso de mi tesis. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para dar forma a mi investigación y guiar mis esfuerzos hacia el éxito. Cada consejo que me brindó y cada revisión detallada que hizo de mi trabajo no solo mejoraron la calidad de mi tesis, sino que también ampliaron mi comprensión del tema. Además, su paciencia y aliento constante fueron una fuente de motivación invaluable, especialmente en los momentos de duda y desafío. Su pasión por la investigación y su compromiso con la excelencia me motivaron a esforzarme por alcanzar los más altos estándares en mi trabajo.

ÍNDICE

Resumen.....	v
Abstract.....	vi
1. Introducción.....	1
2. Antecedentes.....	3
2.1. Producción de camarón.....	3
2.1.1. Exportación de camarón.....	3
2.1.2. Tendencias de exportación del camarón como producto.....	4
2.1.3. Comercialización del camarón.....	5
2.1.4. Utilización y manejo del camarón.....	6
2.1.5. Valorización de residuos alimenticios.....	6
2.1.6. Situación actual del desperdicio de camarón.....	7
2.1.7. Impacto ambiental de desechos de camarón.....	7
2.1.8. Importancia de la economía circular para la sustentabilidad.....	7
2.1.9. Aprovechamiento de la quitina.....	8
2.1.10. Beneficios económicos de la quitina en la industria camaronera.....	8
2.1.11. Métodos de uso de desecho de camarón para producción de quitina.....	8
2.1.12. Métodos químicos.....	8
2.1.13. Métodos enzimáticos.....	9
3. Justificación.....	11
4. Objetivos.....	14
4.1. Objetivo general.....	14
4.2. Objetivos específicos.....	14
5. Marco teórico.....	15
5.1. Acuicultura.....	15
5.1.1. Descripción.....	15
5.1.2. Comercialización.....	17
5.1.3. Impactos ambientales.....	19
5.1.4. Impactos sociales.....	20
5.1.5. Impactos económicos.....	20
5.2. Análisis del producto.....	20
5.2.1. Descripción.....	20
5.2.2. Costos de producción.....	21
5.3. Desechos de camarón.....	21
5.3.1. Desecho de camarón en la industria.....	21

5.3.2.	Manipulación de desecho de camarón	22
5.3.3.	Perspectivas sobre desechos de camarón	22
5.4.	Aprovechamiento o valorización de desechos en camarón	23
5.4.1.	Descripción	23
5.5.	Bioprocesamiento enzimático de desechos de marisco	23
5.5.1.	Proteasas de microbios.....	23
5.5.2.	Quimotripsina	24
5.5.3.	Papaína.....	24
5.5.4.	Alcalasa.....	24
5.5.5.	Pepsina	24
5.5.6.	Tripsina	24
5.5.7.	Enzimas endógenas	24
5.6.	Manejo de las enzimas.....	26
5.7.	Quitina y quitosano.....	26
5.7.1.	Descripción	26
5.8.	Métodos de análisis de quitina	28
5.8.1.	Pureza.....	28
5.8.2.	Proteínas.....	29
5.8.3.	Humedad	29
5.8.4.	Desmineralización.....	29
5.8.5.	Parámetros de calidad de quitina	30
5.9.	Análisis estadístico	30
5.9.1.	Anova simple	30
5.10.	Utilización de quitina.....	31
5.10.1.	Empaques biodegradables.....	31
5.10.2.	Suplementos dietéticos y productos dietéticos	31
5.10.3.	Aditivos.....	31
5.10.4.	Recubrimientos protectores comestibles.....	32
5.10.5.	Clarificadores	32
5.10.6.	Cuidado de la piel	32
5.10.7.	Productos de limpieza	33
6.	Metodología	34
6.1.	Lugar de estudio	34
6.2.	Descripción de metodologías experimentales enzimáticas para extracción de quitina.....	34

6.2.1. Papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor	36
6.2.2. Papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor.....	41
6.2.3. Pepsina	43
6.3. Validación de métodos	45
6.3.1. Porcentaje de proteínas	45
6.3.2. Grado de desmineralización.....	46
6.3.3. Determinación de humedad	46
6.3.4. Grado de acetilación.....	46
6.3.5. Determinación de colorimetría.....	47
6.3.6. Cenizas	48
6.3.7. Rendimiento de teórico de proteínas.....	49
6.3.8. Rendimiento producto final	50
6.3.9. Rendimiento de desproteínización	50
6.3.10. Porcentaje de quitina recuperada en el método seleccionado	50
6.4. Árbol de decisiones	51
6.5. Análisis estadístico	52
6.6. Selección de métodos	52
6.7. Impacto ambiental a método seleccionado	53
6.7.1. Consumo de energía.....	53
6.7.2. Matriz de Leopold para medir el impacto ambiental	53
6.8. Análisis de extracción de quitina a nivel industrial.....	54
7. Resultados y discusión	55
7.1. Introducción.....	55
7.2. Ensayo inicial de procedimientos de extracción	55
7.3. Análisis de despigmentación	64
7.4. Análisis de métodos de extracción de quitina	66
7.5. Árbol de decisiones	95
7.6. Análisis ambiental	96
7.7. Análisis de características de pureza de método pepsina	104
7.8. Análisis industrial de método con pepsina	108
8. Conclusiones	121
9. Recomendaciones.....	122
10. Bibliografía	124
11. Anexos	131

Índice de figuras

Figura 1 Exportación de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en dólares.....	4
Figura 2 Exportación de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en libras y dólares para comparación.....	4
Figura 3 Mercado de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en dólares	5
Figura 4 Mercado de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en libras.....	6
Figura 5 Producción acuícola de camarones en los principales productores de Asia.....	18
Figura 6 Estructura primaria de quitina y quitosano.....	27
Figura 7 Estructura secundaria de quitina y quitosano	28
Figura 8 Procedimiento de estudio a realizar.....	35
Figura 9 Limpieza de cáscara de camarón	36
Figura 10 Proceso de triturado de cascara de camarón.....	37
Figura 11 Preparación de ácido acético glacial.....	37
Figura 12 Agitación para desmineralización	38
Figura 13 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón	38
Figura 14 Agitación de muestra a temperatura óptima.....	39
Figura 15 Quitina de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor	39
Figura 16 Despigmentación de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor.....	40
Figura 17 Quitina despigmentada de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor	40
Figura 18 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón	41
Figura 19 Quitina de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor.....	41
Figura 20 Despigmentación de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor.....	42
Figura 21 Quitina despigmentada de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor.....	42
Figura 22 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón	43
Figura 23 Quitina de método de pepsina	44
Figura 24 Despigmentación de método de pepsina	44
Figura 25 Quitina des pigmentada de método de pepsina	45
Figura 26 Titulación de quitina para determinar grado de acetilación	47
Figura 27 Medición de color de quitina	48
Figura 28 Calcinación de quitina	49
Figura 29 Árbol de decisiones muestra.....	51
Figura 30 Intervalos de porcentaje de desproteización contra muestra analizada	70
Figura 31 Orden de distribución con respecto a la desproteización de los tres métodos	71
Figura 32 Prueba Tukey para significancia de desproteización.....	72
Figura 33 Intervalos de porcentaje de humedad contra muestra analizada.....	76
Figura 34 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la humedad	77
Figura 35 Prueba Tukey para significancia de humedad	78
Figura 36 Intervalos de porcentaje de acetilización contra muestra analizada	81

Figura 37 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la acetilización	82
Figura 38 Prueba Tukey para significancia de acetilización.....	83
Figura 39 Intervalos de porcentaje de rendimientos contra muestra analizada	86
Figura 40 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la desproteínización	87
Figura 41 Prueba Tukey para significancia de rendimientos.....	88
Figura 42 Decisiones para seleccionar el método adecuado de extracción de quitina	95
Figura 43 Cenizas de papaína y pepsina	105
Figura 44 Porcentaje de quitina en muestra de pepsina.....	107
Figura 45 Simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso	110
Figura 46 Simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo de retención y porcentaje durante el proceso.....	111
Figura 47 Simulación de Simio de forma manual con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso	112
Figura 48 Simulación de Simio de forma manual con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso	113
Figura 49 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso	114
Figura 50 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo de retención y porcentaje durante el proceso.....	115
Figura 51 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso	116
Figura 52 Simulación de Simio de forma industrial con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso	117
Figura 53 Comparación de productos totales producidas a la semana al finalizar toda la producción de quitina para ambos métodos.....	118
Figura 54 Comparación de tiempos de productos el en almacenamiento (horas) a la semana de la producción de quitina para ambos métodos	119

Índice de ecuaciones

Ecuación 1 Determinación contenido de proteínas de quitina.....	45
Ecuación 2 Determinación de porcentaje de minerales por gramo de cáscara de camarón	46
Ecuación 3 Determinación de minerales por gramo de cáscara de camarón	46
Ecuación 4 Porcentaje de minerales residuales en muestra	46
Ecuación 5 Porcentaje de desmineralización	46
Ecuación 6 Determinación de humedad.....	46
Ecuación 7 Grado de desacetilización	47
Ecuación 8 Grado de acetilización.....	47
Ecuación 9 Porcentaje de minerales residuales en muestra	48
Ecuación 10 Determinación contenido de proteínas teóricas en gramos.....	49
Ecuación 11 Determinación rendimiento teórico de proteínas	49
Ecuación 12 Rendimiento producto final (%)	50
Ecuación 13 Rendimiento de desproteínización	50
Ecuación 14 Determinación de pureza de quitina.....	50

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de camarón más populares a nivel mundial	15
Tabla 2 Tallas y pesos comerciales de camarón	19
Tabla 3 Composición de desechos de camarón	22
Tabla 4 Enzimas utilizadas en la actualidad para la degradación de desechos de mariscos	25
Tabla 5 Condiciones de enzimas a utilizar en la experimentación	26
Tabla 6 Parámetros de calidad de la quitina	30
Tabla 7 Aplicaciones de quitina en la industria alimentaria al hacer su conversión a quitosano	33
Tabla 8 Resultados de desmineralización a utilizar para el inicio realizar los métodos de extracción de quitina	55
Tabla 9 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para la desproteínización de los tres métodos analizados	57
Tabla 10 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para la humedad de los tres métodos analizados	59
Tabla 11 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para el grado de acetilización de los tres métodos analizados	60
Tabla 12 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para los rendimientos del producto quitina de los tres métodos analizados	62
Tabla 13 Resultados del ensayo inicial en duplicado para los rendimientos de la desproteínización de cáscaras de camarón utilizando los tres métodos analizados	63
Tabla 14 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado de color de quitina previo a despigmentación de los tres métodos analizados	65
Tabla 15 Resultados de cuadruplicados para la desmineralización de cáscara de camarón de los tres métodos analizados	66
Tabla 16 Resultados de cuadruplicados para la desproteínización de los tres métodos analizados	67
Tabla 17 Hipótesis de análisis de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	68
Tabla 18 Análisis de varianza de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	68
Tabla 19 Análisis de varianza de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza	69
Tabla 20 Resultados de cuadruplicados para la humedad de los tres métodos analizados	73
Tabla 21 Hipótesis de análisis de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	74
Tabla 22 Análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	74
Tabla 23 Análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza	75

Tabla 24 Resultados de cuadruplicados para la acetilización de los tres métodos analizados	78
Tabla 25 Hipótesis de análisis de porcentaje de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	79
Tabla 26 Análisis de varianza de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	80
Tabla 27 Análisis de varianza de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar y intervalos de confianza	80
Tabla 28 Resultados de cuadruplicados para los rendimientos del producto quitina de los tres métodos analizados	84
Tabla 29 Hipótesis de análisis de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	84
Tabla 30 Análisis de varianza de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado	85
Tabla 31 Análisis de varianza de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza	85
Tabla 32 Resultados de cuadruplicados para los rendimientos de desproteínización del producto quitina de los tres métodos analizados.....	89
Tabla 33 Resultados del ensayo inicial de método en cuadruplicado para la determinación de color de quitina previo a despigmentación de los tres métodos analizados ...	89
Tabla 34 Resultados de validación de método en duplicado para la despigmentación de quitina de los tres métodos analizados	91
Tabla 35 Resumen de significancia de métodos de extracción de quitina.....	94
Tabla 36 Resultados de determinación de gasto energético del método de pepsina.....	96
Tabla 37 Resultados de determinación de gasto energético del método de papaína	97
Tabla 38 Matriz de Leopold para usos de reactivos y enzimas utilizadas	99
Tabla 39 Matriz de Leopold para método de extracción de quitina de pepsina.....	102
Tabla 40 Resultados de determinación de cenizas a métodos papaína y pepsina.....	105
Tabla 41 Maquinaria utilizada para análisis industrial con sus respectivos tiempos y capacidades de método de pepsina.....	108

Resumen

Actualmente, la extracción de quitina de los desechos del camarón se realiza mediante un proceso que se considera agresivo para el medio ambiente, esto genera subproductos altamente corrosivos. Por ello, se están desarrollando alternativas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente que produzcan menos subproductos. El uso de desechos de camarón para la producción de quitina podría ser de gran beneficio económico para la industria, así como beneficios sociales indirectos para los acuicultores minoritarios porque pueden comercializar sus desechos para la producción de quitina. La producción de quitina es valorada por sus propiedades de biodegradación y sus aplicaciones en diferentes campos, mejorando así la sostenibilidad ambiental de la industria. Por lo tanto, la extracción de quitina de los desechos del camarón tiene beneficios ambientales, sociales y económicos si se adoptan procesos más eficientes y sostenibles.

El principal objetivo del trabajo fue desarrollar un método sostenible para la extracción enzimática de quitina de productos de diseño de camarón. Para cumplir con este objetivo, se llevaron a cabo una serie de pruebas del método enzimático con papaína y pepsina, con el propósito de desproteínizar la muestra de cáscara de camarón. Con el fin de determinar los beneficios ambientales que podría haber ofrecido este proceso enzimático para aumentar su aplicabilidad industrial, se evaluaron las propiedades tecnológicas y funcionales de la quitina obtenida para uso industrial en alimentos, cosmética, limpieza, entre otros. A través de las declaraciones, se realizó un análisis de decisión, porcentajes de proteínas y desmineralización. Para validar y agregar valor al uso de la quitina, se determinó la validación del método, que consistió en determinar sus proteínas, grado de desmineralización, humedad y pureza, y un análisis de desempeño, que implicó analizar rendimientos del producto e impacto ambiental. Con base en sus mejores características, este proceso se tomó como ejemplo en una planta industrial; esto con el respaldo de Simio, un software de simulación utilizado para modelar y analizar sistemas complejos.

Con respecto a los resultados de la extracción enzimática de quitina a partir de desechos de camarón (*Litopenaeus setiferus*) mediante el uso de pepsina reveló un producto de alta calidad, cumpliendo con los estándares establecidos. Este método destacó por su eficacia superior en comparación con otros métodos, como la extracción con papaína y papaína con cofactor, demostrando notables diferencias en rendimiento y pureza del producto final. La pureza y calidad obtenidas subrayan su potencial para diversas aplicaciones industriales, resaltando su versatilidad y valor en el mercado. Además, la simulación del proceso y la evaluación del impacto ambiental confirmaron la eficiencia técnica y la sostenibilidad ambiental de este método.

Abstract

Currently, the extraction of chitin from shrimp waste is carried out through a process deemed environmentally aggressive, generating highly corrosive by-products. Hence, sustainable and environmentally friendly alternatives are being developed to produce fewer by-products. Utilizing shrimp waste for chitin production could offer significant economic benefits to the industry, along with indirect social advantages for minority aquaculturists who can market their waste for chitin production. Chitin production is valued for its biodegradation properties and applications in various fields, thereby enhancing the environmental sustainability of the industry. Therefore, chitin extraction from shrimp waste yields environmental, social, and economic benefits when adopting more efficient and sustainable processes.

The main objective of the study was to develop a sustainable method for the enzymatic extraction of chitin from shrimp by-products. To achieve this goal, a series of tests on the enzymatic method using papain and pepsin were conducted, with the aim of deproteinizing the shrimp shell sample. In order to determine the environmental benefits that this enzymatic process could have offered to increase its industrial applicability, the technological and functional properties of the obtained chitin for industrial use in food, cosmetics, cleaning, among others, were evaluated. Decision analysis, protein percentages, and demineralization were performed with the statements. To validate and add value to the use of chitin, method validation was determined, involving the assessment of proteins, degree of demineralization, moisture, and purity, and a performance analysis, which included analyzing product yields and environmental impact. Based on its superior characteristics, this process was taken as an example in an industrial plant; supported by Simio, a simulation software used to model and analyze complex systems.

Regarding the results of the enzymatic extraction of chitin from shrimp waste (*Litopenaeus setiferus*) using pepsin, a high-quality product meeting established standards was obtained. This method stood out for its superior effectiveness compared to other methods, such as extraction with papain and papain with cofactor, demonstrating significant differences in product yield and purity. The obtained purity and quality underscore its potential for various industrial applications, highlighting its versatility and market value. Additionally, process simulation and environmental impact assessment confirmed the technical efficiency and environmental sustainability of this method.

1. Introducción

La extracción enzimática de quitina emerge como una solución innovadora para el problema del descarte del proceso de limpieza y procesamiento del camarón. Este proceso puede transformar estos desechos en productos valiosos y útiles, reduciendo así el impacto ambiental y contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, incluyendo el ODS 12 (Producción y Consumo Responsable), ODS 14 (Vida Submarina), ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento). Comparado con los métodos tradicionales que usan productos químicos tóxicos y consumen mucha energía, la extracción enzimática de quitina es más eficiente y sostenible. Además, se alinea con el ODS 7 (Energía Limpia y Accesible) y ODS 13 (Lucha contra el Cambio Climático) al reducir el consumo de energía y productos químicos.

La economía circular se convierte en una estrategia crucial en este contexto. Al convertir los residuos de camarón en recursos valiosos, este enfoque puede mejorar la eficiencia del sistema de producción, generando beneficios económicos, sociales y ambientales. La extracción enzimática de quitina no solo diversificará las industrias, como la alimentaria, farmacéutica, cosmética y textil, sino que también puede crear nuevas oportunidades de negocio. Además, al enfocarse en la innovación de procesos y la sostenibilidad, las empresas pueden no solo satisfacer las demandas del mercado sino también mostrar su compromiso con la responsabilidad ambiental. Este enfoque no solo beneficia a las grandes empresas, sino también a los pequeños productores de camarones, proporcionándoles una salida para sus residuos y generando ingresos adicionales.

Así mismo, la extracción enzimática de quitina se presenta como una alternativa altamente prometedora y respetuosa con el medio ambiente para aprovechar los desechos de camarón. A diferencia de los métodos tradicionales que utilizan productos químicos agresivos y consumen grandes cantidades de energía, la extracción enzimática implica el uso de enzimas (papaína y pepsina) para descomponer las proteínas presentes en los exoesqueletos de los camarones, liberando así la quitina de manera más eficiente y sostenible. Este enfoque no solo reduce el impacto ambiental al minimizar el uso de productos químicos y energía, sino que también produce quitina de alta calidad, adecuada para diversas aplicaciones industriales.

Durante el proceso de extracción enzimática, se analizan diversas variables para garantizar la calidad del producto final. Uno de los aspectos críticos es la selección de enzimas adecuadas, como la pepsina, que han demostrado ser eficientes en la descomposición de las proteínas y la liberación de quitina. Además, se realizan análisis detallados para determinar las condiciones óptimas de pH, temperatura y tiempo de reacción que maximizan la eficacia del proceso. Estos análisis son fundamentales para optimizar la producción y garantizar un rendimiento óptimo.

Luego de la evaluación de los métodos de extracción enzimática de quitina, se explorado varios métodos para analizar y caracterizar la quitina obtenida. Entre ellos, los análisis de pureza son esenciales para determinar el grado de desproteínización, grado de acetilización, colorimetría y cenizas para garantizar la ausencia de impurezas. A través de análisis detallados y métodos de caracterización, se asegura la producción de quitina de alta calidad, allanando el camino para su aplicación en una variedad de industrias y al evaluar el proceso se asegura la posibilidad de escalamiento del proceso. Estos enfoques innovadores no solo reducen el impacto ambiental, sino que también abren nuevas oportunidades para la industria, fomentando la economía circular y promoviendo prácticas sostenibles en el campo de la química y la biotecnología.

En la metodología de este estudio, se optó por utilizar las enzimas de papaína y pepsina debido a su eficacia comprobada en procesos de desproteínización de quitina. La papaína, una enzima proteolítica derivada de la papaya, ha sido ampliamente estudiada por su capacidad para descomponer las proteínas presentes en los residuos de camarón. Por otro lado, la pepsina, una enzima producida en el estómago, también se seleccionó por su habilidad para descomponer proteínas en condiciones ácidas. Las enzimas utilizadas con respecto a la papaína provienen de grado alimenticio por medio de microorganismos y la enzima utilizada pepsina proviene de producción estomacal de grado animal.

Para garantizar la eficacia de estas enzimas, se niveló cuidadosamente el pH y la temperatura para cada una de ellas. El pH óptimo de la papaína es importante nivelarlo debido a que es alrededor de 3 a 9, la pepsina funciona en un ambiente altamente ácido. Al ajustar el pH y la temperatura según las condiciones ideales para cada enzima, se maximiza su actividad enzimática, asegurando así un proceso de desproteínización eficiente y efectivo en la extracción de quitina. Estas medidas precisas fueron esenciales para obtener resultados confiables y consistentes en el estudio.

En el presente documento, se exploran diversos aspectos relacionados con la producción, comercialización y manejo del camarón, así como las tendencias de exportación y la valorización de los residuos alimenticios en esta industria. Se examinan métodos químicos y enzimáticos para aprovechar los desechos de camarón, centrándose especialmente en el proceso enzimático de extracción de quitina. Se aborda en detalle la acuicultura, la descripción del producto camarón y su impacto en los ámbitos ambiental, social y económico. Además, se profundiza en el análisis de los desechos de camarón y en las técnicas de aprovechamiento, incluyendo el bioprocésamiento enzimático y la utilización de quitina en diversas industrias.

La metodología detalla los procedimientos experimentales utilizando enzimas como papaína y pepsina, con ajustes precisos de pH y temperatura para maximizar su eficacia en la desproteínización. Se valida cada método mediante análisis exhaustivos, incluyendo determinaciones de proteínas, desmineralización, humedad, grado de acetilación y colorimetría, entre otros. Se emplea un enfoque estadístico, incluyendo el análisis ANOVA y árboles de decisiones, para evaluar los resultados obtenidos y tomar decisiones informadas.

2. Antecedentes

2.1. Producción de camarón

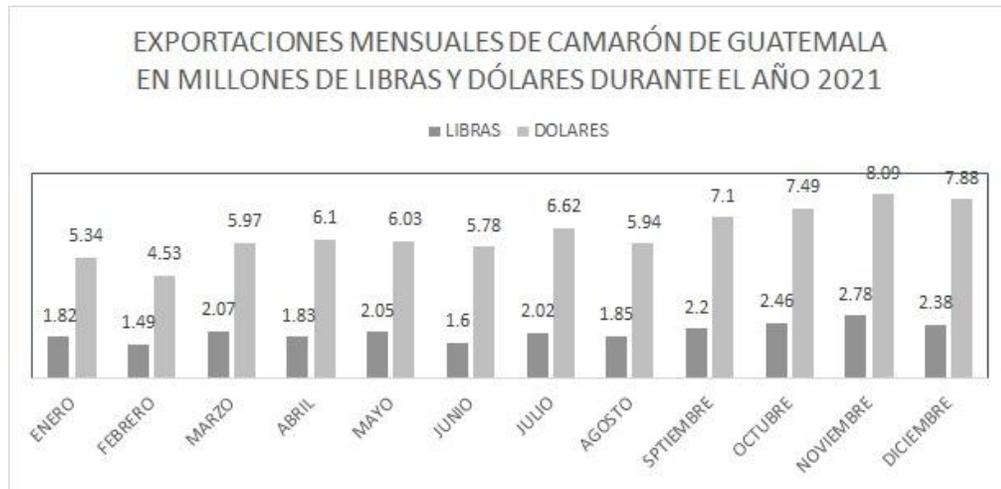
La producción de camarón para uso comercial en Guatemala inició hace aproximadamente cincuenta años, como resultado de esfuerzos del país en conjunto con el gobierno de Taiwán. La industria camaronera ha logrado evolucionar a gran escala, Asia, América Latina y también en África, para que estos países lo logren ha sido necesario ejecutar acciones de sostenibilidad en el área acuícola (James et al., 2019). Las primeras exportaciones fueron hacia Estados Unidos y aproximadamente en el año dos mil, el mercado de exportaciones se expandió a otros países. En la actualidad el camarón de Guatemala es vendido en mercados de todo el mundo. Éste es empacado entero o sin cabeza, distinción que depende de la preferencia de los consumidores, por ejemplo, el mercado japonés prefiere el camarón pelado, desvenado y descabezado; por otro lado, el mercado europeo requiere un camarón entero y sin pelar, mientras que el mercado americano requiere camarones descabezados sin pelar (Leal, 2019).

2.1.1. Exportación de camarón

La producción de camarón para venta se considera uno de los productos no petroleros de mayor exportación en el mercado internacional. Es una de las principales fuentes de ingresos en países como México, Brasil, Ecuador, Venezuela, Honduras, Guatemala, China, Nicaragua, Tailandia, Indonesia, Belice y Bahamas entre otros. Los países latinoamericanos ocupan un importante lugar en la exportación de camarón, datos de exportación establecen a Ecuador como el principal productor mundial de camarón de cultivo (James et al., 2019).

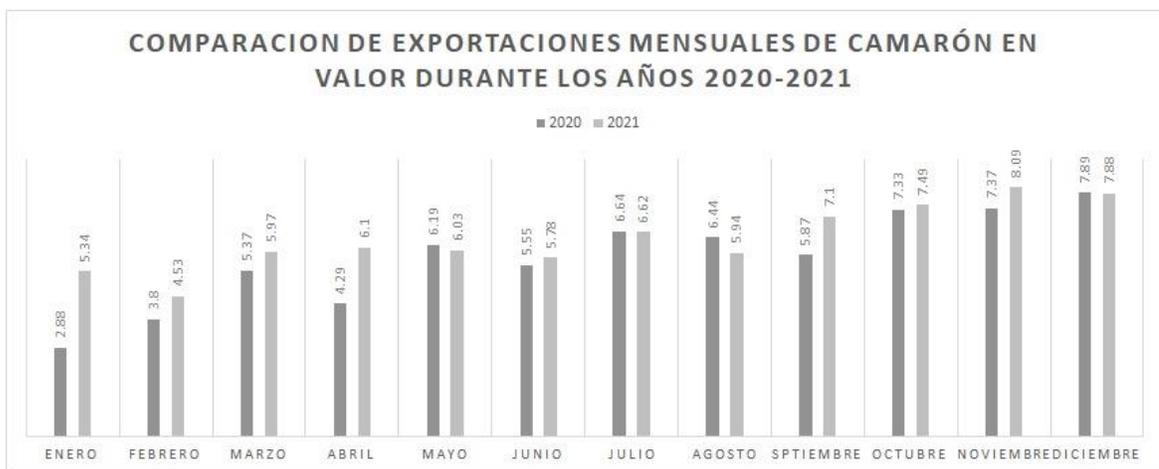
En Guatemala, se estima que el sector de acuicultura crecerá 10% a corto plazo y 15% a mediano plazo. En la región se desarrollan sistemas de producción hiperintensivos de camarón con densidades de siembra de por lo menos 600 camarones por m². La sostenibilidad, innovación y valor agregado son los tres factores principales que necesitan ser fortalecidos en la industria con el propósito de abrir nuevos puntos de exportación (Agexport, s.f.).

Figura 1 Exportación de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en dólares



Fuente: Elaboración propia con base en Asociación Guatemalteca de Exportación -Agexport- (2021)

Figura 2 Exportación de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en libras y dólares para comparación



Fuente: Elaboración propia con base en Agexport, (2021)

2.1.2. Tendencias de exportación del camarón como producto

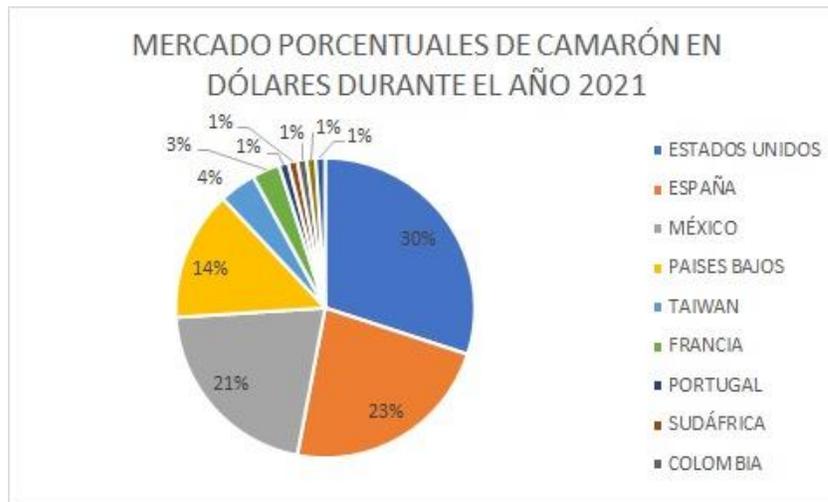
Las tendencias de exportación de camarones varían según el país y la región de producción y dependen de la producción, el costo, la competencia, la regulación y la demanda del mercado. China se convirtió en el principal exportador de camarón del mundo, seguido de Tailandia y Ecuador. Las regulaciones ambientales y laborales en los mercados de importación están afectando las exportaciones de varios países y la pandemia de COVID-19 ha impactado la demanda de camarón en todo el mundo. (James et al., 2019).

2.1.3. Comercialización del camarón

El principal destino de exportación de camarón guatemalteco, Japón, ha disminuido la cantidad de producto importado, sin embargo, China, Corea y Vietnam han surgido como nuevos mercados para el país. En Europa, las exportaciones se mantienen estables aún ante los acontecimientos políticos de los últimos años. En Estados Unidos, el consumo de camarón también ha disminuido (Gutiérrez, 2017).

En Guatemala, el mercado y precios de camarón son establecidos por los comerciantes mayoristas. Estos comerciantes son quienes trasladan el camarón a diferentes mercados del país, entre ellos: Monterrico, Candelaria, Champerico, Santa Rosa, Itzapa y Ciudad de Guatemala, en donde un nuevo distribuidor los adquiere y traslada a los centros de consumo y a comerciantes minoritarios para la venta del producto (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2014).

Figura 3 Mercado de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en dólares



Fuente: Elaboración propia con base en Agexport (2021)

Figura 4 Mercado de camarón en Guatemala de 2020 y 2021 en libras



Fuente: Elaboración propia con base en Agexport (2021)

2.1.4. Utilización y manejo del camarón

En la actualidad el camarón tiene diferentes aplicaciones debido a las tendencias a nivel mundial, no sólo de su carne sino también de los subproductos que se fabrican a partir de este. El uso de harina de cabeza de camarón es un reemplazo práctico de harina de pescado, por ejemplo, esta misma harina también se puede utilizar como concentrado para ganado, gallinas u otros mariscos (Sánchez Orozco et al., 2018). Es muy común que se utilice la cabeza de camarones para hacer concentrados de aroma en las preparaciones de sopas caseras. Así mismo es importante mencionar que la cáscara de camarón también es utilizada, principalmente para extraer pigmentos o quitina, fuente de la cual se obtiene el quitosano, un polímero con usos versátiles en el campo de la medicina, agricultura y medio ambiente (Contreras Esquivel et al., 2010).

2.1.5. Valorización de residuos alimenticios

La reducción de desperdicios alimenticios aporta beneficios ambientales y económicos importantes, tanto a nivel micro y macro ambiental. La valorización de subproductos alimenticios en materiales que son comestibles es uno de los enfoques más importantes y de mayor tendencia en el campo de la industria alimentaria. Uno de los mayores retos de los subproductos y desechos alimenticios es que tienden a contener contaminantes químicos o patógenos potenciales que tienden a poner en riesgo la salud del consumidor, por esta razón es importante asegurar la calidad e inocuidad de los subproductos para aprovechar la estrategia de valorización (De Iseppi et al., 2020).

Los residuos de la industria alimentaria contienen nutrientes y biomasa que podrían utilizarse como alimentos funcionales o como fuente para obtener bio-productos tales como: enzimas, biocombustibles, biopolímeros o antibióticos. En la actualidad existen varias técnicas de valorización de residuos de alimentos. En muchos casos, la valorización

de residuos presenta desventajas por el costo acrecentado que conlleva, razón por la cual éste nuevo producto encuentra dificultades al competir con las opciones convencionales (Jōgi & Bhat, 2020).

Los métodos enzimáticos utilizados para la valorización de desechos de camarón utilizan enzimas obtenidas de diferentes fuentes como animales, plantas, camarones, microbios y peces. Algunas enzimas comerciales fueron utilizadas tradicionalmente por las industrias de procesamiento de mariscos para el desvenado de camarones o descascarillado. La desproteínización enzimática, proceso por medio del cual se obtiene la quitina, es un proceso que se realiza empleando organismos proteolíticos o enzimas comerciales como tripsina, del bolasa, papaína, pancreatina o alcalasa (Mathew et al., 2021).

Una vez se procesa el camarón, un 75-85% de desechos sólidos son generados aproximadamente (Mármol et al., 2011). Estos están compuestos por la cabeza, viveza y el caparazón. Una cantidad pequeña del desecho de camarón se utiliza para alimento animal, sin embargo, grandes cantidades del producto son desperdiciadas, lo que incrementa la contaminación ambiental. La recuperación de moléculas bioactivas del desecho del camarón podría aportar daría un beneficio a la economía de camarones procesados, tanto a las compañías como a los países que lo comercializan (Nirmal et al., 2020).

2.1.6. Situación actual del desperdicio de camarón

Las tendencias de los desechos de camarones incluyen pérdidas en granjas debido a enfermedades y condiciones ambientales, desechos de procesamiento y desechos de caparazones de camarones debido a la falta de tecnología apropiada y falta de personal capacitado. Las empresas están trabajando para reducir los desechos mediante la adopción de prácticas más sostenibles y mejores prácticas ambientales, y están encontrando formas de utilizar subproductos y desechos para crear nuevos productos y reducir los desechos. La demanda de camarones cultivados de manera sostenible y responsable también está creciendo en todo el mundo (Tobey et al., 1998).

2.1.7. Impacto ambiental de desechos de camarón

Con respecto al desecho de camarón que incluye residuos orgánicos y químicos como excrementos y restos de alimento de los camarones, estos tienden a generar una sobre carga de nutrientes en el agua lo que provoca la eutroficación y proliferación de algas tóxicas. En la actualidad, muchas granjas de camarón no cuentan con un debido proceso de manipulación de los desechos por lo que es una problemática reciente (Alava Toala, 2021).

2.1.8. Importancia de la economía circular para la sustentabilidad

En la actualidad existe un crecimiento económico, tecnologías modernas y un desarrollo industrial que ocasionan un aumento del consumo de bienes y servicios. La economía circular es un modelo de preservación y mejora del capital natural, mejorar la eficacia de un sistema productivo, optimización de rendimiento de los recursos esto provoca beneficios ambientales, sociales y económicos. La economía circular contribuye de manera positiva a la conservación del medio ambiente y dinamización de la economía.

En la actualidad el sector industrial tiene el compromiso constante de encontrar beneficios económicos que innovan para determinar soluciones a los problemas cotidianos (Garabiza et al., 2021).

2.1.9. Aprovechamiento de la quitina

En la industria, se utiliza en una amplia gama de productos, incluyendo alimentos, farmacéuticos, cosméticos y de limpieza. En la alimentaria, se utiliza como suplemento dietético o reemplazo de gelatina en productos vegetarianos. En la farmacéutica, se utiliza como ingrediente para la salud ósea y excipiente en la formulación de fármacos. En la cosmética, se utiliza como ingrediente hidratante y emoliente en productos de cuidado de la piel. En la industria de limpieza, se utiliza como ingrediente detergente y abrasivo en productos de limpieza. Aunque la quitina es valiosa, su extracción y producción pueden tener un impacto ambiental negativo si no se implementan prácticas sostenibles (Mármol et al., 2011).

2.1.10. Beneficios económicos de la quitina en la industria camaronera

La demanda de quitina en las industrias ha llevado a un aumento en su producción y, en consecuencia, un aumento en los ingresos generados por su venta. Además, la producción de quitina también puede ser una oportunidad para la diversificación de la industria camaronera y para reducir su dependencia de la producción de camarones solamente. Esto puede ayudar a mejorar la resiliencia económica de la industria ante cualquier fluctuación en la demanda o en los precios de los camarones. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la extracción y producción de quitina también pueden tener impactos negativos en el medio ambiente si no se implementan prácticas sostenibles. Por lo tanto, es importante considerar un enfoque sostenible en la producción y uso de quitina para maximizar sus beneficios económicos y minimizar su impacto ambiental negativo (Alvarado B., 2013).

2.1.11. Métodos de uso de desecho de camarón para producción de quitina

2.1.12. Métodos químicos

Varios procesos químicos se utilizan industrialmente para obtener quitina a partir de mariscos. Estos procesos incluyen la eliminación de proteínas alcalinas, la eliminación de minerales ácidos y el blanqueo tradicional. El orden en que se realizan los primeros dos pasos, es decir, desproteización y despigmentación, depende de los subproductos deseados. El resto del camarón (cabeza y exoesqueleto) debe someterse a pasos de despigmentación con etanol y ozono además de la desmineralización. ácido clorhídrico, finalmente desproteizado con hidróxido de sodio para obtener quitina; También se han utilizado otras soluciones como carbonato de sodio, bicarbonato de sodio, carbonato de potasio, hidróxido de calcio, sulfuro de sodio, ditionito de calcio y fosfato de sodio. (Pacheco López, 2010).

En cuanto al proceso de desproteización, depende de varios aspectos como la temperatura, la concentración de álcali y la proporción de residuos en solución. Se han

realizado varios estudios utilizando concentraciones de 1 M a 4 M, temperaturas de 25 °C a 100 °C y tiempos de reacción de 0,5 a 72 horas. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la alcalinidad y las temperaturas de reacción altas pueden conducir a la desacetilación y descomposición de la quitina, lo que reducirá la calidad de la quitina y, como resultado, reducirá su rango (Pacheco López, 2010).

Para la desmineralización se utilizaron diferentes ácidos fuertes como el clorhídrico, nítrico o sulfúrico o ácidos débiles como el acético y el fórmico. El propósito es disolver el carbonato de calcio en diferentes concentraciones y diferentes temperaturas altas y bajas. Con base en la investigación, se ha demostrado que el secado completo de las aguas residuales ocurre cuando la concentración de ácido excede la cantidad de minerales presentes en términos químicos. (Pacheco López, 2010).

El blanqueo de la quitina se realiza solo cuando es necesario obtener un producto completamente puro, ya que el pigmento no afecta la actividad del polímero en solución, su reactividad ni sus propiedades fisicoquímicas, por lo que no se requiere blanquear. se usa específicamente. Para el blanqueo se suele utilizar una solución de hipoclorito de sodio, acetona absoluta, cloroformo, peróxido de hidrógeno, acetato de etilo, etanol o una mezcla de estos compuestos (Pacheco López, 2010).

La principal desventaja del método de extracción química de quitina es que consume mucha energía, además de formar desechos ácidos y alcalinos corrosivos que contaminan el medio ambiente y necesitan ser tratados, y causan descomposición y degradan severamente los polímeros (Pacheco López, 2010). Otro inconveniente es que las proteínas extraídas por estos métodos no se pueden reutilizar ya que pierden su valor debido a la formación de lisinoalanina y otros derivados de aminoácidos. Otro método utilizado es la extracción de quitina con un agente químico como ácido láctico o ácido cítrico, combinado con desechos de camarón, que deben ser irradiadas con un horno de microondas. Sin embargo, estos métodos producen residuos que pueden contaminar el medio ambiente (Contreras Esquivel et al., 2010).

2.1.13. Métodos enzimáticos

Para lograr la pureza total de la quitina conservando sus propiedades, en algunos casos se utilizan métodos de extracción biológica junto con un tratamiento químico menor. Se ha investigado el uso de enzimas proteolíticas como alternativa a los métodos químicos para la desproteínización de productos de desecho de mariscos. Con este método, la proteína se puede recuperar en una forma hidrolizada que se puede usar como agente saborizante y agregarse a la base del alimento acuícola. Además, los productos de hidrólisis resultantes podrían ser una fuente activa de péptidos bioactivos con aplicaciones farmacéuticas potenciales y promotores del crecimiento en la alimentación animal. Aunque la hidrólisis enzimática no puede eliminar completamente la proteína, el resto se puede eliminar fácilmente durante la producción química de quitosano (Pacheco López, 2010).

Se utilizó la enzima proteasa alcalina de *Micromonospora chailiyaphum* ensis 103 para extraer quitina de restos de caparazón de *P. kerathurus*, logrando una eficiencia de reducción de proteínas del 93 % con una relación E/S de 20 U/mg de residuo de camarón

durante 3 horas a 45 °C y pH 8,0. Otros estudios han utilizado proteasas de diferentes cepas de *Bacillus* y *Pseudomonas aeruginosa* para desproteínizar caparazones de camarones y langostas, logrando eficiencias de desproteínización del 99% y 55-61%, respectivamente. También se utilizó el método de reacción superficial para optimizar las condiciones de desmineralización y desproteínización de residuos de caparazón de camarón con diferentes cepas de *Bacillus*, logrando rendimientos del 88% y 94%, respectivamente. También se ha demostrado que la adición de glucosa promueve la desmineralización y la producción de agentes proteolíticos con alta actividad antioxidante (Mathew et al., 2021).

La papaína, una enzima vegetal derivada de papaya (*Carica papaya*), se utiliza para extraer quitina. Se ha descubierto que las enzimas comerciales como la papaína, la pepsina y la tripsina son capaces de producir quitina de alta calidad con bajos niveles de desacetilación. Se ha demostrado que la papaína promueve la producción de quitosano de alta calidad a partir de desechos de mariscos. En un estudio, los residuos de caparazón de camarones se desmineralizaron con ácido acético glacial 1,75 N, seguido de desproteínización con papaína, lo que resultó en una eficiencia del 73,1 % en comparación con los métodos químicos. La papaína también produjo quitosano de buena calidad con una desacetilación (DD) de 19,4 % en comparación con el método químico con una DD de 17,2 %. La papaína inmovilizada covalentemente se usa para despolimerizar el quitosano de langosta y otros quitosanos modificados a sus sales de lactato en condiciones ácidas. El uso de esta enzima económica derivada de plantas comerciales para la producción de productos de hidrólisis de quitosano ha ganado popularidad en comparación con el uso de lisozima y otras quitinasas para diferentes propósitos (Mathew et al., 2021).

La alcalasa es una proteasa comercialmente disponible, se usa para producir hidrolizados biológicamente activos a partir de productos de desecho de mariscos. Alcalase (comercial) 2.4 L, una serina endopeptidasa bacteriana producida por *Bacillus licheniformis*, se usa para tratar los productos de desecho del camarón *Pandalus borealis* para obtener un producto proteolítico que contiene aminoácidos, nitrógeno caroteno y astaxantina. De manera similar, la enzima alcalasa se ha utilizado para tratar caparazones de langosta para producir productos proteolíticos abundantes en péptidos bioactivos (Mathew et al., 2021).

3. Justificación

Actualmente, el camarón proveniente de Guatemala es comercializado en mercados internacionales alrededor del mundo. Sin embargo, las preferencias del consumidor internacional provocan que se generen más desechos de camarón debido a que por ejemplo el mercado japonés y estadounidense prefiere el camarón sin cáscara y cabeza, mientras que el mercado europeo solo prefiere los camarones sin cabeza. Con base en datos de Agexport se espera que la industria acuícola de Guatemala aumente un 10% a corto plazo y un 15% a mediano plazo. En la actualidad en la región se desarrollan sistemas intensivos de producción de camarón con densidades de población de al menos 600 camarones/m². Es importante para Guatemala la sostenibilidad, innovación y valor añadido en los productos, para potenciar las industrias y abrir nuevos mercados de exportación (Agexport, s.f.).

Con base en datos se estima que se producen alrededor de 75-85% de desecho de camarón los cuales no se utilizan debidamente a causa de la desinformación y desconocimiento sobre que son sustancias biológicamente ricas en activos, por lo que el desecho de camarón es considerado comúnmente como “basura”. El impacto ambiental que produce el desecho de camarón es preocupante por lo que es fundamental que la industria se enfoque en aprovecharlos ya que son ricos en proteínas, quitina, lípidos, minerales y pigmentos, que pueden utilizarse en diferentes aplicaciones e industrias. Además, que se están desaprovechando materiales, los desechos de camarón tienden a crear un exceso de nutrientes en el agua provocando eutrofización y crecimiento de algas tóxicas (Nirmal et al.,2020).

La extracción enzimática de quitina puede convertir este residuo en un producto valioso, útil e innovador, reduciendo así el impacto ambiental y contribuyendo a la consecución del Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 -ODS- (Producción y Consumo Responsable) y ODS 14 (Vida submarina). Cabe destacar que la extracción enzimática de quitina también puede ayudar a diversificar las economías y promover la innovación, lo que podría contribuir a lograr el ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura) y el ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento) (Naciones Unidas, 2015).

La extracción enzimática de quitina puede ayudar a cumplir el ODS 7 (energía limpia y accesible) y el ODS 13 (lucha contra el cambio climático), ya que es un método más eficiente y sostenible en comparación a los métodos tradicionales de extracción, los cuales requieren el uso de productos químicos tóxicos y tienden a consumir mucha energía (Naciones Unidas, 2015).

La economía circular busca mejorar el desempeño ambiental al ahorrar materiales, convertir los residuos en beneficios y/o reutilizar productos. En el caso de la producción de camarón, el objeto es convertir los residuos en ganancias para mejorar la eficiencia del sistema de producción mediante el aprovechamiento de los recursos, para generar beneficios ambientales, sociales y económicos. El objetivo es llevar un método efectivo de extracción de quitina a nivel industrial, donde la industria pueda vender la quitina resultante y producir productos orgánicos a base de ella, valorando los desechos de camarones (Garabiza et al., 2021).

Actualmente, las empresas están determinadas a desarrollar procesos sostenibles y amigables con el ambiente, lo que nos lleva a crear productos y procesos innovadores que generen valor, tengan un buen desempeño ambiental y que aseguren satisfacer la demanda del mercado y aumentar la competitividad. Con este enfoque, la quitina convierte desechos a producto con alto valor, ya que se utiliza en diversas aplicaciones en industrias como la alimentaria, farmacéutica, cosmética y textil. La extracción enzimática de quitina puede ayudar a diversificar las categorías de productos de la industria camaronera y crear nuevas oportunidades comerciales (Pacheco López, 2010).

La implementación de procesos sostenibles y ecológicos en las industrias también puede ser una estrategia de marketing eficaz e importante, ya que los consumidores están cada vez más interesados en comprar productos sostenibles y responsables. La extracción enzimática de quitina podría ser un método mediante el cual las empresas puedan demostrar su compromiso con la sostenibilidad y crear una imagen positiva entre los consumidores.

La recuperación de quitina de los desechos de camarones puede proporcionar algunos beneficios sociales indirectos, especialmente para los productores de camarones minoritarios. Estos productores, que suelen ser de pequeña escala, pueden tener dificultades para encontrar mercados para sus residuos, lo que puede generar problemas ambientales y económicos en sus comunidades. Mediante el desarrollo de un nuevo proceso de extracción de quitina, estos residuos pueden utilizarse como materia prima para la producción de quitina. Esto no solo permite a los agricultores minoritarios obtener ingresos adicionales, sino que también puede reducir la cantidad de desechos generados por el cultivo de camarones y, por lo tanto, mejorar el medio ambiente en sus comunidades (Mathew et al., 2021).

Desarrollar métodos alternativos de extracción de quitina, radica en la urgente necesidad de encontrar métodos más sostenibles y ecológicos para la extracción de quitina. La sobreexplotación de los recursos marinos y la contaminación ambiental son problemas crecientes en todo el mundo, y la industria de procesamiento de quitina no está exenta de estas preocupaciones. Al desarrollar y optimizar procesos que sean amigables con el medio ambiente, este estudio no solo contribuye a la eficiencia operativa de la industria, sino que también allana el camino para una producción más ética y responsable. El enfoque enzimático propuesto no solo promete ser más respetuoso con el medio ambiente, sino que también tiene el potencial de establecer un estándar para prácticas más sostenibles en la industria, marcando un paso significativo hacia la producción de quitina de manera responsable y ética.

La adopción de enfoques enzimáticos con respecto a la extracción de quitina a partir de los desechos de camarón tiene una importancia económica y ambiental significativa para los productores de camarón en Guatemala. Desde el punto de vista económico, esta técnica representa una oportunidad para diversificar los ingresos y agregar valor a los desechos que de otro modo se consideran residuos. Al transformar estos desechos en un producto valioso como la quitina, los productores pueden generar ingresos adicionales y optimizar la rentabilidad de sus operaciones. Además, al introducir prácticas sostenibles y tecnologías ecológicas en la industria del camarón, Guatemala puede fortalecer su posición en los mercados internacionales, donde la demanda por productos sostenibles y respetuosos con el medio ambiente está en aumento.

Desde una perspectiva ambiental, la implementación de métodos enzimáticos contribuye significativamente a la reducción de la huella de carbono y la minimización de la contaminación. Al evitar el uso de productos químicos agresivos en el proceso de extracción, se protege la biodiversidad marina y se preservan los ecosistemas acuáticos en las áreas de producción de camarón. Además, al disminuir la cantidad de desechos que llegan a los vertederos y cuerpos de agua, se mitigan los impactos negativos en el entorno local, promoviendo así un desarrollo sostenible y responsable. En última instancia, esta iniciativa no solo beneficia a los productores de camarón al generar ingresos adicionales, sino que también coloca a Guatemala a la vanguardia de la industria marina sostenible, mejorando su reputación internacional y fomentando un futuro más ecológico para la producción de camarón en el país.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Desarrollar un proceso de extracción enzimática de quitina a partir de desechos de camarón (*Litopenaeus setiferus*).

4.2. Objetivos específicos

- Evaluar la efectividad de la extracción de quitina por medio de métodos enzimáticos utilizando papaína y pepsina para determinar el más viable para industrializar.
- Evaluar las características funcionales y tecnológicas de la quitina extraída a partir del mejor método identificado a partir de la evaluación de efectividad de extracción.
- Establecer la factibilidad de adopción industrial del método de extracción de quitina enzimático de mayor efectividad por medio de la simulación del proceso y evaluación del impacto ambiental.

5. Marco teórico

5.1. Acuicultura

5.1.1. Descripción

La acuicultura es la crianza de ecosistemas acuáticos por medio de sistemas en condiciones controladas o semicontroladas, también es conocida como agricultura bajo el agua (Stickney & Gatlin III, 2022). La acuicultura es una actividad fundamental que contribuye a la alimentación a nivel mundial y cuando es practicada en el mar, se le conoce como maricultura (Castro Arbelaez & Moncayo Muñoz, 2020).

Existen dos variedades básicas de camarón en el mercado a nivel mundial en la actualidad: camarón de aguas frías y camarón de aguas tropicales. Debido a que el camarón se cultiva en granjas, por lo general de aguas tropicales, las granjas camaroneras se sitúan a lo largo de las costas tropicales y subtropicales (Cajas Rosado, 2022). La selección del sitio donde se debe de ubicar la granja camaronera es una de las consideraciones primordiales de la industria camaronera, esto para maximizar la eficiencia de la crianza, con el objetivo de llevar los camarones juveniles a los tamaños del mercado internacional (Cabrera Reinado, 2020).

Tabla 1 Tipos de camarón más populares a nivel mundial

Nombre	Descripción	Lugar de origen	Tamaño	Bibliografía
Camarón Roca	Obtiene su nombre debido a su caparazón duro, es una de las especies más pequeñas.	Aguas calientes del Atlántico.	aprox. 8 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Azul	Son camarones de agua salada, el color de su caparazón es entre azul y gris.	Islas de Hawái y en México.	aprox. 18 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Rosado	Es también llamado Camarón Rosado del Golfo, es largo y se cultiva prácticamente todo el año. Este camarón tiene una de las poblaciones más extensas, ya que es de los	En aguas de la Bahía de Chesapeake a lo largo del Golfo de México y al sur de la Península de Yucatán.	aprox. 28 cm.	(Louie, 2021)

Continuación de tabla No. 1.

Nombre	Descripción	Lugar de origen	Tamaño	Bibliografía
Camarón Rosado	camarones más utilizados para la cocina.			
Camarón Banana	Es un camarón asiático de aguas frescas, es más popular en Australia.	Tailandia, Indonesia y al norte de Australia.	aprox. 18 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Tigre	Es una especie de camarón de agua salada que obtiene su nombre debido a su color rojo y negro, que aparece luego de ser cocinado.	Sudeste de Asia, especialmente el sur de Vietnam.	aprox. 33 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Esopo	También conocido como camarón Rayado Rosado, su cuerpo tiene una forma única con una cabeza redonda	Aguas de Canadá al norte.	aprox. 15 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Blanco Chino	Es un camarón cultivado en las aguas frías de China. Tiende a que su textura y sabor sean delicados e incluso algo aguados antes de la cocción.	China, principalmente en el Mar Amarillo y el Mar de China Oriental.	aprox. 18 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Mancha	También llamados langostinos, este tipo de camarones proviene de la costa oeste de los Estados Unidos, cuenta con un sabor dulce.	El Océano Pacífico desde Alaska hasta San Diego, California.	aprox. 13 cm.	(Louie, 2021)
Camarón Café	Este camarón tiene un sabor más fuerte en comparación a otras variedades. Las poblaciones de camarones marrones se encuentran en niveles adecuados.	Aguas frías del Atlántico en el sur de Massachusetts hasta la península de Yucatán.	aprox. 18 cm.	(Louie, 2021)
Camarón del Atlántico Norte	Se caracteriza por ser un camarón de agua salada, además de tener un sabor dulce.	Se encuentra en el Atlántico Norte.	aprox. 10 cm.	(Louie, 2021)

Continuación de tabla No. 1.

Nombre	Descripción	Lugar de origen	Tamaño	Bibliografía
Camarón Blanco	Es un camarón mediano que se consume alrededor del mundo. Son adecuados para cocinar y comer ya que absorben fácilmente los sabores de las salsas y los condimentos	Aguas del Atlántico de Nueva York hasta el sur de Florida.	aprox. 20 cm.	(Louie, 2021)

Fuente: Elaboración propia

Los camarones se crían en grandes estanques, los cuales, por lo general, suelen ser de al menos un metro de profundidad. Los diques son construidos a mano o empleando maquinaria de excavación. El sitio suele estar en una ubicación cerca de la costa, para asegurar contar con las cantidades de agua suficientes para la crianza. Algunos estanques de camaricultura pueden incluso estar situados sobre una laguna de inundación natural.

Con respecto a sus características biológicas, el cultivo de camarón se realiza en dos etapas: producción de semilla y engorde. El proceso de engorde comprende el crecimiento de camarón hasta que llega a su tamaño comercial el cual es entre 10-20 g., este tamaño se alcanza después de 95-120 días. Para la siembra, el ciclo debe realizarse aproximadamente tres veces al año, esto depende de las condiciones climáticas. La fase larval tiene una duración de 20 a 22 días y comienza después que los huevos previamente fecundados fueron liberados por la hembra (Leal, 2019).

La supervivencia y desarrollo de los camarones que se encuentran en cautiverio depende del tipo y cantidad de alimentos que se les suministran. El camarón es omnívoro, por lo que su dieta varía desde plancton hasta el alimento concentrado. El concentrado es generalmente balanceado en cuanto a niveles de proteína, carbohidratos, calcio, aminoácidos y fibra. Los camarones se alimentan a diario y se monitorizan también parámetros como calidad agua para entender los efectos de la alimentación, temperatura y oxígeno, lo que permite controlar la evolución de los animales. Es importante mencionar que el alimento también está controlado para no dañar el nivel orgánico de las piscinas, optimizar costos y para la preponderancia en el cultivo (Coloma & Malavé, 2018).

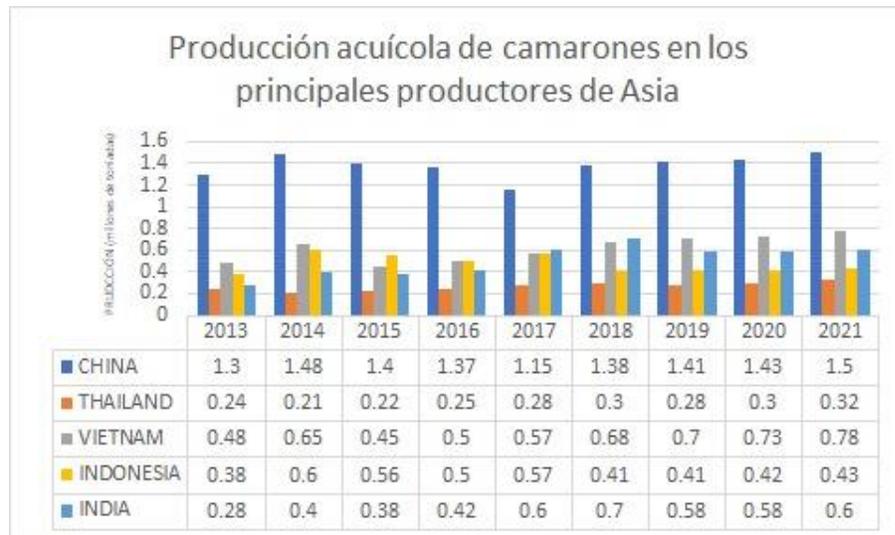
5.1.2. Comercialización

Los principales proveedores de camarón a nivel mundial por orden de toneladas son los siguientes:

1. Ecuador-86,690 toneladas
2. Argentina-54,348 toneladas
3. India-54,235 toneladas
4. Bangladesh -34,860 toneladas (MAGA, 2014).

Con base en la Global Outlook for Aquaculture Leadership de 2019 de la Alianza Mundial de Acuicultura, la producción de camarón se ha recuperado a nivel mundial en base a datos desde el 2015. Se estimaron 3.75 millones de toneladas métricas en 2018 y potencialmente 4 millones de toneladas métricas para 2021, un 18% menos que la producción del 2017. India alcanzó en 2018 un nivel de producción histórico de 700,000 toneladas métricas (James et al., 2019).

Figura 5 Producción acuícola de camarones en los principales productores de Asia



Fuente: Elaboración propia con base en James et al., (2019)

En el 2013, México sufrió pérdidas en ventas, se logró restaurar hasta el 2015 y se espera un crecimiento que alcanzarán 180,000 toneladas métricas en 2021. Perú, Venezuela y Guatemala reportan expectativas positivas de crecimiento hasta 2021, se espera mucho menos crecimiento en Honduras, Colombia, Nicaragua y Panamá (James et al., 2019).

En Guatemala se cultiva y se comercializa principalmente las siguientes variedades de camarón (ordenados de mayor exportación a menor):

- 1) Camarón Blanco (*Litopenaeus vannamei*)
- 2) Camarón Camellon (*Heterocarpus vicarius*)
- 3) Camarón Café (*Farfantepenaeus claiiforniensis*)
- 4) Camarón chupaflor (*Solenocera agassizii*)
- 5) Camarón Rojo (*Farfantepenaeus brevirostris*)
- 6) Camarón Tigre (*Trachipenaeus byrdi*)
- 7) Camarón Rosado (*Farfantapenaeus durarum*)
- 8) Camaroncillo (*Trachipenaeus similis*)

Tabla 2 Tallas y pesos comerciales de camarón

TALLAS COMERCIALES Y RANGOS			
TALLA DE CAMARÓN	CAMARONES EN 5 LIBRAS	PESO INDIVIDUAL SIN CABEZA	PESO INDIVIDUAL CON CABEZA
U15	65 - 75	30.3 - 35.0	46.6 - 53.8
16/20	80 - 100	22.7 - 26.4	34.0 - 43.6
21/25	105 - 125	18.2 - 21.7	26 - 33.3
26/30	130 - 150	15.1 - 17.5	23.2 - 26.0
31/35	155 - 175	13 - 14.7	20.0 - 22.6
36/40	180 - 200	11.4 - 12.6	17.5 - 19.3
51/60	255 - 300	7.6 - 8.9	11.6 - 13.6
61/70	305 - 350	6.5 - 7.5	10.0 - 11.5
71/90	355-450	5.1 - 6.4	7.8 - 9.8
91/110	455 - 550	4.1 - 4.9	6.3 - 7.5

Fuente: (Leal, 2019)

La Tabla No. 2 presenta los pesos comerciales de camarón, así como la "talla de camarón", este dato indica las unidades de camarón que se obtienen aproximadamente por libra (Leal, 2019).

5.1.3. Impactos ambientales

La tala de manglares por causa de la actividad acuícola es perjudicial al medio ambiente. De los manglares se puede obtener alimentos, medicinas y madera por lo que su destrucción es perjudicial para el ambiente. (Flores Aguilar et al., 2020). El impacto ambiental que es ocasionado por la acuicultura está relacionado con el sistema de producción que se implementa por las industrias camaroneras. A mayor demanda camaronera, una mayor cantidad de insumos y materias primas utilizadas. Durante el proceso productivo de camarón las actividades más comunes son: el almacén de materiales, la cosecha de camarón, los cambios de agua, lavado y desinfección de estanques y el uso de concentrado natural y formulado (Espinosa Plascencia & Bermúdez Almada, 2018).

La utilización de compuestos químicos en la acuicultura no se puede estimar, tiende a suceder que los compuestos que ingresan en la cadena trófica con posibles bioacumulaciones en el proceso que puedan causar daños a largo plazo. Otro problema en la acuicultura es el uso de oxitetraciclina que es uno de los antibióticos más utilizados en la práctica alrededor del mundo, este produce residuos que pueden llegar al consumidor (Espinosa Plascencia & Bermúdez Almada, 2018).

5.1.4. Impactos sociales

El movimiento de animales acuáticos en los medios nacionales e internacionales es importante para medir impactos sociales para el desarrollo y uso de recursos públicos. Es una fuente de ingresos por lo que da beneficios socioeconómicos directos a los productores minoritarios que se dedican a esta actividad. Se determinó que los productores minoritarios pueden vivir de estos recursos en momentos de crisis (FAO, 2020). La acuicultura tiene un impacto directo en la disminución de hambre y pobreza, ya que los alimentos provenientes de la acuicultura son una rica fuente de proteínas y micronutrientes entre los que se destacan vitamina A, zinc, hierro y calcio.

5.1.5. Impactos económicos

La demanda de camarón es generada por importadores y distribuidores, quienes compran todas las tallas y presentaciones. Las cadenas de supermercados, cadenas de restaurantes o distribuidores especializados tienen la capacidad de ofrecer un precio más competitivo, pero solo compran tallas y presentaciones específicas. También uno de los principales factores para tomar la decisión de exportar es realizar un análisis de la oferta (Gutiérrez, 2017).

En el entorno de la industria a nivel local se considera el entorno de la competencia local y los proveedores como potencial apoyo económico. Las empresas locales son consideradas competidoras directas de la empresa exportadora por lo que presentan variaciones de precio desventajosas. La acuicultura costera desempeña un papel importante en los medios económicos locales de las comunidades, donde se practica total o parcialmente (FAO, 2020)

5.2. Análisis del producto

5.2.1. Descripción

El análisis microbiológico del camarón se realiza para la identificación de patologías. Es importante realizar análisis del producto debido a que éste refleja el estado de salud del camarón. En las granjas de camarón, estos análisis no se realizan por personal especializado por tanto los compradores realizan sus propios análisis para tener certeza del estado de salud del camarón (Labomersa, s.f.).

Los análisis microbiológicos realizados en el camarón incluyen:

- Conteo E. coli
 - Conteo Salmonella
 - Hongos y levaduras
 - Conteo Coliformes fecales
 - Conteo de Estafilococos Áureos
 - Conteo de Coliformes Totales
- Conteo Aerobios (Bioaquafloc, 2019)

Los análisis físicos-químicos realizados en el camarón son:

- Olor
- Sabor
- Peso neto
- Apariencia
- Grados Brix
- Líquido de cobertura
- Cadmio
- Cenizas
- PCR
- Peso drenado (Bioaquafloc, 2019)

5.2.2. Costos de producción

Los precios a nivel mundial de camarón disminuyeron un 25% a partir del 2020 debido a la pandemia del COVID-19, la cual redujo la actividad turística y esto produjo una disminución de consumidores de camarones. La pandemia tuvo una repercusión en los precios globales del alimento que afectó las producciones y exportaciones de América Latina. Se pudo determinar que la mayoría de los países de Asia presentó una reducción de exportaciones (Ordóñez Peralta, 2021).

Los precios del producto están sujetos a la oferta y demanda del camarón. El rubro de camarón sufre en precios por el aumento de la oferta en el mercado global, al incrementarse la necesidad de disminuir costos para ser más competitivos y eficientes. Los productores se ven obligados a manejar sus costos de manera que puedan tener mayores utilidades por libra producida y asegurar una sustentabilidad en el negocio acuícola (Ordóñez Peralta, 2021).

5.3. Desechos de camarón

5.3.1. Desecho de camarón en la industria

La producción de desecho de camarón en procesadoras ha aumentado dramáticamente en años recientes. Se estima que los pequeños productores de camarón producen alrededor de 400 libras de desecho diario. El camarón, y los subproductos de este, son altamente valorados alrededor del mundo debido a su calidad y sabor (Nirmal et al., 2020).

El desecho de camarón contiene compuestos bioactivos como quitina, pigmentos aminoácidos, minerales, lípidos, vitaminas y enzimas. Las cantidades para cada componente dependen del lugar y las condiciones de procesamiento. Estos componentes pueden ser utilizados para realizar productos con valor agregado basado en sus componentes bioactivos para distintas aplicaciones en la industria farmacéutica, de alimentos y en industrias ambientales (Nirmal et al., 2020).

Tabla 3 Composición de desechos de camarón

Compuesto	Contenido
Proteínas	20-50%
Quitina	17-32%
Lípidos	0-14%
Minerales	30-60%
Pigmentos	1-14%

Fuente: Elaboración propia

Proteínas: Los desechos de camarón son una fuente importante de este nutriente. Contienen aminoácidos esenciales, como valina, serina, tirosina, treonina, histidina, triptófano e isoleucina, aminoácidos que pueden proporcionar un efecto benéfico a la salud cuando son consumidos como un suplemento alimenticio (Cabanillas et al., 2020).

Quitina y quitosano: La quitina es la segunda molécula más abundante a nivel mundial. En la estructura de camarón su función es dar rigidez al caparazón. El quitosano se obtiene a partir de la quitina por medio de la desacetilación. Ambos componentes tienen características como baja reactividad y nula alergenicidad, además de contener potencial antimicrobiano (Cabanillas et al., 2020).

Lípidos: Los desechos de camarón son fuente de ácidos grasos poliinsaturados en especial los derivados de omega 3, ácido docosahexaenoico y el ácido eicosapentaenoico. Estos ácidos pueden ser beneficiosos para la salud, especialmente en personas con enfermedades cardiovasculares y cáncer (Cabanillas et al., 2020).

Pigmentos: La astaxantina es el pigmento que puede ser encontrado en el camarón, es de tipo carotenoide. Es una molécula altamente antioxidante lo cual incrementa su interés en la industria farmacéutica (Cabanillas et al., 2020).

5.3.2. Manipulación de desecho de camarón

Los desechos de camarón como subproducto son generalmente considerados como basura. La descomposición de los desechos de camarones provoca malos olores y genera problemas ambientales graves en sitios donde no son manipulados adecuadamente. Es necesario mostrar como la valorización de estos desechos, específicamente, la cáscara de camarón tiene un gran potencial para desarrollo económico (Cabanillas et al., 2020).

5.3.3. Perspectivas sobre desechos de camarón

En la industria alimentaria actualmente existe un problema debido a los contaminantes ambientales, ya que grandes cantidades son generadas diariamente. Se ha demostrado que

los desechos de camarón podrían tener valor comercial por ser fuentes importantes de bioactivos (Cabanillas et al., 2020). Ya que la mayoría de las industrias alimentarias utilizan químicos sintéticos como aditivos, éstos compuestos bioactivos del camarón podrían sustituir los químicos sintéticos y ser aplicados como aditivos, mejorando las prácticas actuales de la industria alimentaria. El procesamiento del desecho de camarón resulta en abundantes recursos de carbono, oxígeno, nitrógeno y componentes activos como quitina, proteína y lípidos (Nirmal et al., 2020).

5.4. Aprovechamiento o valorización de desechos en camarón

5.4.1. Descripción

La valorización de alimentos es la evaluación de las posibilidades investigativas para determinar la calidad nutricional y las interacciones de este para optimizar los procesos. Es un reto la valorización de alimentos por diversas razones, entre estas: la diferente estabilidad de los componentes durante el procesamiento, las dificultades tecnológicas a gran escala, el bajo resentimiento energético y el uso de solventes en algunos casos. Es importante que los productos, en este caso el camarón, produzcan muchos subproductos por lo que podría ser valioso realizar un análisis de los beneficios de implementar un proyecto de valorización de desechos de camarón (Socas-Rodríguez et al., 2021).

Los desechos de la industria alimentaria consisten en una gran pérdida de nutrientes y biomasa que puede ser utilizada para alimentos funcionales o un recurso para obtener bioproductos. Actualmente no se utilizan muchas técnicas de valorización de alimentos, esto debido al costo (Jōgi & Bhat, 2020). Existen cuatro principales tipos de valorización de alimentos:

- Producción de biocombustibles
- Recuperación o extracción de componentes de valor agregado
- Producción de biomateriales
- Producción de bioadsorbentes para ayudar con el tratamiento de aguas residuales (Jōgi & Bhat, 2020)

5.5. Bioprocesamiento enzimático de desechos de marisco

5.5.1. Proteasas de microbios

Los métodos biológicos para la recuperación de quitina y otros productos de importancia nutricional tienden a utilizar menos procesos químicos. La biofermentación es una alternativa importante en la industria de la sostenibilidad. Se determinaron diferentes eficiencias de desproteínización utilizando enzimas puras y microorganismos proteolíticos. La utilización de *P. maltophilia* resultó en un 82% de desproteínización luego de seis días de incubación comparado con proteínas purificadas. Al utilizarse proteasas alcalinas aisladas de *Micromonospora Chai-yan phumensis 103* para recuperar quitina de cáscaras de desechos, se obtuvo una eficiencia de desproteínización del 93% (Mathew et al., 2021).

5.5.2. Quimotripsina

La quimotripsina se puede aislar del camarón y de las vísceras de pescado, especialmente de la sardina. En conjunto con enzimas de papaína, puede realizarse la desproteínización de desechos de cáscara de camarón desmineralizado. Se deben procurar las condiciones óptimas para la quimotripsina y las condiciones para la enzima de papaína de manera de obtener un alto rendimiento de extracción (Mathew et al., 2021).

5.5.3. Papaína

La papaína es una enzima de origen vegetal, derivada de la cascara de papaya y es utilizada especialmente para la extracción de quitina. Al utilizarse enzimas como la papaína, tripsina y pepsina se produce una quitina de buena calidad con una leve desacetilación. Al utilizarse la papaína esta produce quitosano de alto grado. El uso de esta enzima comercial de bajo costo es ampliamente aceptado para la producción de hidrolizados de quitosano (Mathew et al., 2021).

5.5.4. Alcalasa

Es una proteasa utilizada para el tratamiento de desechos para producir hidrolizados ricos en bioactivos. Los desechos de camarón son tratados con alcalasa para obtener hidrolizados de proteínas que contienen aminoácidos, nitrógenos y carotenoides. Al utilizar el método de alcalasa se obtuvieron rendimientos altos con una reducción en el tiempo de recuperación de quitina con uso mínimo de solventes (Mathew et al., 2021).

5.5.5. Pepsina

La pepsina puede utilizarse para la desproteínización de desechos de camarón blanco desmineralizado para la extracción de quitina. La pepsina puede llevar a cabo a la desproteínización con un pH inferior a 2, también se debe tener condiciones óptimas de temperatura, tiempo y concentración de enzimas. El proceso es beneficioso ya que se redujo el uso de productos químicos para la extracción de quitina (Mathew et al., 2021).

5.5.6. Tripsina

La tripsina es un miembro de las proteasas que hidrolizan la proteína. Las caroteno-proteínas se extraen de los desechos de mariscos usando tripsina de vísceras de pescado. Se determinaron diferentes eficiencias de eliminación de astaxantina y proteína usando los desechos de camarón, la cual resultó en una extracción satisfactoria de carotenoides. La aplicación de este tipo de enzimas comerciales para la recuperación de astaxantina para aplicaciones con alimentos, es muy eficaz para la extracción de pigmentos (Mathew et al., 2021).

5.5.7. Enzimas endógenas

La tecnología de uso de microorganismos autóctonos de los desechos de mariscos para su descomposición es útil en esta aplicación. Al utilizarse enzimas endógenas de la

cabeza de camarón, puede combinarse con la fermentación de *Bacillus licheniformis*, que resulta en una eficiente recuperación de hidrolizados de proteínas y quitina. En el proceso se obtuvo quitina de alta calidad obtenida mediante auto fermentación (Mathew et al., 2021).

Tabla 4 Enzimas utilizadas en la actualidad para la degradación de desechos de mariscos

Residuos de mariscos	Enzimas utilizadas
Residuos de gambas (<i>Penaeus longirostris</i>)	Tripsina purificada de <i>Barbus callensis</i>
<i>Penaeus monodon</i>	Tripsina de <i>Pomatomus saltatrix</i>
Residuos de camarón (<i>Metapenaeus monoceros</i>)	Proteasa alcalina cruda de <i>Balistes capricus</i>
Residuos de camarón (<i>Metapenaeus monoceros</i>)	Proteasa alcalina cruda de <i>Sardinella aurita</i>
Residuos de camarón (<i>Metapenaeus monoceros</i>)	Proteasa alcalina cruda de <i>Z. ophiocephalus</i>
Residuos de camarones	Proteasa alcalina cruda de <i>Raja clavata</i>
Residuos de camarones	Proteasa alcalina cruda de <i>Scorpaena scrofa</i>

Fuente: Mathew et al. (2021).

5.6. Manejo de las enzimas

Tabla 5 Condiciones de enzimas a utilizar en la experimentación

Enzima	Temperatura de reacción	pH óptimo	Velocidad de reacción	Cofactores de la enzima	Punto Isoeléctrico	Compuestos que aceleran su reacción	Enlaces que rompe o hidroliza la enzima en quitina
Papaína	40°C-65°C (Banchon Bajaña, 2005)	3 a 9	Depende de la concentración de enzima y sustrato, la temperatura, el pH y la presencia de cofactores o inhibidores (Berg et al., 2015).	Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), iones metálicos, pH y temperatura (Banchon Bajaña, 2005).	9.6 (Banchon Bajaña, 2005).	Aminas como histamina; Sales como el cloruro de sodio o el fosfato de sodio; Solventes orgánicos: Algunos solventes orgánicos, como el etanol o el dimetilsulfóxido (DMSO) (Jiang et al., 2022).	Enlace glucosídico la papaína puede hidrolizar los enlaces β -1,4 de la quitina, al producir oligosacáridos y monómeros de N-acetil-D-glucosamina (Berg et al., 2015).
Pepsina	37°C a 42°C (Mathew et al., 2021).	1.5 y 2.5 (Mathew et al., 2021).	Depende de la concentración de enzima y sustrato, la temperatura, el pH y la presencia de cofactores o inhibidores (Berg et al., 2015).	Funciona mejor en un ambiente ácido zinc y el hierro, así como algunas coenzimas como el cloruro de hidrogeno (HCl) y el ácido clorhídrico (Banchon Bajaña, 2005).	1 (Perlo et al., s.f.),	Cloruro de hidrogeno, iones de zinc, sales biliares y aminoácidos (Perlo et al., s.f.).	Función principal hidrolizar enlaces peptídicos en proteínas esto significa que rompe enlaces proteicos (Perlo et al., s.f.).

Fuente: Elaboración propia

5.7. Quitina y quitosano

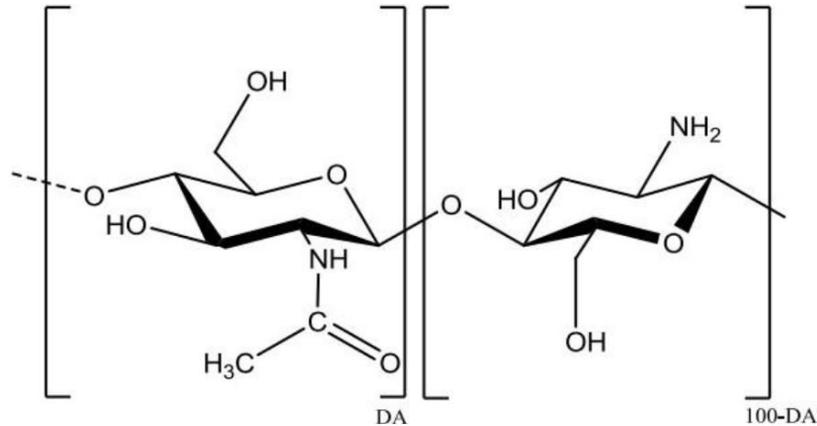
5.7.1. Descripción

La quitina y el quitosano son dos polímeros orgánicos ampliamente presentes en la naturaleza. La quitina es un polisacárido lineal compuesto por unidades de N-acetilglucosamina unidas por enlaces β -1,4. Se encuentra en las paredes celulares de los hongos, la epidermis de los artrópodos y en organismos marinos como los crustáceos. La quitina es un material duro y elástico que proporciona soporte estructural y protege contra el estrés mecánico y la depredación (Pacheco López, 2010).

El quitosano es un polisacárido obtenido de la quitina por desacetilación parcial. Tiene una estructura química similar a la quitina, pero tiene grupos amino libres en lugar de grupos acetilo. El quitosano se disuelve en ácido acético diluido y soluciones de ácidos

fuertes y tiene propiedades antibacterianas y bactericidas. Se utiliza en aplicaciones biomédicas y farmacéuticas, así como en la industria alimentaria y agrícola (Pacheco López, 2010).

Figura 6 Estructura primaria de quitina y quitosano

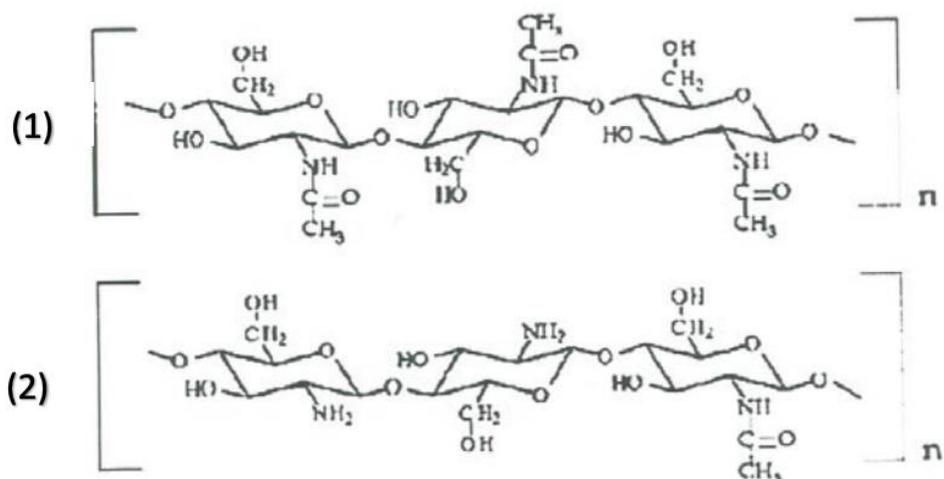


Fuente: Pacheco Lopez (2010).

La quitina y el quitosano son biocompatibles y biodegradables, lo que los hace atractivos para su uso en una variedad de aplicaciones médicas y biotecnológicas. Se han utilizado como materiales de andamiaje en ingeniería de tejidos y regeneración ósea, como agentes de liberación controlada para fármacos y como recubrimientos antimicrobianos para implantes médicos. También se utilizan en la producción de bioplásticos y en la industria alimentaria como aditivos para mejorar la textura y estabilidad de los alimentos (Luviano Silva, n.d.).

La quitina y el quitosano también tienen propiedades químicas y físicas únicas que ayudan a eliminar los metales pesados y otros contaminantes del agua y el suelo. Se ha demostrado que los materiales a base de quitina y quitosano tienen una alta capacidad de adsorción y pueden eliminar de manera eficiente metales pesados como plomo, cadmio y mercurio, así como otras impurezas orgánicas (Luviano Silva, n.d.).

Figura 7 Estructura secundaria de quitina y quitosano



Fuente: Luviano Silva (n.d.).

5.8. Métodos de análisis de quitina

5.8.1. Pureza

El análisis de pureza es la determinación del compuesto de una muestra, cuantificación e identificación de impurezas presentes. En el caso de la industria alimentaria, farmacéutica y quitina, este análisis es importante para garantizar la calidad y la seguridad del producto final. En la actualidad los análisis de pureza se realizan dependiendo de las impurezas y el tipo de muestra. El análisis de pureza también puede incluir métodos físicos, refracción y mediciones de densidad. En cualquier caso, el análisis de pureza compara los resultados obtenidos con estándares de referencia para determinar la cantidad de cada componente y las impurezas presentes en la muestra. La exactitud y la precisión en las pruebas de pureza son fundamentales para interpretar correctamente los resultados y garantizar la calidad y la seguridad del producto final (Pan American Health Organization, 2002).

La pureza de la quitina se puede determinar mediante cromatografía de exclusión molecular, que separa los componentes de acuerdo con su tamaño molecular. Además, la espectroscopía infrarroja (IR) y la espectroscopía Raman también se pueden utilizar para determinar la pureza de la quitina. Así mismo se puede utilizar el método de Black y Schwartz (1950) se utiliza para determinar la pureza de la quitina. Este método se basa en la medida del contenido de nitrógeno de la muestra y en la comparación con el contenido teórico de nitrógeno de la quitina pura (Cisneros Pérez, 2019).

5.8.2. Proteínas

El análisis de proteínas es una técnica común en alimentos, farmacéutica, química, bioquímica entre otros utilizada para identificar, cuantificar y caracterizar proteínas en muestras. Las proteínas son macromoléculas que desempeñan funciones importantes en una variedad de procesos biológicos, como la regulación de la expresión génica, la señalización celular, el mantenimiento de la estructura celular y cantidad de proteínas en alimentos.

Además de la espectrofotometría y la HPLC, la presencia de proteínas en la quitina también se puede determinar mediante electroforesis en gel de poliacrilamida (Roca et al., 2003). También se puede determinar por el método Kjeldahl, que es un método químico utilizado para determinar la cantidad de proteína en una muestra. (Cisneros Pérez, 2019).

La medición de proteínas en quitina es importante para caracterizar la quitina y comprender su función en los organismos que contienen quitina. Así mismo, la presencia de proteína puede afectar las propiedades físicas y químicas de la quitina y su capacidad para procesarse en varios productos, por lo que la medición de proteína en la quitina es de gran importancia en la producción de quitina y sus derivados. Por lo tanto, la medición de proteínas en quitina puede tener implicaciones importantes tanto para la investigación como para la industria (Roca et al., 2003).

5.8.3. Humedad

El análisis de humedad es importante en el sector de alimentos, farmacéutica, química, ambiental, bioquímica y cosmética, entre otros. La humedad es el contenido de agua presente en una muestra que puede ser crítica para que un proceso sea exitoso por lo que en los procesos de producción es importante. La humedad puede afectar la calidad y estabilidad de productos debido a que si es en exceso puede promover el crecimiento microbiano y oxidación; así mismo puede afectar la textura y calidad del producto final. El análisis gravimétrico es un método común de determinar la humedad, sin embargo, la humedad en la quitina también se puede determinar mediante la medición de la actividad del agua usando un higrómetro. También se puede determinar por medio de balanzas de humedad (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 2020).

5.8.4. Desmineralización

La desmineralización se refiere a un proceso de eliminación de iones metálicos, calcio y magnesio que pueden estar presentes en la estructura de la quitina. Dichos iones pueden formar enlaces iónicos con los grupos aminos que se encuentran en la estructura de quitina. La desmineralización es importante para su producción y también ayuda en la producción de bioplásticos. Esta es importante para utilizar la quitina en la industria e investigaciones bioquímica (Guzhañay Lozano, 2022).

Además del tratamiento con ácido clorhídrico diluido, la desmineralización de la quitina también se logra mediante el tratamiento con ácido acético y ácido oxálico. La cantidad de minerales se puede determinar gravimétricamente. La desmineralización por

peso seco también se usa comúnmente en la industria para determinar el grado de desmineralización de una muestra, el peso seco se puede medir antes y después del proceso de desmineralización. La pérdida de peso seco resultante se utiliza como una medida indirecta para evaluar el grado de desmineralización (Elizondo Gómez & Manzanares Estrada, 2009).

5.8.5. Parámetros de calidad de quitina

Tabla 6 Parámetros de calidad de la quitina

Parámetros	Rango adecuado	Bibliografía
Pureza	60% al 100%	(Lambertus, 2019)
Contenido de proteínas	01% al 20%	(Barros et al., 2015)
Grado de acetilación	70-95%	(Escobar Sierra et al., 2013)
Humedad	2 al 10%	(Guzhañay Lozano, 2022)
Contenido de cenizas	Menor a 2%	(Guzhañay Lozano, 2022)
Grado desmineralización	95-99%	(Guzhañay Lozano, 2022)

Fuente: Elaboración propia

5.9. Análisis estadístico

5.9.1. Anova simple

El análisis de varianza simple es un análisis o técnica estadística que es comúnmente usada para analizar la diferencia entre las medias de tres o más grupos. Dicho proceso permite comparar si existe una diferencia significativa entre las medias de dos o más grupos independientes. Anova simple se basa en la comparación de la variabilidad entre los grupos y la variabilidad dentro de los grupos. En el caso de la variación entre grupos es mayor que la variación dentro de los grupos, lo que puede concluir que hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos. El estadístico F se compara con un valor crítico de F en una tabla de distribución de F para determinar si hay una diferencia significativa entre las medias de los grupos. El Anova es una herramienta útil para la diferencia entre las medias (Visauta Vinacua, 2007).

El Anova simple se realiza resumiendo en tres etapas:

1. Se calcula la media y la desviación estándar de cada grupo (Visauta Vinacua, 2007).
2. Se calcula la suma de los cuadrados entre grupos y la suma de los cuadrados dentro de los grupos (Visauta Vinacua, 2007).
3. Se calcula el estadístico F por medio de la división de la suma de los cuadrados entre grupos y la suma de los cuadrados dentro de los grupos (Visauta Vinacua, 2007).

4. Posteriormente se compara con un valor crítico de F en una tabla de distribución de F para determinar si existe diferencia significativa entre las medias de los grupos (Visauta Vinacua, 2007).

5.10. Utilización de quitina

5.10.1. Embalajes biodegradables

Los embalajes biodegradables se fabrican con materias primas orgánicas que provienen de fuentes renovables y cuando entran en contacto con el ambiente se degradan más fácilmente que sus semejantes. Cuando este proceso sucede, los desechos se convierten en nutrientes y biomasa que sirven como abono orgánico. Para que un embalaje se considere compostable se debe degradar un 90% en 6 meses y la principal ventaja de estos embalajes es que no produce residuos, es reutilizable, necesita menos recursos para ser producidos y además son novedosos (Koen Pack, s.f.).

El sector industrial de embalajes alimenticios tiene una responsabilidad moral de buscar alternativas para reducir la contaminación del medio ambiente. En la actualidad los materiales plásticos poliméricos aumentan, con cifras de ventas más altas en la historia a nivel mundial. En la industria existen diversos factores de interés mundial en el uso de los recursos renovables para disminuir los gases de efecto invernadero, estas alternativas aumentan la relevancia del uso de biopolímeros en diversas aplicaciones. La degradación de los materiales es un aspecto importante para el control ambiental que propicia la elaboración de productos que garanticen el cuidado del ecosistema (Farris et al., 2009).

En Guatemala, existen muchas empresas que prestan atención a la utilización de embalajes biodegradables y las maneras de concientizar a los consumidores sobre los beneficios de utilizar embalajes que se puedan reciclar. Actualmente está creciendo el interés en la utilización y desarrollo de embalajes ecológicos pero el consumidor guatemalteco no ha estado expuesto a una gran cantidad de información sobre los embalajes biodegradables o los beneficios de utilizarlos (Zea Sandoval, 2008).

5.10.2. Suplementos dietéticos y productos dietéticos

El efecto inmunomodulador asociado al consumo de mariscos es un beneficio importante por el cual es común utilizar la quitina como suplemento dietético que también puede ser combinado con vitamina C y E. La quitina se ha presentado como una sustancia natural, biodegradable y biocompatible que puede ser usada como inmunoestimulantes (Spanier et al., 2002). Un suplemento dietético son cápsulas de quitosano con fibra dietética de quitina lo cual es importante en las dietas de las personas para deportistas y al ser orgánico da beneficios, sin embargo, esto depende del método de extracción de quitina. Debido a la fibra dietaria, ya que retiene grasas y agua hasta más de veinte veces su peso (Luviano Silva, n.d.)

5.10.3. Aditivos

En general, los aditivos de quitina son un ingrediente versátil y valioso en muchas industrias, pero es importante tener en cuenta que su extracción y producción pueden tener un impacto ambiental negativo si no se implementan prácticas sostenibles. La quitina es utilizada como floculante en el tratamiento del agua, espesante y estabilizador en la industria alimentaria y, entre otras aplicaciones, como resina que intercambia iones. Además, se utiliza como gelificante en productos vegetarianos y veganos (Mármol et al., 2011). Al ser un polímero natural y uno de los más abundantes se utiliza como espesante por sus propiedades lo cual lo hace útil en esta rama; además se puede utilizar como gelificante debido a que gelifica a pH mayor al de su fuerza disociativa. Así mismo como agente antioxidante por su capacidad de quelar metales lo cuales son catalizadores de las reacciones de oxidación de las grasas. Una aplicación importante es emulsificante y agente estabilizador de emulsiones debido a su naturaleza polielectrolítica anfifílica. Por último, como agente conservador por su acción antimicrobiana sobre bacterias y hongos contaminantes de alimentos (Luviano Silva, n.d.).

5.10.4. Recubrimientos protectores comestibles

La quitina junto con el quitosano protege los alimentos de microorganismos como levaduras, hongos y bacterias; retarda la aparición de mal olor en la carne. Las concentraciones superiores al 0,02 % también protegen contra el desarrollo de *E. coli*. La acción antimicrobiana resulta del bloqueo de iones esenciales para los microorganismos no deseados, bloqueando o destruyendo la membrana, filtrando los componentes intracelulares y formando complejos de polielectrolitos (Namesny Vallespir, 2001).

5.10.5. Clarificadores

La quitina y la quitosana son polisacáridos con una estructura química parecida a la de los mucílagos vegetales o a los floculantes sintéticos utilizados en la industria azucarera por lo que pueden ser utilizados para clarificar el jugo de caña (Larrahondo A. & Ramírez V., 2001). Los clarificadores de quitina son productos químicos que se utilizan en la industria del vino para mejorar la claridad y la estabilidad del vino. Estos productos contienen quitosano, que es un polisacárido similar en estructura a la quitina, y se añaden al mosto o vino para flocular las partículas en suspensión, haciendo que se asienten y se eliminen más fácilmente (Gaspero et al., 2023).

5.10.6. Cuidado de la piel

La quitina es de gran interés en el campo cosmético por sus propiedades antimicrobianas y antioxidantes, también por su biocompatibilidad y biodegradabilidad. La nanotecnología es uno de los principales sectores de innovación en el cuidado personal, se basan en sus propiedades mejoradas con los materiales convencionales y su capacidad de liberar los principios activos de forma selectiva y controlada. Estas nanopartículas pueden retenerse en la matriz de la piel e interactuar con los lípidos de la piel así mismo para tratar la psoriasis previene efectos como el acné esteroide o la atrofia cutánea. Al tener un valor biológico se puede utilizar también para aliviar inflamaciones y ayudar la hemostasia (Gioffre, 2021).

5.10.7. Productos de limpieza

Actualmente, la quitina se utiliza como abrasivo natural y biodegradable en algunos productos de limpieza como limpiadores de pisos que contienen quitina, por las propiedades abrasivas de la quitina para limpiar, remover manchas y suciedad de superficies duras (Luna, 2018). En la Tabla 7 se describe la función de la quitina en las diferentes áreas en la que se utiliza.

Tabla 7 Aplicaciones de quitina en la industria alimentaria al hacer su conversión a quitosano

Aplicación	Efecto en la industria de alimentos
Cosmética	Clarificación de bebida
	Mantenimiento de humedad de la piel
	Reducir la estática del pelo
	Lentes de contacto
Biomedicina	Actividad inmunológica y antitumoral
	Homeostático y anticoagulante
	Curación (vendas)
	Biomedicina
	Bacteriostático/fungistático
	Anticolesterolémico
	Sedante de sistema nervioso central
	Ayuda a regenerar tejido conjuntivo
Acelera formación de osteoblastos	
Tratamiento de aguas	Floculación para clarificar agua
	Remoción de iones metálicos y residuos orgánicos
	Reducción de olores
Agricultura	Activador de mecanismos de defensa en plantas
	Estimulación de crecimiento en plantas
	Agricultura
	Liberación de agroquímicos y nutrientes en suelo
	Cubierto de semillas contra congelamiento
	Mejora germinación de semillas
Separaciones cromatográficas	Protege de daño microbiano
	Separación de enzimas
Papelería y textil	Cromatografía de gases y columna
	Resistencia al quebrado de papel
	Mejora el brillo del papel
	Resistencia al deterioro microbiano o enzimático
	Mejora biodegradabilidad materiales plásticos
	Mayor impermeabilidad del papel
	Menos absorción de grasa
	Mejora propiedades antiestáticas en papel fotográfico
	Mejorar viscosidad de colorantes y tintas en telas
Mayor estabilidad y resistencia color en telas	

Fuente: Elaboración propia

6. Metodología

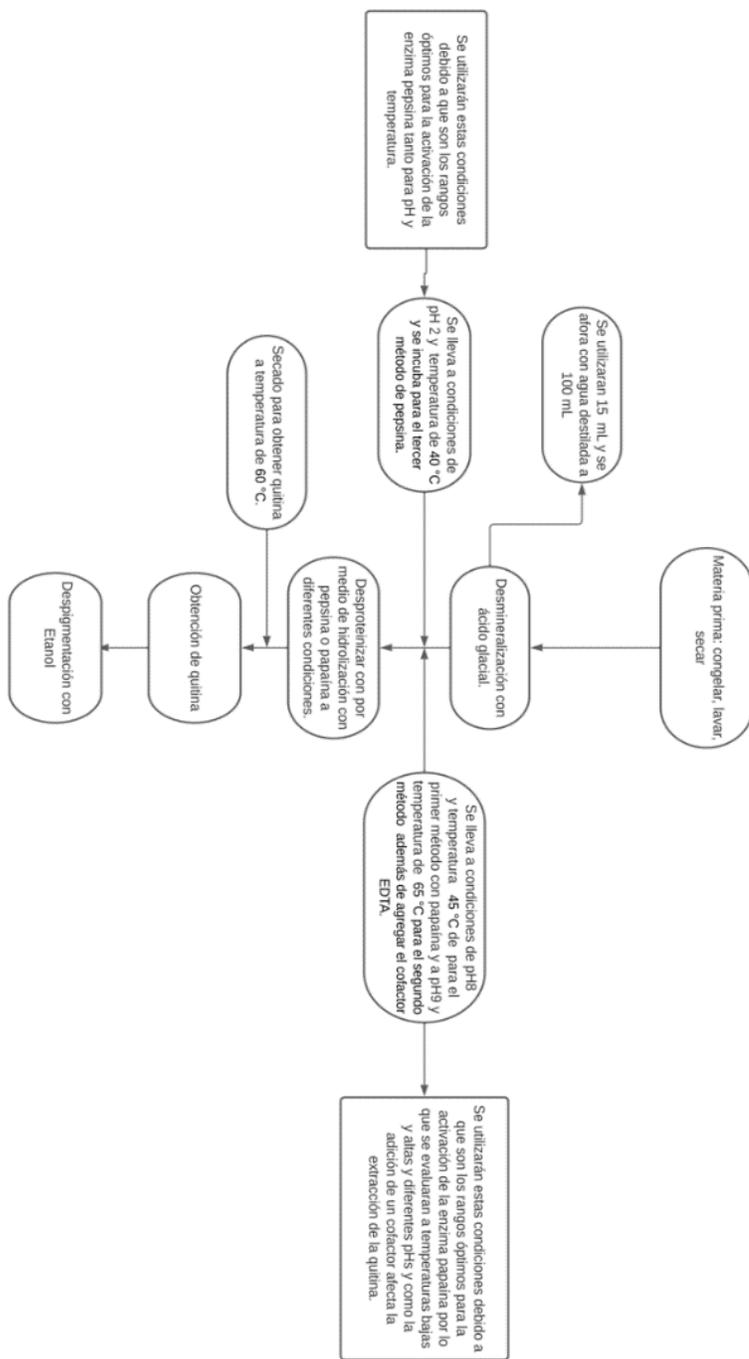
6.1. Lugar de estudio

Los desechos de camarón utilizados en este estudio fueron proporcionados por la empresa Acuamaya, una pionera en la acuicultura del camarón en Centroamérica. Acuamaya se distingue como una empresa líder dedicada a la producción, procesamiento y comercialización de camarones de alta calidad y otros productos relacionados con la acuicultura. Además, es importante destacar que los análisis detallados se llevaron a cabo en el laboratorio de alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala, una institución educativa comprometida con la excelencia académica y la investigación científica.

6.2. Descripción de metodologías experimentales enzimáticas para extracción de quitina

Para llevar a cabo la extracción de quitina, se optó por seguir el método propuesto por Guzhañay Lozano en su estudio pionero del 2022. Sin embargo, se introdujeron modificaciones y mejoras notables, como se observa en el diagrama de Figura 8. Estas adaptaciones se han desarrollado cuidadosamente con el objetivo de optimizar la eficiencia del proceso y mejorar la calidad del producto final.

Figura 8 Procedimiento de estudio a realizar



Fuente: Elaboración propia.

6.2.1. Papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor

Parte No.1: Preparación de muestra

Se seleccionó únicamente la papaína. Se recolectó la cáscara de camarón, utilizando desechos congelados que se descongelaron durante 4 horas antes de su empleo. Se revisaron los desechos para asegurar que no presentaran residuos de carne adheridos; en caso de encontrarlos, se lavaron con agua destilada en tres ocasiones. Posteriormente, se sometió la cáscara de camarón a un proceso de secado utilizando una estufa a 90 °C durante 7 horas. Una vez que el material estuvo completamente seco, se procedió a reducir el tamaño de los desechos mediante un ciclón, obteniendo partículas de menor tamaño. Este proceso se llevó a cabo en cuadruplicado.

Figura 9 Limpieza de cáscara de camarón



Fuente: Elaboración propia.

Figura 10 Proceso de triturado de cascara de camarón



Fuente: Elaboración propia.

Parte No.2: Obtención de Quitina

Desmineralización: Para esto se utilizó ácido acético glacial. Se colocaron 15 mL de ácido acético glacial y se aforó a 100 mL con agua destilada. Se procedió a pesar 5g de la muestra, se agrega la solución y se agita con un agitador magnético durante 3 horas. Se filtró con manta y se lava la muestra con agua destilada para luego secar la muestra a 60 °C durante 7 horas.

Figura 11 Preparación de ácido acético glacial



Fuente: Elaboración propia.

Figura 12 Agitación para desmineralización



Fuente: Elaboración propia.

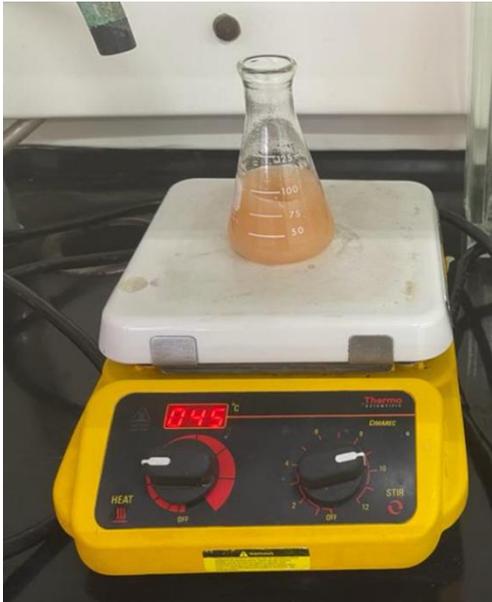
Desproteinización: Se realizó una medición de pH para ajustar de pH 8, para esto se utiliza cloruro de calcio a 0.1M. Con el pH de las soluciones constantes se ajusta el equipo orbital a sus respectivos pH para estabilizar. Posteriormente se colocó la papaína a en una relación 0.5:100 se agitan durante tres horas a 45°C. Se separa por medio de filtrado por manta para separar la fase sólida y líquida. La fase sólida se lava con agua desionizada a pH neutro y se lleva al deshidratador a 60 °C durante 6 horas.

Figura 13 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón



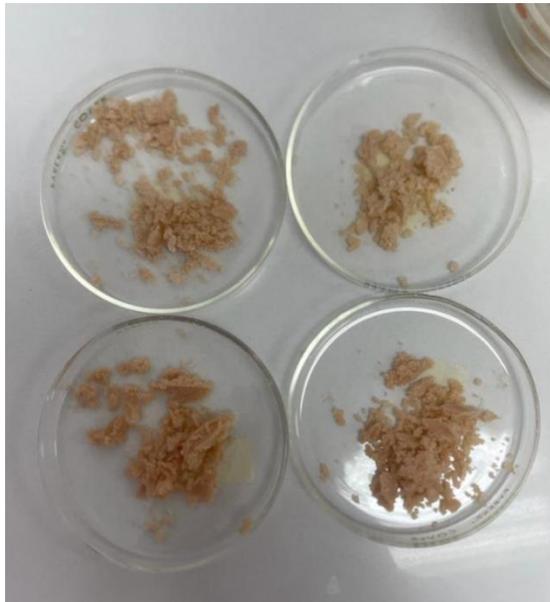
Fuente: Elaboración propia.

Figura 14 Agitación de muestra a temperatura óptima



Fuente: Elaboración propia.

Figura 15 Quitina de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

Despigmentación: La despigmentación se realizó con etanol al 95% con una relación 1:20, se realizó agitación durante dos horas con adiciones de agua destilada cada medio hora 5mL.

Figura 16 Despigmentación de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

Figura 17 Quitina despigmentada de método de papaína pH 8, temperatura 45 °C y sin adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

6.2.2. Papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor

Se siguió el mismo procedimiento, pero a diferentes condiciones de pH, temperatura y adición de cofactor.

pH: 9

Temperatura: 65°C

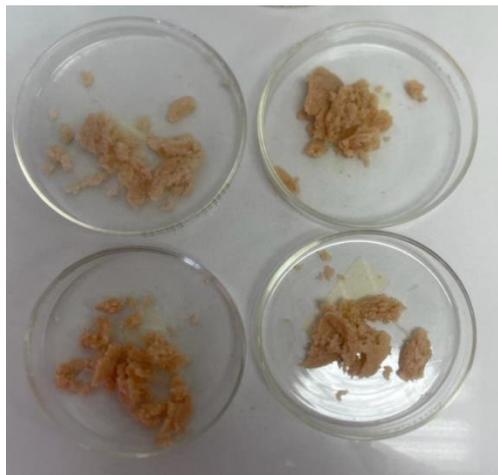
Cofactor a adicionar: Ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) este se agrega con las mismas cantidades de enzima.

Figura 18 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19 Quitina de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

Figura 20 Despigmentación de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

Figura 21 Quitina despigmentada de método de papaína con ajuste de concentración, pH 9 y temperatura elevada; adición de cofactor



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3. Pepsina

Parte No.1: Preparación de la muestra:

Se siguió el mismo procedimiento en la preparación de la muestra que en los métodos anteriores.

Parte No.2: Obtención de Quitina

Para la desmineralización se seguirá la misma preparación que los métodos anteriores.

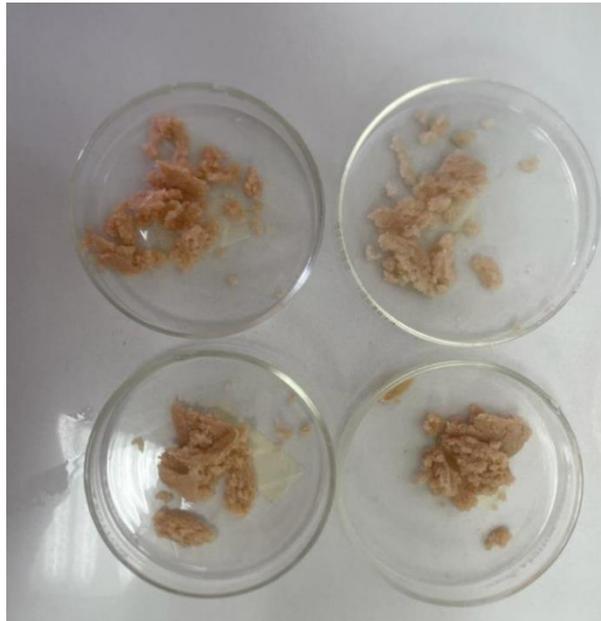
Desproteinización: Se realizó una medición de pH ya que es importante regular la pepsina un pH de 2, para esto se puede utilizar ácido clorhídrico a 0.1 M. Con los pH de las soluciones constantes se puede ajustar el equipo orbital a sus respectivos pH para estabilizar para sus respectivas enzimas. Posteriormente se coloca la pepsina a en una relación 0.5:100 se agitan durante tres horas a 40°C, luego se incubó durante 24 horas. Posteriormente se separa por medio de filtrado con manta para separar la fase sólida y líquida. Para la fase sólida se lava con agua desionizada a pH neutro y se lleva a la estufa a 60 °C durante 6 horas.

Figura 22 Nivelación de pH muestra de cáscara de camarón



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23 Quitina de método de pepsina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 24 Despigmentación de método de pepsina



Fuente: Elaboración propia.

Figura 25 Quitina des pigmentada de método de pepsina



Fuente: Elaboración propia.

6.3. Validación de métodos

6.3.1. Porcentaje de proteínas

Se utilizó el método de Kjeldahl para realizar el análisis de porcentaje de proteínas para las muestras analizadas. Para esto se pesaron 2.5g de quitina extraída de los métodos analizados, este proceso se realizó en duplicado. Primero se sometió al bloque digestor con una mezcla con ácido sulfúrico y la pastilla de Kjeldahl. Posteriormente se sometió al equipo de destilación de nitrógeno, el tubo se deja enfriar al ambiente. Posteriormente se somete a la titulación con ácido clorhídrico hasta que alcance su punto color rosa.

Ecuación 1 Determinación contenido de proteínas de Quitina

$$Pr\% = \frac{(14.01) \times (V) \times (100) \times (N) \times (F)}{m(1000)}$$

Donde:

V: volumen de la titulación

N: Normalidad de HCl

F: 6.25 valor de las proteínas general

m: masa de muestra en gramos (Guzhañay Lozano, 2022)

6.3.2. Grado de desmineralización

El grado de desmineralización se determinó midiendo el peso seco de la muestra antes y después de la desmineralización. Se determinó cuánta desmineralización se obtiene por cada gramo de muestra. La pérdida de peso seco se puede utilizar como una medida indirecta del grado de desmineralización. El grado de desmineralización se hará a todos los métodos.

Ecuación 2 Determinación de porcentaje de minerales por gramo de cáscara de camarón

$$\% \text{ minerales} = \frac{\text{peso inicial seco} - \text{peso final seco}}{\text{peso seco final}} \times 100\%$$

Ecuación 3 Determinación de minerales por gramo de cáscara de camarón

$$g \text{ minerales cáscara de camarón} = \text{Peso inicial de muestra} \times \% \text{ minerales}$$

Ecuación 4 Porcentaje de minerales residuales en muestra

$$\% \text{ minerales residuales} = \frac{g \text{ minerales cáscara de camarón} - \text{peso final de muestra desmineralizada}}{g \text{ minerales cáscara de camarón}} \times 100$$

Ecuación 5 Porcentaje de desmineralización

$$100 - \% \text{ minerales residuales}$$

6.3.3. Determinación de humedad

Para determinar la humedad se utilizó la diferencia de pesos es un método utilizado para determinar el contenido de humedad de una muestra de material. Para esto se pesaron 0.25 g de cada muestra y se ingresa en el horno durante 24 horas. Por último, se determina por diferencia de pesos.

Ecuación 6 Determinación de humedad

$$\frac{\text{Peso inicial} - \text{peso final seco}}{\text{Peso inicial}} \times 100\%$$

6.3.4. Grado de acetilación

Para determinar el grado de acetilación se utilizó la potenciometría. Se disolvieron 0.15 g de quitina del método de papaína, papaína y cofactor y pepsina con 6.1 mL de HCl a 0.3 M. Posteriormente se tituló con NaOH a 0.1 M. La determinación potenciométrica se hizo cada 2 mL conforme cambia el pH, hasta alcanzar su punto de inflexión. Esto se realizó en duplicado.

Ecuación 7 Grado de desacetilización

$$\frac{16.1 \times (V1 - V2)(f)}{w}$$

Donde:

V1: volumen de NaOH 0.1 M, primero en el punto de inflexión

V2: volumen de NaOH 0.1 M, segundo en el punto de inflexión

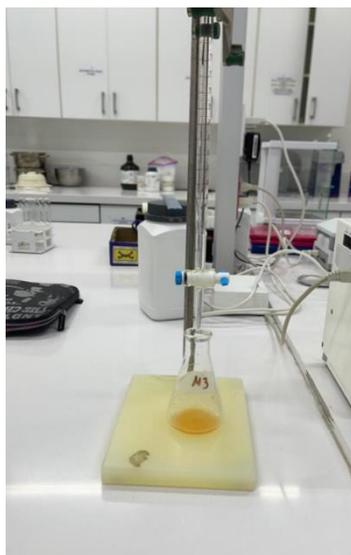
w: masa de la muestra en gramo

f: molaridad de la solución NaOH

Ecuación 8 Grado de acetilización

$$100 - \text{grado de desacetilización}$$

Figura 26 Titulación de quitina para determinar grado de acetilación

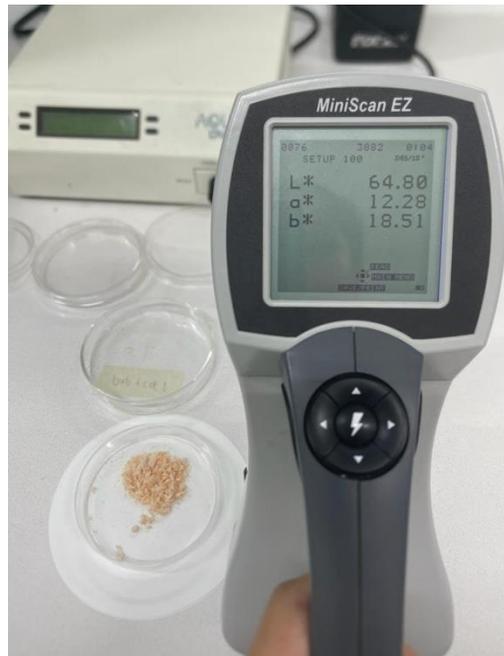


Fuente: Elaboración propia.

6.3.5. Determinación de colorimetría

La validación de colorimetría por cada método se realizó por medio del equipo para determinar su espacio de color L^* =luminosidad, a^* = coordenadas rojo/verde y b^* = coordenadas amarillo/azul. Posteriormente se ingresó en un generador de colores <https://www.e-paint.co.uk/convert-lab.asp> para determinar su color exacto y las diferencias significativas y la más efectiva entre ellas.

Figura 27 Medición de color de quitina



Fuente: Elaboración propia.

6.3.6. Cenizas

El análisis de cenizas de quitina se usa para determinar la pureza y la calidad de una muestra, ya que la presencia de impurezas puede afectar la cantidad de cenizas producidas durante la combustión. Se pesaron 1.5 g de cada muestra, esto se realizó en duplicado para la muestra final seleccionada en este caso el método de extracción con pepsina. Primero se realizó la calcinación de las muestras durante una hora en una estufa a su máxima temperatura. Posteriormente, se ingresan a la mufla durante 36 horas. Por último, se pesa el crisol con las cenizas restantes para realizar su determinación.

Ecuación 9 Porcentaje de minerales residuales en muestra

$$\%cenizas = \frac{\text{peso ceniza y crisol} - \text{peso crisol}}{\text{peso muestra inicia}} \times 100$$

Figura 28 Calcinación de quitina



Fuente: Elaboración propia.

6.3.7. Rendimiento de teórico de proteínas

Ecuación 10 Determinación contenido de proteínas teóricas en gramos

$$\text{Peso de la muestra inicial} \times \% \text{ proteínas teóricas}$$

Donde:

Peso inicial de la muestra: Peso de la muestra de cáscara de camarón(g)

% proteínas teóricas: proteínas teóricas en quitina

Ecuación 11 Determinación rendimiento teórico de proteínas

$$\frac{\text{Proteínas teóricas}}{\text{Peso muestra desproteínizada}} \times 100\%$$

Donde:

Proteínas teóricas: cálculo de % de proteínas teóricas (%)

Peso de la muestra desproteínizada: peso final de muestra posterior a ser sometida a desproteínización.

6.3.8. Rendimiento producto final

Ecuación 12 Rendimiento producto final (%)

$$\frac{\text{Peso inicial}}{\text{Peso final}} \times 100$$

Donde:

Peso inicial: cantidad inicial de cáscara de camarón (g)

Peso final: cantidad final de cáscara de camarón (g)

6.3.9. Rendimiento de desproteínización

Ecuación 13 Rendimiento de desproteínización

$$\frac{\text{Peso inicial}}{\text{Peso final}} \times 100$$

Donde:

Peso inicial: cantidad inicial de cáscara de camarón a desproteínizar (g)

Peso final: cantidad final de cáscara de camarón desproteínizada (g)

6.3.10. Porcentaje de quitina recuperada en el método seleccionado

Se determinará la pureza de la quitina obtenida utilizando el método de Black y Schwartz (1950), que implica colocar 5 gramos de muestra de quitina en un matraz balón. Se añaden 100 mL de HCl al 3% y se somete a reflujo durante 60 minutos, seguido de un lavado hasta que se alcanza pH 7. La muestra se coloca de nuevo en el matraz y se agregan 100 mL de NaOH al 5% antes de volver a refluir durante otros 60 minutos. Después se lava hasta que se elimina el NaOH. La muestra se pesa y se seca a 110°C durante 15 minutos antes de volver a pesar. Por último, se incinera a 70°C durante 30 minutos y se pesa para determinar la cantidad de quitina pura presente (Guzhañay Lozano, 2022).

Ecuación 14 Determinación de pureza de quitina

$$\% \text{Quitina} = \frac{W_{ms} - W_{mi}}{W_m} \times 100$$

Donde:

W_{ms} : masa muestra seca (g)

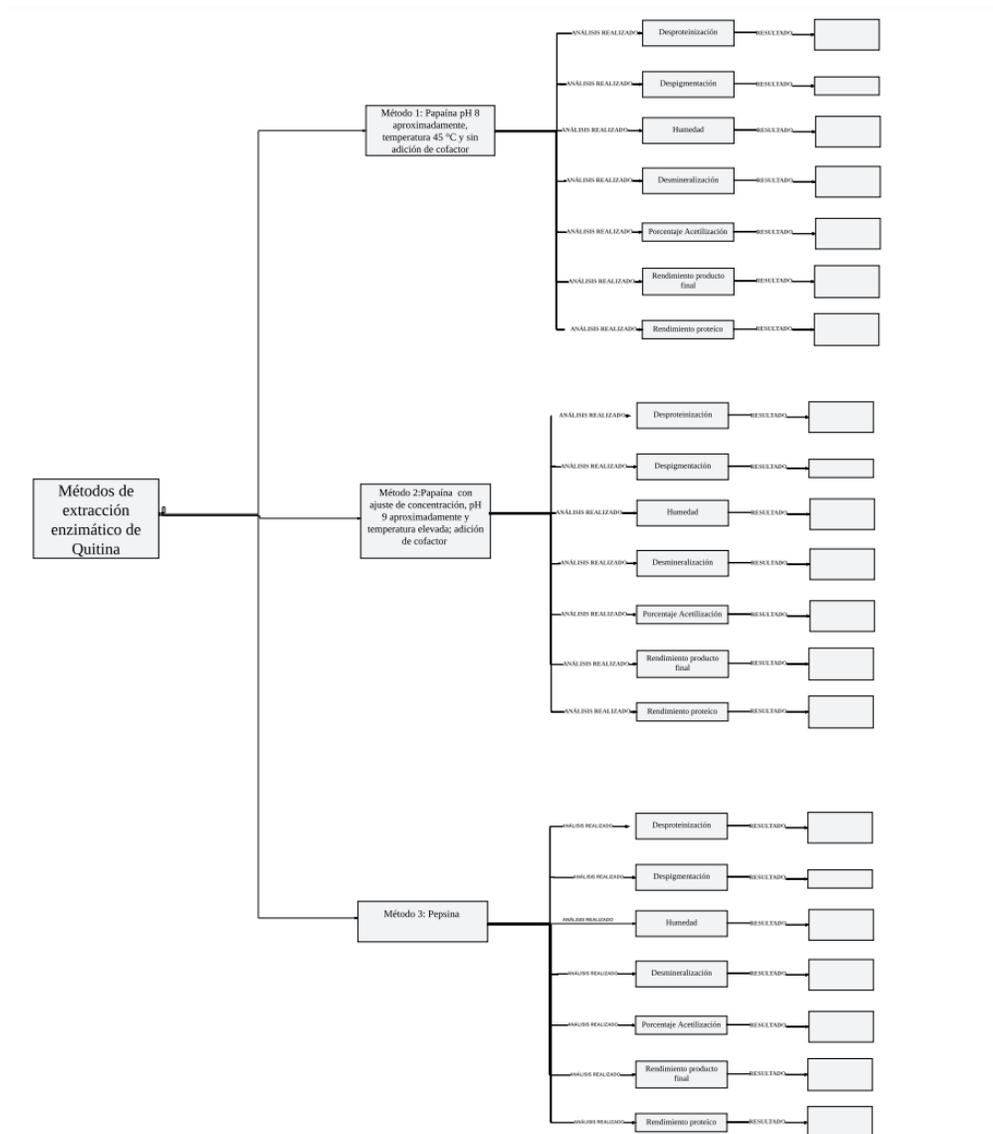
W_{mi} : masa muestra incinerada (g)

W_m : masa de la muestra inicial (Guzhañay Lozano, 2022)

6.4. Árbol de decisiones

En el campo de la extracción de quitina, determinar el método más eficiente y sostenible puede ser un desafío monumental. Con el objetivo de encontrar una solución óptima, se utilizó un enfoque específico: el análisis a través de árboles de decisión. Estos árboles, que modelan decisiones y sus posibles consecuencias en forma de ramificaciones, ofrecen una estructura visualmente intuitiva para evaluar múltiples variables y opciones. En este contexto, se empleó un árbol de decisiones para comparar y contrastar varios métodos de extracción de quitina, desde los procesos tradicionales hasta las prometedoras alternativas enzimáticas.

Figura 29 Árbol de decisiones muestra



Fuente: Elaboración propia.

6.5. Análisis estadístico

Se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando la técnica de ANOVA (Análisis de Varianza) simple para evaluar las diferencias significativas entre los grupos en estudio. Este análisis, que se basa en la comparación de las variaciones dentro y entre los grupos, proporcionó una comprensión detallada de cómo las diferentes variables afectan los resultados. Los datos recopilados fueron sometidos a un proceso de ANOVA, permitiendo discernir patrones y tendencias significativas. Este enfoque estadístico no solo ayudó a identificar las disparidades entre los grupos, sino que también proporcionó una base empírica sólida para las conclusiones y recomendaciones finales, asegurando así la validez y fiabilidad de los resultados obtenidos.

La extracción eficiente y sostenible de quitina, un polisacárido ampliamente distribuido en la naturaleza plantea desafíos significativos debido a su importancia en diversas aplicaciones industriales y biomédicas. En este contexto, surge la necesidad de abordar el problema de determinar el método de extracción óptimo para obtener quitina con propiedades deseables, considerando factores como la humedad, grado de acetilación, desproteínización y rendimientos de proceso. Para abordar esta cuestión, se propone realizar un análisis de varianza (ANOVA) que permite evaluar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tres métodos de extracción: papaína, papaína con cofactor y pepsina. La implementación del análisis de varianza (ANOVA) proporcionará información valiosa sobre las diferencias entre los métodos y permitirá tomar decisiones informadas en la selección del método más apropiado para la extracción de quitina dicho ANOVA se realizará con *minitab* el cual es un *software* de apoyo estadístico. A través de este análisis y los parámetros adecuados de quitina, se busca determinar cuál de los métodos produce resultados consistentemente superiores en términos de tasas de humedad, grado de acetilación, desproteínización y rendimientos de proceso.

6.6. Selección de métodos

La decisión de utilizar la papaína, la papaína con cofactor y la pepsina se basó en una combinación de resultados experimentales y consideraciones ambientales. Estos métodos se destacaron por su eficiencia en la desproteínización, su viabilidad en humedad, color, descacetilización y su menor impacto ambiental en comparación con otros enfoques químicos. Esta selección cuidadosamente considerada garantiza no solo la calidad del producto final sino también la sostenibilidad del proceso, marcando un paso significativo hacia prácticas industriales más responsables y respetuosas con el medio ambiente.

El análisis de ANOVA no solo proporcionó una comprensión profunda de la variabilidad en los rendimientos de desproteínización entre los métodos, sino que también permitió identificar el método que demostró ser estadísticamente superior. Esta metodología basada en evidencia se convirtió en el pilar para la selección del enfoque óptimo. Los resultados de ANOVA no solo respaldaron la elección del método más eficiente, sino que también proporcionaron *insights* valiosos sobre las variaciones y la consistencia en los procesos de desproteínización. Esta combinación de análisis estadístico

y criterios cualitativos y cuantitativos aseguró una selección informada y confiable, sentando las bases para un estudio enzimático de quitina científicamente validado.

6.7. Impacto ambiental a método seleccionado

6.7.1. Consumo de energía

Para calcular el consumo de energía utilizada en esta tesis, es necesario conocer el consumo de energía de cada uno de los equipos y sistemas que se utilizan en el proceso.

Seguir los siguientes pasos:

- Se identifican todos los equipos y maquinarias que se utilizarán en la metodología, Por ejemplo, puede haber sistemas al vacío, estufas eléctricas, sistemas de iluminación, sistemas de climatización, entre otros.
- Se determinará el consumo de energía de cada uno de los equipos: El consumo de energía se puede obtener de la placa de características del equipo o de las especificaciones del fabricante o investigar en internet. En algunos casos específicos, será necesario medir el consumo real de energía utilizando un medidor de energía.
- Se calcula el tiempo de uso de cada equipo: Para cada equipo se debe determinar el tiempo que se utilizará durante el proyecto. Por ejemplo, si se utilizará una estufa eléctrica durante 8 horas al día durante 30 días, el tiempo de uso sería de 240 horas.
- Se calcula el consumo total de energía de cada equipo: Para cada equipo se debe multiplicar el consumo de energía por el tiempo de uso para obtener la energía total. Por ejemplo, si el consumo de energía de la estufa eléctrica es de 50 kW/hora y se utiliza durante 240 horas, el consumo total de energía sería de 12,000 kW/hora.
- Se suma el consumo total de energía de todos los equipos: cuando se tenga el consumo total de energía de cada equipo, se deben sumar para obtener el consumo total de energía de la metodología.

6.7.2. Matriz de Leopold para medir el impacto ambiental

La Matriz de Evaluación de Impacto Ambiental es una herramienta utilizada en la planificación y evaluación de proyectos para identificar, evaluar y gestionar los impactos ambientales. En este caso, la matriz de Leopold consiste en una tabla con cinco columnas Las 7 filas representan las diferentes fases del proyecto y los posibles impactos ambientales. Dicha matriz se destaca por su enfoque sistemático y holístico, priorizando impactos relevantes y promoviendo la mejora continua. Su utilidad no se limita solo a la fase inicial del proyecto, sino que también contribuye al cumplimiento normativo y fortalece la rendición de cuentas. En última instancia, esta herramienta no solo minimiza los impactos ambientales, sino que también respalda prácticas que generan confianza en las partes

interesadas y promueven una gestión ambiental eficiente y ética en el proceso de extracción enzimática de quitina.

6.8. Análisis de extracción de quitina a nivel industrial

Durante la fase de análisis de la aplicación de quitina a nivel industrial, se llevó a cabo un exhaustivo proceso utilizando el software de simulación Simio. Inicialmente, se diseñó un diagrama de flujo DOP (Diagrama de Operaciones de Proceso) junto con la selección de equipos específicos para integrarlos en el entorno de Simio. Este software, especializado en modelar y analizar sistemas complejos, se utilizó con el propósito de comparar el método manual con el método industrial de aplicación de quitina.

- Se crea un nuevo modelo: Para crear un nuevo modelo, se debe abrir Simio y seleccionar "New Model" en el menú "*File*". Se pueden establecer las características generales del modelo, como la ubicación de los recursos, la duración del tiempo de simulación y la frecuencia de muestreo.
- Se crean objetos y recursos: Simio utiliza objetos y recursos para representar elementos del sistema. Se pueden crear objetos personalizados o utilizar objetos predefinidos. Los recursos se utilizan para representar elementos del sistema que se pueden agotar, como los trabajadores o las máquinas.
- Se configuran las propiedades del modelo: Se pueden configurar las propiedades del modelo, como la lógica del proceso y la relación entre los objetos y recursos.
- Se establecen las estadísticas de rendimiento: Se pueden establecer las estadísticas de rendimiento que se deben medir durante la simulación. Dichas estadísticas pueden incluir el tiempo de espera, el tiempo de procesamiento y el uso de los recursos.
- Se ejecuta la simulación: durante la simulación, se pueden realizar ajustes en tiempo real para modificar el modelo y mejorar el rendimiento.
- Se analizan los resultados: posterior a la simulación se pueden analizar los resultados para evaluar el rendimiento del sistema. Se pueden utilizar diferentes gráficos y estadísticas para analizar los resultados de la simulación esto con el objeto de obtener los mejores resultados del proceso seleccionado de extracción de quitina.

Después de la simulación, se procedió a analizar los resultados obtenidos de Simio, utilizando gráficos y estadísticas variadas para evaluar el rendimiento del sistema. Estos resultados fueron cruciales para determinar el análisis de tiempo, recursos y costos del método aplicado a nivel industrial. Este enfoque integral fue esencial para una evaluación completa y validación del método, proporcionando información valiosa para optimizar y perfeccionar el proceso de extracción de quitina a nivel industrial.

7. Resultados y discusión

7.1. Introducción

En el presente estudio de extracción de quitina, se llevaron a cabo experimentos utilizando tres métodos diferentes: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Con el objetivo de garantizar la consistencia y fiabilidad de los datos obtenidos, se realizó un ensayo inicial de métodos en duplicado. Posteriormente, los mismos procesos fueron replicados en cuadruplicado para permitir un análisis estadístico ANOVA más amplio y detallado. La toma de decisiones se basó en estos análisis para determinar el tratamiento más ideal, considerando no sólo los aspectos industriales sino también los impactos ambientales y la calidad de quitina. Estos resultados fueron fundamentales para la optimización de procesos, permitiendo aplicar en la práctica industrial un enfoque respaldado por datos concretos y confiables.

7.2. Ensayo inicial de procedimientos de extracción

El grado de desmineralización se ha determinado mediante la técnica de diferencia de pesos. Este procedimiento se lleva a cabo con el propósito de constituir el paso inicial e ineludible en el proceso de extracción de la quitina, una sustancia cuya relevancia es incuestionable. La cáscara de camarón, en su composición, alberga una concentración que oscila entre el 30% y el 60% de materia. Este factor enfatiza la necesidad de llevar a cabo una descentralización efectiva y precisa. En el presente cuadro, se exponen los resultados derivados del ensayo inicial de los métodos previos a los resultados finales, los cuales fueron sometidos a un riguroso proceso de duplicación para asegurar su fiabilidad y consistencia. Estas medidas adicionales de verificación confirman la robustez de los procedimientos empleados en la obtención de datos definitivos, lo que respalda la calidad y la integridad de los resultados finales obtenidos.

Tabla 8 Resultados de desmineralización a utilizar para el inicio realizar los métodos de extracción de quitina

MUESTRA	PORCENTAJE DE DESMINERALIZACIÓN
<i>Papaína</i>	93.27
<i>Papaína</i>	99.77
<i>Papaína y cofactor</i>	90.03
<i>Papaína y cofactor</i>	99.12
<i>Pepsina</i>	95.11
<i>Pepsina</i>	98.33

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a los resultados obtenidos en el cuadro anterior, se pueden inferir importantes conclusiones a la luz de los hallazgos de Guzhañay Lozano en su investigación de 2022. Según dicha fuente, se establece que el rango óptimo para el porcentaje de desmineralización debe situarse entre el 95% y el 99%. Al analizar los datos presentados en el cuadro, es evidente que la muestra No.1 exhibe el menor grado de desmineralización, mientras que la muestra No.4 se destaca por poseer el porcentaje más elevado. Esta disparidad en los resultados podría, en gran medida, atribuirse a posibles errores que pudieron haber surgido durante la etapa de análisis y cálculo. La desmineralización de la cáscara de camarón emerge como un proceso de crucial importancia, dado que, al concluir la extracción de la quitina, se espera que esta no contenga ningún residuo mineral. Esta pureza es esencial, ya que afecta directamente la calidad y las aplicaciones posteriores de la quitina obtenida, respaldando así la necesidad de alcanzar niveles de desmineralización lo más próximos posible al rango ideal establecido por la investigación previamente mencionada.

Un aspecto crucial de la desmineralización es la precisión en el control del porcentaje de eliminación de minerales. Como se mencionó previamente, se busca alcanzar un rango específico, generalmente entre el 95% y el 99% de desmineralización. Esto es particularmente importante en aplicaciones médicas. Además de las aplicaciones médicas, la quitina desmineralizada se utiliza en la industria alimentaria, farmacéutica, agrícola y en la fabricación de productos químicos y materiales avanzados. En cada uno de estos sectores, la pureza de la quitina es esencial para garantizar la eficacia y la seguridad de los productos finales (Pacheco López, 2010).

El proceso de desproteínización conlleva una gran relevancia en la obtención de quitina y se llevó a cabo utilizando diferentes enzimas, específicamente la papaína, la papaína con su cofactor y la pepsina. Estos procedimientos enzimáticos se llevaron a cabo con una cuidadosa agitación durante un período de tres horas, manteniendo condiciones óptimas de pH y temperatura para asegurar resultados satisfactorios. La desproteínización es una etapa crítica en la producción de quitina, dado que, para que esta cumpla con los parámetros de calidad requeridos, el contenido proteico debe mantenerse en un rango que va desde el 1% hasta el 20%. El alto contenido proteico podría influir negativamente en la pureza y las propiedades finales de la quitina, justificando así la importancia de esta fase en el proceso de obtención de un producto de alta calidad. La tabla refleja los valores obtenidos a través de estos métodos enzimáticos, lo que proporciona una evaluación precisa y cuantitativa de la eficacia de cada uno de ellos en la eliminación de proteínas de la muestra de cáscara de camarón. En la Tabla 9, que se incluye a continuación, se exponen de manera detallada y sistemática los resultados obtenidos a través del riguroso proceso del ensayo inicial de métodos, focalizado en la desproteínización mediante la aplicación de enzimas. Estos métodos enzimáticos analizados representan una fase crítica en el proceso de obtención de quitina de alta calidad. Estos datos son cruciales para determinar cuál de los métodos de desproteínización es más adecuado y efectivo para lograr los niveles de pureza deseados en la quitina final.

Tabla 9 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para la desproteínización de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	% DESPROTEINIZACIÓN
<i>Papaína</i>	61.87
<i>Papaína</i>	60.10
<i>Papaína</i>	60.45
<i>Papaína</i>	61.97
<i>Papaína +cofactor</i>	65.89
<i>Papaína +cofactor</i>	64.47
<i>Papaína +cofactor</i>	63.99
<i>Papaína +cofactor</i>	65.36
<i>Pepsina</i>	80.47
<i>Pepsina</i>	81.18
<i>Pepsina</i>	81.84
<i>Pepsina</i>	81.48

Fuente: Elaboración propia.

Aunque la papaína es de origen vegetal, su capacidad para descomponer proteínas de origen animal la hace útil en la desproteínización de la cáscara de camarón y otros materiales biológico (Barón Martínez & García Porras, 2013). La elección de la pepsina como agente desproteínizante se debe a su alta especificidad para las proteínas y su eficacia en condiciones ácidas, que son similares a las que se encuentran en el estómago, esta enzima puede descomponer selectivamente las proteínas presentes en la cáscara, permitiendo la separación de la quitina de las proteínas y otros componentes (Mathew et al., 2021). Los parámetros adecuados de desproteínización en el proceso de obtención de quitina son fundamentales para garantizar la calidad y pureza del producto final, así como su biocompatibilidad, propiedades físicas y químicas adecuadas, estabilidad, eficiencia de procesamiento y cumplimiento de regulaciones. La eliminación eficaz de proteínas es esencial para adaptar la quitina a diversas aplicaciones industriales y médicas, asegurando su utilidad en productos que requieren altos estándares de calidad y seguridad. Algunas posibles razones por las cuales la desproteínización en papaína, papaína y cofactor no puede ser eficiente posiblemente se debe a que el tiempo de reacción fue insuficiente, condiciones de pH y temperatura incorrectas, elección inapropiada de la enzima o agente desproteínizante, muestras heterogéneas, contaminación cruzada, falta de agitación adecuada, inactivación prematura de la enzima, omisión de ajuste de pH posterior y falta de controles de calidad.

Los resultados del ensayo inicial de métodos en duplicado para la desproteínización de los tres métodos analizados (papaína, papaína con cofactor y pepsina) son de gran interés y proporcionan información valiosa sobre la eficacia de cada enzima en la eliminación de proteínas de la cáscara de camarón. Claramente, la pepsina emerge como el método más efectivo en la eliminación de proteínas de la cáscara de camarón, con porcentajes consistentemente más altos en comparación con la papaína, ya sea con o sin cofactor. Esta

diferencia notable sugiere que la pepsina es una enzima más adecuada para esta etapa del proceso.

No obstante, es relevante señalar que, aunque no se haya realizado un análisis estadístico formal para validar estas diferencias, la falta de una diferencia significativa entre la papaína con y sin cofactor podría indicar que otros factores, como las condiciones específicas de reacción o la variabilidad en las muestras, pueden haber influido en estos resultados. En última instancia, estos hallazgos respaldan la elección de la pepsina como el método preferido para la desproteización, garantizando un contenido de proteínas en la quitina que cumple satisfactoriamente con los estándares de calidad requeridos para una amplia variedad de aplicaciones industriales y médicas.

En primer lugar, se logró determinar que la papaína, tanto en su forma estándar como con el cofactor, muestra porcentajes de desproteización que oscilan entre el 60.10% y el 65.89%. Estos valores indican una eficacia moderada en la eliminación de proteínas de la muestra. Es importante destacar que, aunque la papaína con el cofactor parece ser ligeramente más efectiva que la papaína sola, la diferencia no es significativa. Esto podría sugerir que el cofactor no tiene un impacto sustancial en el proceso de desproteización en este contexto.

Por otro lado, la pepsina muestra un desempeño significativamente mejor, con porcentajes de desproteización que oscilan entre el 80.47% y el 81.84%. Estos resultados sugieren que la pepsina es más eficaz en la eliminación de proteínas de la cáscara de camarón en comparación con la papaína. Sin embargo, es importante señalar que la elección de la enzima y del método de desproteización debe considerar no sólo la eficacia en la eliminación de proteínas, sino también otros factores como la disponibilidad, el costo y la seguridad. Además, la elección puede depender del uso final de la quitina y de los estándares de pureza requeridos para ese uso específico.

La determinación del porcentaje de humedad se ha realizado meticulosamente mediante el método de diferencia de pesos, aplicando un proceso de secado en horno con una duración de 24 horas, en la siguiente tabla se muestran estos resultados. Esta evaluación es fundamental, ya que se relaciona directamente con la calidad de la quitina resultante en cada uno de los tres métodos utilizados para el ensayo inicial de procedimientos. Según las pautas establecidas por Guzhañay Lozano en su investigación de 2022, se establece que el rango aceptable para el porcentaje de humedad en la quitina debe situarse en un intervalo que oscile entre el 2% y el 10%. La importancia de mantener el porcentaje de humedad dentro de este rango radica en su influencia directa en la calidad del producto final. Un porcentaje de humedad inadecuado puede comprometer las propiedades físicas y químicas de la quitina, lo que afectaría su aplicabilidad en diversos campos, como la industria médica, la alimentaria o la farmacéutica. Por lo tanto, el control preciso del porcentaje de humedad durante el proceso de obtención de la quitina es esencial para garantizar su óptima calidad y funcionalidad en aplicaciones posteriores.

Tabla 10 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para la humedad de los tres métodos analizados

MUESTRA	% DE HUMEDAD
<i>papaína</i>	4.55
<i>papaína</i>	4.71
<i>papaína</i>	4.47
<i>papaína</i>	4.50
<i>Papaína +cofactor</i>	4.24
<i>Papaína +cofactor</i>	4.52
<i>Papaína +cofactor</i>	4.83
<i>Papaína +cofactor</i>	4.71
<i>Pepsina</i>	4.23
<i>Pepsina</i>	4.19
<i>Pepsina</i>	4.59
<i>Pepsina</i>	4.42

Fuente: Elaboración propia.

Según Guzhañay Lozano (2022), la quitina debe estar entre 2-10% para que este dentro de los parámetros adecuados de calidad. Con base en los resultados del ensayo inicial de método para la humedad en las muestras de quitina obtenidas a través de tres métodos diferentes (papaína, papaína con cofactor y pepsina), se puede concluir que estos métodos son adecuados y precisos para la determinación de la humedad en el producto final. Los valores de humedad obtenidos en duplicado para cada método son consistentes y se encuentran dentro del rango aceptable.

Es importante destacar que, en general, los valores de humedad para todas las muestras son relativamente bajos, oscilando en torno al 4.2% al 4.8%. Esto es coherente con las expectativas según la literatura científica, que sugiere que el contenido de humedad en la quitina debe estar en el rango del 2% al 10%. En este sentido, los resultados indican que las muestras de quitina obtenidas mediante los tres métodos de desproteización y validados para su contenido de humedad cumplen satisfactoriamente con estos estándares. Estos resultados respaldan la calidad y la idoneidad de los métodos de desproteización y desmineralización utilizados, ya que la humedad es un parámetro crítico en la caracterización de la quitina. La obtención de quitina con un contenido de humedad controlado es esencial para su aplicabilidad en diversas industrias, como la médica, alimentaria y farmacéutica (Lambertus, 2019).

El grado de acetilación es un factor crítico en la caracterización de la quitina y se determina mediante un método analítico específico, que en este caso se basó en la titulación por el punto de equivalencia (Ortega Cardona & Aparicio Fernández, 2020). Este método proporciona resultados cuantitativos precisos al identificar el punto en el que se neutralizan todos los grupos acetilo presentes en la estructura de la quitina. Los resultados de esta titulación revelan la proporción de grupos acetilo (-COCH₃) con respecto al total de

unidades de N-acetilglucosamina (GlcNAc) en la cadena de quitina (Guzhañay Lozano, 2022).

La relevancia del grado de acetilación radica en su influencia directa en las propiedades de la quitina. En términos prácticos, el grado de acetilación afecta la solubilidad de la quitina en diferentes disolventes, su reactividad química y su capacidad para formar estructuras como películas o geles. Cuando el grado de acetilación es alto, la quitina es menos soluble en agua y menos reactiva químicamente, mientras que, con un grado de acetilación más bajo, la quitina tiende a ser más soluble y reactiva. Además, este parámetro es crítico en diversas aplicaciones industriales y médicas. Por ejemplo, en la industria alimentaria, un grado de acetilación específico puede ser deseado para la fabricación de recubrimientos comestibles o envases biodegradables. En la industria farmacéutica y biomédica, el grado de acetilación puede influir en la biocompatibilidad y la eficacia de productos como apósitos (Barros et al., 2015).

Tabla 11 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para el grado de acetilización de los tres métodos analizados

MUESTRA	% DE ACETALIZACIÓN
<i>Papaína</i>	92.66
<i>Papaína</i>	91.49
<i>Papaína</i>	90.50
<i>Papaína</i>	93.62
<i>Papaína +cofactor</i>	90.88
<i>Papaína +cofactor</i>	94.71
<i>Papaína +cofactor</i>	91.52
<i>Papaína +cofactor</i>	91.54
<i>Pepsina</i>	93.65
<i>Pepsina</i>	93.70
<i>Pepsina</i>	93.65
<i>Pepsina</i>	92.60

Fuente: Elaboración propia

Según Curbelo Hernández et al., 2021 la quitina presenta un grado de acetilación típico de 90%, mientras que el quitosano posee un grado de acetilación de menos de 35%. En base a los resultados Los resultados de la determinación del grado de acetilación en las muestras de quitina obtenidas a través de diferentes métodos de desproteización (papaína, papaína con cofactor y pepsina) son coherentes, además sugiere que la quitina típicamente presenta un grado de acetilación en torno al 90%. En este caso, los valores obtenidos en las muestras analizadas se encuentran dentro de este rango típico. Los resultados oscilan entre aproximadamente el 90% y el 94.7%, lo que indica que las muestras de quitina aún conservan una alta proporción de grupos acetilo (-COCH₃) en su estructura. Es importante destacar que, si bien existen pequeñas variaciones en los valores entre las muestras y los métodos analizados, estas diferencias son relativamente menores y no alteran se considera

que puedan afectar la tendencia general hacia un alto grado de acetilación. Esto respalda la afirmación de que la quitina utilizada en este estudio presenta un grado de acetilación en línea con lo que se considera típico.

La producción de quitina a través de procesos enzimáticos, como la desproteínización utilizando enzimas como la papaína, la papaína con cofactor o la pepsina, tienen una importancia crucial en diversos sectores industriales como agrícolas, biomédicos y alimenticios. En cada aspecto es importante debido a que, en agricultura, se utiliza en biopesticidas y fertilizantes, ayudando a mejorar la salud de las plantas y la calidad del suelo. En el ámbito biomédico, se emplea en apósitos para heridas y como material para implantes debido a sus propiedades biocompatibles. En la industria alimentaria, se utiliza para preservar alimentos y como suplemento nutricional. Además, la quitina es un recurso renovable y su extracción contribuye a la sostenibilidad y a reducir la dependencia de recursos no renovables en estas industrias (Luviano Silva, n.d.).

En este punto, el rendimiento del producto de quitina se erige como un factor esencial que determina la eficacia y la sostenibilidad de todo el proceso. El rendimiento se refiere a la cantidad de quitina que se obtiene a partir de una cantidad determinada de materia prima, generalmente la cáscara de camarón. Su optimización es fundamental desde una perspectiva económica, ya que maximiza la utilización de recursos y minimiza la generación de residuos, lo que resulta en un proceso más rentable y sostenible. Además de sus implicaciones económicas, el rendimiento del producto de quitina también influye en la calidad y la consistencia del producto final. Un alto rendimiento no solo garantiza una producción eficiente, sino que también permite mantener altos estándares de calidad en productos como envases alimentarios, materiales médicos y productos farmacéuticos.

La determinación del rendimiento del producto de quitina en procesos enzimáticos es esencial no solo desde una perspectiva de eficiencia económica y calidad del producto, sino también para determinar cuánta materia prima entra y cuánta sale del proceso de producción. Esta información es de suma importancia en términos de gestión de recursos y sostenibilidad. Al conocer con precisión cuánta materia prima se convierte en quitina, las empresas pueden planificar sus operaciones de manera más eficiente. Esto incluye la adquisición de la cantidad adecuada de materia prima, evitando desperdicios innecesarios y garantizando que se utilicen los recursos de manera óptima. Además, al cuantificar la producción de quitina, se pueden calcular los costos asociados al proceso y determinar la viabilidad económica de la producción en relación con la demanda del mercado.

Desde otra perspectiva de sostenibilidad, la medición del rendimiento también permite evaluar el impacto ambiental de la producción de quitina. Al reducir los residuos y minimizar el uso de recursos, se contribuye a la conservación de los ecosistemas y se disminuye el impacto negativo en el entorno. En último aspecto, la capacidad de cuantificar la cantidad de materia prima que se transforma en quitina es esencial para lograr un equilibrio entre la eficiencia económica y la responsabilidad ambiental en la producción de este valioso producto.

Tabla 12 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado para los rendimientos del producto quitina de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO PRODUCTO FINAL (g DE QUITINA/ g DE CÁSCARA DE CAMARÓN)
<i>Papaína</i>	28.72
<i>Papaína</i>	26.55
<i>Papaína +cofactor</i>	26.46
<i>Papaína +cofactor</i>	26.52
<i>Pepsina</i>	22.36
<i>Pepsina</i>	22.25

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo inicial de método para los rendimientos del producto quitina obtenidos a través de tres métodos diferentes (papaína, papaína con cofactor y pepsina) muestran variaciones significativas en los rendimientos entre los métodos analizados. En primer lugar, se observa que la papaína presenta los rendimientos más altos, con valores que oscilan entre el 26.55% y el 28.72%. Esto indica que el método de desproteínización con papaína tiende a proporcionar una mayor cantidad de quitina mediante esta forma de extracción a partir de la materia prima, lo que puede ser beneficioso desde una perspectiva económica y de eficiencia en la producción. Por otro lado, los métodos que involucran pepsina muestran rendimientos más bajos, con valores alrededor del 22.25% al 22.36%. Esto sugiere que la desproteínización con pepsina puede resultar en una menor conversión de la materia prima en quitina al momento de su extracción, lo que podría influir en la rentabilidad y la eficiencia del proceso.

Es importante destacar que estos resultados son el producto de una del ensayo inicial de método en duplicado, lo que indica que se realizaron mediciones repetidas bajo condiciones controladas para evaluar la precisión del proceso. La variación entre los duplicados puede deberse a diversos factores, como la variabilidad intrínseca del material de partida o las condiciones experimentales que se llevaron a cabo durante el proceso. El grado de variación puede radicar en la variabilidad intrínseca del material de partida juega un papel crucial. Los desechos de camarón, que son la fuente de quitina en este caso, pueden variar en composición debido a diversos factores como la edad del camarón, la especie y las condiciones de su entorno natural. Estas diferencias inherentes en el material de partida pueden conducir a variaciones en los rendimientos de quitina entre duplicados (Cisneros Pérez, 2019).

Tabla 13 Resultados del ensayo inicial en duplicado para los rendimientos de la desproteínización de cáscaras de camarón utilizando los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE DESPROTEINIZACIÓN (g finales/g iniciales)
<i>Papaína</i>	61.59
<i>Papaína</i>	53.21
<i>Papaína +cofactor</i>	58.78
<i>Papaína +cofactor</i>	53.50
<i>Pepsina</i>	47.02
<i>Pepsina</i>	45.26

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo inicial en duplicado para evaluar los rendimientos de la desproteínización de la cáscara de camarón utilizando papaína, papaína con cofactor y pepsina revelaron variaciones notables en los rendimientos obtenidos después del proceso de desproteínización. Al determinarlas diferencias en los rendimientos entre los métodos, se puede tomar decisiones para optimizar el proceso, asegurando así una producción de quitina más eficaz y económicamente viable en la industria. Estos datos son fundamentales para determinar el método más adecuado que no solo maximice los rendimientos sino también minimice los costos, contribuyendo así a la sostenibilidad y la competitividad en el mercado industrial.

Como primer punto, se observa que la papaína, en general, muestra los rendimientos más altos, con valores que oscilan entre el 53.21% y el 61.59%. Esto indica que el método de desproteínización con papaína tiende a proporcionar una mayor cantidad de quitina de alta calidad a partir de la materia prima, lo que puede ser beneficioso en términos de eficiencia en la producción y rentabilidad. Por otro lado, los métodos que involucran pepsina muestran rendimientos más bajos, con valores alrededor del 45.26% al 47.02%. Esto sugiere que la desproteínización con pepsina puede resultar en una menor conversión de la materia prima en quitina, lo que podría influir en la eficiencia del proceso y en los costos asociados. La variación entre los resultados duplicados también es importante, ya que indica la necesidad de controlar cuidadosamente las condiciones experimentales para garantizar la consistencia en el rendimiento y para posteriormente mejorar entre procesos.

Estos resultados subrayan la importancia de seleccionar el método de desproteínización más adecuado según los objetivos específicos de producción, ya que diferentes métodos pueden ofrecer ventajas en términos de rendimiento, calidad del producto y rentabilidad.

El ensayo inicial de método en duplicado para los rendimientos de la desproteínización de la cáscara de camarón a través de tres métodos diferentes (papaína, papaína con cofactor y pepsina) es esencial para garantizar la consistencia y la confiabilidad de todo el proceso

de producción de quitina durante el proceso de extracción. Estos resultados son una herramienta crítica para la toma de decisiones en la industria, ya que proporcionan una comprensión detallada de cómo cada método afecta la cantidad de producto que entra y sale del proceso. Esto es fundamental desde una perspectiva de eficiencia económica, ya que permite a las empresas calcular con precisión los costos de producción y la rentabilidad de su operación.

Además, la importancia de los resultados del ensayo inicial radica en su capacidad para respaldar la selección del método de desproteización más adecuado para un propósito específico. Por ejemplo, si se busca maximizar el rendimiento del producto final, los resultados indicarán cuál de los tres métodos es el más eficiente en este aspecto. Por otro lado, si se prioriza la calidad sobre la cantidad, del ensayo inicial en duplicado ayudará a identificar qué método es más adecuado para obtener una quitina. En última instancia, estos resultados son esenciales para optimizar los procesos de producción de quitina, minimizar los desperdicios y garantizar la calidad del producto final, lo que tiene un impacto directo en la viabilidad y la sostenibilidad de la industria.

7.3. Análisis de despigmentación

La determinación de los valores L^* , a^* y b^* por medio de un colorímetro Hunter se convierte en un paso fundamental en la caracterización de la quitina obtenida a través de los tres métodos enzimáticos: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Estos valores representan el espacio de color Lab, que se utiliza para describir de manera cuantitativa la apariencia visual de los materiales. En este contexto, L^* se refiere a la luminosidad o el brillo, a^* indica la diferencia entre los tonos de verde (-) y rojo (+), y b^* refleja la diferencia entre los tonos de azul (-) y amarillo (+) (HunterLab, 2023).

La medición de estos parámetros antes y después de la despigmentación con etanol permite evaluar la efectividad de los métodos enzimáticos en la eliminación de pigmentos no deseados. Un aumento en el valor L^* indica un mayor brillo y una apariencia más blanca, mientras que los cambios en los valores a^* y b^* reflejan diferencias en la tonalidad de color. Estos datos son cruciales para determinar cuál de los métodos enzimáticos es más eficaz en la producción de quitina con la blancura y la apariencia deseada (HunterLab, 2023).

Al obtener resultados con el colorímetro Hunter, se puede cuantificar de manera objetiva cómo cada método afecta la apariencia visual de la quitina resultante. Esto es especialmente importante en aplicaciones donde la estética y la consistencia del color son críticas, como en la producción de películas comestibles o productos biomédicos. La obtención de diferencias significativas en la colorimetría entre los tres métodos enzimáticos resalta la importancia de seleccionar el enfoque de desproteización más adecuado según los objetivos específicos de producción y los estándares de calidad deseados. Esto garantiza que se obtenga quitina con la blancura y la pureza necesarias para su aplicación en industrias como la alimentaria, farmacéutica y biomédica, donde la calidad del producto es fundamental.

Tabla 14 Resultados del ensayo inicial de método en duplicado de color de quitina previo a despigmentación de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RESULTADOS		FIGURA
<i>Pepsina</i>	L*	84.84	
	a*	23.62	
	b*	24.1	
<i>Pepsina</i>	L*	84.84	
	a*	23.62	
	b*	24.1	
<i>Papaína +cofactor</i>	L*	76.82	
	a*	32.84	
	b*	24.78	
<i>Papaína +cofactor</i>	L*	84.42	
	a*	23.87	
	b*	24.15	
<i>Papaína</i>	L*	76.22	
	a*	32.16	
	b*	24.45	
<i>Papaína</i>	L*	76.86	
	a*	29.12	
	b*	21.55	

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del ensayo inicial de método en duplicado para la quitina obtenida utilizando tres métodos diferentes (papaína, papaína con cofactor y pepsina) revelan diferencias notables en los valores de L*, a* y b*, esto se muestra en la tabla superior. Estos valores representan el espacio de color Lab, que se utiliza para cuantificar la apariencia visual de los materiales en este caso la quitina.

Como primer punto, se observa que los valores de L* reflejan la luminosidad o el brillo de la quitina. Los valores más altos de L* indican una apariencia más clara y brillante. En este sentido, la papaína con cofactor muestra un valor de L* relativamente bajo en comparación con los otros métodos, lo que sugiere una menor luminosidad y una apariencia menos clara. Por otro lado, los valores de a* y b* reflejan las diferencias en la tonalidad de color. Los valores de a* indican la diferencia entre los tonos de verde y rojo, mientras que los valores de b* reflejan la diferencia entre los tonos de azul y amarillo. Los resultados muestran que la pepsina y la papaína con cofactor tienen valores de a* y b* más altos en comparación con la papaína, lo que sugiere una tonalidad de color más intensa en las muestras procesadas con estos métodos.

Estos resultados indican que cada método de despigmentación tiene un impacto diferente en la apariencia visual de la quitina resultante. La selección del método adecuado

puede depender de los requisitos específicos de color y apariencia en aplicaciones finales. Los resultados de colorimetría reflejan las diferencias específicas entre si se busca una quitina más clara y brillante, el método de papaína podría ser preferible, mientras que, si se desea una tonalidad de color específica, otros métodos como la pepsina o la papaína con cofactor pueden ser más adecuados. En última instancia, estos resultados resaltan la importancia de evaluar la apariencia visual de la quitina en la elección del método de despigmentación más apropiado.

7.4. Análisis de métodos de extracción de quitina

Tabla 15 Resultados de cuadruplicados para la desmineralización de cáscara de camarón de los tres métodos analizados

MUESTRA	% DESMINERALIZACIÓN EXPERIMENTAL
<i>Papaína</i>	95.63
<i>Papaína</i>	96.71
<i>Papaína</i>	96.64
<i>Papaína</i>	96.83
<i>Papaína +cofactor</i>	96.76
<i>Papaína +cofactor</i>	96.95
<i>Papaína +cofactor</i>	96.73
<i>Papaína +cofactor</i>	96.52
<i>Pepsina</i>	96.74
<i>Pepsina</i>	97.30
<i>Pepsina</i>	96.82
<i>Pepsina</i>	97.08

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la desmineralización de cáscara de camarón obtenidos de los cuadruplicados demuestran una consistencia notable en los tres métodos analizados. Los porcentajes de desmineralización experimentales varían estrechamente entre 95.63% y 97.30%, lo que indica una eficacia similar en la eliminación de minerales de las muestras. Esta uniformidad sugiere una precisión en la aplicación de los métodos y destaca la viabilidad de cada enfoque para este proceso específico. Estos resultados robustos son fundamentales para asegurar la calidad y la consistencia en la producción a escala industrial, garantizando así un producto final confiable y homogéneo.

Los resultados obtenidos para la desmineralización de cáscara de camarón, que oscilan entre 95.63% y 97.30%, están consistentes con el rango de grado de desmineralización establecido entre 95% y 99% según la referencia de Guzhañay Lozano (2022). Esto indica que los tres métodos analizados han logrado desmineralizar las muestras de manera efectiva y están dentro del estándar establecido por la fuente citada. La coherencia entre los resultados obtenidos y el parámetro de grado de desmineralización propuesto respalda la

confiabilidad y validez de los métodos empleados en el proceso. Este nivel de desmineralización garantiza la obtención de quitina de alta pureza, lo que es crucial para su aplicación en diversas industrias.

Tabla 16 Resultados de cuadruplicados para la desproteínización de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	%DESPROTEINIZACIÓN
<i>Papaína</i>	65.45
<i>Papaína</i>	64.72
<i>Papaína</i>	66.17
<i>Papaína</i>	64.44
<i>Papaína</i>	65.75
<i>Papaína</i>	65.04
<i>Papaína</i>	65.80
<i>Papaína</i>	63.98
<i>Papaína +cofactor</i>	67.88
<i>Papaína +cofactor</i>	67.11
<i>Papaína +cofactor</i>	66.49
<i>Papaína +cofactor</i>	67.88
<i>Papaína +cofactor</i>	65.80
<i>Papaína +cofactor</i>	66.82
<i>Papaína +cofactor</i>	67.85
<i>Papaína +cofactor</i>	67.55
<i>Pepsina</i>	82.16
<i>Pepsina</i>	80.42
<i>Pepsina</i>	81.15
<i>Pepsina</i>	81.51
<i>Pepsina</i>	80.44
<i>Pepsina</i>	81.13
<i>Pepsina</i>	80.77
<i>Pepsina</i>	81.82

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de desproteínización obtenidos para los tres métodos analizados indican una eficaz eliminación de las proteínas presentes en las muestras. En el caso del método de papaína, los porcentajes de desproteínización varían entre 63.98% y 66.17%, lo que sugiere una eliminación significativa de las proteínas. Por otro lado, el método de papaína + cofactor muestra valores que van desde 65.80% hasta 67.88%, indicando una desproteínización consistente y efectiva.

El método de pepsina, por su parte, logra un alto grado de desproteínización con porcentajes que oscilan entre 80.42% y 82.16%. Estos resultados indican una eliminación

casi completa de las proteínas en las muestras tratadas con pepsina. Este método ha demostrado ser especialmente efectivo en la eliminación de proteínas, lo que podría deberse a su naturaleza enzimática y su capacidad para descomponer estructuras proteicas de manera eficiente.

Los resultados obtenidos en este estudio, donde se alcanzó una desproteínización con pepsina de aproximadamente 80.42% a 82.16% y con la papaína de alrededor de 63.98% a 66.17% al igual que con la papaína con cofactor que se obtuvo un intervalo de 65.80 a 67.88, son comparables y consistentes con investigaciones previas realizadas, por Mathew et al. (2021) y Cisneros Pérez (2019). Según el estudio de Mathew et al. (2021), se logró una desproteínización del 92% utilizando pepsina, mientras que Cisneros Pérez (2019) alcanzó un grado de desproteínización del 65.43% con la papaína.

Las diferencias observadas podrían surgir debido a variaciones en las condiciones experimentales, tales como la concentración de enzima utilizada, el tiempo de reacción, la temperatura y el pH del entorno. Estos factores son importantes, ya que determinan la actividad y la especificidad de las enzimas, así como la velocidad de las reacciones químicas implicadas en la desproteínización. Además, las características intrínsecas de las muestras de quitina, como su origen biológico y su composición molecular, también desempeñan un papel crucial. Diferentes fuentes biológicas pueden tener estructuras de proteínas variadas, lo que afecta la eficacia con la que las enzimas pueden descomponerlas. La quitina no es una sustancia homogénea; puede contener otras moléculas biológicas como lípidos, minerales y pigmentos, que pueden interferir con las interacciones enzima con proteína (Cisneros Pérez, 2019).

Tabla 17 Hipótesis de análisis de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

<i>Hipótesis nula</i>	Todas las medias son iguales
<i>Hipótesis alterna</i>	No todas las medias son iguales
<i>Nivel de significancia</i>	$\alpha = 0.05$
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18 Análisis de varianza de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<i>Muestra</i>	2	1216.71	608.354	1176.01	0
<i>Error</i>	21	10.86	0.517		
<i>Total</i>	23	1227.57			

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de varianza (ANOVA) de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado, se plantea la hipótesis nula de que todas las medias de los

tratamientos son iguales, mientras que la hipótesis alternativa sugiere que al menos una de las medias difiere de las demás. El nivel de significancia establecido es $\alpha = 0.05$.

Los resultados del ANOVA indican que el valor F calculado es significativamente mayor que el valor crítico, lo que sugiere que al menos uno de los tratamientos tiene un efecto significativo en el proceso de desproteínización. Dado que el valor p asociado es menor que 0.05, se rechaza la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa. Esto implica que existe al menos una diferencia significativa en los niveles de desproteínización entre los tratamientos analizados.

Tabla 19 Análisis de varianza de desproteínización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza

Muestra	Media	Desv.Est.	IC de 95%
<i>Papaina con cofactor</i>	67.172	0.764	(66.643; 67.701)
<i>Papaina</i>	65.169	0.754	(64.640; 65.698)
<i>Pepsina</i>	81.175	0.632	(80.646; 81.704)

Desv.Est. agrupada = 0.719238

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos del análisis de varianza de desproteínización indican que hay diferencias significativas en las medias de los tratamientos analizados en cuadruplicado. Estos resultados son consistentes con los hallazgos previos en la literatura.

En comparación con el estudio de Mathew et al. (2021), que obtuvo una desproteínización del 92% con pepsina, nuestros resultados muestran que la desproteínización con pepsina en este estudio fue del 81.175%. Aunque la desproteínización con pepsina en nuestro estudio no alcanzó el mismo nivel que en el estudio de Mathew et al., sigue siendo significativamente mayor que la desproteínización obtenida con la papaína, que fue del 65.169%.

Además, los resultados obtenidos con la papaína en nuestro estudio (65.169%) son consistentes con el estudio de Cisneros Pérez (2019), que obtuvo una desproteínización del 67.172% con la papaína con cofactor. Esto refuerza la validez de nuestros resultados y sugiere que la papaína no es tan efectiva como la pepsina en términos de desproteínización en estas condiciones experimentales específicas. En cuanto al tratamiento con el cofactor, aunque tuvo una desproteínización del 67.172%, esta tasa es similar a la obtenida con la papaína, lo que indica que la adición del cofactor no mejoró significativamente el proceso de desproteínización en comparación con la papaína sola.

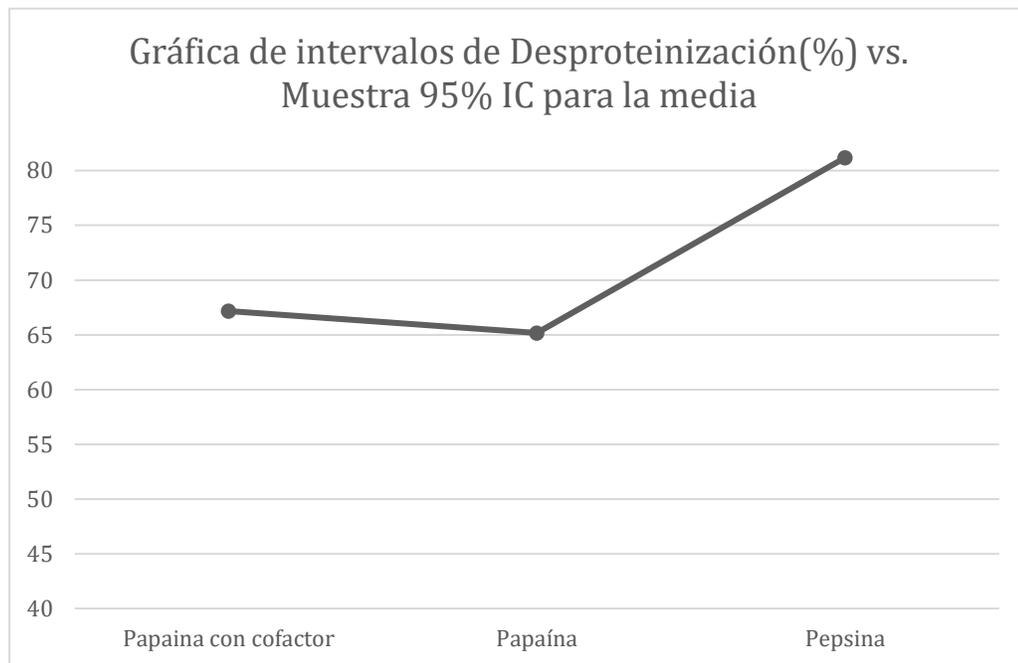
La desviación estándar proporciona una medida de la dispersión de los datos alrededor de la media. En este caso, las desviaciones estándar de los tratamientos indican cuánto varían las desproteínizaciones dentro de cada grupo (Diaz Cadavid, 2009).

Los resultados muestran que el tratamiento con pepsina tiene la desviación estándar más baja (0.632), lo que indica que las desproteínizaciones son más consistentes y tienen

menos variación alrededor de la media de 81.175%. Por otro lado, tanto el tratamiento con papaína (desviación estándar de 0.754) como el tratamiento con papaína y cofactor (desviación estándar de 0.764) muestran una mayor variabilidad en las desproteínizaciones, lo que sugiere una dispersión más amplia de los resultados alrededor de sus respectivas medias (67.172% para papaína con cofactor y 65.169% para papaína) (Díaz Cadavid, 2009).

Esta variabilidad puede deberse a diversos factores experimentales, como la variación en la actividad enzimática, la influencia de las condiciones de reacción o las diferencias en las propiedades del sustrato. La menor variación en el grupo de pepsina indica una mayor consistencia en el proceso de desproteínización, lo que sugiere una mayor estabilidad y confiabilidad en los resultados obtenidos con este tratamiento en particular.

Figura 30 Intervalos de porcentaje de desproteínización contra muestra analizada



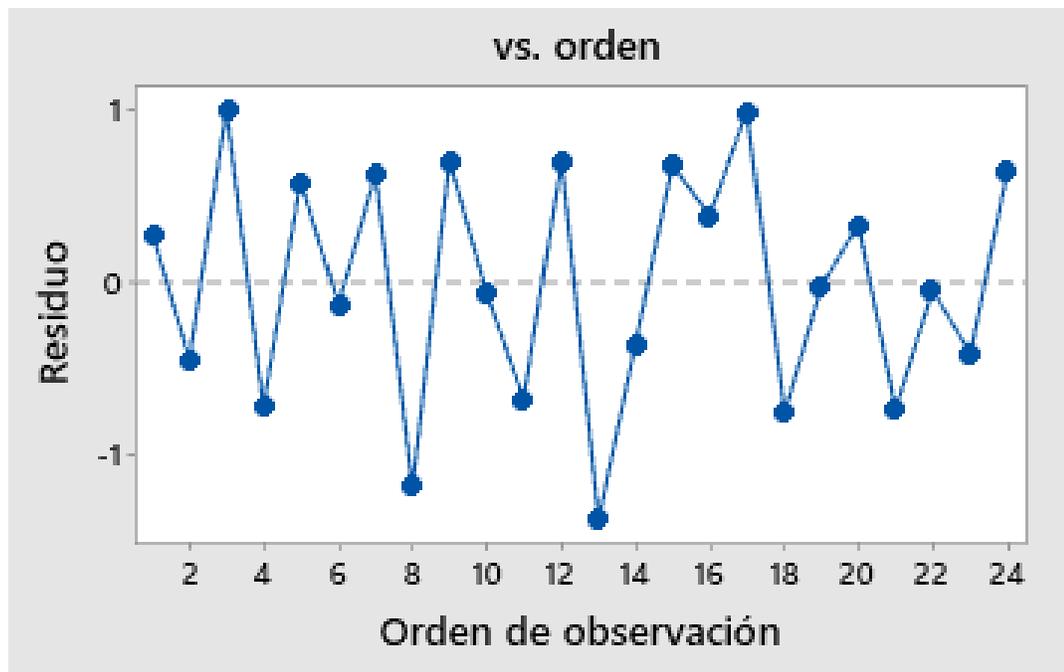
Fuente: Elaboración propia.

El análisis detallado de la gráfica de intervalos de desproteínización (Figura 30) revela diferencias notables en relación con la media del tratamiento con pepsina en comparación con los métodos que involucran papaína, tanto sola como con el cofactor. Esta diferencia significativa sugiere que existen variaciones sustanciales en la eficacia de desproteínización entre estos métodos. En particular, el tratamiento de papaína exhibe una media inferior en comparación con la papaína con cofactor, indicando una reducción relativa en la desproteínización cuando no se implementa el cofactor. Aunque esta disminución en la eficacia puede atribuirse a varios factores, como la interacción compleja entre la papaína y el cofactor, aún se mantiene como una opción viable, especialmente si otros atributos del producto son prioridad en el proceso de producción.

Sin embargo, el método de desproteínización con pepsina se destaca claramente como el más efectivo en términos de reducción de proteínas. La gráfica muestra una media significativamente más alta para este tratamiento en comparación con la papaína y la papaína con cofactor. Esta diferencia sustancial puede estar vinculada a las propiedades específicas de la pepsina y su capacidad para descomponer las proteínas de manera más eficaz en estas condiciones particulares. La pepsina, como una enzima proteolítica específica, puede estar actuando de manera más efectiva en la descomposición de las proteínas presentes en la muestra, lo que se traduce en una mayor eficacia en la desproteínización (Mathew et al., 2021).

En el caso de si la máxima desproteínización es la meta principal, la pepsina parece ser la elección más efectiva. Sin embargo, si se priorizan otros factores, como la estabilidad del producto o la facilidad de implementación, los métodos que involucran papaína, ya sea sola o con el cofactor, podrían ser opciones más adecuadas. La comprensión detallada de estas diferencias entre los métodos proporciona una base sólida para la toma de decisiones en la optimización del proceso de desproteínización.

Figura 31 Orden de distribución con respecto a la desproteínización de los tres métodos



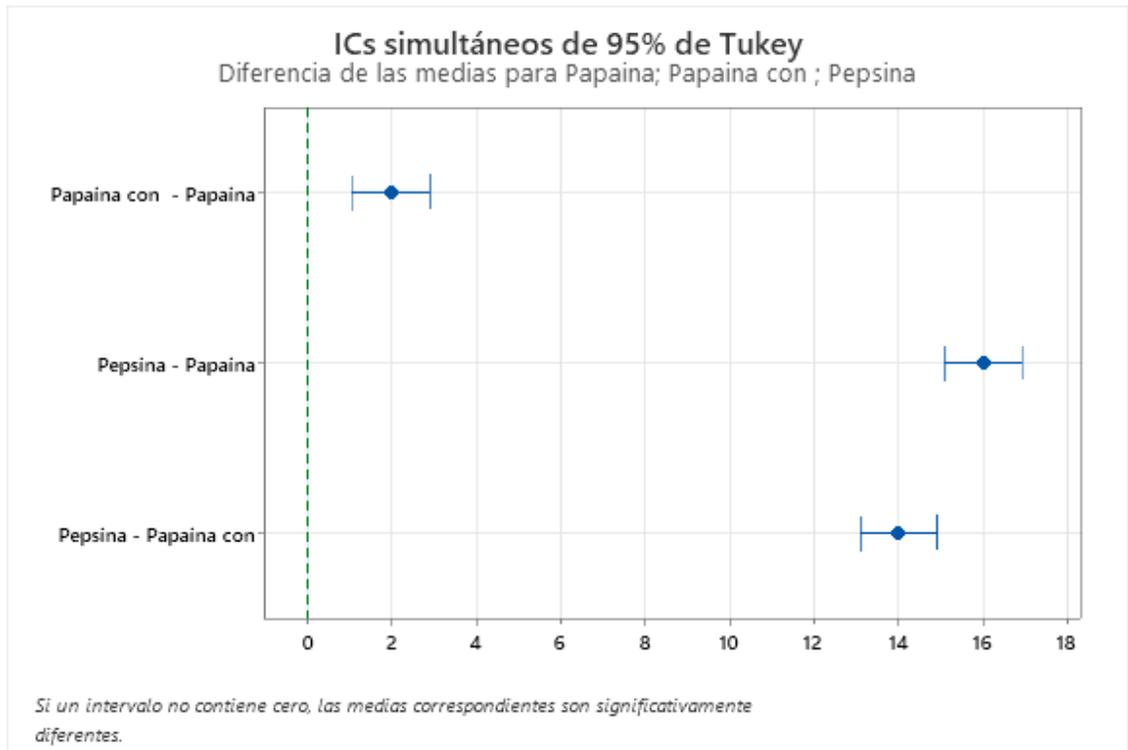
Fuente: Elaboración propia.

La dispersión de datos en los resultados de desproteínización es un aspecto crucial a considerar para evaluar la consistencia y fiabilidad de los métodos empleados, estos resultados se muestran en la gráfica superior. En Figura 13, se evidencia que la desproteínización varió significativamente entre las muestras tratadas con diferentes enzimas (papaína, papaína con cofactor y pepsina). La variabilidad en los resultados se

manifiesta a través de las diferencias en los porcentajes de desproteínización obtenidos para cada muestra.

Para las muestras tratadas con papaína, los porcentajes de desproteínización varían en un rango relativamente estrecho, oscilando entre 63.98% y 66.17%. Esto indica una consistencia relativamente buena en la eficacia de desproteínización de la papaína, ya que los valores se encuentran dentro de un rango limitado por lo que la dispersión no se muestra marcada en la gráfica. En el caso de las muestras tratadas con papaína con cofactor, la variabilidad en los resultados es más evidente. Los porcentajes de desproteínización varían desde 65.80% hasta 67.88%, mostrando una mayor dispersión en comparación con las muestras tratadas solo con papaína. Esta variabilidad podría deberse a la interacción compleja entre la papaína y el cofactor, lo que puede resultar en fluctuaciones en la eficacia de desproteínización. Por otro lado, las muestras tratadas con pepsina muestran una mayor variabilidad en los resultados, con porcentajes de desproteínización que varían entre 80.42% y 82.16%. Aunque la desproteínización con pepsina es generalmente más efectiva que la papaína, aún existe una dispersión notable en los datos. Esto podría atribuirse a diversos factores, como la calidad y la concentración de la enzima, así como las condiciones específicas del proceso experimental.

Figura 32 Prueba Tukey para significancia de desproteínización



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de Tukey, reveló diferencias significativas en las medias de desproteínización entre los tres métodos: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Esta

información es fundamental, ya que indica que los métodos no solo son distintos entre sí, sino que también tienen un impacto significativo en la cantidad de proteínas eliminadas durante el proceso de desproteínización. Estas diferencias sugieren que cada método tiene su propia eficacia y especificidad en la eliminación de las proteínas de la quitina. Para la industria, esta determinación es importante, ya que permite tomar decisiones informadas sobre qué método de desproteínización utilizar en función de los requisitos específicos del producto final. El análisis de Tukey proporciona una visión clara y cuantitativa de las diferencias entre los métodos, lo que permite a los investigadores y la industria tomar decisiones fundamentadas para optimizar sus procesos de desproteínización y, por ende, mejorar la calidad y la eficiencia en la producción de quitina.

Tabla 20 Resultados de cuadruplicados para la humedad de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	% DE HUMEDAD
<i>Papaína</i>	4.39
<i>Papaína</i>	5.12
<i>Papaína</i>	4.50
<i>Papaína</i>	4.83
<i>Papaína</i>	4.36
<i>Papaína</i>	4.12
<i>Papaína</i>	5.07
<i>Papaína</i>	4.63
<i>Papaína +cofactor</i>	6.31
<i>Papaína +cofactor</i>	5.63
<i>Papaína +cofactor</i>	4.61
<i>Papaína +cofactor</i>	5.64
<i>Papaína +cofactor</i>	4.47
<i>Papaína +cofactor</i>	3.84
<i>Papaína +cofactor</i>	5.21
<i>Papaína +cofactor</i>	3.41
<i>Pepsina</i>	4.99
<i>Pepsina</i>	3.87
<i>Pepsina</i>	3.55
<i>Pepsina</i>	3.43
<i>Pepsina</i>	5.22
<i>Pepsina</i>	3.78
<i>Pepsina</i>	3.39
<i>Pepsina</i>	4.29

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para el contenido de humedad en las muestras de quitina utilizando los métodos de pepsina y Papaína, junto con el cofactor, son coherentes con el

rango de humedad deseado 2 al 10% según el parámetro establecido por Guzhañay Lozano (2022). Los valores de humedad oscilan entre 3.41% y 6.31%, lo que indica que las muestras están dentro del rango objetivo.

El método de pepsina muestra valores de humedad que van desde 3.39% hasta 5.22%, mientras que el método de papaína, con y sin cofactor, varía de 3.41% a 6.31%. Estos resultados sugieren que los tres métodos analizados son efectivos para mantener el contenido de humedad de las muestras de quitina dentro de los límites deseados. La consistencia en los resultados indica una buena reproducibilidad de los métodos utilizados. La adecuada gestión de la humedad es esencial para preservar las propiedades físicas y químicas de la quitina, asegurando su calidad para diversas aplicaciones industriales y científicas.

Tabla 21 Hipótesis de análisis de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

<i>Hipótesis nula</i>	Todas las medias son iguales
<i>Hipótesis alterna</i>	No todas las medias son iguales
<i>Nivel de significancia</i>	$\alpha = 0.05$
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22 Análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<i>Muestra</i>	2	2.844	1.4219	2.68	0.092
<i>Error</i>	21	11.163	0.5316		
<i>Total</i>	23	14.006			

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado, la hipótesis nula plantea que todas las medias son iguales, mientras que la hipótesis alterna sostiene que al menos una de las medias es diferente. El nivel de significancia establecido es $\alpha = 0.05$, lo que significa que hay un 5% de probabilidad de cometer un error tipo I al rechazar incorrectamente la hipótesis nula.

El valor p obtenido del análisis de varianza es 0.092, que es mayor que el nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). Esto indica que no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula. En otras palabras, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de humedad entre los tres tratamientos.

Este resultado sugiere que los tratamientos con papaína, papaína + cofactor y pepsina no mostraron diferencias estadísticamente significativas en términos de humedad. Aunque

el valor p está cerca del umbral de significancia, no alcanza el nivel crítico necesario para rechazar la hipótesis nula.

Es importante tener en cuenta que, aunque no se encontraron diferencias significativas en este análisis, otros factores como la eficiencia del proceso, el costo y la viabilidad industrial también deben considerarse al elegir el mejor tratamiento para la producción de quitina. En este caso específico, el nivel de humedad no parece ser un factor crítico para diferenciar entre los tratamientos, según los datos analizados.

Tabla 23 Análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza

Muestra	Media	Desv.Est.	IC de 95%
<i>Papaína con cofactor</i>	4.89	0.984	(4.354; 5.426)
<i>Papaína</i>	4.627	0.357	(4.091; 5.163)
<i>Pepsina</i>	4.064	0.706	(3.528; 4.600)
Desv.Est. agrupada = 0.729077			

Fuente: Elaboración propia.

En comparación con el parámetro de humedad establecido entre 2% y 10% (Guzhañay Lozano, 2022), los resultados del análisis de varianza de humedad de los tres tratamientos (papaína, papaína + cofactor y pepsina) no mostraron diferencias significativas. Los valores medios de humedad para los tratamientos fueron 4.89%, 4.627% y 4.064%, respectivamente.

Todos estos valores de humedad se encuentran dentro del rango establecido del 2% al 10%. Esto indica que, en términos de contenido de humedad, los tres tratamientos cumplen con el estándar deseado según el parámetro proporcionado por Guzhañay Lozano (2022). No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, lo que sugiere que, en términos de contenido de humedad, todos los tratamientos son igualmente efectivos y adecuados para cumplir con los estándares requeridos. Esta uniformidad en el contenido de humedad es crucial para garantizar la calidad y la estabilidad del producto final, lo que es esencial en aplicaciones industriales y médicas.

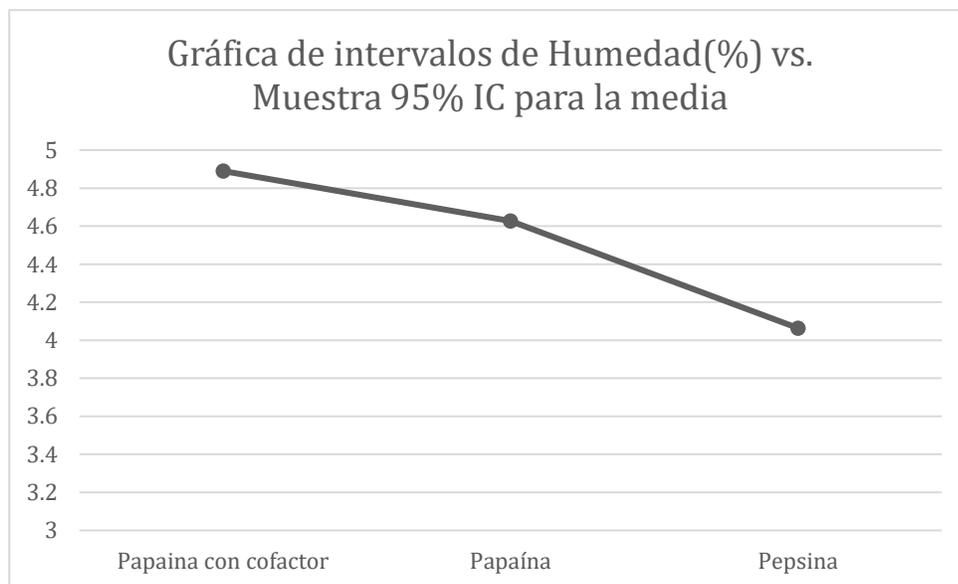
En el análisis de las desviaciones estándar en relación con los niveles de humedad, el tratamiento con papaína con cofactor reveló una desviación estándar significativamente alta de 0.984. Esta reducción marcada en la variabilidad señala una mayor uniformidad en los niveles de humedad entre las muestras tratadas con esta combinación. Esta consistencia mejorada podría atribuirse a la estabilización proporcionada por el cofactor, así como a una mayor coherencia en las condiciones experimentales. Estos factores, en conjunto, contribuyen a una humedad más homogénea en las muestras, lo que es esencial para garantizar la calidad y uniformidad del producto final.

Por otro lado, las muestras tratadas con papaína sola exhibieron una desviación estándar significativamente inferior, registrando un valor de 0.357. Esta reducción marcada

en la variabilidad señala una mayor uniformidad en los niveles de humedad entre las muestras tratadas con esta combinación. Este valor indica una variabilidad considerable en los contenidos de humedad entre las muestras tratadas con papaína, lo que sugiere la presencia de condiciones experimentales o factores externos que han impactado notablemente el proceso de desproteínización. Esta amplia variación podría complicar la consistencia en los resultados finales y, por ende, afectar la calidad del producto obtenido.

En el caso de las muestras tratadas con pepsina, se observó una desviación estándar de 0.706, situada entre los valores de las muestras tratadas con papaína sola y papaína con el cofactor. Aunque esta variabilidad es menor que la observada en las muestras tratadas solo con papaína con cofactor, sigue mostrando cierta inconsistencia en los niveles de humedad.

Figura 33 Intervalos de porcentaje de humedad contra muestra analizada



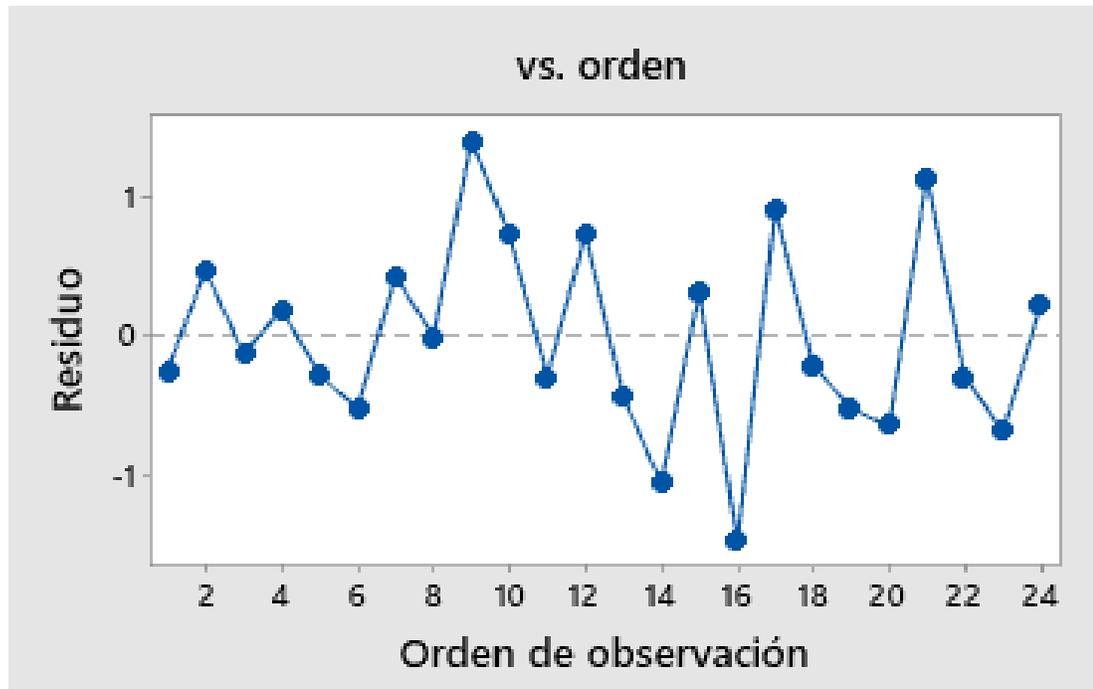
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la variación en el porcentaje de humedad en los productos obtenidos a través de los diferentes tratamientos de extracción de quitina es un aspecto que se debe considerar, ya que puede influir significativamente en la calidad del producto final. Con respecto a esto, la papaína con cofactor exhibe un porcentaje de humedad más alto en comparación con los otros tratamientos. Este aumento en la humedad esto puede ser atribuido a diversos factores, como la retención de agua durante el proceso de extracción o la presencia de residuos de solventes o cofactores que no se eliminan completamente durante los procesos de purificación en este caso el EDTA (Chang & Goldsby, 2017).

Por otro lado, la papaína sin cofactor también muestra un porcentaje de humedad notablemente elevado, aunque ligeramente menor que el de la papaína con cofactor. Esto podría deberse a una variabilidad en las condiciones de extracción o a la naturaleza misma de la enzima sin la presencia del cofactor, lo que podría llevar a una retención de agua más alta en el producto final. El tratamiento con pepsina exhibe un porcentaje de humedad

relativamente más bajo en comparación con los tratamientos de papaína. Esto indica que el proceso de extracción con pepsina puede resultar en una quitina con menor contenido de agua, lo que a menudo se asocia con una mayor calidad en términos de estabilidad y almacenamiento. La baja humedad en la quitina obtenida con pepsina sugiere un proceso de purificación más efectivo y una mejor eliminación de los residuos de agua y solventes, lo que contribuye a un producto final con características más deseables (Chang & Goldsby, 2017).

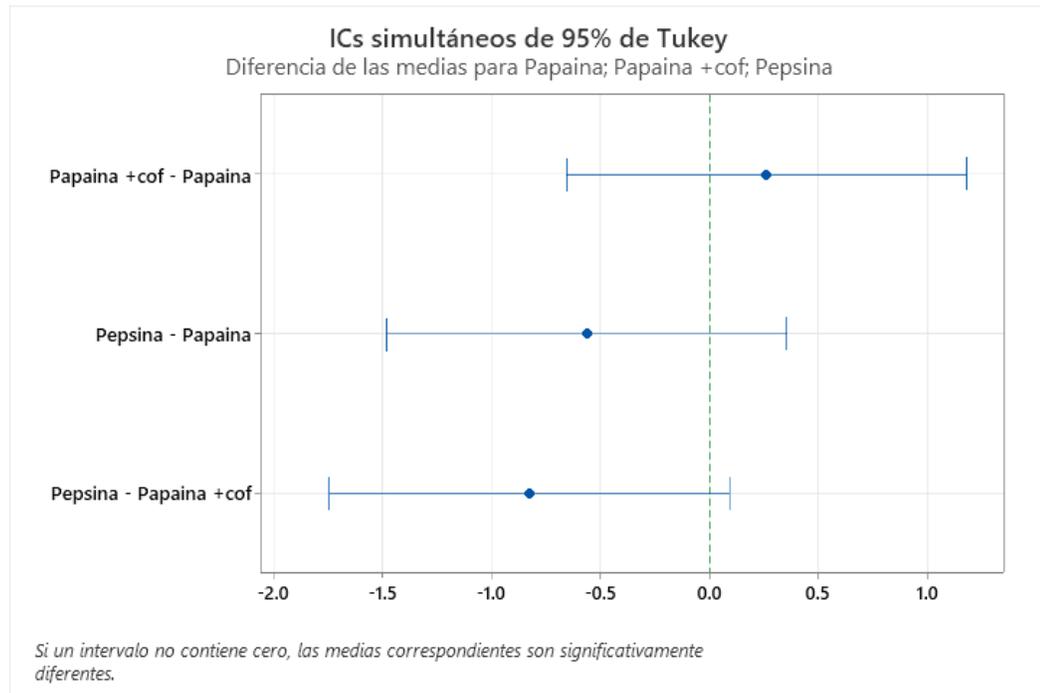
Figura 34 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la humedad



Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la gráfica de orden de distribución de datos (Figura 34), en el caso de la papaína, los valores de humedad varían desde 4.39% hasta 5.12%, lo que muestra una dispersión moderada pero notable en los resultados. Esto sugiere que, incluso bajo condiciones de extracción y purificación similares, hay diferencias en el contenido de humedad entre las muestras tratadas con papaína. Para la papaína con cofactor, la variación es aún más significativa, con valores que oscilan entre 3.41% y 6.31%. Estos resultados indican una variabilidad considerable en el proceso de extracción, que podría estar relacionada con diversas variables, como la cantidad de enzima utilizada, el tiempo de reacción, la temperatura y la calidad de los factores presentes. Por otro lado, los datos de humedad para el tratamiento con pepsina también muestran una dispersión significativa, con valores que van desde 3.39% hasta 5.22%. Aunque la pepsina parece tener una dispersión ligeramente menor en comparación con los tratamientos de papaína, aún existe una variabilidad notable en los resultados.

Figura 35 Prueba Tukey para significancia de humedad



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de Tukey, en base al gráfico reveló que las medias de humedad no son significativamente diferentes entre los tres métodos: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Esta falta de diferencia significativa indica que, en términos de humedad, los tres métodos de desproteínización son igualmente efectivos. Este resultado es importante en el contexto de la producción de quitina, ya que la humedad es un factor crítico que puede afectar la calidad y la estabilidad del producto final. Al no haber diferencias significativas en los niveles de humedad entre los métodos, se sugiere que todos los métodos son igualmente capaces de mantener un nivel de humedad adecuado en la quitina desproteínizada.

Tabla 24 Resultados de cuadruplicados para la acetilización de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	% ACETILACIÓN
<i>Papaína</i>	91.49
<i>Papaína</i>	90.35
<i>Papaína</i>	92.55
<i>Papaína</i>	91.48
<i>Papaína</i>	91.43
<i>Papaína</i>	90.35
<i>Papaína</i>	92.50
<i>Papaína</i>	91.42

Continuación de tabla No. 24.

TRATAMIENTO	% ACETILACIÓN
<i>Papaína +cofactor</i>	91.48
<i>Papaína +cofactor</i>	90.38
<i>Papaína +cofactor</i>	90.42
<i>Papaína +cofactor</i>	91.49
<i>Papaína +cofactor</i>	91.51
<i>Papaína +cofactor</i>	92.57
<i>Papaína +cofactor</i>	92.50
<i>Papaína +cofactor</i>	92.49
<i>Pepsina</i>	92.56
<i>Pepsina</i>	92.54
<i>Pepsina</i>	93.65
<i>Pepsina</i>	93.61
<i>Pepsina</i>	94.68
<i>Pepsina</i>	94.71
<i>Pepsina</i>	93.62
<i>Pepsina</i>	92.56

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para el grado de acetilación de la quitina utilizando los métodos de pepsina y papaína, junto con el cofactor, se encuentran dentro del rango deseado de 70-95% según el parámetro establecido por Escobar Sierra et al. (2013). Los valores de acetilación oscilan entre 90.35% y 94.71%, indicando que las muestras de quitina producidas están dentro del rango objetivo.

El método de pepsina muestra valores de acetilación que varían desde 92.54% hasta 94.71%, mientras que el método de papaína, con y sin cofactor, tiene un rango de 90.35% a 92.57%. Estos resultados sugieren que los tres métodos analizados son efectivos para producir quitina con niveles de acetilación adecuados para su aplicación en diversas industrias.

Tabla 25 Hipótesis de análisis de porcentaje de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

<i>Hipótesis nula</i>	Todas las medias son iguales
<i>Hipótesis alterna</i>	No todas las medias son iguales
<i>Nivel de significancia</i>	$\alpha = 0.05$
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 26 Análisis de varianza de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<i>Muestra</i>	2	20.68	10.3418	13.75	0
<i>Error</i>	21	15.8	0.7524		
Total	23	36.48			

(Fuente propia, 2023)

La hipótesis nula establece que todas las medias son iguales, lo que implicaría que no hay diferencia significativa entre los tratamientos en términos de acetilización. La hipótesis alternativa, por otro lado, sugiere que al menos una de las medias es diferente de las demás, lo que implicaría que existe al menos una diferencia significativa entre los tratamientos.

En este caso, el valor p obtenido es 0, lo que es menor que el nivel de significancia α (0.05). Esto indica que hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula en favor de la hipótesis alternativa. En otras palabras, hay al menos una diferencia significativa entre las medias de los tratamientos de acetificación.

El valor F obtenido (13.75) también es significativamente mayor que 1, lo que refuerza la idea de que hay diferencias significativas entre los tratamientos. Además, el valor crítico de F para este análisis específico con un nivel de significancia de 0.05 y grados de libertad 2 y 21 es superado por el valor F calculado.

Tabla 27 Análisis de varianza de acetilización de los tres tratamientos analizados en cuadruplicados resultados de media, desviación estándar y intervalos de confianza

Muestra	Media	Desv.Est.	IC de 95%
<i>Papaína con cofactor</i>	91.603	0.884	(90.966; 92.241)
<i>Papaína</i>	91.446	0.822	(90.809;92.084)
<i>Pepsina</i>	93.489	0.894	(92.852; 94.127)
Desv.Est. agrupada = 0.131455			

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del análisis de varianza para el grado de acetilación muestran que las medias de los tres tratamientos son significativamente diferentes. En comparación con el parámetro de grado de acetilación (70-95%) mencionado por Escobar Sierra et al. (2013), los tres tratamientos (papaína, papaína + cofactor y pepsina) superan este rango, lo que indica que han sido efectivos en la acetilización de la quitina obtenida de los residuos de camarón.

Específicamente, el tratamiento con pepsina muestra el grado de acetilación más alto con una media de 93.489, seguido por el tratamiento con papaína con cofactor (91.603) y papaína (91.446). Estos resultados sugieren que los tres tratamientos han logrado un alto grado de acetilización en comparación con el estándar mencionado por Escobar Sierra et

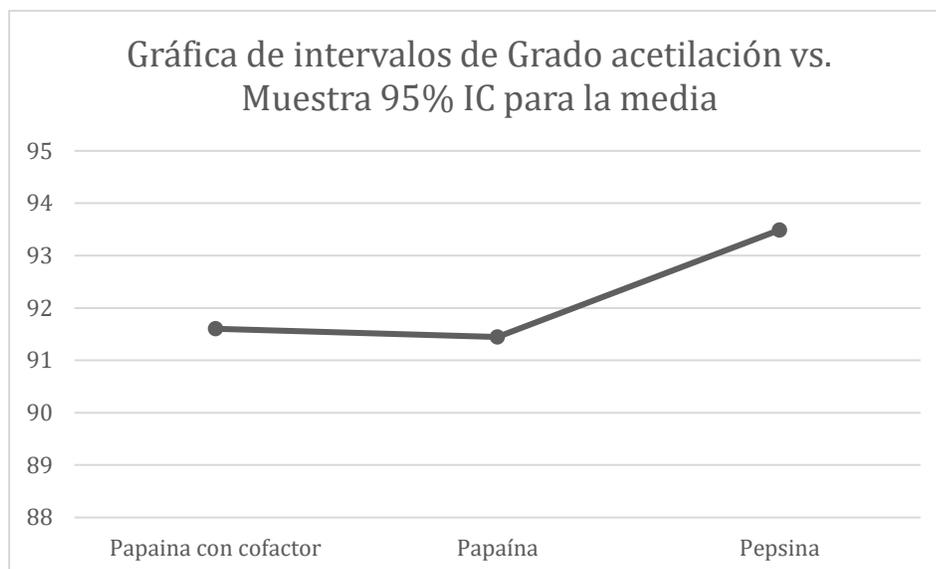
al. (2013). Es importante destacar que estos resultados indican una eficacia significativa de los tratamientos, lo que es crucial en diversas aplicaciones industriales y científicas donde se requiere quitina con un bajo grado de acetilación.

Los resultados del análisis de varianza del grado de acetilación muestran que las medias de los tres tratamientos son estadísticamente diferentes. Al considerar las desviaciones estándar junto con las medias, se observa que los tratamientos con papaína con cofactor, papaína y pepsina tienen desviaciones estándar de 0.884, 0.822 y 0.894 respectivamente. Estas desviaciones estándar indican la variabilidad de los datos dentro de cada tratamiento.

Comparando estas desviaciones estándar con las medias anteriores, se puede observar que los tratamientos con papaína tienen la menor variabilidad (0.822) en comparación con los tratamientos con papaína con cofactor (0.884) y pepsina (0.894). Esta menor variabilidad en el tratamiento con papaína sugiere una consistencia más alta en los resultados de acetilación en comparación con los otros tratamientos.

La baja variabilidad es crucial en la producción industrial, ya que indica la capacidad de replicar resultados consistentes. En el contexto del grado de acetilación, una menor variabilidad significa que el proceso de acetilación es más controlado y predecible, lo que es fundamental para garantizar la calidad del producto final. Por lo tanto, el tratamiento con papaína no solo ha demostrado una alta eficacia en la acetilación, sino también una consistencia notable en los resultados obtenidos. Estos hallazgos respaldan la viabilidad y la confiabilidad del tratamiento con papaína para la producción de quitina con un grado de acetilación específico y consistente, lo que es esencial para su aplicación en diversas industrias (Curbelo Hernández et al., 2021).

Figura 36 Intervalos de porcentaje de acetilización contra muestra analizada

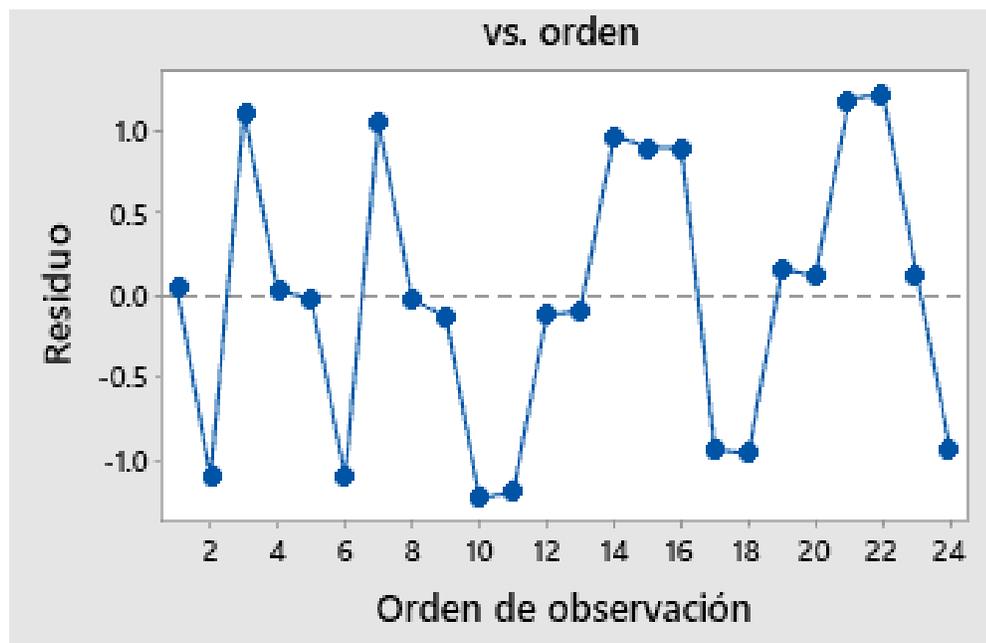


Fuente: Elaboración propia.

El análisis detallado de la gráfica superior (Figura 36) determina las diferencias significativas en la extracción de quitina en relación con el grado de acetilación de los tratamientos enzimáticos utilizados. Es especialmente evidente que el método de extracción con pepsina muestra una variación considerable en comparación con los tratamientos de papaína con y sin cofactor.

En contraste, los tratamientos de papaína, tanto con como sin cofactor, muestran una variación menos notable en la extracción de quitina en relación con el grado de acetilación. Esto sugiere que la papaína, incluso cuando se combina con un cofactor, no presenta la misma selectividad enzimática que la pepsina en términos de la acetilación de la quitina. Al observar las medias de los grados de acetilación, se confirma que la pepsina, con una media de 93.489%, es el método más efectivo para la desacetilización de la quitina en este estudio. Este resultado sugiere una alta eficacia y selectividad de la pepsina con respecto a los grupos acetilo de la quitina, lo que resulta en un producto con un grado de acetilación aceptable.

Figura 37 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la acetilización



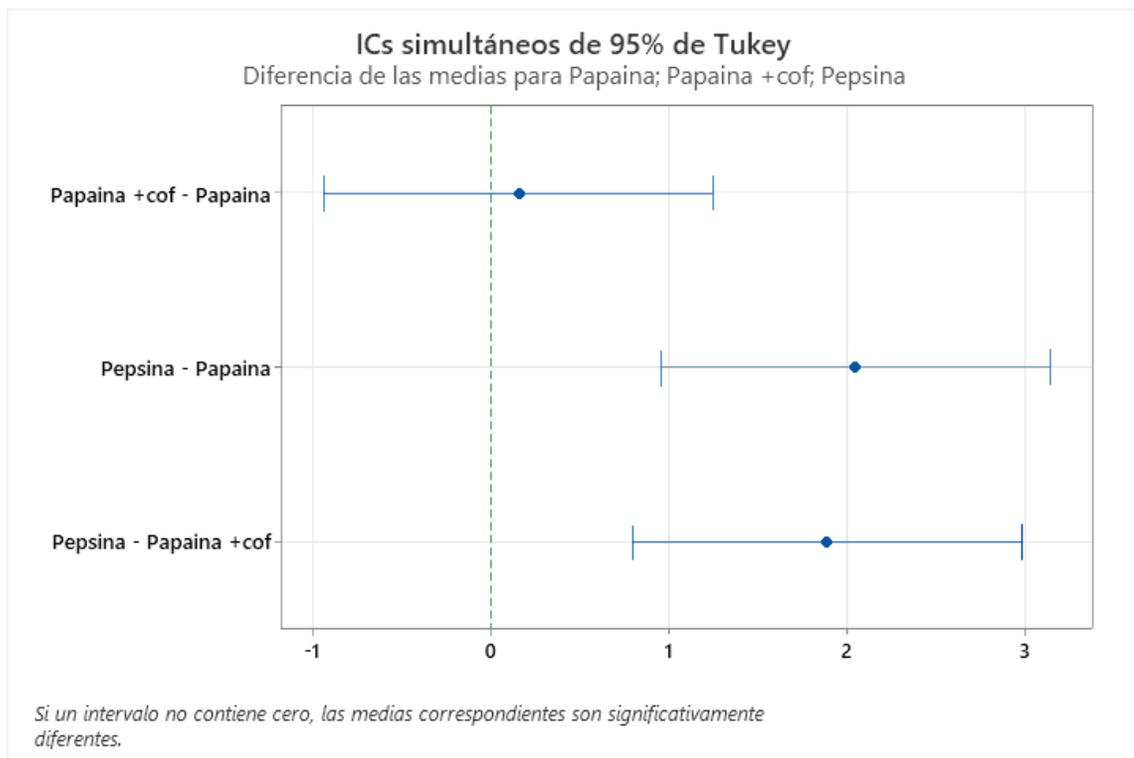
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de acetilización presentan una dispersión como se muestra en la gráfica de orden en la parte superior considerablemente entre los tratamientos evaluados. Los valores oscilan desde un mínimo de 90.35% hasta un máximo de 94.71%, indicando una variabilidad significativa en el grado de acetilación alcanzado por las diferentes enzimas y condiciones de reacción.

En el caso de la papaína sola, los valores varían entre 90.35% y 92.55%. Aunque la variación dentro de este tratamiento es relativamente estrecha, aún muestra una diferencia significativa del 2.2%, lo que sugiere que incluso bajo condiciones similares, la

acetilización puede verse afectada por pequeñas variaciones en los procesos experimentales. Al agregar el cofactor a la papaína, se observa una mayor variabilidad, con valores que oscilan entre 90.38% y 94.71% esto entre papaína con cofactor y pepsina. Estas diferencias de resultados indican que la interacción entre la papaína y el cofactor es compleja, y pequeñas variaciones en las condiciones de reacción o en la cantidad de cofactor pueden tener un impacto significativo en el grado de acetilización. Por otro lado, el tratamiento con pepsina muestra una variabilidad más estrecha, con valores que van desde 93.61% hasta 94.71%. Aunque la variación es menor en comparación con los otros tratamientos, aún existe una diferencia del 1.1% entre los valores más bajos y más altos.

Figura 38 Prueba Tukey para significancia de acetilización



Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de Tukey se reveló que los resultados son significativos en cuanto al grado de acetilización de los tres métodos: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Estos resultados indican que las medias de acetilización son significativamente diferentes entre los métodos, lo que implica variaciones en la estructura molecular de la quitina producida por cada método. El grado de acetilización es un factor crítico en las aplicaciones de la quitina, ya que afecta sus propiedades físicas y químicas, incluyendo su solubilidad, estabilidad y capacidad para formar derivados. Por lo tanto, entender estas diferencias en el grado de acetilización entre los métodos es esencial para seleccionar el método adecuado en función de las aplicaciones específicas de la quitina.

Tabla 28 Resultados de cuadruplicados para los rendimientos del producto quitina de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RENDIMIENTO PRODUCTO FINAL (%)
<i>Papaína</i>	29.06
<i>Papaína</i>	29.01
<i>Papaína</i>	31.70
<i>Papaína</i>	30.58
<i>Papaína +cofactor</i>	29.69
<i>Papaína +cofactor</i>	31.67
<i>Papaína +cofactor</i>	29.23
<i>Papaína +cofactor</i>	31.12
<i>Pepsina</i>	28.19
<i>Pepsina</i>	28.40
<i>Pepsina</i>	28.06
<i>Pepsina</i>	28.28

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los rendimientos del producto quitina obtenidos a través de los tres métodos analizados (pepsina, papaína y papaína con cofactor) se sitúan en un rango estrecho, oscilando entre aproximadamente 28.06% y 31.7%. Esta consistencia en los rendimientos sugiere que los tres métodos son comparativamente eficientes en la producción de quitina, ya que las diferencias entre los valores son mínimas.

Los métodos de papaína y papaína con cofactor tienen un rendimiento promedio ligeramente superior, situándose alrededor del 30.3%, mientras que el método de pepsina tiene un rendimiento promedio ligeramente inferior, cercano al 28.4%. A pesar de estas diferencias menores, todos los métodos están dentro del mismo rango general y, por lo tanto, se pueden considerar igualmente efectivos en términos de rendimiento de producto. Estos resultados indican que la elección del método puede depender de otros factores, como la disponibilidad de reactivos, el costo y la facilidad de implementación, en lugar de diferencias significativas en el rendimiento del producto quitina. Además, la consistencia en los rendimientos es un indicador positivo de la reproducibilidad de los métodos, lo que es esencial para la producción a gran escala y la aplicabilidad industrial de la quitina.

Tabla 29 Hipótesis de análisis de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

<i>Hipótesis nula</i>	Todas las medias son iguales
<i>Hipótesis alterna</i>	No todas las medias son iguales
<i>Nivel de significancia</i>	$\alpha = 0.05$
<i>Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.</i>	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30 Análisis de varianza de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
<i>Muestra</i>	2	11.169	5.584	5.49	0.028
<i>Error</i>	9	9.148	1.016		
Total	11	20.317			

Fuente: Elaboración propia.

La hipótesis nula establece que todas las medias de los tratamientos son iguales, mientras que la hipótesis alternativa sugiere que al menos una de las medias difiere de las demás. El nivel de significancia (α) se fijó en 0.05, lo que indica que hay un 5% de probabilidad de cometer un error tipo I al rechazar la hipótesis nula si es verdadera. El análisis de la tabla ANOVA revela un valor de p igual a 0.028, que es inferior al nivel de significancia α (0.05). Este resultado indica que hay diferencias significativas entre al menos dos de las medias de los tratamientos. En otras palabras, al menos un tratamiento tiene un rendimiento que difiere de los otros de manera estadísticamente significativa. El valor F obtenido en el análisis (5.49) también es importante. El valor F es una estadística de prueba que compara la variabilidad entre los grupos con la variabilidad dentro de los grupos. En este caso, un valor F significativamente mayor que 1 indica que la variabilidad entre los grupos es mayor que la variabilidad dentro de los grupos. Esto sugiere que al menos un tratamiento tiene un impacto significativo en los rendimientos obtenidos.

Tabla 31 Análisis de varianza de rendimientos de los tres tratamientos analizados en cuadruplicado resultados de media, desviación estándar e intervalos de confianza

Muestra	Media	Desv.Est.	IC de 95%
<i>Papaína con cofactor</i>	30.427	1.156	(29.287; 31.568)
<i>Papaína</i>	30.087	1.301	(28.946; 31.227)
<i>Pepsina</i>	28.2318	0.1442	(27.0915; 29.3721)
Desv.Est. agrupada = 1.00816			

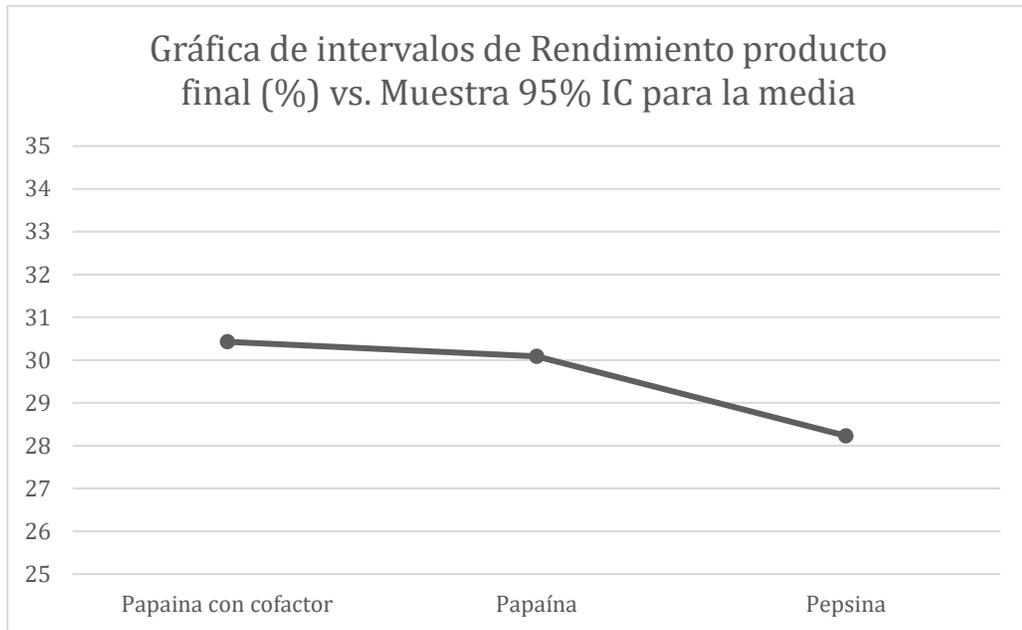
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las medias de los rendimientos de producto en este caso quitina, revelan que el rendimiento promedio más alto se observó en el grupo tratado con papaína con cofactor, con una media de 30.427%. Le siguió el grupo de papaína, que tuvo un rendimiento medio ligeramente menor, con una media de 30.087%. Por último, el grupo tratado con pepsina mostró el rendimiento promedio más bajo, con una media de 28.2318%. Al obtener bajos rendimientos se puede establecer que los bajos rendimientos no solo afectan los márgenes de beneficio de una empresa, sino que también pueden tener un impacto significativo en su capacidad para competir, innovar y ser sostenible a largo plazo.

Los resultados del análisis de la desviación estándar revelan diferencias significativas en la variabilidad de los rendimientos entre los tratamientos de papaína, papaína con cofactor y pepsina. El grupo tratado con papaína con cofactor muestra una variabilidad

moderada con una desviación estándar de 1.156, indicando fluctuaciones considerables en comparación con su media de rendimiento de 30.427%. Por otro lado, el grupo de papaína sola presenta una variabilidad ligeramente mayor con una desviación estándar de 1.301, lo que sugiere una consistencia menor en los rendimientos en comparación con el grupo de papaína con cofactor. El grupo tratado con pepsina exhibe una variabilidad mínima con una desviación estándar extremadamente baja de 0.1442, indicando una consistencia notable en los resultados cercanos a su media de rendimiento de 28.2318%, esta baja variabilidad sugiere una mayor estabilidad en las condiciones de extracción o una menor sensibilidad del proceso a las pequeñas variaciones, lo que podría ser beneficioso para la industria en términos de previsibilidad y calidad del producto final.

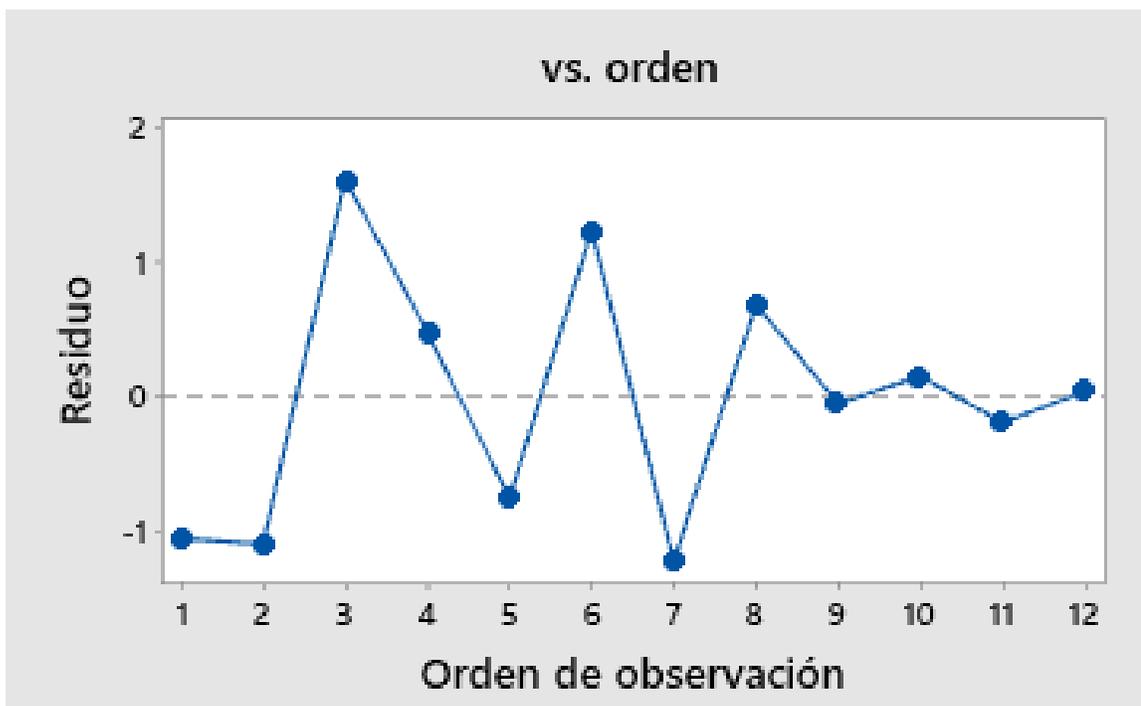
Figura 39 Intervalos de porcentaje de rendimientos contra muestra analizada



Fuente: Elaboración propia.

Los datos presentados en la gráfica superior muestran una tendencia descendente en los rendimientos de los tratamientos de papaína, papaína con cofactor y pepsina. La papaína con cofactor tiene un rendimiento promedio más alto con 30.427%, seguida por la papaína con 30.087%, y finalmente la pepsina con 28.2318%, lo que indica una disminución lineal en los rendimientos. Esta tendencia podría estar relacionada con las diferencias en la eficiencia de los tratamientos o las condiciones específicas de extracción. Es importante tener en cuenta estas variaciones al seleccionar el método de extracción más adecuado para aplicaciones industriales, ya que la diferencia en los rendimientos podría influir significativamente en los costos y la producción.

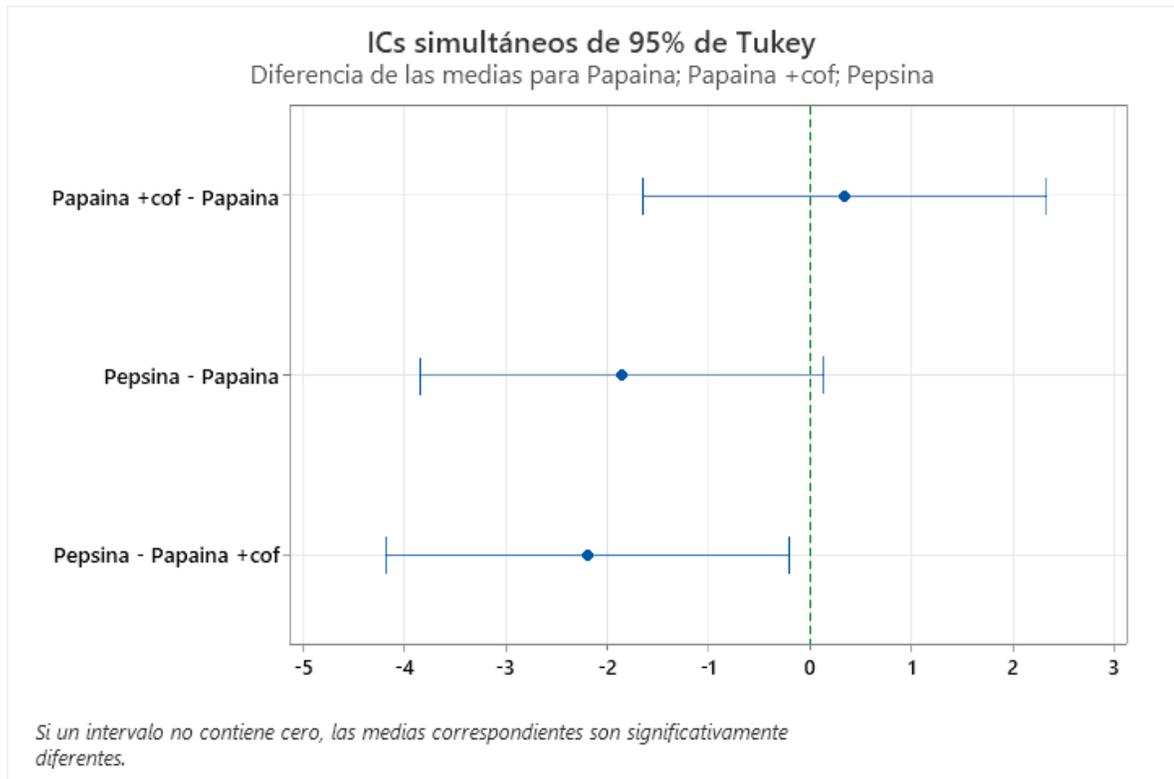
Figura 40 Orden de distribución de las muestras por método con respecto a la desproteínización



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica superior (Figura 40) se muestra la distribución de los datos obtenidos en rendimientos. En el tratamiento de papaína, los rendimientos oscilan entre 29.01% y 31.70%, lo que indica cierta variabilidad en los resultados obtenidos que se puede observar en la gráfica. Para el tratamiento de papaína con cofactor, la variación es aún más evidente, con rendimientos que van desde 29.23% hasta 31.67%. En el caso de la pepsina, los rendimientos son relativamente consistentes, variando solo entre 28.06% y 28.40%.

Figura 41 Prueba Tukey para significancia de rendimientos



Fuente: Elaboración propia.

El análisis de Tukey ha proporcionado información crucial sobre los rendimientos de los diferentes métodos de extracción de quitina. Según los resultados de este análisis, todas las medias de los métodos (papaína, papaína con cofactor y pepsina) son significativamente diferentes en términos de rendimientos. Esta diferencia significativa indica que cada método tiene un impacto único en la cantidad de quitina producida. Es importante tener en cuenta estas disparidades al seleccionar un método de extracción para aplicaciones específicas, ya que la cantidad y calidad de la quitina son factores determinantes en su utilidad industrial y comercial.

El análisis estadístico ANOVA desempeña un papel fundamental en la investigación científica al permitir la comparación de múltiples grupos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. En el contexto de este estudio, donde se realizaron procesos diferentes análisis para determinar la calidad de quitina utilizando tres métodos distintos (papaína, papaína con cofactor y pepsina) en cuadruplicado, el ANOVA se convierte en una herramienta esencial para evaluar y validar la consistencia de los resultados obtenidos. En este caso, el ANOVA permitiría determinar si los rendimientos, desproteinización, humedad y grado de acetilización obtenidos con la papaína, la papaína con cofactor y pepsina con sus diferencias significativas.

Tabla 32 Resultados de cuadruplicados para los rendimientos de desproteínización del producto quitina de los tres métodos analizados

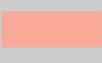
TRATAMIENTO	RENDIMIENTO DE SOLUCIÓN (%)
<i>Papaína</i>	60.77
<i>Papaína</i>	60.00
<i>Papaína</i>	65.61
<i>Papaína</i>	63.16
<i>Papaína +cofactor</i>	61.37
<i>Papaína +cofactor</i>	65.34
<i>Papaína +cofactor</i>	60.43
<i>Papaína +cofactor</i>	64.48
<i>Pepsina</i>	58.29
<i>Pepsina</i>	58.37
<i>Pepsina</i>	57.95
<i>Pepsina</i>	58.27

Fuente: Elaboración propia.

Los rendimientos de desproteínización del producto quitina, expresados como porcentajes de solución, varían entre los tres métodos analizados: papaína, papaína con cofactor y pepsina. Los resultados muestran que los métodos de papaína y papaína con cofactor tienen rendimientos de solución ligeramente más altos en comparación con el método de pepsina, con valores que oscilan entre aproximadamente 60% y 65.6%.

En general, estos resultados sugieren que los métodos de papaína y papaína con cofactor son más efectivos en la desproteínización del producto quitina en comparación con el método de pepsina. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las diferencias en los rendimientos son relativamente pequeñas y pueden no tener un impacto significativo en la calidad final del producto.

Tabla 33 Resultados del ensayo inicial de método en cuadruplicado para la determinación de color de quitina previo a despigmentación de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RESULTADOS	FIGURA	
<i>Pepsina</i>	L*	84.97	
	a*	24.09	
	b*	24.91	
<i>Pepsina</i>	L*	76.92	
	a*	33.14	
	b*	24.93	
<i>Papaína +cofactor</i>	L*	76.91	
	a*	29.09	

Continuación de tabla No. 33.

TRATAMIENTO		RESULTADOS	FIGURA
<i>Papaína + cofactor</i>	b*	21.41	
<i>Papaína + cofactor</i>	L*	84.67	
	a*	23.80	
	b*	24.20	
<i>Papaína</i>	L*	77.23	
	a*	32.93	
	b*	24.97	
<i>Papaína</i>	L*	76.96	
	a*	29.20	
	b*	21.60	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 33 se muestran los resultados de la validación del método en cuadruplicado para la determinación del color de la quitina de cáscara de camarón, antes del proceso de despigmentación, presentan variaciones notables entre los tres métodos analizados: pepsina, papaína + cofactor y papaína. En el método que emplea pepsina, el valor L* es de 84.97, indicando una alta luminosidad, mientras que los valores a* 24.09 y b* 24.91 sugieren tonalidades rojizas y amarillas. Sin embargo, en el segundo conjunto de datos de pepsina, se observa una disminución en la luminosidad L*76.92 y un aumento significativo en las tonalidades rojizas a* 33.14.

Por otro lado, el método de papaína + cofactor presenta un valor de L* de 76.91, lo que indica una disminución adicional en la luminosidad, y valores a* 29.09 y b* 21.41 que señalan una tonalidad rojiza menos intensa, pero con matices amarillos. En el caso del método de papaína, se observa un valor L* de 77.23, con una tonalidad rojiza intensa a* 32.93 y un matiz amarillo b* 24.97. En el segundo conjunto de datos de papaína, el valor L* se mantiene similar 76.96 con tonalidades rojizas a* 32.93 y matices amarillos b* 24.97.

Estas variaciones en las características de color sugieren diferencias en los procesos de despigmentación, destacando la importancia de elegir el método adecuado para obtener resultados consistentes y reproducibles. La elección del método de despigmentación no solo afecta la apariencia del producto final, sino que también puede influir en su aplicabilidad y aceptación en diversas industrias.

Tabla 34 Resultados de validación de método en duplicado para la despigmentación de quitina de los tres métodos analizados

TRATAMIENTO	RESULTADOS		FIGURA
<i>Pepsina</i>	L*	82.32	
	a*	6.79	
	b*	20.55	
<i>Pepsina</i>	L*	70.14	
	a*	12.13	
	b*	19.29	
<i>Papaína +cofactor</i>	L*	64.8	
	a*	12.2	
	b*	18.51	
<i>Papaína +cofactor</i>	L*	81.92	
	a*	6.82	
	b*	20.75	
<i>Papaína</i>	L*	69.14	
	a*	12.21	
	b*	19.39	
<i>Papaína</i>	L*	64.67	
	a*	12.32	
	b*	18.61	

Fuente: Elaboración propia.

El valor L*, que representa la luminosidad del color, disminuyó de 82.32 a un valor más bajo de luminosidad, indicando una reducción en la claridad del producto después del proceso de despigmentación. Esto sugiere que el producto final es menos transparente y más opaco que antes del proceso de despigmentación. El valor a* disminuyó de 6.79 a un valor menor, indicando una disminución en el tono rojizo del producto. Estos cambios en los valores de color pueden ser de importancia en aplicaciones donde el color es un factor crítico, como en la industria alimentaria o farmacéutica. La disminución en la luminosidad y los cambios en los tonos pueden afectar la apariencia visual del producto final, lo que podría influir en su aceptación por parte de los consumidores o su idoneidad para ciertos usos.

Pasando de 82.32 a 70.14, esto indica que el producto ha perdido claridad y se ha vuelto más oscuro en el segundo grupo de datos. Esta disminución en la luminosidad podría deberse a la eliminación de pigmentos y materiales que contribuyen a la apariencia más clara del producto. El valor a* aumentó de 6.79 a 12.13, lo que sugiere un cambio hacia tonos más rojizos, mientras que el valor b* aumentó de 20.55 a 19.29, indicando una disminución en el tono amarillo del producto despigmentado. Estos cambios en las coordenadas de color pueden tener implicaciones en aplicaciones donde el color es un factor crítico, ya que podrían afectar la percepción visual del producto final.

Con respecto a la papaína con cofactor, el valor L^* , que representa la luminosidad, es pequeño siendo este 64.8, indicando una reducción en la claridad del producto despigmentado. Esta disminución en la luminosidad sugiere que el producto se ha vuelto más oscuro después del proceso de despigmentación, lo que puede deberse a la eliminación de pigmentos y materiales claros del producto. Además, el valor a^* es de 12.2, indicando un cambio hacia tonos más rojizos, mientras que el valor b^* es de 18.51, indicando una disminución en el tono amarillo del producto despigmentado.

El segundo conjunto de datos de papaína con cofactor, sugieren que el valor de luminosidad (L^*) de 81.92, lo que indica un aumento en la claridad del producto despigmentado. Aunque el cambio en la luminosidad es mínimo, es importante tener en cuenta incluso las variaciones pequeñas, especialmente en aplicaciones donde la apariencia del producto es crucial. El valor a^* es de 6.82, indica una pequeña tendencia hacia tonos más rojizos. El valor b^* , que representa el tono amarillo-azul, es de 20.75, indicando variaciones en el tono amarillo del producto despigmentado. Estos cambios son sutiles y pueden no ser perceptibles a simple vista, pero son importantes en aplicaciones donde se busca una consistencia en el color.

En los resultados posteriores a la despigmentación con etanol utilizando el tratamiento de enzima papaína para la extracción de quitina, se observa que el valor de luminosidad (L^*) está en 69.14, lo que indica que no hubo un cambio significativo en la claridad del producto. Con respecto, las coordenadas de color a^* y b^* registran ciertas variaciones, con valores de 12.21 para a^* y 19.39 para b^* . Estos cambios sugieren ligeras modificaciones en el tono y la saturación del producto despigmentado, lo que podría influir en sus características estéticas y posiblemente en su aplicabilidad en ciertos contextos industriales.

En comparación con los resultados de color antes y después del proceso de despigmentación con etanol utilizando diferentes tratamientos enzimáticos, se observan cambios significativos en las propiedades visuales de la quitina extraída de cáscara de camarón.

En el tratamiento de pepsina, se obtuvo un alto valor de luminosidad (L^*) de 84.97, indicando una alta claridad del producto. Sin embargo, el cambio en el segundo conjunto de datos de pepsina, con una disminución en la luminosidad (L^*) a 76.92 y un aumento en las tonalidades rojizas (a^* 33.14), sugiere una modificación significativa en el color del producto. Por otro lado, el método de papaína + cofactor mostró una disminución en la luminosidad (L^*) a 76.91 y tonalidades rojizas menos intensas, pero con matices amarillos (a^* 29.09, b^* 21.41). En el método de papaína, se observan tonalidades rojizas intensas (a^* 32.93) y matices amarillos (b^* 24.97).

Después del proceso de despigmentación con etanol, se observa una disminución en la luminosidad (L^*) en todos los métodos analizados, indicando una pérdida en la claridad del producto. El método de pepsina muestra una reducción significativa en la luminosidad (L^*) de 84.97 a 82.32 lo que indica que el producto se volvió más oscuro y menos transparente después de la despigmentación. Además, se observa una disminución en las tonalidades rojizas (a^*) de 24.09 a 6.79 lo que sugiere un cambio hacia tonos más rojizos en el producto despigmentado.

En el método de papaína + cofactor, la luminosidad (L^*) disminuyó de 76.91 a 64.8, indicando una reducción en la claridad del producto despigmentado. Se observa un cambio hacia tonos más rojizos (a^* 12.2) y un aumento en el tono amarillo (b^* 18.51). En el caso del método de papaína, el valor de luminosidad (L^*) se disminuyó también de 77.23 a 69.14 pero se observó un cambio hacia tonos más rojizos (a^* 12.21) y una variación significativa en el tono amarillo (b^* 19.39).

Estos cambios en las características de color después del proceso de despigmentación con etanol indican alteraciones en la composición y estructura molecular de la quitina. Es importante tener en cuenta estas variaciones, ya que pueden afectar la percepción visual del producto final y su idoneidad para ciertas aplicaciones industriales, como en la industria alimentaria o cosmética, donde el color puede ser un factor crítico en la aceptación del producto por parte de los consumidores. Además, estos resultados resaltan la importancia de elegir el método de despigmentación adecuado para obtener un producto final con las características de color deseadas y consistentes.

La despigmentación o blanqueo de la quitina representa un paso crítico en la producción de quitina pura, especialmente cuando se destina a aplicaciones médicas donde la pureza es fundamental. Sin embargo, es esencial tener en cuenta que, en muchos casos, la presencia de pigmentos en la quitina no afecta sus propiedades químicas ni su comportamiento en solución. En situaciones donde las propiedades fisicoquímicas y la reactividad de la quitina no se ven comprometidas por la presencia de pigmentos, el proceso de despigmentación puede considerarse innecesario, lo que reduce el impacto ambiental del proceso de producción (Curbelo Hernández et al., 2018). Existe una necesidad de buscar alternativas al metanol durante las investigaciones experimentales por lo que se va a resaltar alternativas amigables con el ambiente y algunas levemente agresivas para que se pueda indagar en futuras investigaciones.

El uso del etanol en la despigmentación de quitina presenta ventajas significativas. A diferencia del ozono, que es respetuoso con el medio ambiente, pero puede no ser tan eficiente como el etanol para eliminar ciertos pigmentos, el etanol ofrece una combinación de eficacia y seguridad ambiental (Curbelo Hernández et al., 2018). Con respecto a la despigmentación con xileno, el cual es efectivo, pero extremadamente tóxico y perjudicial para el medio ambiente, el etanol es menos tóxico y más seguro para los trabajadores y el entorno (Lemus Centes et al., s.f.). Así mismo, en comparación con la combinación de éter de petróleo, agua y acetona, que es inflamable y requiere medidas de seguridad rigurosas, el etanol es más fácil de manejar y menos peligroso en términos de inflamabilidad (Andrade Encarnación, 2015). El metanol, que es inflamable y tóxico, el etanol sigue siendo una opción más segura (Andrade Encarnación, 2015). Además, en comparación con las enzimas como la lacasa y la tirosinasa, que son biodegradables pero pueden ser menos efectivas en ciertos pigmentos, el etanol se destaca por su capacidad para disolver una amplia variedad de pigmentos de manera eficaz (Alcalde & Del Pozo, 2001). Por último, a diferencia del CO_2 supercrítico, que puede requerir condiciones extremas y equipos especializados, el etanol es un solvente más accesible y fácilmente aplicable en entornos industriales estándar (Peralta Bohórquez, 2010).

Tabla 35 Resumen de significancia de métodos de extracción de quitina

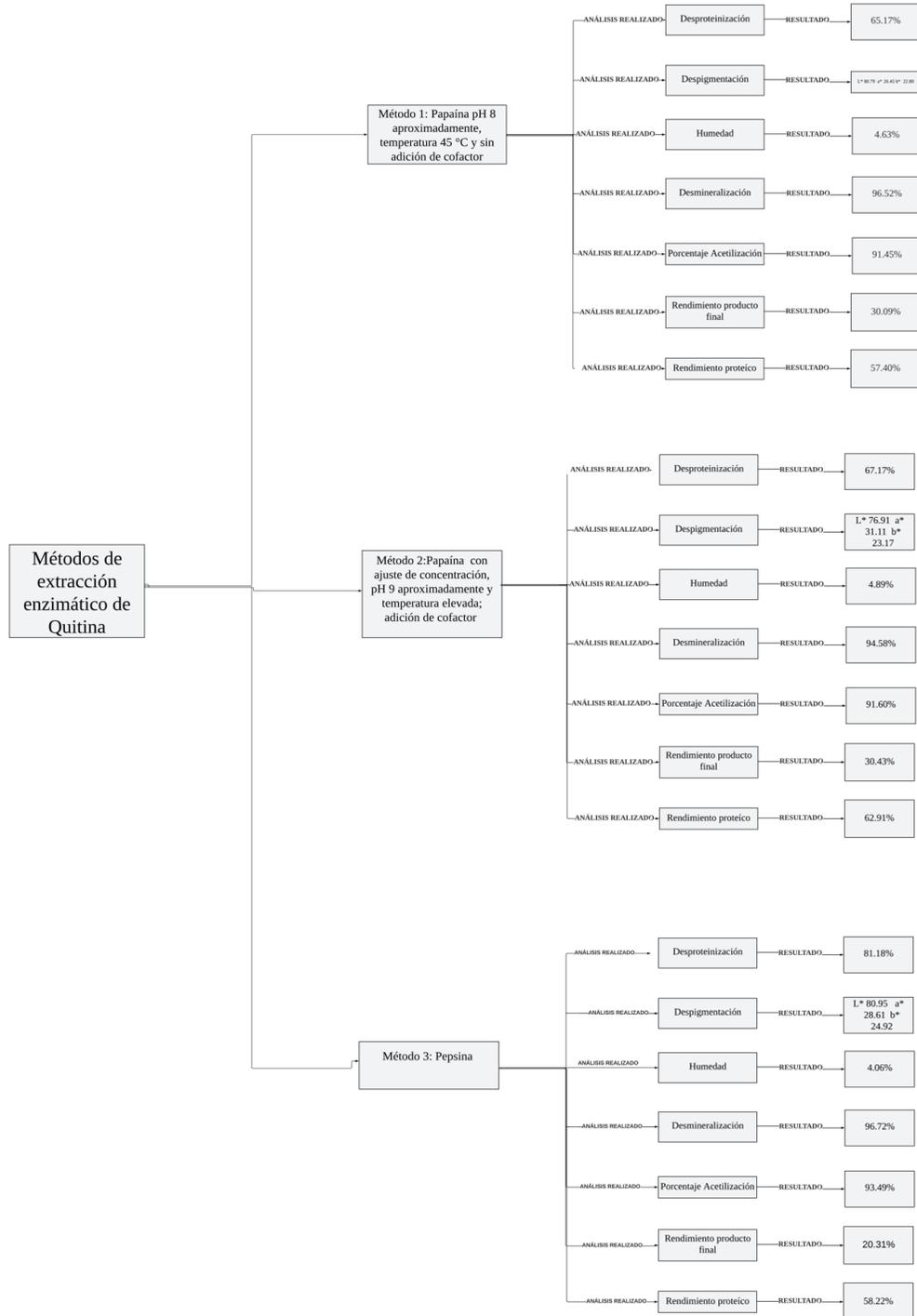
Método	Diferencia significativa humedad	Diferencia significativa acetilización	Diferencia significativa desproteinización	Diferencia significativa rendimiento
Papaína + cofactor	X	✓	✓	✓
Papaína	X	✓	✓	✓
Pepsina	X	✓	✓	✓

Fuente: Elaboración propia.

*La “**X**” no existe una diferencia significativa entre los métodos, “✓” sí existe diferencia significativa entre los métodos

7.5. Árbol de decisiones

Figura 42 Decisiones para seleccionar el método adecuado de extracción de quitina



Fuente: Elaboración propia

La elaboración de un diagrama de decisiones para evaluar y determinar el método más adecuado para la extracción de quitina es un paso fundamental en la optimización de los procesos de producción, dicho diagrama se observa en la Figura 42. Este enfoque integral considera una serie de parámetros clave que impactan directamente en la calidad y la eficiencia del producto final. A través de la evaluación de estos parámetros, se puede tomar una decisión informada sobre cuál de los métodos enzimáticos (papaína, papaína con cofactor o pepsina) es el más apropiado para una aplicación específica.

Los parámetros evaluados en el diagrama de decisiones, como la desproteínización, la despigmentación, la humedad, la desmineralización, la utilización, el rendimiento de producto final y los rendimientos proteicos, son críticos en la producción de quitina de alta calidad. En el caso de la desproteínización efectiva es esencial para eliminar las proteínas no deseadas y garantizar de esta forma la pureza de la quitina, mientras que la despigmentación es fundamental para lograr la apariencia visual deseada. La humedad y la desmineralización también afectan la calidad del producto final y su aplicabilidad en diversas industrias. Además, la consideración de la utilización y los rendimientos proteicos es importante desde una perspectiva económica, ya que influyen en la eficiencia de la producción y en la cantidad de producto final obtenido a partir de la materia prima. La optimización de estos parámetros es esencial para maximizar la rentabilidad y la sostenibilidad del proceso en la extracción de quitina.

7.6. Análisis ambiental

La determinación del gasto energético es esencial tanto desde una perspectiva económica como ambiental. La reducción del consumo de energía no solo puede traducirse en costos operativos más bajos, sino que también tiene un impacto positivo en la sostenibilidad y la huella de carbono de la producción de quitina. Por lo tanto, en los siguientes resultados se determina la necesidad de explorar estrategias para mejorar la eficiencia energética en el proceso de extracción de quitina con pepsina, como la implementación de tecnologías más eficientes o la optimización de las condiciones de operación de los equipos utilizados.

Tabla 36 Resultados de determinación de gasto energético del método de pepsina

EQUIPOS	CONSUMO DE ENERGÍA DE EQUIPO (KW)	CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (KWH)
<i>Deshidratadora preparación de muestra</i>	0.48	4.32
<i>Estufas para desmineralización</i>	1.2	3.6
<i>Estufas para desproteínización</i>	1.2	3.6
<i>Estufa para despigmentación</i>	1.2	2.4
<i>Deshidratadora para desmineralización</i>	0.48	3.36
<i>Deshidratadora para desproteínización</i>	0.48	3.36
<i>Deshidratadora para despigmentación</i>	0.48	3.36

Continuación de tabla No. 36.

EQUIPOS	CONSUMO DE ENERGÍA DE EQUIPO (KW)	CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (KWH)
<i>Equipo orbital</i>	0.035	0.035
<i>Incubadora</i>	0.72	11.52
	Total	35.55

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la determinación del gasto energético del método de pepsina son reveladores en términos de la eficiencia y el costo asociado a este proceso de extracción de quitina. Los datos de la Tabla 36, muestran que el consumo total de energía para llevar a cabo el proceso utilizando diferentes equipos es de 35.55 kWh.

En primer lugar, es importante destacar que la mayor parte del consumo de energía proviene de la incubadora, que representa aproximadamente el 32% del total. Esto sugiere que la incubadora es un componente crítico en el proceso de extracción de quitina con pepsina y que su eficiencia energética podría ser un área de mejora para reducir el consumo general de energía. Se determinó que las estufas utilizadas en la desmineralización, desproteínización y despigmentación también contribuyen significativamente al consumo de energía, representando alrededor del 10% cada una en el total exceptuando por la de despigmentación que es de un 6% debido a que su tiempo de agitación fue más corto. Estos resultados destacan la importancia de optimizar los procesos de calentamiento en estas etapas para reducir el gasto energético.

Tabla 37 Resultados de determinación de gasto energético del método de papaína

EQUIPOS	CONSUMO DE ENERGÍA DE EQUIPO (KW/HORA)	CONSUMO DE ENERGÍA FINAL (KW)
<i>Deshidratadora preparación de muestra</i>	0.48	4.32
<i>Estufas para desmineralización</i>	1.2	3.6
<i>Estufas para desproteínización</i>	1.2	3.6
<i>Estufa para despigmentación</i>	1.2	2.4
<i>Deshidratadora para desmineralización</i>	0.48	3.36
<i>Deshidratadora para desproteínización</i>	0.48	3.36
<i>Deshidratadora para despigmentación</i>	0.48	3.36
<i>Equipo orbital</i>	0.035	0.035
	Total	24.04

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los resultados de la determinación del gasto energético del método de papaína con los del método de pepsina con respecto a la extracción de quitina, se observan diferencias significativas en el consumo de energía. El método de papaína muestra un consumo total de energía de 24.04 kWh, que es significativamente menor en comparación con los 35.55 kWh del método de pepsina. Esto representa una reducción del consumo de energía de aproximadamente el 32% al utilizar papaína en lugar de pepsina.

En el método de papaína, la mayor parte del consumo de energía proviene de la deshidratadora utilizada en la preparación de muestra, seguida de las estufas empleadas en la desmineralización, desproteínización y despigmentación. Estos equipos contribuyen de manera significativa al gasto energético, aunque en menor medida que en el método de pepsina.

La diferencia en el consumo de energía entre ambos métodos podría atribuirse a varios factores, como las temperaturas y tiempos de procesamiento, la eficiencia de los equipos utilizados y las condiciones específicas de operación. Esto sugiere que el método de papaína no solo es eficaz desde el punto de vista de la extracción de quitina, sino que también puede ser más eficiente en términos de consumo energético, lo que representa una reducción considerable de costos operativos y un menor impacto ambiental. Sin embargo, la elección del método debe basarse en una evaluación integral que considere aspectos como la desproteínización, el rendimiento y la calidad del producto final, además del ahorro de energía.

Para reducir de manera efectiva el consumo energético en el proceso de extracción de quitina con pepsina o papaína, se pueden aplicar diversas estrategias de eficiencia energética. Esto incluye la exploración de fuentes de energía renovable como paneles solares o energía eólica, que pueden alimentar parte o la totalidad de las necesidades energéticas del proceso (Rivera Forero, 2014). La instalación de sistemas de monitoreo y control automatizado permite una gestión precisa de la energía en tiempo real, mientras que los sistemas de recuperación de calor capturan y reutilizan el calor generado por los equipos, contribuyendo a la eficiencia energética. Por último, la optimización de los equipos utilizados, eligiendo modelos de alta eficiencia energética y reemplazando los equipos antiguos, es fundamental para minimizar el consumo de energía en el proceso (Linares Llamas, 2009).

La matriz de Leopold es una herramienta ampliamente utilizada en la evaluación del impacto ambiental que desempeña un papel esencial en la planificación y el análisis de proyectos industriales, incluyendo aquellos relacionados con la producción y el análisis de la quitina. Esta matriz se utiliza para identificar y evaluar los efectos potenciales de un proyecto en el medio ambiente y las comunidades circundantes. En el contexto de la producción de quitina y su análisis, la matriz de Leopold se vuelve fundamental para evaluar los reactivos utilizados en los procesos. Permite analizar cómo estos reactivos afectan el entorno circundante, incluyendo la calidad del agua, la biodiversidad marina y las comunidades locales que dependen del ecosistema marino.

Tabla 38 Matriz de Leopold para usos de reactivos y enzimas utilizadas

Componentes		Impacto por subcomponente	Impacto total del método
Características físicas y químicas	Tierra	-361	-1026
	Agua	-298	
	Atmósfera	-158	
Factores culturales	Aspectos culturales	-83	
	Facilidades y actividades humanas	-126	

Fuente: Elaboración propia.

* La matriz de Leopold analiza las enzimas y reactivos utilizados en ambos métodos con sus respectivos impactos en componentes, subcomponentes y totales.

El impacto total de utilizar reactivos y enzimas en el proceso de extracción de quitina, que resulta en una puntuación de -1026, indica un impacto ambiental extremadamente negativo asociado con los métodos analizados. Este valor sugiere que el proceso de extracción con pepsina y papaína tiene una serie de implicaciones ambientales significativas que deben ser abordadas y mitigadas.

En cuanto a la "Tierra", el impacto por subcomponente es de -361, lo que representa un efecto negativo considerable en esta característica física y química. Por otro lado, el componente "Agua" también muestra un impacto negativo considerable, con un valor de -298 en "Impacto por subcomponente". Esto refleja un desafío en la gestión de los recursos hídricos durante el proceso de extracción. En términos de "Atmósfera", el impacto por subcomponente es de -158, lo que indica un efecto negativo, aunque menor, en esta característica.

En cuanto a los aspectos culturales relacionados con la salud y seguridad, la puntuación de -83 sugiere que las creencias y prácticas culturales pueden influir negativamente en la adopción de medidas de salud y seguridad en el proceso. Esto puede manifestarse en la resistencia a utilizar equipos de protección personal o en la falta de conciencia sobre los riesgos para la salud y seguridad en el lugar de trabajo. Con respecto, el manejo de residuos con una puntuación de -126 indica que las actividades humanas relacionadas con la gestión de residuos tienen un impacto ambiental adverso significativo. Esto puede deberse a la inadecuada disposición de residuos generados durante el proceso de extracción de quitina, lo que puede resultar en la contaminación ambiental y en la acumulación de desechos no gestionados.

El puntaje de -817 en la categoría de "Características físicas y químicas" indica un impacto ambiental negativo considerable en el proceso de extracción de quitina en relación

con estas características. Esto sugiere que existen preocupaciones ambientales significativas relacionadas con las propiedades físicas y químicas del proceso. Así mismo, posibles factores que contribuyen a este impacto negativo podrían incluir la liberación de sustancias químicas tóxicas o contaminantes en el medio ambiente durante el proceso de extracción. Esto podría incluir el uso de ácidos u otros reactivos químicos que pueden generar residuos peligrosos o tener efectos adversos en la calidad del agua o el suelo. Además, el proceso de extracción podría alterar las características físicas del entorno, como la erosión del suelo o la degradación de la vegetación.

El puntaje de -209 en la categoría de "Factores culturales" refleja un impacto negativo significativo en lo que respecta a la seguridad y la salud ocupacional en el proceso de extracción de quitina. Este puntaje indica que existen preocupaciones considerables en cuanto a las prácticas y actitudes culturales en el entorno de trabajo que pueden afectar adversamente la seguridad y la salud de los trabajadores. Este impacto negativo podría estar relacionado con prácticas de trabajo inseguras, falta de capacitación adecuada en seguridad ocupacional, incumplimiento de protocolos de seguridad, o una cultura laboral que no prioriza la seguridad y la salud de los empleados.

La gestión de residuos más responsable y sostenible es esencial para alinear las prácticas industriales con los ODS de las Naciones Unidas, particularmente con el ODS 12 (Consumo y Producción Responsables) y el ODS 13 (Acción por el Clima). Examinando los resultados de impacto ambiental en el proceso de extracción de quitina, se pueden identificar áreas clave donde se puede trabajar para mejorar la gestión de residuos y contribuir a estos objetivos globales (Naciones Unidas, 2015).

En primer lugar, los datos reflejan un alto impacto ambiental relacionado con la "Característica física y química" del proceso, con un puntaje de -817. Esto sugiere que el proceso actual genera una gran cantidad de residuos que pueden afectar negativamente el entorno físico y químico. Una gestión más responsable de estos residuos, como la implementación de técnicas de reciclaje, reutilización o reducción de residuos, podría ayudar a minimizar este impacto (Naciones Unidas, 2015).

En segundo lugar, la categoría "Factores culturales" también muestra un impacto negativo significativo en relación con la seguridad y la salud ocupacional, con un puntaje de -209. Esto podría indicar que existen desafíos en la gestión de residuos peligrosos o en el manejo adecuado de sustancias químicas, lo que a su vez podría tener consecuencias negativas tanto para los trabajadores como para el entorno. Implementar prácticas de gestión de residuos más seguras y sostenibles es esencial para mitigar estos riesgos (Naciones Unidas, 2015).

Para abordar estos problemas y promover una gestión de residuos más responsable y sostenible, es fundamental adoptar un enfoque integral que incluya la reducción en la fuente, la reutilización y el reciclaje de residuos, así como el cumplimiento de regulaciones ambientales y de seguridad ocupacional. Además, la educación y la capacitación en materia de gestión de residuos pueden desempeñar un papel importante para promover una cultura de responsabilidad ambiental en el lugar de trabajo (Naciones Unidas, 2015).

La adopción de prácticas y tecnologías más sostenibles en la producción de enzimas como la pepsina y la papaína es fundamental para fomentar la sostenibilidad y cumplir con los ODS establecidos por las Naciones Unidas. Estas enzimas desempeñan un papel esencial en diversas industrias, desde la alimentaria hasta la farmacéutica, y su producción sostenible puede contribuir significativamente a varios ODS. En primer lugar, al alinearse con el ODS 12 de Consumo y Producción Responsables, la adopción de prácticas más sostenibles implica un uso responsable de los recursos naturales, la reducción de desperdicios y la mejora en la eficiencia de la producción. Esto promueve patrones de producción y consumo más sostenibles, un objetivo crucial para un futuro sostenible (Naciones Unidas, 2015).

Además, la implementación de tecnologías limpias y eficientes en la producción de enzimas también apoya el ODS 9 de Industria, Innovación e Infraestructura. Al reducir el impacto ambiental y mejorar los procesos de producción, se promueve la innovación en la industria, impulsando así el desarrollo tecnológico de manera sostenible. A su vez, estas prácticas sostenibles contribuyen al ODS 13 de Acción por el Clima al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y mitigar los impactos ambientales relacionados con el cambio climático (Naciones Unidas, 2015).

La producción sostenible de papaína es fundamental para mitigar el impacto ambiental de esta industria. Para lograrlo, es esencial adoptar prácticas y tecnologías más sostenibles en el proceso de extracción. Esto implica cultivar papayas de forma orgánica, sin el uso de pesticidas ni fertilizantes químicos, y emplear sistemas de riego eficientes para conservar el agua, un recurso valioso (Holmes, et al., 2021). Además, se puede considerar el uso de energía renovable, como la solar o la eólica, para alimentar las operaciones de extracción, reduciendo así la dependencia de combustibles fósiles.

La implementación de tecnologías de biorrefinerías, que maximizan la utilización de recursos y minimizan los residuos; las biorrefinerías son instalaciones que transforman materiales orgánicos, como biomasa, residuos agrícolas o industriales, en una variedad de productos valiosos, como biocombustibles, productos químicos, materiales y alimentos. Lo que las hace especialmente importantes es su capacidad para maximizar la utilización de recursos y minimizar los residuos de manera eficiente (Hernández-Chaverri & Barragán, 2018). Asimismo, es importante adoptar prácticas de cosecha sostenible y utilizar métodos de extracción más eficientes y respetuosos con el medio ambiente.

La búsqueda de alternativas de reactivos más amigables con el ambiente en el proceso de extracción de papaína es esencial para minimizar el impacto ecológico de esta industria. En lugar de utilizar compuestos químicos convencionales que pueden ser tóxicos y persistentes en el medio ambiente, se pueden explorar opciones más sostenibles, como enzimas y productos naturales, que sean biodegradables y menos perjudiciales para los ecosistemas acuáticos y terrestres (Rogers et al., 2002). Además, la investigación y desarrollo de solventes orgánicos y métodos de extracción basados en tecnologías verdes pueden ofrecer soluciones más sostenibles (Pino, 2020). Estos solventes, derivados de fuentes naturales y renovables, tienen un impacto ambiental reducido y son menos tóxicos que sus contrapartes químicas. Asimismo, la reutilización y reciclaje de solventes, cuando

sea posible, ayudan a reducir el desperdicio y conservar los recursos naturales (López, 2011).

Tabla 39 Matriz de Leopold para método de extracción de quitina de pepsina

Componentes		Impacto por subcomponente	Impacto por componente	Impacto total del método
Características físicas y químicas	Tierra	-20	-78	
	Agua	-33		
	Atmósfera	-25		
Factores culturales	Aspectos culturales	-4	-7	
	Facilidades y actividades humanas	-3		

Fuente: Elaboración propia.

*La matriz de Leopold analiza el nivel de pepsina con sus respectivos impactos en componentes, subcomponentes y totales.

En características físicas y químicas se obtuvo -78, este valor negativo en el subcomponente de características físicas y químicas sugiere un impacto significativo en este aspecto. Las características físicas y químicas se refieren a las propiedades del entorno natural y los materiales utilizados en el proceso de producción. Un valor tan bajo indica que el método de pepsina tiene un impacto negativo considerable en estas características, posiblemente debido al uso intensivo de productos químicos y a la alteración del entorno natural durante el proceso.

En factores culturales como salud, manejo de residuos -7, en el subcomponente de factores culturales, que incluye aspectos relacionados con la salud y el manejo de residuos, el valor negativo indica un impacto, aunque menos significativo en comparación con las características físicas y químicas. Esto podría deberse a medidas de mitigación o regulaciones que minimizan los impactos en la salud de las personas y en la gestión de los desechos generados por el proceso.

El resultado total de -85 en la matriz de Leopold para el método de pepsina indica un impacto ambiental negativo significativo. Esta puntuación refleja los efectos adversos del proceso de producción de quitina utilizando pepsina en varios aspectos ambientales y sociales. La puntuación negativa sugiere que hay áreas críticas en las que se deben implementar mejoras para reducir el impacto negativo del método en el medio ambiente y en la comunidad circundante.

El proceso de producción de quitina utilizando pepsina plantea preocupaciones significativas en relación con varios ODS. En primer lugar, el ODS 6, que busca garantizar

agua limpia y saneamiento, se ve comprometido debido al uso intensivo de productos químicos en el proceso. Esta práctica aumenta el riesgo de contaminación de los recursos hídricos locales, lo que contradice directamente el objetivo de proporcionar agua limpia y segura para las comunidades circundantes.

El ODS 12, centrado en producción y consumo responsables, se ve desafiado por la puntuación negativa del proceso. Esta calificación sugiere un consumo ineficiente de recursos naturales y la generación de residuos nocivos, lo que va en contra de los principios fundamentales de producción y consumo responsables, que buscan minimizar el impacto ambiental y promover prácticas sostenibles (Naciones Unidas, 2015).

Además, el ODS 14, que se enfoca en la vida submarina, se ve amenazado debido a la posibilidad de filtración de productos químicos en los cuerpos de agua circundantes. Esta contaminación potencial pone en peligro la vida marina y los ecosistemas acuáticos, afectando la biodiversidad y la sostenibilidad de los océanos y mares (Naciones Unidas, 2015).

El ODS 15, que se centra en la vida de los ecosistemas terrestres, también se ve comprometido si el proceso de producción de quitina implica la deforestación u otros impactos negativos en los ecosistemas terrestres. La pérdida de biodiversidad y la degradación del hábitat son consecuencias directas de tales prácticas, lo que va en contra del objetivo de proteger y restaurar los ecosistemas terrestres (Naciones Unidas, 2015).

Por último, el ODS 3, que aborda la salud y el bienestar, se ve amenazado por posibles riesgos para la salud humana debido a la exposición a sustancias químicas tóxicas utilizadas en el proceso. Estos riesgos podrían afectar negativamente la salud y el bienestar de las personas en las comunidades cercanas, lo que contradice el objetivo de garantizar una vida saludable y promover el bienestar para todos en todas las edades (Naciones Unidas, 2015).

Cada método tiene sus propias ventajas y desventajas, lo que destaca la necesidad de un enfoque equilibrado y consciente hacia la producción sostenible de quitina. Aunque los métodos enzimáticos como la papaína, la papaína con cofactor y la pepsina se presentan como alternativas más respetuosas con el medio ambiente en comparación con los métodos químicos tradicionales, aún existen desafíos en términos de eficiencia y optimización. Por otro lado, los procesos químicos, aunque a menudo más rápidos, tienden a generar subproductos y residuos tóxicos, lo que eleva las preocupaciones sobre la contaminación ambiental. Es fundamental reconocer la importancia de la innovación continua y la adopción de prácticas más ecológicas en la industria de la quitina. La implementación de tecnologías de biorrefinería, como se mencionó anteriormente, puede ser un paso clave hacia una producción más sostenible, maximizando la utilización de recursos y minimizando los residuos. Además, es esencial fomentar la investigación en alternativas de despigmentación que sean respetuosas con el medio ambiente, como el uso de ozono y enzimas específicas, para reducir el uso de solventes químicos peligrosos.

La extracción de pepsina es esencial para diversas aplicaciones industriales, pero es crucial hacerlo de manera sostenible y amigable con el medio ambiente. El uso de tecnologías de ultrasonido en la extracción de pepsina representa un avance significativo

en la industria, ofreciendo una alternativa respetuosa con el medio ambiente. El ultrasonido es un proceso mecánico que utiliza ondas de alta frecuencia para agitar las soluciones, lo que crea micro turbulencias y microcorrientes en el líquido. Esta agitación mecánica puede romper las células y estructuras de tejidos, facilitando la liberación de compuestos intracelulares, incluyendo enzimas como la pepsina, sin necesidad de utilizar solventes químicos adicionales. Al no requerir productos químicos, este método no introduce sustancias dañinas al proceso, lo que reduce significativamente el impacto ambiental y elimina la necesidad de manejar y desechar residuos químicos peligrosos (Beltrán Cortijo, 2023).

Por otro lado, la implementación de sistemas de reciclaje de solventes en la extracción de pepsina tiene un impacto positivo tanto en la sostenibilidad como en la eficiencia económica de la industria. Al reciclar solventes químicos, se reduce la cantidad de residuos generados y se disminuye la necesidad de producir nuevos solventes a partir de materias primas. Esto no solo disminuye la demanda de recursos naturales finitos, sino que también minimiza los costos asociados con la compra de nuevos productos químicos y la eliminación de desechos peligrosos. Además, el reciclaje de solventes puede ayudar a las industrias a cumplir con regulaciones ambientales más estrictas, promoviendo así la responsabilidad ambiental y la reputación de la empresa (SICA, 2019).

Ambas técnicas, cuando se aplican correctamente, pueden no solo mejorar la eficiencia y rentabilidad de la extracción de pepsina, sino también reducir significativamente el impacto negativo en el medio ambiente, allanando el camino hacia prácticas industriales más sostenibles y respetuosas con el planeta.

7.7. Análisis de características de pureza de método pepsina

El análisis de cenizas mediante incineración y posterior tratamiento en una mufla es un procedimiento esencial en la evaluación de los métodos de extracción de quitina utilizando pepsina y papaína. La determinación del porcentaje de cenizas es crucial para evaluar la pureza y la calidad de la quitina obtenida a través de estos métodos. Este análisis permite cuantificar la cantidad de materia inorgánica presente en la muestra, lo que puede incluir minerales y otros componentes no deseados (Marques Sigvas, 2014).

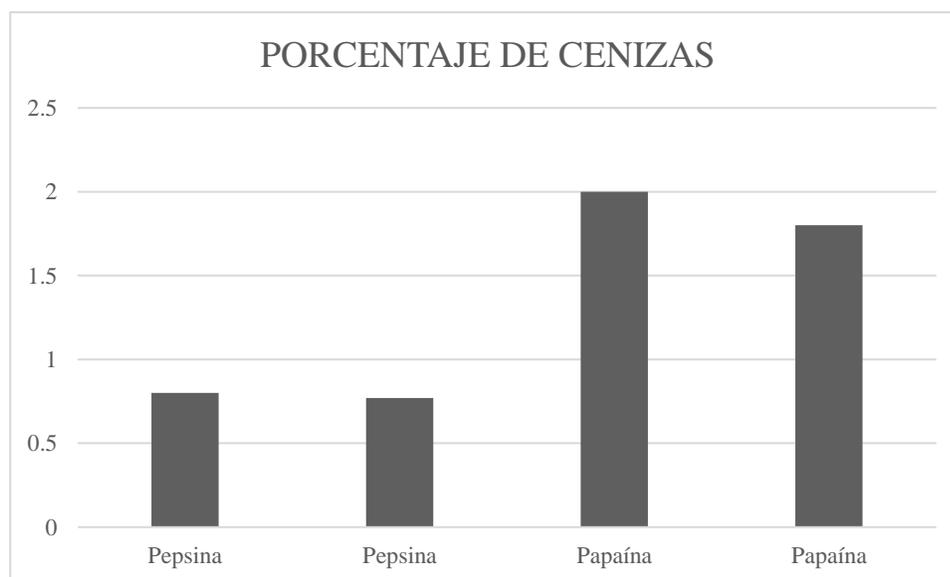
Con respecto a la quitina, el parámetro adecuado para el porcentaje de cenizas debe ser menor al 2%, según la referencia de Guzhaña y Lozano (2022). Esto indica que la quitina extraída debe tener un contenido extremadamente bajo de impurezas minerales para considerarse de alta calidad. Un alto contenido de cenizas podría indicar una contaminación significativa y afectar negativamente la pureza de la quitina. La determinación precisa del porcentaje de cenizas es un paso crucial en el proceso de evaluación de los métodos de extracción de quitina, y garantiza que el producto final cumpla con los estándares de calidad requeridos para su uso en aplicaciones específicas. El mantenimiento de un bajo porcentaje de cenizas es esencial para garantizar la pureza y la eficacia de la quitina extraída y maximizar su potencial en diversas aplicaciones industriales (Colina et al., 2014).

Tabla 40 Resultados de determinación de cenizas a métodos papaína y pepsina

NO. MUESTRA	% DE CENIZAS
<i>Pepsina</i>	0.80
<i>Pepsina</i>	0.77
<i>Papaína</i>	2.0
<i>Papaína</i>	1.8

Fuente: Elaboración propia.

Figura 43 Cenizas de papaína y pepsina



Fuente: Elaboración propia.

En el caso de los ensayos con pepsina, se registran valores de cenizas muy bajos, con porcentajes de 0.80% y 0.77%, lo que indica una presencia mínima de materia inorgánica en la quitina extraída. Estos resultados son altamente satisfactorios, ya que se encuentran dentro de los estándares de calidad requeridos, con un contenido de cenizas muy por debajo del límite del 2% establecido por Guzhañay Lozano en 2022.

Por otro lado, en los ensayos realizados con papaína, se observa un aumento en los porcentajes de cenizas, con valores de 2.0% y 1.8%. Aunque estos valores todavía se mantienen por debajo del límite del 2%, es evidente que la papaína introduce una mayor cantidad de materia inorgánica en el proceso de extracción en comparación con la pepsina. Esto sugiere que la pureza de la quitina obtenida con papaína podría verse ligeramente comprometida en comparación con el método de pepsina.

La diferencia en los resultados de cenizas entre los dos métodos puede deberse a las propiedades químicas y las condiciones de operación específicas de cada enzima. Con

respecto a la pepsina destaca en el proceso de extracción de quitina debido a su alta especificidad en la descomposición de proteínas, enfocándose principalmente en la degradación de las proteínas presentes en la cáscara de camarón, lo que minimiza la alteración de otros componentes dentro de ella como lo es los minerales restantes en la quitina posterior a la desmineralización (Acevedo Gómez, 2019).

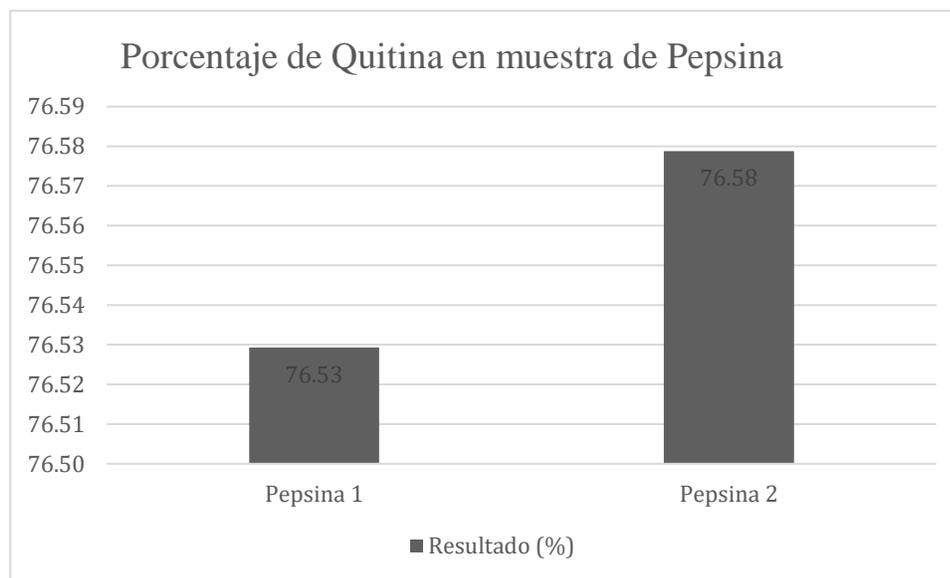
Esta selectividad es fundamental para obtener una quitina con un bajo contenido de cenizas, ya que las proteínas suelen ser una de las principales fuentes de impurezas minerales en el proceso debido a su interacción con los demás componentes cabe a destacar que la papaína no hidroliza minerales sin embargo puede disminuir su actividad por su naturaleza. Por otro lado, la pepsina exhibe una actividad enzimática más moderada en comparación con otras enzimas, como la papaína, lo que reduce la probabilidad de afectar negativamente los demás componentes (Mathew et al., 2021).

La capacidad de controlar con precisión las condiciones de pH y temperatura durante la extracción con pepsina permite optimizar el proceso, maximizando la descomposición de proteínas y minimizando la alteración de otros componentes, lo que resulta esencial para lograr un bajo contenido de cenizas en la quitina extraída (Mathew et al., 2021).

La papaína destaca por su amplio espectro de actividad enzimática, lo que le permite degradar no solo proteínas sino también otros componentes como pigmentos presentes en la cáscara de camarón, lo que puede aumentar la liberación de componentes inorgánicos y el contenido de cenizas en la quitina extraída (Banchon Bajaña, 2005). Además, la papaína exhibe una mayor actividad enzimática en general en comparación con la pepsina, lo que, si bien es útil para descomponer eficientemente proteínas, también puede aumentar la probabilidad de afectar negativamente el porcentaje de cenizas (Cisneros Pérez, 2019). Sumado a lo anterior, la papaína tiene una menor selectividad en la descomposición de componentes, lo que puede resultar en una mayor liberación de componentes inorgánicos y, por ende, en un aumento en los porcentajes de esta en la quitina obtenida (Guzhañay Lozano, 2022).

Determinar la pureza de los productos obtenidos en los procesos de extracción, como en el caso de la quitina, es de vital importancia en la industria. La pureza del producto final no solo es un indicador de su calidad, sino que también tiene implicaciones significativas en su aplicabilidad y utilidad en diversas industrias. En el contexto de la quitina, la pureza es esencial para determinar su idoneidad en aplicaciones específicas, como en la industria alimentaria, farmacéutica y de materiales (Lambertus, 2019).

Figura 44 Porcentaje de quitina en muestra de pepsina



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos para las muestras de quitina con un rango de pureza del 60% al 100%, según la referencia de Lambertus (2019), son significativos y sugieren una eficacia notable en el proceso de extracción. Las muestras de pepsina 1 y pepsina 2, con porcentajes de pureza de 76.53% y 76.58% respectivamente, se sitúan en el extremo superior de este rango. Estos resultados indican un proceso de extracción eficiente y bien controlado, capaz de producir quitina con una pureza considerable.

La consistencia en los resultados entre las muestras de pepsina 1 y pepsina 2 subraya la fiabilidad y la reproducibilidad del proceso de extracción empleado. Este nivel de pureza es relevante en diversas aplicaciones industriales, especialmente en sectores donde se requiere una quitina de alta calidad. La alta pureza es fundamental en la fabricación de productos farmacéuticos, biomédicos y alimenticios, donde la contaminación o impurezas podrían comprometer la seguridad y la eficacia del producto final (Lambertus, 2019).

La variabilidad en los porcentajes de pureza observada entre las muestras de pepsina 1 y pepsina 2 podría atribuirse a factores experimentales, como la falta de precisión en el equipo utilizado para el reflujo. Es crucial reconocer que la calidad y calibración adecuadas del equipo son fundamentales para obtener resultados consistentes y confiables en los procesos de extracción. La falta de equipo adecuado en el equipo de reflujo podría haber afectado la eficiencia del proceso, lo que a su vez se tradujo en variaciones en los niveles de pureza entre las muestras.

El estudio detallado de los métodos de extracción de la quitina, incluyendo la utilización de enzimas como la papaína, papaína con cofactor y pepsina, ha proporcionado valiosos conocimientos sobre la eficacia y la consistencia de estos procesos. Los resultados obtenidos, respaldados por análisis estadísticos, han destacado la variabilidad inherente a

cada método y han permitido identificar la pepsina como la opción más confiable y constante para la desproteización de la quitina en este contexto específico. Estos hallazgos no solo tienen implicaciones significativas para la optimización de procesos industriales, sino que también resaltan la importancia de un enfoque metodológico preciso y cuidadosamente validado en la investigación científica. Además, este estudio subraya la necesidad de considerar tanto los aspectos químicos como las condiciones experimentales para seleccionar el método de desproteización más adecuado, lo que contribuye significativamente al avance y la aplicación sostenible de la quitina en diversas industrias, desde la alimentaria hasta la biomédica. Estos descubrimientos no solo informan la práctica actual, sino que también abren nuevas puertas para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el campo de los biomateriales y la biotecnología.

7.8. Análisis industrial de método con pepsina

Tabla 41 Maquinaria utilizada para análisis industrial con sus respectivos tiempos y capacidades de método de pepsina

EQUIPO	CAPACIDAD	TIEMPO (HORAS)
<i>Lavador</i>	300kg	1
<i>secador</i>	50-1000kg	2
<i>mezclador</i>	200 litros	1
<i>Filtro</i>	50 kg	0.5
<i>incubador</i>	260 litros	5
<i>Trituradora</i>	500 kg/ h	0.17

Fuente: Elaboración propia.

En el contexto del análisis industrial para la extracción de pepsina la maquinaria analizada para el sistema simio se encuentra en la parte superior, es fundamental comprender la maquinaria utilizada y sus respectivas capacidades y tiempos de operación. Al ingresar esta información en herramientas de simulación como SIMIO, se pueden optimizar los procesos, reducir los tiempos de producción y mejorar la eficiencia operativa.

En el proceso de extracción de pepsina, varios equipos desempeñan roles fundamentales. El secador, con una capacidad variable de 50-1000 kg y un tiempo de 2 horas, es esencial para eliminar la humedad del material, adaptándose a diferentes tamaños de lotes. El mezclador, con una capacidad de 200 litros y 1 hora de operación, asegura una mezcla uniforme para la extracción. El filtro, con 50 kg y 0.5 horas, separa sólidos y líquidos, manteniendo los componentes esenciales. El incubador, con 260 litros y 5 horas, proporciona condiciones óptimas para las reacciones bioquímicas necesarias. El lavador desempeña un papel crucial al preparar el material para la etapa de extracción. Con una capacidad de 300 kg y un tiempo de operación de 1 hora, este equipo es esencial para garantizar que el material esté completamente limpio y listo para su procesamiento. Finalmente, la trituradora, con una capacidad de 500 kg/h y 0.17 horas, reduce las

partículas, mejorando la eficiencia del proceso. Estos equipos, al combinarse, facilitan una extracción eficaz y uniforme de pepsina.

El Diagrama de Operaciones del Proceso (DOP), el cual desempeña un papel crucial en la gestión de procesos industriales, incluyendo la extracción de quitina con pepsina. En primer lugar, proporciona una visualización detallada de cada etapa y operación del proceso, lo que facilita la comprensión tanto para operadores como ingenieros. Esta representación gráfica permite la identificación de áreas problemáticas, ineficiencias o posibles mejoras, contribuyendo a la optimización del flujo de trabajo. Además, el DOP establece procedimientos estándar específicos para cada fase del proceso, garantizando la estandarización de las operaciones. Esto es esencial para obtener resultados consistentes y mantener la calidad del producto final. El DOP no sólo documenta el proceso actual, sino que también sirve como base para la optimización y la mejora continua. Al analizar el diagrama, es posible identificar oportunidades para aumentar la eficiencia, reducir costos y minimizar el impacto ambiental. En conjunto, el DOP es una herramienta fundamental que contribuye a la eficacia, calidad y seguridad en la producción de quitina mediante la extracción con pepsina (Yepes Piqueras, 2021).

Al ingresar estos datos en SIMIO, se puede crear un modelo de simulación que imite el flujo del proceso industrial. Optimizando los tiempos de operación y las capacidades de los equipos, las empresas pueden identificar cuellos de botella, mejorar la eficiencia y, en última instancia, reducir los costos de producción.

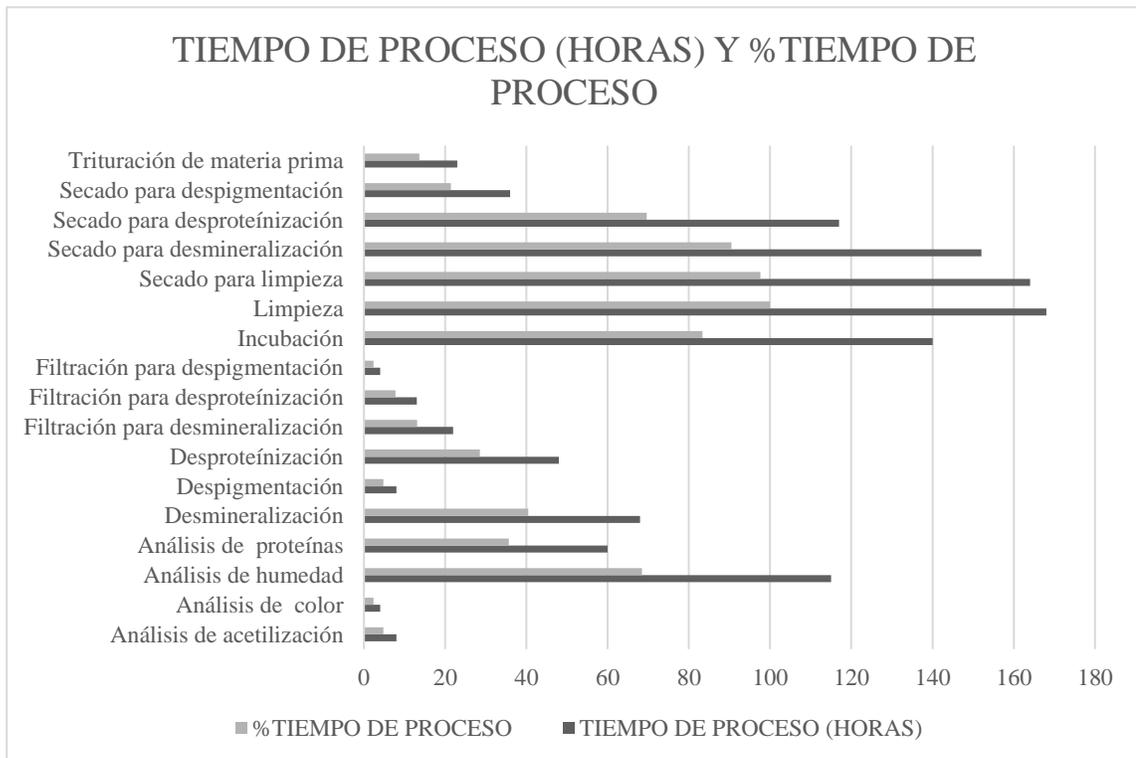
Posteriormente a los previos análisis se determinó que, en el contexto de la industria de procesamiento de quitina, la optimización de los procesos es esencial para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. En este estudio, se llevó a cabo un análisis utilizando el software de simulación Simio, seguido de una implementación experimental para evaluar los procedimientos de extracción de quitina. Inicialmente, se realizó un análisis manual detallado para comprender los pasos involucrados en el proceso. Posteriormente, se empleó la maquinaria descrita previamente, que incluye equipos como lavadores, secadores, mezcladores, filtros, incubadoras y trituradoras, para llevar a cabo el proceso de extracción de quitina de forma experimental.

Este estudio se centró en analizar los tiempos y la eficiencia de cada etapa del proceso, tanto en el análisis manual como en la implementación con maquinaria. Los datos recopilados durante estas fases se utilizaron para optimizar el proceso, identificando áreas de mejora y determinando los puntos óptimos para maximizar la eficiencia y reducir los costos operativos. A través de esta combinación de análisis teóricos, experimentos prácticos y el uso de tecnología de simulación avanzada (Simio), se buscó perfeccionar el método de extracción de quitina, para lograr el camino para una producción más eficiente y sostenible en la industria.

En el método manual de producción de quitina, se estima una producción de aproximadamente 1.50 gramos de quitina por cada unidad producida. En contraste, con el método industrial, esta cifra se incrementa significativamente a alrededor de 150 kilogramos por unidad. Esta disparidad impresionante en los volúmenes de producción subraya la enormidad de la brecha entre los métodos manual e industrial. Mientras que el

enfoque manual proporciona una cantidad relativamente modesta de quitina, el método industrial demuestra una capacidad de producción masiva, lo que lo convierte en una opción ideal para satisfacer las demandas de mercado a gran escala. La diferencia en la producción entre estos métodos resalta la eficiencia y la escalabilidad del enfoque industrial, haciendo hincapié en su relevancia en aplicaciones comerciales y de gran volumen, y subrayando su papel central en la industria de la quitina.

Figura 45 Simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso



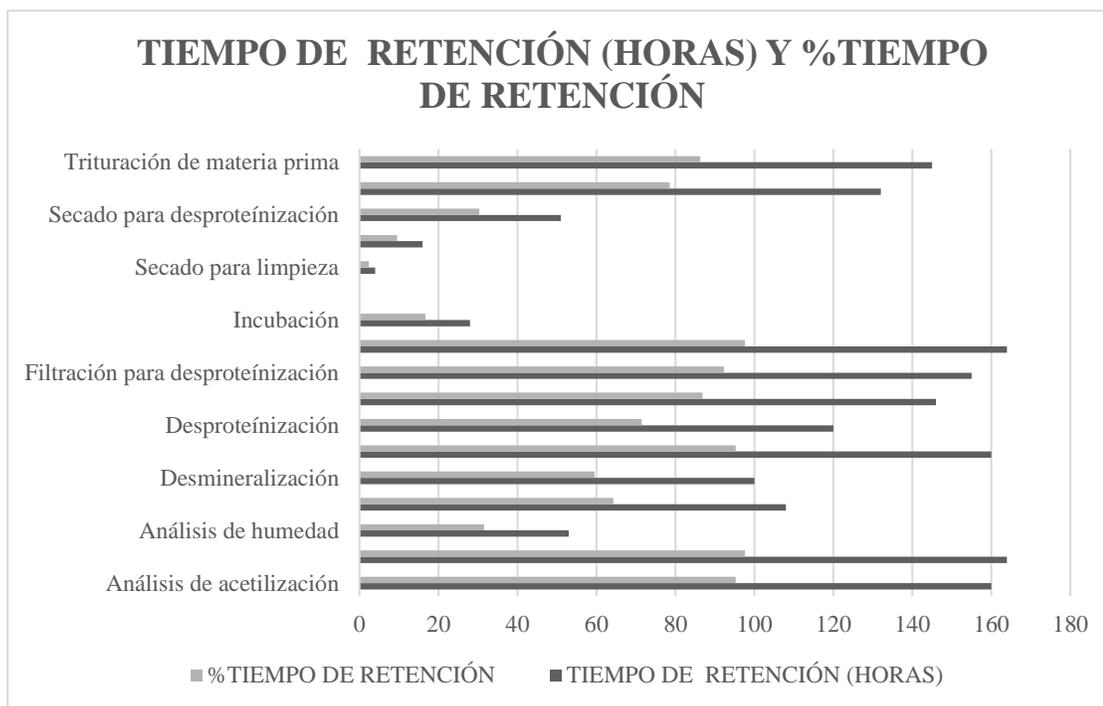
Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de la simulación manual del proceso con SIMIO indican varios cuellos de botella y áreas críticas en el flujo de trabajo. Un área de preocupación es el análisis de humedad, que consume una cantidad significativa de tiempo, representando el 68.45% del tiempo total de procesamiento. Esto sugiere que el proceso de análisis de humedad podría ser un cuello de botella, afectando la eficiencia general del proceso. Además, las etapas de desmineralización y desproteínización también son preocupantes, ya que cada una de ellas toma el 40.48% y el 28.57% del tiempo total de procesamiento, respectivamente. Estos pasos son críticos para la calidad del producto final, pero su duración extensa podría estar afectando la eficiencia general del proceso y contribuir a los cuellos de botella.

Otro punto a considerar es la incubación, que ocupa el 83.33% del tiempo de proceso, una proporción muy alta. Si este paso se puede optimizar o acelerar sin comprometer la calidad del producto final, podría ser clave para reducir significativamente el tiempo total de procesamiento. Además, las etapas de filtración para desmineralización, filtración para

desproteínización y filtración para despigmentación también ocupan una parte significativa del tiempo, representando el 13.10%, 7.74% y 2.38% del tiempo total de procesamiento, respectivamente. Estos pasos, aunque necesarios para purificar el producto, podrían ser áreas de mejora para optimizar el flujo de trabajo.

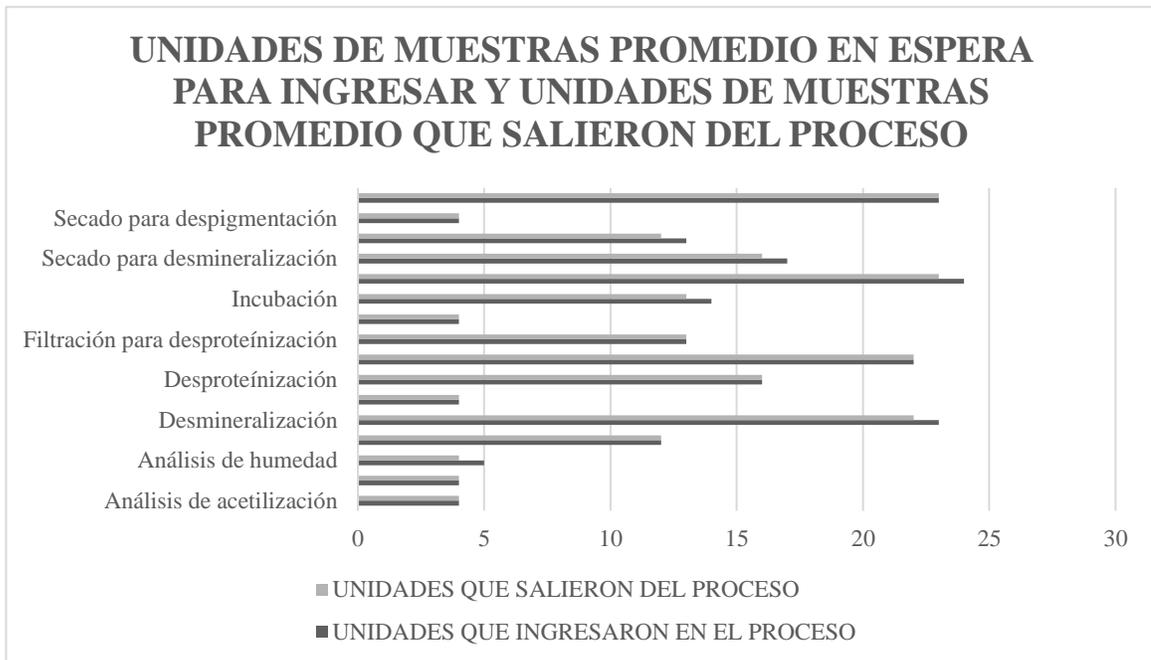
Figura 46 Simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo de retención y porcentaje durante el proceso



Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de los tiempos de retención del proceso de producción, se identificaron varios cuellos de botella significativos. Aunque el análisis de humedad tiene un tiempo de retención relativamente bajo del 31.55%, se puede beneficiar de una optimización adicional. Por otro lado, el secado para desproteínización, con un tiempo de retención del 30.36%, es una etapa crítica que requiere atención urgente para mejorar la eficiencia global. Además, tanto el análisis de acetilización como la despigmentación tienen tiempos de retención prolongados del 95.24%, indicando problemas graves en el flujo del proceso. La filtración para desproteínización también presenta un tiempo de retención alto del 92.26%, exigiendo una evaluación detallada para mejorar su eficiencia.

Figura 47 Simulación de Simio de forma manual con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso

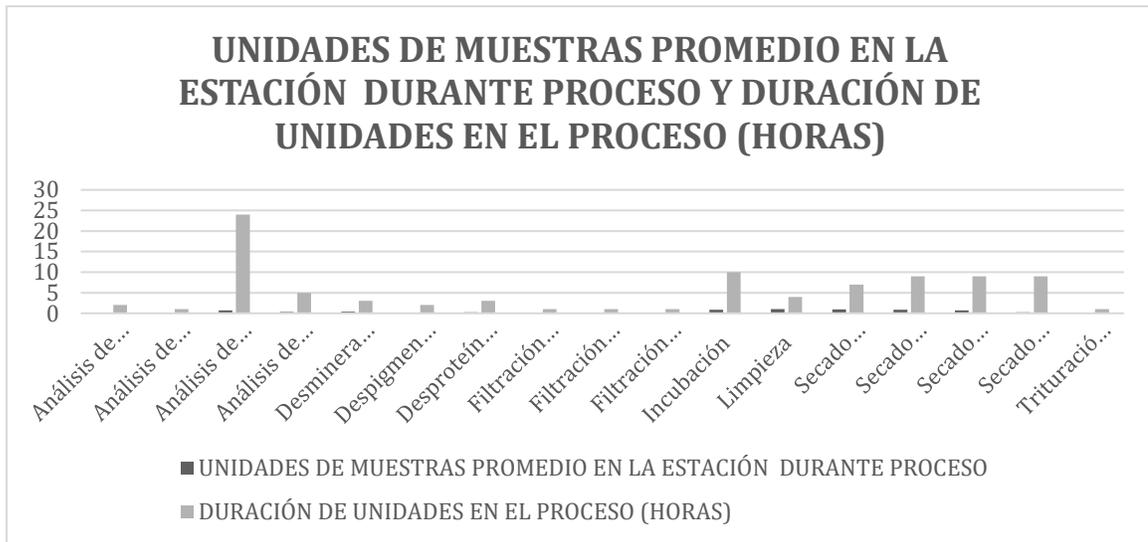


Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 47 se observa una correlación directa entre las unidades que ingresan al proceso y las unidades que salen, lo que indica una eficiencia notable en la producción. Es evidente que la mayoría de las etapas del proceso mantienen el mismo número de unidades, desde el análisis de acetilización hasta la filtración para despigmentación.

En el caso de desmineralización, una unidad se queda durante el proceso. Esto podría deberse a las características específicas del material utilizado o a las condiciones del proceso que pueden no ser totalmente controladas, además del tiempo que se controló Simio en este caso que fue de una semana. Del mismo modo, durante el proceso de secado para desmineralización, no sale una unidad, lo que sugiere la necesidad de una revisión en las condiciones de secado para evitar que las muestras se queden en espera a ingresar al proceso.

Figura 48 Simulación de Simio de forma manual con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso

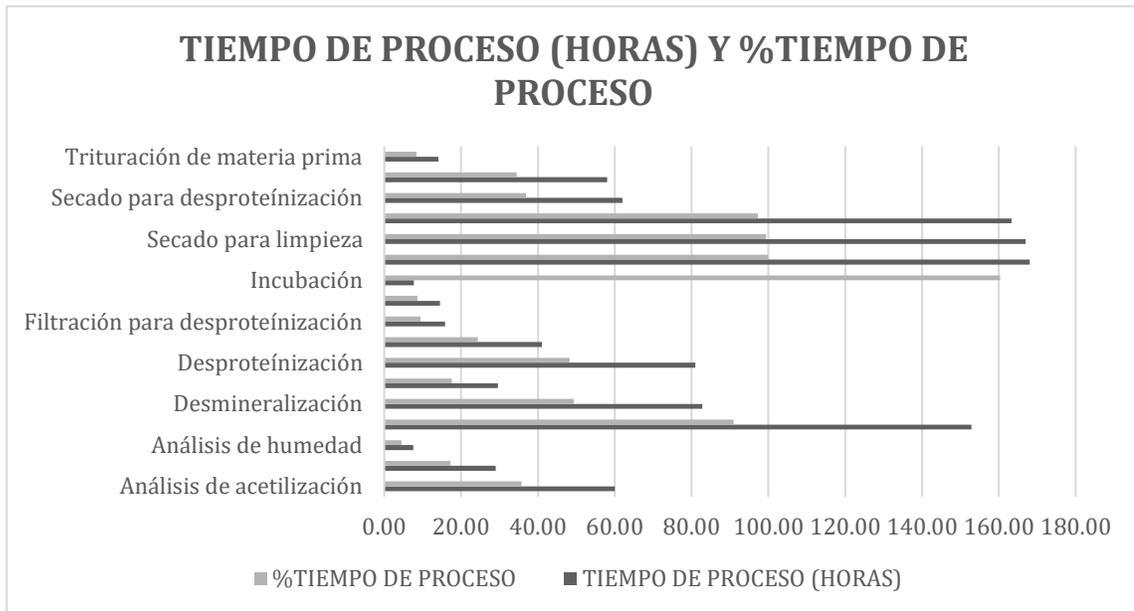


Fuente: Elaboración propia.

Las etapas de análisis de color, filtración para desmineralización, filtración para desproteización y filtración para despigmentación son las más eficientes, con cada muestra pasando solo 1 hora en estas estaciones. Esto sugiere una rápida ejecución y procesamiento de las muestras en estas etapas. Por otro lado, el análisis de humedad lleva significativamente más tiempo, con un promedio de 24 horas por muestra. La incubación también toma un tiempo considerable, con 10 horas por muestra.

En el proceso de análisis industrial, dos etapas críticas han sido identificadas como cuellos de botella. La primera, el análisis de humedad, requiere 24 horas por muestra en promedio, indicando una significativa lentitud comparada con otras fases. Esta demora está relacionada con varios factores, como la complejidad del análisis o el tipo de equipo utilizado, y podría afectar el flujo global del proceso, especialmente con grandes volúmenes de muestras. La segunda, la incubación, también presenta un retraso notable, con una duración promedio de 10 horas por muestra. Aunque esta etapa puede requerir ciertos tiempos para reacciones químicas o biológicas, cualquier reducción en este período sin sacrificar la calidad del producto final podría mejorar la eficiencia general del proceso.

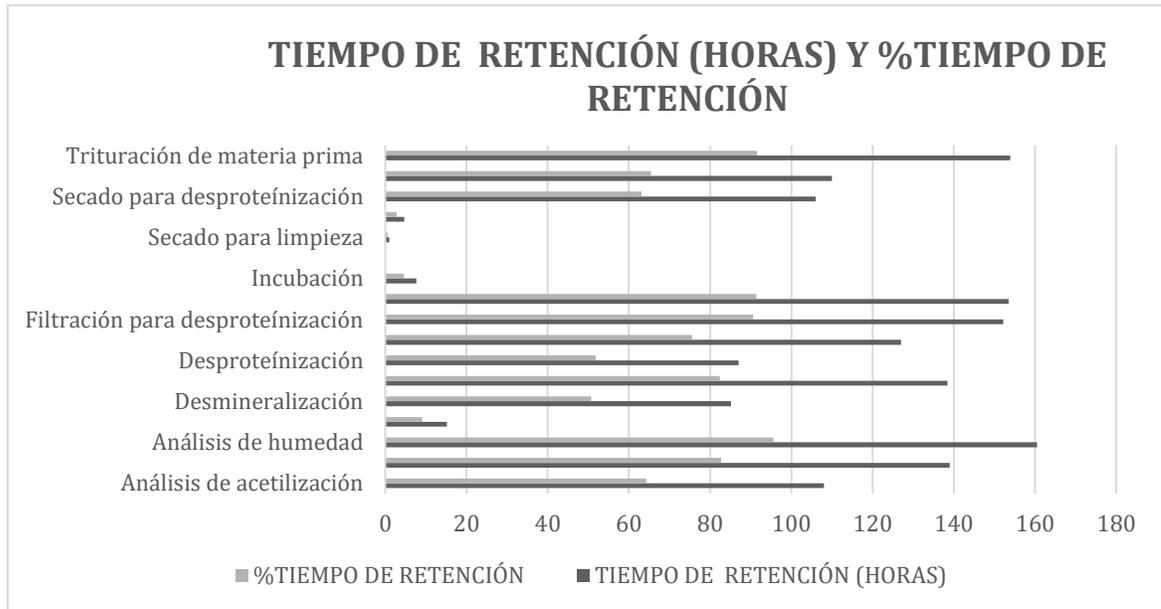
Figura 49 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso



Fuente: Elaboración propia.

Al analizar los datos, se destaca que el análisis de proteínas es la fase más prolongada, ocupando un impresionante 90.97% del tiempo total del proceso. Esta cifra resalta la necesidad crítica de optimizar esta etapa específica para mejorar la eficiencia general del proceso. Además, las etapas de desmineralización, desproteínización y el secado asociado a estas fases también ocupan una proporción significativa del tiempo, lo que indica que estas áreas deben ser revisadas para reducir los cuellos de botella. La etapa de incubación, a pesar de tener un tiempo relativamente corto, parece ser intensiva en términos de recursos debido a su porcentaje, lo que podría requerir una atención especial para mejorar su eficacia.

Figura 50 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo de retención y porcentaje durante el proceso



Fuente: Elaboración propia.

Las etapas de análisis de humedad, filtración para desproteínización y filtración para despigmentación tienen tiempos de retención significativamente altos, representando el 95.5%, 90.6% y 91.4% del tiempo total, respectivamente. Estos valores destacan áreas críticas de cuello de botella que podrían ralentizar todo el proceso. La etapa de análisis de proteínas, aunque relativamente corta en tiempo, sigue siendo esencial con un 9.0% del tiempo total. La limpieza y el secado para limpieza también se han incluido en el análisis, a pesar de tener tiempos bajos, indicando la importancia de estas breves pero necesarias actividades. Estos datos subrayan la necesidad de optimizar específicamente las etapas de análisis de humedad, filtración para desproteínización y despigmentación para reducir los tiempos de espera y mejorar la eficiencia global del proceso. La atención a estas áreas críticas podría significativamente acelerar el flujo del proceso industrial, resultando en una producción más efectiva y rentable.

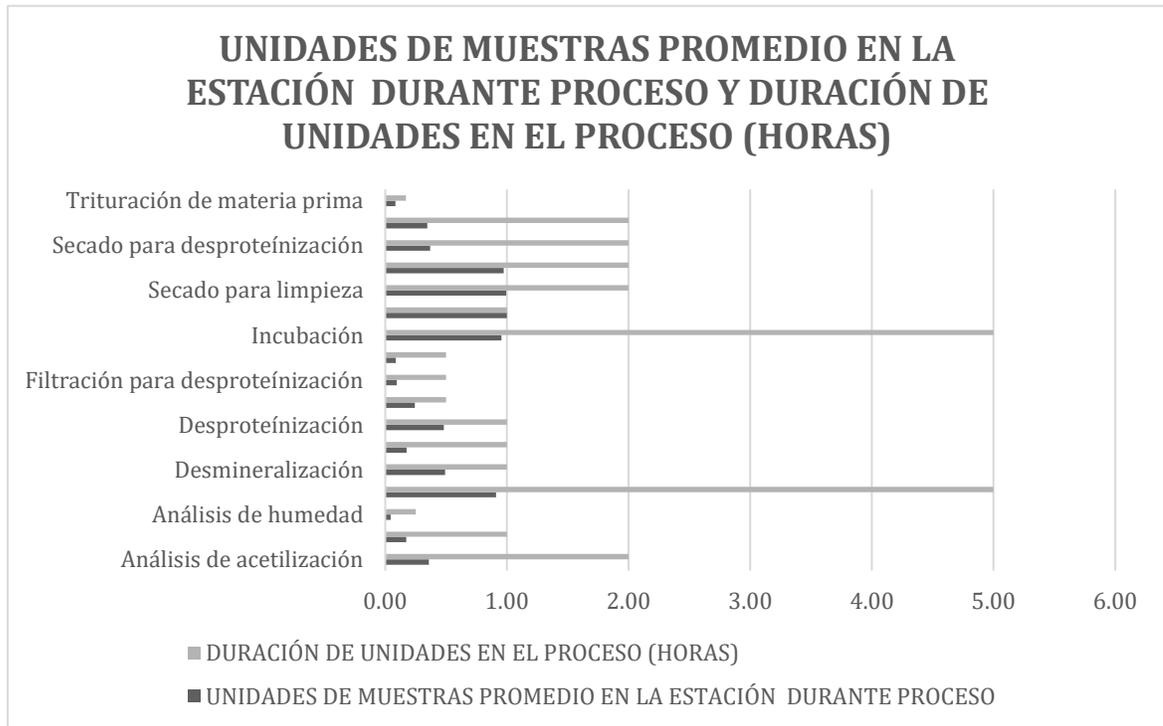
Figura 51 Simulación de Simio de forma industrial con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso



Fuente: Elaboración propia.

Se determinó que los resultados muestran que la mayoría de las etapas del proceso tienen una retención muy cercana en términos de unidades de muestra que ingresan y salen del proceso, indicando una coherencia adecuada en estas etapas. Sin embargo, hay algunas áreas de preocupación. En un caso específico, las etapas de análisis de proteínas e incubación tienen una discrepancia de una unidad, lo que sugiere cierta pérdida o error en estas etapas específicas. La limpieza y el secado para limpieza también presentan una discrepancia de una unidad, lo que indica una posible pérdida en estas etapas. Además, las etapas de desmineralización y secado para desproteínización también tienen una variación de una unidad, lo que indica una posible pérdida en estas etapas o que el proceso se paró sin ingresar la muestra. Estas variaciones podrían deberse a varios factores, como errores de medición, pérdidas durante el proceso, ineficiencias en ciertas etapas o paro del proceso.

Figura 52 Simulación de Simio de forma industrial con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso



Fuente: Elaboración propia.

Las etapas de análisis de proteínas e incubación presentan una duración significativa, con 5 horas y pocas unidades promedio en la estación, respectivamente. Estos períodos prolongados podrían indicar una complejidad inherente en estas etapas o posiblemente oportunidades para optimización. Las etapas de secado para limpieza, secado para desmineralización, secado para desproteínización y secado para despigmentación también tienen una duración de 2 horas en promedio, indicando una consistencia en la duración de estas fases. En contraste, las etapas de análisis de humedad, desmineralización, despigmentación, desproteínización y filtración tienen una duración más corta, generalmente alrededor de 1 hora o incluso menos. Sin embargo, aunque sean cortas se debe monitorear ya que incluso las duraciones cortas pueden acumularse y afectar el flujo general del proceso si no se gestionan adecuadamente.

Figura 53 Comparación de productos totales producidas a la semana al finalizar toda la producción de quitina para ambos métodos



Fuente: Elaboración propia

Los resultados determinan una disparidad significativa en las unidades producidas a la semana entre el método manual y el método industrial para la producción de quitina. Mientras que el método manual produce 4 unidades a la semana, el método industrial supera considerablemente esta cifra con 29 unidades a la semana. Esta diferencia destaca la enorme brecha en la capacidad de producción entre los dos métodos.

El método industrial claramente se destaca por su eficiencia y capacidad para manejar un volumen de producción mucho mayor en comparación con el enfoque manual. Esto implica que, en un entorno de producción a gran escala, el método industrial sería la elección preferida para satisfacer las demandas del mercado de manera más efectiva y eficiente. Además, esta variación también sugiere que el método industrial es más adecuado para aplicaciones comerciales y de gran volumen, mientras que el enfoque manual podría ser más adecuado para situaciones más pequeñas o experimentales donde las necesidades de producción son limitadas. Sin embargo, la elección entre estos métodos dependerá de los recursos disponibles, los requisitos de producción y las metas comerciales específicas de la operación.

Figura 54 Comparación de tiempos de productos en almacenamiento (horas) a la semana de la producción de quitina para ambos métodos



Fuente: Elaboración propia.

En este caso, el método manual tiene un tiempo de objetos en almacenamiento de 96.87 horas a la semana, mientras que el método industrial tiene un tiempo ligeramente mayor de 128.00 horas a la semana. Este aumento en el tiempo de objetos en almacenamiento en el método industrial podría deberse a varios factores. Esto es debido al mayor volumen de producción en el método industrial, hay más productos en diversas etapas del proceso de producción que requieren almacenamiento. La diferencia en el tiempo de almacenamiento tiene implicaciones para la gestión del inventario y los costos asociados. Un mayor tiempo de almacenamiento puede requerir más espacio de almacenamiento y, potencialmente, un manejo logístico más sofisticado para garantizar que los productos estén disponibles cuando sea necesario sin incurrir en costos innecesarios de almacenamiento.

Con respecto a los métodos de extracción de quitina utilizando Papaína, Papaína con cofactor y pepsina han revelado resultados prometedores y valiosos para la industria. La eficacia y versatilidad de estos métodos ofrecen un camino hacia la producción sostenible de quitina, un recurso vital en diversas aplicaciones industriales. La Papaína ha demostrado ser especialmente efectiva en la desproteínización, mientras que la adición de cofactores ha mejorado aún más su rendimiento. Por otro lado, la pepsina ha mostrado su capacidad para descomponer las proteínas de la quitina de manera eficiente. Estos avances no solo representan una oportunidad para transformar los desechos de camarón en valiosos recursos, sino que también allanan el camino hacia prácticas industriales más sostenibles y ecológicas. Con una investigación continua y un enfoque en la optimización de estos métodos, es posible revolucionar la forma en que se produce y utiliza la quitina en diversas industrias. La simulación del proceso de extracción de quitina utilizando Simio ha demostrado ser un paso crucial hacia la eficiencia y la precisión en la industria. Al emplear la potencia de la simulación por computadora, hemos podido analizar detenidamente cada

etapa del proceso, identificar posibles cuellos de botella y optimizar la producción para maximizar los rendimientos y reducir los residuos. Esta metodología no solo ha permitido una comprensión más profunda de los procesos físicos y químicos involucrados, sino que también ha allanado el camino para la implementación de prácticas más sostenibles y económicas.

8. Conclusiones

1. Se logró desarrollar una extracción enzimática de quitina a partir del desecho de camarón (*Litopenaeus setiferus*) que dio como resultado un producto con características de alta calidad apegada a los parámetros.
2. Se determinó que la extracción de pepsina mostró una eficacia notable en la extracción de quitina, superando a los demás métodos analizados en términos de rendimiento y pureza del producto final, comparando diferencias significativas con los métodos de extracción de papaína y papaína con cofactor.
3. La pureza y la calidad del producto obtenido demuestran su potencial para ser utilizado en una amplia gama de industrias, lo que resalta su versatilidad y valor en el mercado.
4. A través de la simulación del proceso y la evaluación del impacto ambiental, se pudo demostrar que este método no solo es eficiente desde el punto de vista técnico, sino también sostenible desde el punto de vista ambiental.

9. Recomendaciones

1. Es fundamental que los futuros investigadores se dediquen a un análisis detallado de la optimización de procesos. Esto implica considerar una gama completa de variables, como la concentración precisa de enzimas, el tiempo de reacción meticulosamente calculado y las condiciones ambientales específicas. Al enfocarse en estas variables, los investigadores pueden mejorar significativamente la eficiencia de los procesos, reduciendo al mínimo los residuos generados.
2. Se recomienda que los investigadores realicen estudios exhaustivos sobre la estabilidad de los productos obtenidos mediante estos procesos en diversas condiciones de almacenamiento. Este enfoque es esencial para asegurar no solo la viabilidad comercial, sino también la calidad y utilidad a largo plazo de los productos finales derivados de quitina. La estabilidad de estos productos es un factor crítico, especialmente considerando las variaciones en las condiciones ambientales a las que podrían estar expuestos durante su transporte, almacenamiento y uso final en diversas aplicaciones industriales.
3. Se aconseja para la producción de papaína, adoptar prácticas orgánicas en el cultivo de papayas, evitando el uso de pesticidas y fertilizantes químicos, mientras se implementan sistemas de riego eficientes para conservar agua. La implementación de tecnologías de biorrefinerías, que maximizan el uso de recursos y minimizan los residuos, es fundamental. Además, se debe buscar activamente alternativas de reactivos amigables con el medio ambiente en el proceso de extracción, considerando enzimas y productos naturales biodegradables. La investigación y desarrollo de solventes orgánicos y métodos de extracción basados en tecnologías verdes son esenciales. Reutilizar y reciclar solventes, cuando sea posible, también contribuirá significativamente a la sostenibilidad de la industria. Estas medidas no sólo reducirán el impacto ecológico de la producción de papaína, sino que también promoverán prácticas más responsables y respetuosas con el medio ambiente en la industria.
4. Se invita para la producción de pepsina, la adopción de tecnologías de ultrasonido en la extracción de pepsina emerge como una solución respetuosa con el medio ambiente, eliminando la necesidad de productos químicos adicionales y reduciendo significativamente el impacto ambiental al eliminar la generación y eliminación de residuos químicos peligrosos. Además, la implementación de sistemas de reciclaje de solventes en el proceso de extracción no solo contribuye a la sostenibilidad al reducir la cantidad de residuos y disminuir la demanda de recursos naturales, sino que también mejora la eficiencia económica de la industria al minimizar los costos asociados con la compra y eliminación de productos químicos. Estas prácticas no

5. solo cumplen con regulaciones ambientales estrictas, sino que también promueven la responsabilidad ambiental y fortalecen la reputación de las empresas en términos de sostenibilidad.
6. Se sugiere enfocarse en métodos de despigmentación más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente. El uso de ozono como agente despigmentante se presenta como una opción altamente efectiva y ecológica debido a su capacidad para descomponer pigmentos sin dejar residuos químicos dañinos. Además, la investigación en el campo de las enzimas, como la lacasa y la tirosinasa, muestra promesas, ya que estas enzimas son biodegradables y tienen un impacto ambiental mínimo. La despigmentación con Dióxido de Carbono Supercrítico (CO₂ supercrítico) también es una alternativa atractiva, ya que permite la extracción eficiente de pigmentos sin la necesidad de disolventes orgánicos tóxicos. Considerando el enfoque hacia la sostenibilidad, es vital investigar y desarrollar métodos de despigmentación que no solo mantengan la pureza de la quitina, sino que también minimicen el impacto ambiental, contribuyendo así a prácticas de producción más responsables y respetuosas con el entorno
7. Con respecto al análisis industrial, se recomienda realizar pruebas piloto exhaustivas para validar el prototipo antes de su implementación a gran escala. Durante estas pruebas, se pueden realizar ajustes y mejoras adicionales para garantizar la eficiencia y la confiabilidad del sistema en condiciones reales de producción. La implementación de un prototipo con capacidad para obtener resultados en tiempo real no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también ofrece una mayor flexibilidad y capacidad de respuesta ante cambios en las condiciones del proceso, lo que es esencial para una producción de pepsina exitosa y sostenible.
8. Considerando el consumo de energía asociado con el proceso industrial, se recomienda explorar fuentes de energía renovable como la energía solar o eólica para reducir la huella de carbono y los costos operativos a largo plazo. La instalación de paneles solares o aerogeneradores puede ayudar a alimentar parte o la totalidad del proceso, especialmente en áreas con acceso adecuado a estas fuentes de energía.

10. Bibliografía

- Acevedo Gómez, A. V. (2019). Caracterización de pepsina de sábalo (*Prochilodus lineatus*): Evaluación de su potencial aplicación industrial. *Ri.conicet.gov.ar*. <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/80943>
- Agexport Guatemala. (n.d.). Simposio de Acuicultura Guatemala. *Acerca del Simposio*. Extraído enero 16, 2023, de <https://www.export.com.gt/eventos/simposio-de-acuicultura-guatemala/acerca-del-simposio/>
- Agexport. (2021). *Comparación de Exportaciones Mensuales de Productos Pesqueros y Camarón en Valor durante los Años 2020-2021*. Agexport Acuicultura y Pesca; <https://acuiculturaypescaenguatemala.com/estadisticas-2021/>
- Alava Toala, E. (2021). *Análisis de los impactos ambientales en el proceso de producción de camarón en la granja “Rahimar Rocafuerte” del cantón Rio Verde. Esmeraldas*: [Tesis de grado] Pontifica Universidad Católica del Ecuador Sede en Esmeraldas. <https://repositorio.pucese.edu.ec/bitstream/123456789/2837/1/Alava%20Toala%20Eliana%20Elizabeth.pdf>
- Alcalde, M. T., & Del Pozo, A. (2001). Despigmentantes (I). *Offarm*, 20(10), 167–172. <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-despigmentantes-i-13021243>
- Alvarado, L. S. (2013). Evaluación de la sustentabilidad de la producción orgánica el café a través de la medición de eficiencia económica con variables ambientales. *Natura@Economía*, 1(2), 91. <https://doi.org/10.21704/ne.v1i2.1424>
- Andrade Encarnación, D. G. (2015). *Obtención de colorante rojo a partir del exoesqueleto de camarón (Penaeus vannamei)*, Machala2014. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/1876/6/CD00072.pdf>
- Banchon Bajaña, C. (2005). *La papaina y su purificación* [Tesis].
- Barón Martínez, S. P., & García Porras, A. (2013). *Efectos de la adición de la proteasa papaina de carica papaya y fibra de uva (Vitis vinifera) en longanizas crudas* [Tesis].
- Barros, I., Guzmán, L., & Tarón, A. (2015). Extracción y comparación de la quitina obtenida a partir del caparazón de *Callinectes sapidus* y *Penaeus vannameis*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 18(1), 227–234. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262015000100026
- Beltrán Cortijo, R. (2023). *Diseño de un proceso de extracción mediante ultrasonidos y filtración tangencial para la valorización de biomasa algal crecida en aguas residuales de purines* (Escuela de ingenierías industriales).
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Lubert Stryer. (2015). *Biochemistry* (8th ed.). W.H. Freeman & Company, A Macmillan Education Imprint.
- Bioaquafloc. (2019, junio 21). *Cómo hacer un análisis en fresco en camarón y para qué sirve*. Bioaquafloc. <https://www.bioaquafloc.com/analisis-en-fresco-de-camaron/#:~:text=El%20an%C3%A1lisis%20en%20fresco%20de>

- Cabanillas Bojórquez, L. A., Grijalva, Gutiérrez, E.P. & Heredia J. B. (2020). *Desechos de camarón: un coctel de oportunidades para la industria*. https://revistaciencia.amc.edu.mx/online/X1_71_4_1274_DesechosCamaron.pdf
- Cabrera Reinado, D. R. (2020). *Proyecto de creación de una línea de camarones adobados y congelados en la ciudad de Guayaquil* [Trabajo de titulación]. Universidad Guayaquil.
- Cajas Rosado, K. J.. (2022). *Análisis de la evolución de las exportaciones de camarón del Ecuador, antes y durante la pandemia COVID. Período 2019-2021* [Trabajo de titulación].
- Castro Arbelaez, M. F., & Moncayo Muñoz, J. E. (2020). *Sostenibilidad y enfoques empresariales en América Latina* (1a. ed.). Universidad Libre Seccional Cali.
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2017). *Química* (12th ed.). Mcgraw-Hill Interamericana.
- Cisneros Pérez, I. (2019). Evaluación de la extracción enzimática de quitina a partir del exoesqueleto de camarón. *SciELO*, vol.46 no.1(ISSN 2223-4861).
- Colina, M., Ayala, A., Rincón, D., Molina J.M., Medina, J., Ynciarte, R., Vargas, J. A., & Montilla, B. (2014). Evaluación de los procesos para la obtención química de quitina y quitosano a partir de desechos de cangrejos escala piloto e industrial. *Revista Iberoamericana de Polímeros*, 15(1), 21–43.
- Coloma, F., & Malavé, L. (2018). *Comercialización de enzimas y probióticos para elaboración de alimentos predigeridos en la alimentación de camarones en cautiverio*. [Trabajo de Titulación].
- Contreras Esquivel, J. C., Balvantin García, C., Valdez Peña, A. U., & Flores Dávila, C. P. (2010). *Obtención de quitina de residuos de camarón por microondas y/o autoclavado en combinación con ácidos orgánicos en una sola etapa*.
- Curbelo Hernández, Amanda Núñez Sánchez, Eliet Véliz Lorenzo, & Sandra Fanego Hernández. (2018). Despigmentación de residuos de camarón con ozono. *DOAJ (DOAJ: Directory of Open Access Journals)*, 45(0253-5777).
- Curbelo Hernández, C., Palacio Dubois, Y., Fanego Hernández, S. (2021). Desacetilación de quitina obtenida por vía química de exoesqueletos de camarón *Litopenaeus Vannamei*. *Centro Azúcar*, 48 (3), 53–61. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000300053#:~:text=La%20quitina%20presenta%20un%20grado
- De Iseppi, A., Lomolino, G., Marangon, M., & Curioni, A. (2020). Current and future strategies for wine yeast lees valorization. *Food Research International*, 137(Food Research International), 109352. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109352>
- Diaz Cadavid, A. (2009). *Diseño estadístico de experimentos*. Editorial Universidad De Antioquia.
- Elizondo Gómez, B.E. L., Manzanares Estrada. R.S. (2009). *Obtención de ácido cítrico por medio de fermentación sumergida a partir de Aspergillus niger ATCC 16404 utilizando suero de leche como medio de cultivo de fermentación*. <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2608/1/16101588.pdf>
- Escobar Sierra, D. M., Castro Ramírez, A. M., & Vergara Castrillón, N. A. (2013, septiembre 23). <http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v18n1/v18n1a06.pdf>.

- Scielo; Facultad de Ciencias Naturales y Exactas Universidad del Valle.
<http://www.scielo.org.co/pdf/rcien/v18n1/v18n1a06.pdf>
- Espinosa Plascencia, A., & Bermúdez Almada, M. del C. (2018). La acuicultura y su impacto al medio ambiente. *Centro de Investigación En Alimentación Y Desarrollo, no. 2*(pp. 221 – 232).
- FAO. (2020). *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020*. FAO.
<https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Farris, S., Schaich, K. M., Liu, L., Piergiovanni, L., & Yam, K. L. (2009). Development of polyion-complex hydrogels as an alternative approach for the production of bio-based polymers for food packaging applications: a review. *Trends in Food Science & Technology, 20*(8), 316–332. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.04.003>
- Flores Aguilar, D., Córdova Romero, M., Trujillo Vázquez, V., & Juela Sivisaca, O. (2020). Análisis multitemporal de la superficie ocupada por la cría de camarón (*Litopenaeus vannamei*) en los manglares del archipiélago de Jambelí. *Bosques Latitud Cero, 10*(2) (2528-7818).
- Garabiza, B. R., Prudente, E. A., & Quinde, K. N. (2021). La aplicación del modelo de economía circular en Ecuador: Estudio de caso. *Revista Espacios, 42* (02), 222–237. <https://doi.org/10.48082/espacios-a21v42n02p17>
- Gaspero, M. D., Vincenz, S., & Curioni, A. (2023). *Uso de quitosano animal para la clarificación de mostos y vinos - Artículos técnicos - Piacenza*. Infowine.com. https://www.infowine.com/es/art%C3%ADculos_t%C3%A9cnicos/uso_de_quitosano_animal_para_la_clarificaci%C3%B3n_de_mostos_y_vinos_sc_13321.htm
- Gioffre, P. (2021, mayo 26). *Quitina - Quitina Propiedades y función - Nanomaterial. Cosmetic Latam*.
<https://www.cosmeticlatam.com/index.php/2021/05/26/quitina-propiedades-cosmeticas/>
- Gutiérrez, J. L. (2017, abril 17). *Industria acuícola*.
http://www.industriaacuicola.com/nueva_version/index.php/blog/publicacion/9#:~:text=En%20la%20regi%C3%B3n%20de%20China
- Guzhañay Lozano, C. G. (2022). *Evaluación de la eficiencia de extracción de quitina de la cáscara de camarón (Litopenaeus vannamei) obtenida enzimáticamente papaína y quimotripsina* (pp. 44–53) [Tesis].
- Hernández-Chaverri, R. A., & Barragán, L. A. P. (2018). Impacto y oportunidades de biorrefinería de los desechos agrícolas del cultivo de piña (*Ananas comosus*) en Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED, 10*(2), 455–468. <https://www.redalyc.org/journal/5156/515657704026/>
- Holmes, I., Bitrán, D., Zambrana, T. Ladrón de Guevara, J. (2021). *Hacia una agricultura sostenible y resiliente en América Latina y el Caribe*. Food & Agriculture Org. <https://openknowledge.fao.org/items/e71561f6-2ea2-4ccc-8cc2-0bf781471387>
- HunterLab. (2023). *Soluciones parrar la medición de color y apariencia*. EUROLAB. <https://www.hunterlab.com/es/>
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2020). *Análisis Humedad y Cenizas / Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Inta.gob.ar. <https://inta.gob.ar/servicios/analisis-humedad-y-cenizas#:~:text=El%20valor%20de%20ceniza%20se>

- James, A., Valderrama, D., & Darryl, J. (2019, noviembre 19). *GOAL 2019: Revisión de la producción mundial de camarones - Responsible Seafood Advocate*. Global Seafood Alliance. <https://www.globalseafood.org/advocate/goal-2019-revision-de-la-produccion-mundial-de-camarones/>
- Jiang, H., Yang, P., & Zhang, J. (2022). Potential Inhibitors Targeting Papain-Like Protease of SARS-CoV-2: Two Birds with one stone. *Frontiers in Chemistry*, *10*. <https://doi.org/10.3389/fchem.2022.822785>
- Jōgi, K., & Bhat, R. (2020). Valorization of food processing wastes and by-products for bioplastic production. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, *18*(Sustainable Chemistry and Pharmacy 18 (2020) 100326), 100326. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2020.100326>
- Koen Pack. (n.d.). *El impacto ambiental en los empaques*. Koenpack.com. <https://koenpack.com/es-es/el-impacto-ambiental-de-los-envases>
- Labomersa. (n.d.). *Producción de Camarón: Principales Análisis Microbiológicos, Físico-químicos y Técnicas Biotecnológicas – Labomersa*. LABOMERSA. Extraído enero23, 2023, de <https://labomersa.com/2020/11/18/produccion-de-camaron-principales-analisis-microbiologicos-fisico-quimicos-y-tecnicas-biotecnologicas/>
- Lambertus, A. M. (2019, noviembre). *Chitin and Chitosan: Properties and Applications* / Wiley (V. den Broek, & C. G. Boeriu, Eds.). Wiley.com. <https://www.wiley.com/en-us/Chitin+and+Chitosan:+Properties+and+Applications-p-9781119450436>
- Larrahondo A., J. E., & Ramírez V., C. J. (2001). Proyecto de investigación aplicada: Quitinas y quitosanas como agentes clarificadores en jugos de caña de azúcar. *Informador Técnico*, *63*(63), 2. <https://doi.org/10.23850/22565035.949>
- Leal, S. (2019). *Determinación de la talla de camarón blanco (Litopeneus vanamei) más comercializada manejada por productores independientes en Guatemala durante el año 2018*. [Tesis maestría] <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/tesis/MAIES274.pdf>
- Lemus Centes, J. F., Martínez Zimeri, M.A., Navarro, M. A. & Posadas, A. A. (n.d.). *Obtención y uso de quitosano para tratamientos dérmicos a partir de exoesqueleto de camarón [1]*. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin07/URL_07_QUI01.pdf
- Linares Llamas. (2009). Eficiencia energética y medio ambiente. ICE. *Revista de Economía*. *847*, 75–92. <https://doi.org/10.32796/ice.2009.847.1227>
- López, M. (2011). *La Química verde*. Csic.
- Louie, L. (2021, junio 14). *The 11 Most popular types of shrimp from around the world*. LobsterAnywhere.com. https://lobsteranywhere.com/seafood-savvy/the-11-most-popular-types-of-shrimp-from-around-the-world/#Atlantic_Northern_Shrimp
- Luna, N. (2018, Julio 26). *Desechos que limpian el agua – Agencia TSS*. Universidad Nacional de San Martín. <https://www.unsam.edu.ar/tss/desechos-que-limpian-el-agua/>
- Luviano Silva, A. R. (n.d.). *Comparación de métodos de extracción de quitina y quitosano a partir de cáscara de camarón y análisis preliminar de su producción en planta piloto [Tesis (4118)]*. <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=4118>

- Mármol, Z., Páez, G., Rincón, M., Araujo, K., Aiello, C., Chandler, C., & Gutiérrez, E. (2011). *Quitina y Quitosano polímeros amigables. Una revisión de sus aplicaciones.*
<http://revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/rtcuru/n1/art06.pdf>
- Marques Siguas, B. M. (2014). “*Cenizas y grasas*” “*Teoría del muestreo*” “*Refrigeración y congelación de alimentos: terminología, definiciones y explicaciones.*” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa Facultad de Ingeniería de procesos. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias
<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e8bd5b97-f205-4b7e-bcd6-b34d7ab4fbe2/content#:~:text=Las%20cenizas%20se%20determinan%20como>
- Mathew, G. M., Huang, C. C., Sindhu, R., Binod, P., Sirohi, R., Awsathi, M. K., Pillai, S., & Pandey, A. (2021). Enzymatic approaches in the bioprocessing of shellfish wastes. *3 Biotech*, *11*(8). <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02912-7>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. (2014). *Proyecto de Facilitación de la Participación de Guatemala en el Proceso de Integración Regional y en el Acuerdo de Asociación entre Centroamérica y la UE.* Gobierno de Guatemala.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible.* Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Namesny Vallespir, A. (2001, junio 25). *Quitina y quitosano como subproductos de la pesca.* Interempresas.
<https://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/66791-Quitina-y-quitosano-como-subproductos-de-la-pesca.html>
- Nirmal, N. P., Santivarangkna, C., Rajput, M. S., & Benjakul, S. (2020). Trends in shrimp processing waste utilization: An industrial prospective. *Trends in Food Science & Technology*, *103*, 20–35.
<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.07.001>
- Ordóñez Peralta, A. M. (2021). *Estimación de un índice de costos de producción de camarón blanco del pacífico (Litopenaeus vannamei) en sistema productivo trifásico* [Proyecto Especial de Graduación].
- Ortega Cardona, C. E., & Aparicio Fernández, X. (2020). Quitosano: una alternativa sustentable para el empaque de alimentos. *Revista Digital Universitaria*, *21*(5). <https://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2020.21.5.4>
- Pacheco López, N. A. (2010). Extracción biotecnológica de quitina para la producción de quitosanos: caracterización y aplicación. *Universidad Autónoma Metropolitana. (Iztapalapa)*, Food and Nutrition.
- Pan American Health Organization. (2002). *Buenas Prácticas para Laboratorios Nacionales de Control Farmacéutico.*
https://www.paho.org/hq/dmdocuments/2008/13_Modulo_VALIDACION_de_Metodos_Fisicoqcos.pdf

- Peralta Bohórquez, A. F. (2010). *Desodorización y despigmentación de pulpa de guayaba (p. guajava l.)* (pp. 20–37) [Tesis]. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11249?locale-attribute=pt_BR
- Perlo, L., Boeris, V., Romanini, D., Picó, G., & Farrugia, B. (n.d.). *CONICET / Buscador de Institutos y Recursos Humanos*. [Www.conicet.gov.ar](http://www.conicet.gov.ar). Extraído marzo 9, 2023, de https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=23733&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=1041381#:~:text=Es%20producida%20en%20el%20est%C3%B3mago
- Pino, A. L. (2020). *Química verde: enfoque sistémico*. Ediciones UNL, Secretaría de Planeamiento Institucional y Académico, Universidad Nacional del Litoral.
- Rivera Forero, L. J. (2014). Fuentes de energía renovables y no renovables. *Revista EAN*, 77, 216–218.
- Roca, P., Oliver, J., & Rodríguez, A. (2003). *Bioquímica Técnicas y Métodos. Serie Base*. <https://www.ehu.es/biofisica/juanma/mbb/pdf/bqtym.pdf>
- Rogers, R. D., Seddon, K. R., American Chemical Society. Division of Industrial and Engineering Chemistry, & American Chemical Society. Meeting. (2002). *Ionic liquids: industrial applications for green chemistry*. American Chemical Society.
- Sánchez Orozco, M. D., Angarita Peñaranda, M. R., Ortiz Ortega, D. A., & Rosas, L. A. (2018). Harina de subproductos de camarón como oportunidad de inclusión en dietas para alimentación animal. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 5(1). <https://doi.org/10.23850/raa.v5i1.4749>
- SICA. (2019, diciembre 11). *El reciclado de solventes y el impacto ambiental*. SICA Medición. <https://www.sicamedicacion.com.mx/blog/procesos-quimicos/reciclado-solventes-impacto-ambiental/>
- Socas-Rodríguez, B., Álvarez-Rivera, G., Valdés, A., Ibáñez, E., & Cifuentes, A. (2021). Food by-products and food wastes: are they safe enough for their valorization? *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.002>
- Spanier, B., Heuff, G., & Cuesta, M. (2002). Diaphragm rupture. *The Lancet*, 359(9301), 107. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(02\)07367-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(02)07367-1)
- Stickney, R. R., & Gatiln III, D. M. (2022). *Aquaculture*, 4th Edition. CABI. https://books.google.com.gt/books?hl=es&lr=&id=CMV0EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR3&dq=+aquaculture+book&ots=r-RYBu1Bzt&sig=8_EeZpSp2wapDckZUkaAGn9LjME&redir_esc=y#v=onepage&q=aquaculture%20book&f=false
- Tobey, J., Clay, J., & Vergne, P. (1998). *Impactos Económicos, Ambientales y Sociales del Cultivo de Camarón en Latinoamérica*. https://www.crc.uri.edu/download/MAN_0034.pdf
- Visauta Vinacua, B. (2007). *Análisis estadístico con SPSS 14*. McGrawHill.
- Yepes Piqueras, V. (2021, junio 7). *Diagramas de proceso de operaciones como herramienta en el estudio de métodos – El blog de Víctor Yepes*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2021/06/07/diagramas-de-proceso/>

Zea Sandoval, Y.V. (2008). *Incidencia del uso de empaques ecológicos en el medio ambiente*. Universidad de San Carlos de Guatemala. [Tesis de licenciatura]
http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1984_IN.pdf

11. Anexos

Anexo 1 Datos resultantes de desmineralización para cuadruplicados

No. De muestra	Peso de muestra	Cantidad de minerales en la muestra	Muestra desmineralizada teórica	Muestra desmineralizada experimental	Porcentaje de minerales residuales experimentales	Porcentaje de desmineralización experimental
Peso de muestra No.1	5.0221	2.51105	2.51105	2.4012	4.374663985	95.63
Peso de muestra No.2	5.0113	2.50565	2.50565	2.4232	3.290563327	96.71
Peso de muestra No.3	5.0125	2.50625	2.50625	2.4221	3.357605985	96.64
Peso de muestra No.4	5.0121	2.50605	2.50605	2.4267	3.166337463	96.83
Peso de muestra No.5	5.0211	2.51055	2.51055	2.4292	3.240325825	96.76
Peso de muestra No.6	5.0223	2.51115	2.51115	2.4345	3.052386357	96.95
Peso de muestra No.7	5.0221	2.51105	2.51105	2.4289	3.271539794	96.73
Peso de muestra No.8	5.0211	2.51055	2.51055	2.4232	3.479317281	96.52
Peso de muestra No.9	5.0023	2.50115	2.50115	2.4196	3.26050017	96.74
Peso de muestra No.10	5.0115	2.50575	2.50575	2.4381	2.699790482	97.30
Peso de muestra No.11	5.0126	2.5063	2.5063	2.4267	3.175996489	96.82
Peso de muestra No.12	5.0212	2.5106	2.5106	2.4372	2.923603919	97.08

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2 Datos resultantes de humedad para cuadruplicados

Muestra	Peso crisol	Peso muestra+ plato de metal	Peso muestra inicial	Peso plato metal + muestra seca	Peso muestra seca	% de humedad
Papaína sin cofactor 1.1	11.8413	12.0943	0.253	12.0832	0.2419	4.387351779
Papaína sin cofactor 1.2	11.0674	11.3175	0.2501	11.3047	0.2373	5.117952819
Papaína sin cofactor 1	12.9248	13.1802	0.2554	13.1687	0.2439	4.502740799
Papaína sin cofactor 1.2.2	11.4887	11.7391	0.2504	11.727	0.2383	4.832268371
Papaína sin cofactor	11.6352	11.8854	0.2502	11.8745	0.2393	4.356514788
Papaína sin cofactor 1.3	11.5696	11.8199	0.2503	11.8096	0.24	4.115061926
Papaína sin cofactor	11.4436	11.6959	0.2523	11.6831	0.2395	5.073325406
Papaína sin cofactor 1.3	12.4507	12.7011	0.2504	12.6895	0.2388	4.632587859
Papaína con cofactor 2.1	12.0014	12.2517	0.2503	12.2359	0.2345	6.31242509
Papaína con cofactor 2.2	11.4051	11.6555	0.2504	11.6414	0.2363	5.630990415
Papaína con cofactor 2.1	12.1697	12.4237	0.254	12.412	0.2423	4.606299213
Papaína con cofactor 2.2	11.4583	11.7085	0.2502	11.6944	0.2361	5.635491607
Papaína con cofactor 2.1	11.4271	11.6801	0.253	11.6688	0.2417	4.466403162
Papaína con cofactor 2.2	10.7564	11.0065	0.2501	10.9969	0.2405	3.838464614
Papaína con cofactor 2.1	11.8087	12.0621	0.2534	12.04889	0.24019	5.213101815
Papaína con cofactor 2.2	12.1453	12.4031	0.2578	12.3943	0.249	3.413498836
Pepsina 3.1	11.0892	11.3396	0.2504	11.3271	0.2379	4.99201278
Pepsina 3.2	11.2635	11.5195	0.256	11.5096	0.2461	3.8671875
Pepsina 3.1	11.1376	11.3881	0.2505	11.3792	0.2416	3.552894212
Pepsina 3.2	12.1275	12.3784	0.2509	12.3698	0.2423	3.427660422
Pepsina 3.1	11.7312	11.9822	0.251	11.9691	0.2379	5.219123506
Pepsina 3.2	11.904	12.1583	0.2543	12.1487	0.2447	3.775068816
Pepsina 3.2	12.3468	12.5977	0.2509	12.5892	0.2424	3.387803906
Pepsina 3.3	12.9804	13.2317	0.2513	13.22091	0.24051	4.293672901

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3 Datos resultantes de proteínas para cuadruplicados

TRATAMIENTO	% Proteínas	% Desproteínización	Normalidad HCL	Peso atómico nitrógeno	masa muestra g inicial	F valor de proteínas	Volumen de la titulación	parte formula
Papaína sin cofactor	34.55	65.45	0.1	0.014	0.2507	6.25	9.9	100
Papaína sin cofactor	35.28	64.72	0.1	0.014	0.2505	6.25	10.1	100
Papaína sin cofactor	33.83	66.17	0.1	0.014	0.2509	6.25	9.7	100
Papaína sin cofactor	35.56	64.44	0.1	0.014	0.251	6.25	10.2	100
Papaína sin cofactor	34.25	65.75	0.1	0.014	0.2504	6.25	9.8	100
Papaína sin cofactor	34.96	65.04	0.1	0.014	0.2503	6.25	10	100
Papaína sin cofactor	34.20	65.80	0.1	0.014	0.2507	6.25	9.8	100
Papaína sin cofactor	36.02	63.98	0.1	0.014	0.2502	6.25	10.3	100
Papaína con cofactor	32.12	67.88	0.1	0.014	0.2506	6.25	9.2	100
Papaína con cofactor	32.89	67.11	0.1	0.014	0.2501	6.25	9.4	100
Papaína con cofactor	33.51	66.49	0.1	0.014	0.2507	6.25	9.6	100
Papaína con cofactor	32.12	67.88	0.1	0.014	0.2506	6.25	9.2	100
Papaína con cofactor	34.20	65.80	0.1	0.014	0.2507	6.25	9.8	100
Papaína con cofactor	33.18	66.82	0.1	0.014	0.2505	6.25	9.5	100
Papaína con cofactor	32.15	67.85	0.1	0.014	0.2504	6.25	9.2	100
Papaína con cofactor	32.45	67.55	0.1	0.014	0.2508	6.25	9.3	100
Pepsina	17.84	82.16	0.1	0.014	0.2502	6.25	5.1	100
Pepsina	19.58	80.42	0.1	0.014	0.2502	6.25	5.6	100
Pepsina	18.85	81.15	0.1	0.014	0.2507	6.25	5.4	100
Pepsina	18.49	81.51	0.1	0.014	0.2508	6.25	5.3	100
Pepsina	19.56	80.44	0.1	0.014	0.2505	6.25	5.6	100
Pepsina	18.87	81.13	0.1	0.014	0.2504	6.25	5.4	100
Pepsina	19.23	80.77	0.1	0.014	0.2502	6.25	5.5	100
Pepsina	18.18	81.82	0.1	0.014	0.2503	6.25	5.2	100

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 4 Datos resultantes de despigmentación para cuadruplicados para muestreo 1

Muestreo 1		
Nombre de muestra	Resultados	Figura
Pepsina sin despigmentación 1	L* 85.16	
	a* 24.01	
	b* 24.9	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2	L* 76.86	
	a* 33.12	
	b* 24.88	
Papaína sin despigmentación 3	L* 76.72	
	a* 29.09	
	b* 21.44	
Pepsina sin despigmentación 1.2	L* 84.82	
	a* 23.76	
	b* 24.21	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2.2	L* 76.92	
	a* 32.87	
	b* 24.88	
Papaína sin despigmentación 2.3	L* 76.89	
	a* 29.16	
	b* 21.56	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5 Datos resultantes de despigmentación para cuadruplicados para muestreo 2

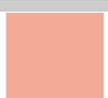
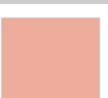
Muestreo 2		
Nombre de muestra	Resultados	Figura
Pepsina sin despigmentación 1	L* 85.01	
	a* 24.06	
	b* 24.76	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2	L* 76.76	
	a* 33.04	
	b* 24.82	
Papaína sin despigmentación 3	L* 76.78	
	a* 29.01	
	b* 21.38	

Continuación Anexo No. 5.

Nombre de muestra	Resultados	Figura
Pepsina sin despigmentación 1.2	L* 84.71	
	a* 23.86	
	b* 24.24	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2.2	L* 76.82	
	a* 32.77	
	b* 24.78	
	L* 76.97	
	a* 29.21	
	b* 21.66	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6 Datos resultantes de despigmentación para cuadruplicados para muestreo 3

Muestreo 3		
Nombre de muestra	Resultados	Figura
Pepsina sin despigmentación 1	L* 84.86	
	a* 24.11	
	b* 24.92	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2	L* 77.12	
	a* 33.16	
	b* 24.92	
Papaína sin despigmentación 3	L* 77.22	
	a* 29.09	
	b* 21.49	
Pepsina sin despigmentación 1.2	L* 84.02	
	a* 23.72	
	b* 24.22	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2.2	L* 78.07	
	a* 33.11	
	b* 25.16	
Papaína sin despigmentación 2.3	L* 76.79	
	a* 29.26	
	b* 21.43	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 7 Datos resultantes de despigmentación para cuadruplicados para muestreo 4

Muestreo 4		
Nombre de muestra	Resultados	Figura
Pepsina sin despigmentación 1	L* 84.86	
	a* 24.16	
	b* 25.05	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2	L* 76.93	
	a* 33.22	
	b* 25.08	
Papaína sin despigmentación 3	L* 76.92	
	a* 29.18	
	b* 21.34	
Pepsina sin despigmentación 1.2	L* 85.12	
	a* 23.86	
	b* 24.11	
Papaína+ cofactor sin despigmentación 2.2	L* 77.12	
	a* 32.97	
	b* 25.07	
Papaína sin despigmentación 2.3	L* 77.19	
	a* 29.16	
	b* 21.76	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8 Datos resultantes de desmineralización duplicados

No. De muestra	Peso de muestra	Cantidad de minerales en la muestra	Muestra desmineralizada teórica	Muestra desmineralizada experimental	Porcentaje de minerales residuales experimentales	Porcentaje de desmineralización experimental
Peso de muestra No.1	5.084	2.542	2.542	2.371	6.726986625	93.27301338
Peso de muestra No.2	5.0598	2.5299	2.5299	2.5242	0.225305348	99.77469465
Peso de muestra No.3	5.0803	2.54015	2.54015	2.287	9.965946893	90.03405311
Peso de muestra No.4	5.1043	2.55215	2.55215	2.5299	0.871813961	99.12818604
Peso de muestra No.5	5.0545	2.52725	2.52725	2.4039	4.880799288	95.11920071
Peso de muestra No.5	5.026	2.513	2.513	2.4712	1.663350577	98.33664942

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9 Datos resultantes de humedad para duplicados

Muestra	Peso crisol	Peso muestra+ plato de metal	Peso muestra inicial	Peso plato metal+muestra seca	Peso muestra seca	% de humedad
PAPAÍNA	11.6416	11.892	0.2504	11.8806	0.239	4.552715655
PAPAÍNA	11.1672	11.4178	0.2506	11.406	0.2388	4.708699122
PAPAÍNA	11.3405	11.5909	0.2504	11.5797	0.2392	4.47284345
PAPAÍNA	11.4509	11.702	0.2511	11.6907	0.2398	4.500199124
PAPAÍNA +COF	12.1614	12.4115	0.2501	12.4009	0.2395	4.238304678
PAPAÍNA +COF	11.7058	11.956	0.2502	11.9447	0.2389	4.51638689
PAPAÍNA +COF	12.043	12.2936	0.2506	12.2815	0.2385	4.828411812
PAPAÍNA +COF	11.7893	12.0399	0.2506	12.0281	0.2388	4.708699122
PEPSINA	11.5392	11.7895	0.2503	11.7789	0.2397	4.234918098
PEPSINA	11.4255	11.6761	0.2506	11.6656	0.2401	4.189944134
PEPSINA	12.0456	12.2959	0.2503	12.2844	0.2388	4.594486616
PEPSINA	12.4521	12.7035	0.2514	12.6924	0.2403	4.415274463

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10 Datos resultantes de proteínas para duplicados

TRATAMIENTO	%Proteínas	% Desproteínización	Normalidad HCL	Peso atómico nitrógeno	masa muestra g inicial	F valor de proteínas	Volumen de la titulación	parte formula
PAPAÍNA	38.13	61.87	0.1	0.014	0.257	6.25	11.2	100
PAPAÍNA	39.90	60.10	0.1	0.014	0.2522	6.25	11.5	100
PAPAÍNA	39.55	60.45	0.1	0.014	0.25	6.25	11.3	100
PAPAÍNA	38.03	61.97	0.1	0.014	0.2508	6.25	10.9	100
PAPAÍNA +COF	34.11	65.89	0.1	0.014	0.2514	6.25	9.8	100
PAPAÍNA +COF	35.53	64.47	0.1	0.014	0.2512	6.25	10.2	100
PAPAÍNA +COF	36.01	63.99	0.1	0.014	0.2503	6.25	10.3	100
PAPAÍNA +COF	34.64	65.36	0.1	0.014	0.2501	6.25	9.9	100
PEPSINA	19.53	80.47	0.1	0.014	0.2509	6.25	5.6	100
PEPSINA	18.82	81.18	0.1	0.014	0.251	6.25	5.4	100
PEPSINA	18.16	81.84	0.1	0.014	0.2506	6.25	5.2	100
PEPSINA	18.52	81.48	0.1	0.014	0.2504	6.25	5.3	100

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11 Resultados pH inicial y final de proceso realizado cuadruplicado para los tres métodos

Método	pH final	pH inicial
Papaína sin cofactor	8.03	4.12
Papaína sin cofactor	8.07	4.23
Papaína sin cofactor	8.01	4.24
Papaína sin cofactor	8	4.37
Papaína con cofactor	9.02	4.25
Papaína con cofactor	9.05	3.88
Papaína con cofactor	9.04	4.16
Papaína con cofactor	9	4.21
Pepsina	2.01	4.33
Pepsina	2	4.28
Pepsina	2	4.23
Pepsina	2.02	4.12

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 12 Resultados de volumen de reactivo para obtener el pH adecuado de los tres métodos con su respectiva cantidad de enzima

Método	Volumen utilizado (mL)	Cantidad de enzima en gramos a utilizar	Peso de muestra en g
Papaína sin cofactor	98	0.49	2.4012
Papaína sin cofactor	95	0.475	2.4232
Papaína sin cofactor	102	0.51	2.4221
Papaína sin cofactor	100	0.5	2.4267
Papaína con cofactor	96	0.48	2.4292
Papaína con cofactor	98	0.49	2.4345
Papaína con cofactor	102	0.51	2.4289
Papaína con cofactor	101	0.505	2.4232
Pepsina	28	0.14	2.4196
Pepsina	31	0.155	2.4381
Pepsina	30	0.15	2.4267
Pepsina	29	0.145	2.4372

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13 Datos de rendimiento experimental para los tres métodos utilizados con su respectivo porcentaje de error

TRATAMIENTO	peso inicial	peso final	Rendimiento de solución (%)	Porcentaje de error (%)
Papaína sin cofactor	2.4012	1.4592	60.76961519	16.34016325
Papaína sin cofactor	2.4232	1.4538	59.99504787	17.27797953
Papaína sin cofactor	2.4221	1.5891	65.60835638	17.2205937
Papaína sin cofactor	2.4267	1.5326	63.15572588	17.38410187
Papaína con cofactor	2.4292	1.4908	61.36999835	17.3209287
Papaína con cofactor	2.4345	1.5906	65.33579791	17.48120764
Papaína con cofactor	2.4289	1.4678	60.43064762	17.29424843
Papaína con cofactor	2.4232	1.5626	64.48497854	17.11620997
Pepsina	2.4196	1.4103	58.28649364	17.30368656
Pepsina	2.4381	1.4231	58.36922194	17.78023871
Pepsina	2.4267	1.4063	57.95112704	17.37586022
Pepsina	2.4372	1.4201	58.26768423	17.59067783

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 14 Datos de rendimiento del producto para los tres métodos utilizados

TRATAMIENTO	Peso inicial de cascara de camarón	Rendimiento producto final (%)
Papaína sin cofactor	5.0221	29.05557436
Papaína sin cofactor	5.0113	29.01043641
Papaína sin cofactor	5.0125	31.70274314
Papaína sin cofactor	5.0121	30.57800124
Papaína con cofactor	5.0211	29.69070522
Papaína con cofactor	5.0223	31.67074846

Continuación de anexo No. 14.

TRATAMIENTO	Peso inicial de cascara de camarón	Rendimiento producto final (%)
Papaína con cofactor	5.0221	29.22681747
Papaína con cofactor	5.0211	31.12067077
Pepsina	5.0023	28.19303121
Pepsina	5.0115	28.39668762
Pepsina	5.0126	28.05530064
Pepsina	5.0212	28.28208396

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 15 Datos de rendimiento teórico de los tres métodos utilizados

TRATAMIENTO	Peso sin proteína teórico	Proteínas teóricas en camarón	Peso final de desproteización	Rendimiento de solución teórico (%)
Papaína sin cofactor	5.0221	2.00884	1.4592	72.6389359
Papaína sin cofactor	5.0113	2.00452	1.4538	72.52609103
Papaína sin cofactor	5.0125	2.005	1.5891	79.25685786
Papaína sin cofactor	5.0121	2.00484	1.5326	76.44500309
Papaína con cofactor	5.0211	2.00844	1.4908	74.22676306
Papaína con cofactor	5.0223	2.00892	1.5906	79.17687115
Papaína con cofactor	5.0221	2.00884	1.4678	73.06704367
Papaína con cofactor	5.0211	2.00844	1.5626	77.80167692
Pepsina	5.0023	2.00092	1.4103	70.48257801
Pepsina	5.0115	2.0046	1.4231	70.99171905
Pepsina	5.0126	2.00504	1.4063	70.13825161
Pepsina	5.0212	2.00848	1.4201	70.70520991

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 16 Resultados pH inicial y final de proceso realizado duplicados para los tres métodos

Método	pH final	pH inicial
Papaína sin cofactor	8.1	4.8
Papaína sin cofactor	8.01	4.78
Papaína con cofactor	9.02	4.53
Papaína con cofactor	9.01	4.91
Pepsina	2.01	4.22
Pepsina	2.12	4.77

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 17 de volumen de reactivo para obtener el pH adecuado de los tres métodos con su respectiva cantidad de enzima de duplicados

Método	Volumen utilizado (mL)	Cantidad de enzima en gramos a utilizar
Papaína sin cofactor	110	0.55
Papaína sin cofactor	105	0.525
Papaína con cofactor	135	0.675
Papaína con cofactor	135	0.675
Pepsina	30	0.15
Pepsina	30	0.15

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 18 Datos de rendimiento experimental para los tres métodos utilizados con su respectivo porcentaje de error de duplicados

TRATAMIENTO	peso inicial	peso final	Rendimiento de solución (%)	Porcentaje de error (%)
Papaína sin cofactor	2.371	1.4603	61.59004639	14.23028258
Papaína sin cofactor	2.5242	1.3432	53.21289914	19.8193487
Papaína con cofactor	2.287	1.3444	58.78443376	11.14473109
Papaína con cofactor	2.5299	1.3535	53.50013835	19.29641488
Pepsina	2.4039	1.1304	47.02358667	15.89500395
Pepsina	2.4712	1.1185	45.26141146	18.64681127

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 19 Datos de rendimiento del producto para los tres métodos utilizados de duplicados

TRATAMIENTO	Peso inicial de cascara de camarón	Rendimiento producto final (%)
Papaína sin cofactor M1	5.084	28.72344611
Papaína sin cofactor M2	5.0598	26.54650381
Papaína con cofactor M3	5.0803	26.46300415
Papaína con cofactor M4	5.1043	26.51685834
Pepsina M5	5.0545	22.36422989
Pepsina M6	5.026	22.25427776

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 20 Datos de rendimiento teórico de los tres métodos utilizados de duplicados

TRATAMIENTO	Peso sin proteína teórico	Proteínas teóricas en camarón	Peso final de desproteínización	Rendimiento de solución teórico (%)
Papaína sin cofactor	5.084	2.0336	1.4603	71.80861526
Papaína sin cofactor	5.0598	2.02392	1.3432	66.36625954
Papaína con cofactor	5.0803	2.03212	1.3444	66.15751038
Papaína con cofactor	5.1043	2.04172	1.3535	66.29214584
Pepsina	5.0545	2.0218	1.1304	55.91057474
Pepsina	5.026	2.0104	1.1185	55.63569439

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 21 Resultados de simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso

PROCESO	TIEMPO DE PROCESO (HORAS)	%TIEMPO DE PROCESO
<i>Análisis de acetilización</i>	8	4.76
<i>Análisis de color</i>	4	2.38
<i>Análisis de humedad</i>	115	68.45
<i>Análisis de proteínas</i>	60	35.71
<i>Desmineralización</i>	68	40.48
<i>Despigmentación</i>	8	4.76
<i>Desproteínización</i>	48	28.57
<i>Filtración para desmineralización</i>	22	13.10

Continuación de anexo No. 21.

PROCESO	TIEMPO DE PROCESO (HORAS)	%TIEMPO DE PROCESO
<i>Filtración para desproteínización</i>	13	7.74
<i>Filtración para despigmentación</i>	4	2.38
<i>Incubación</i>	140	83.33
<i>Limpieza</i>	168	100.00
<i>Secado para limpieza</i>	164	97.62
<i>Secado para desmineralización</i>	152	90.48
<i>Secado para desproteínización</i>	117	69.64
<i>Secado para despigmentación</i>	36	21.43
<i>Trituración de materia prima</i>	23	13.69

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 22 Resultados de simulación de Simio de forma manual con respecto a tiempo de retención y su respectivo porcentaje durante el proceso

PROCESO	TIEMPO DE RETENCIÓN (HORAS)	%TIEMPO DE RETENCIÓN
<i>Análisis de acetilización</i>	160	95.24
<i>Análisis de color</i>	164	97.62
<i>Análisis de humedad</i>	53	31.55
<i>Análisis de proteínas</i>	108	64.29
<i>Desmineralización</i>	100	59.52
<i>Despigmentación</i>	160	95.24
<i>Desproteínización</i>	120	71.43
<i>Filtración para desmineralización</i>	146	86.90
<i>Filtración para desproteínización</i>	155	92.26
<i>Filtración para despigmentación</i>	164	97.62
<i>Incubación</i>	28	16.67
<i>Limpieza</i>	0	0.00
<i>Secado para limpieza</i>	4	2.38
<i>Secado para desmineralización</i>	16	9.52

Continuación de anexo No. 22.

PROCESO	TIEMPO DE RETENCIÓN (HORAS)	%TIEMPO DE RETENCIÓN
<i>Análisis de acetilización</i>	160	95.24
<i>Secado para despigmentación</i>	132	78.57
<i>Trituración de materia prima</i>	145	86.31

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 23 Resultados de simulación de Simio de forma manual con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso

PROCESO	UNIDADES QUE INGRESARON EN EL PROCESO	UNIDADES QUE SALIERON DEL PROCESO
<i>Análisis de acetilización</i>	4	4
<i>Análisis de color</i>	4	4
<i>Análisis de humedad</i>	5	4
<i>Análisis de proteínas</i>	12	12
<i>Desmineralización</i>	23	22
<i>Despigmentación</i>	4	4
<i>Desproteínización</i>	16	16
<i>Filtración para desmineralización</i>	22	22
<i>Filtración para desproteínización</i>	13	13
<i>Filtración para despigmentación</i>	4	4
<i>Incubación</i>	14	13
<i>Limpieza</i>	42	41
<i>Secado para limpieza</i>	24	23
<i>Secado para desmineralización</i>	17	16
<i>Secado para desproteínización</i>	13	12
<i>Secado para despigmentación</i>	4	4
<i>Trituración de materia prima</i>	23	23

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 24 Resultados de simulación de Simio de forma manual con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso

PROCESO	UNIDADES DE MUESTRAS PROMEDIO EN LA ESTACIÓN DURANTE PROCESO	DURACIÓN DE UNIDADES EN EL PROCESO (HORAS)
<i>Análisis de acetilización</i>	0.048	2
<i>Análisis de color</i>	0.024	1
<i>Análisis de humedad</i>	0.685	24
<i>Análisis de proteínas</i>	0.357	5
<i>Desmineralización</i>	0.405	3
<i>Despigmentación</i>	0.048	2
<i>Desproteización</i>	0.286	3
<i>Filtración para desmineralización</i>	0.131	1
<i>Filtración para desproteización</i>	0.077	1
<i>Filtración para despigmentación</i>	0.024	1
<i>Incubación</i>	0.833	10
<i>Limpieza</i>	1.000	4
<i>Secado para limpieza</i>	0.976	7
<i>Secado para desmineralización</i>	0.905	9
<i>Secado para desproteización</i>	0.696	9
<i>Secado para despigmentación</i>	0.214	9
<i>Trituración de materia prima</i>	0.137	1

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 25 Resultados de simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo y porcentaje durante el proceso

PROCESO	TIEMPO DE PROCESO (HORAS)	%TIEMPO DE PROCESO
<i>Análisis de acetilización</i>	60.00	35.71
<i>Análisis de color</i>	29.00	17.26
<i>Análisis de humedad</i>	7.50	4.46
<i>Análisis de proteínas</i>	152.83	90.97
<i>Desmineralización</i>	82.83	49.30
<i>Despigmentación</i>	29.58	17.61
<i>Desproteización</i>	81.00	48.21
<i>Filtración para desmineralización</i>	41.00	24.40
<i>Filtración para desproteización</i>	15.83	9.42
<i>Filtración para despigmentación</i>	14.50	8.63
<i>Incubación</i>	7.67	160.33
<i>Limpieza</i>	168.00	100.00
<i>Secado para limpieza</i>	167.00	99.40
<i>Secado para desmineralización</i>	163.33	97.22
<i>Secado para desproteización</i>	62.00	36.90
<i>Secado para despigmentación</i>	58.00	34.52
<i>Trituración de materia prima</i>	14.11	8.40

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 26 Resultados de simulación de Simio de forma industrial con respecto a tiempo de retención y porcentaje durante el proceso

PROCESO	TIEMPO DE RETENCIÓN (HORAS)	%TIEMPO DE RETENCIÓN
<i>Análisis de acetilización</i>	108	64.3
<i>Análisis de color</i>	139	82.7
<i>Análisis de humedad</i>	161	95.5
<i>Análisis de proteínas</i>	15	9.0
<i>Desmineralización</i>	85	50.7
<i>Despigmentación</i>	138	82.4
<i>Desproteínización</i>	87	51.8
<i>Filtración para desmineralización</i>	127	75.6
<i>Filtración para desproteínización</i>	152	90.6
<i>Filtración para despigmentación</i>	154	91.4
<i>Incubación</i>	8	4.6
<i>Limpieza</i>	0	1.42E-04
<i>Secado para limpieza</i>	1	0.6
<i>Secado para desmineralización</i>	5	2.8
<i>Secado para desproteínización</i>	106	63.1
<i>Secado para despigmentación</i>	110	65.5
<i>Trituración de materia prima</i>	154	91.6

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 27 Resultados de simulación de Simio de forma industrial con respecto a unidades de muestras promedio en retención para ingresar y unidades de muestras promedio que salen del proceso

PROCESO	UNIDADES QUE INGRESARON EN EL PROCESO	UNIDADES QUE SALIERON DEL PROCESO
<i>Análisis de acetilización</i>	30	30
<i>Análisis de color</i>	29	29
<i>Análisis de humedad</i>	30	30
<i>Análisis de proteínas</i>	31	30
<i>Desmineralización</i>	83	82

Continuación de anexo No. 27.

PROCESO	UNIDADES QUE INGRESARON EN EL PROCESO	UNIDADES QUE SALIERON DEL PROCESO
<i>Despigmentación</i>	30	29
<i>Desproteización</i>	81	81
<i>Filtración para desmineralización</i>	82	82
<i>Filtración para desproteización</i>	32	31
<i>Filtración para despigmentación</i>	29	29
<i>Incubación</i>	33	32
<i>Limpieza</i>	168	167
<i>Secado para limpieza</i>	84	83
<i>Secado para desmineralización</i>	82	81
<i>Secado para desproteización</i>	31	31
<i>Secado para despigmentación</i>	29	29
<i>Trituración de materia prima</i>	83	83

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 28 Resultados de simulación de Simio de forma industrial con respecto unidades de muestras promedio en la estación durante proceso y duración de unidades en el proceso

PROCESO	UNIDADES DE MUESTRAS PROMEDIO EN LA ESTACIÓN DURANTE PROCESO	DURACIÓN DE UNIDADES EN EL PROCESO (HORAS)
<i>Análisis de acetilización</i>	0.36	2
<i>Análisis de color</i>	0.17	1
<i>Análisis de humedad</i>	0.04	0.25
<i>Análisis de proteínas</i>	0.91	5
<i>Desmineralización</i>	0.49	1
<i>Despigmentación</i>	0.18	1
<i>Desproteización</i>	0.48	1
<i>Filtración para desmineralización</i>	0.24	0.5
<i>Filtración para desproteización</i>	0.09	0.5
<i>Filtración para despigmentación</i>	0.09	0.5
<i>Incubación</i>	0.95	5

Continuación de anexo No. 28.

PROCESO	UNIDADES DE MUESTRAS PROMEDIO EN LA ESTACIÓN DURANTE PROCESO	DURACIÓN DE UNIDADES EN EL PROCESO (HORAS)
<i>Limpieza</i>	1.00	1
<i>Secado para limpieza</i>	0.99	2
<i>Secado para desmineralización</i>	0.97	2
<i>Secado para desproteínización</i>	0.37	2
<i>Secado para despigmentación</i>	0.35	2
<i>Trituración de materia prima</i>	0.08	0.17

Fuente: Elaboración propia.

Anexo29 Unidades totales producidas a la semana al finalizar toda la producción de Quitina para ambos métodos

TIPO DE ANÁLISIS	UNIDADES PRODUCIDAS A LA SEMANA
<i>Manual</i>	4
<i>Industrial</i>	29

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 30 Tiempo de objetos el en almacenamiento (horas) a la semana de la producción de Quitina para ambos métodos

TIPO DE ANÁLISIS	TIEMPO DE OBJETOS EN ALMACENAMIENTO
<i>Manual</i>	96.87
<i>Industrial</i>	128.00

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 31 Matriz Leopold reactivos utilizados en el proceso

Componentes		ACCIONES											Impacto total del método		
		Factores ambientales		Elaboración de pepsina	Elaboración de papaina	Ácidos utilizados en desmineralización	Reactivos utilizados en desproteínización	Reactivos utilizados en Despigmentación	Promedios positivos	Promedios negativos	Promedios aritméticos	Impacto por subcomponente		Impacto por componente	
Características físicas y químicas	Tierra	Suelos	-9	-5	-9	-5	-5	5	5	-	-361	-	-1026		
			6	5	6	4	5	5	178						
		Ondas electromagnéticas y radiación de fondo	-1	-1											
			1	1				2	2	-2					
		Recursos minerales	-5	-5	-9	-5	-5								
			5	5	9	5	5	5	5	-181					
	Agua	Superficial	-1	-1	-1										
			1	1	1			3	3	-3					
		Subterránea	-8	-5	-9	-5	-1								
					6										
		Calidad del agua	4	5		5	1	5	5	-137					
			-9	-4	-9	-1	-1								
Temperatura	6	4	9	1	1	5	5	-153							
	-1	-1	-1	-1	-1										
	1	1	1	1	1	5	5	-5							

Continuación de anexo No. 31.

Componentes		Factores ambientales	ACCIONES										Impacto total del método											
			Elaboración de pepsina	Elaboración de papaína	Ácidos utilizados en desmineralización	Reactivos utilizados en desproteínización	Reactivos utilizados en Despigmentación	Promedios positivos	Promedios negativos	Promedios aritméticos	Impacto por subcomponente	Impacto por componente												
Atmósfera	Calidad de aire		-9	-4	-9	-1	-1																	
			6	4	9	1	1	5	5	-153	-158													
	Temperatura		-1	-1	-1	-1	-1																	
			1	1	1	1	1	5	5	-5														
Factores culturales	Aspectos culturales	Salud y seguridad		-5	-4	-9	-1	-1																
				4	4	5	1	1	5	5	-83	-83												
	Facilidades y actividades humanas	Manejo de residuos		-9	-5	-9	-1	-1																
				6	5	5	1	1	5	5	-126	-126												

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 32 Matriz Leopold de proceso de pepsina

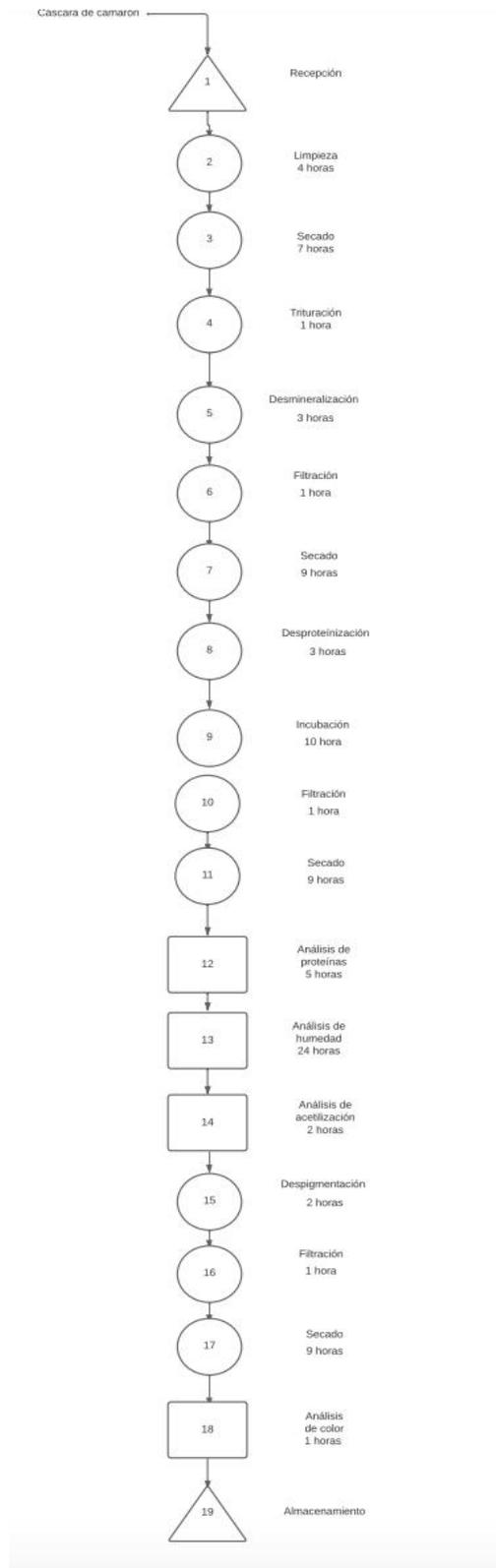
Componentes		Factores ambientales	ACCIONES										Impacto total del método											
			Preparación de la muestra	Desproteínización	Desmineralización	Despigmentación	Promedios positivos	Promedios negativos	Promedios aritméticos	Impacto por subcomponente	Impacto por componente													
Características físicas y químicas	Suelos			3	5	3																		
				2	2	2	3	3	4	-20	-78													
	Ondas electromagnéticas y radiación de fondo			2	2	2																		
				1	1	1	0	3	-6															
	Tierra																							

Continuación de anexo No. 32.

Componentes	Factores ambientales	ACCIONES										Impacto total del método			
		Preparación de la muestra	Desproteínización	Desmineralización	Despigmentación	Promedios positivos	Promedios negativos	Promedios aritméticos	Impacto por subcomponente	Impacto por componente					
Componentes	Factores ambientales	Recursos minerales	-	6	-	6	-	6	0	3	-	18	-33	-33	
			Agua	Superficial	-	1	-	1	-	1	0	3			-6
					-	1	-	1	-	1	0	4			-4
				Subterránea	-	1	-	1	-	1	0	4			-4
					-	1	-	1	-	1	0	4			-4
				Calidad del agua	-	4	-	3	-	3	0	4			-13
			Temperatura	-	1	-	2	-	2	3	0	-10			
			Atmósfera	Calidad de aire	-	1	-	9	-	1	0	3			-29
					-	1	-	2	-	1	0	3			4
				Temperatura	-	1	-	2	-	1	0	3			4
Factores culturales	Aspectos culturales	Salud y seguridad	-	1	-	1	-	1	0	4	-4	-7			
		Manejo de residuos	-	1	-	1	-	1	0	3	-3				
	Facilidades y actividades humanas	Manejo de residuos	-	1	-	1	-	1	0	3	-3				

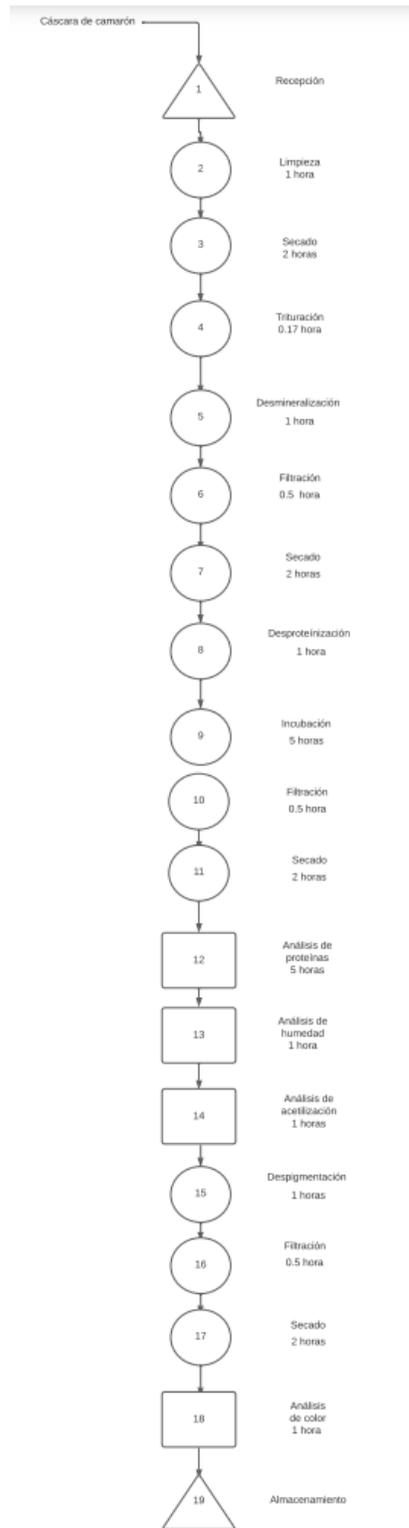
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 33 DOP manual



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 34 Dop Industrial



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 35 Muestras en Horno secador



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 36 Bloque digestor



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 37 Destilación



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 38 Pesaje de cáscara de camarón



Fuente: Elaboración propia.