



**Viabilidad de Obtención de Quitina y Quitosano a partir de Insectos como Polímero
Natural**

Angélica Tatiana Rincón Baracaldo

Universidad Ean

Ingeniería

Especialización en procesos de calidad e innovación

Bogotá, Colombia

20/07/2024

**Viabilidad de Obtención de Quitina y Quitosano a partir de Insectos como Polímero
Natural**

Angélica Tatiana Rincón Baracaldo

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en procesos de calidad e innovación

Director (a):

Diana Paola Figueroa Hernández

Modalidad:

Seminario de investigación

Universidad Ean

Ingeniería

Especialización en procesos de calidad e innovación

Bogotá, Colombia

20/07/2024

Dedicatoria

A Dios, mi guía y fortaleza, y a mis
padres, mis pilares fundamentales.

Gracias por su amor y apoyo
incondicional, he podido crecer tanto
personal como académicamente,
alcanzando esta meta que hoy celebro.

Resumen

La investigación realizada se planteó en base a la situación actual con los plásticos sintéticos y su impacto al medio ambiente. Se realizó una revisión bibliográfica a través de la cual se logró establecer la oportunidad de obtener un polímero natural (quitina y quitosano), que fuera biodegradable y biocompatible, y al mismo tiempo que eludiera el uso de productos derivados del petróleo y sus consecuencias al ecosistema.

Se lograron identificar las diferentes fuentes de obtención de quitina y quitosano a partir de insectos, donde se estableció que alrededor de unas 39 especies se han estudiado frente a este tema. Además, se llevó a cabo un análisis comparativo de las condiciones de extracción de este bioplástico en la mosca-soldado negra (*Hermetia illucens*), examinando las variables cruciales durante el proceso. Con respecto al análisis de este polímero natural, fue posible establecer cuáles eran las propiedades fisicoquímicas relevantes para tener en cuenta durante la evaluación de la quitina y el quitosano, con la finalidad de comprender su estructura y composición.

El impacto ambiental fue otro de los factores a tener presente en el trabajo, donde se analizó la incidencia de los plásticos sintéticos y los bioplásticos en el entorno natural, a través de un estudio comparativo de la degradación de estos materiales en función del tiempo. Los resultados de este estudio proporcionan una perspectiva más completa del impacto a largo plazo que tienen los plásticos sintéticos y naturales en el ecosistema, y se resalta la importancia del desarrollo de materiales más sostenibles.

Palabras clave: bioplástico, degradación, quitina, quitosano, impacto ambiental.

Abstract

The research was conducted based on the current situation with synthetic plastics and their environmental impact. A literature review was performed, which identified the opportunity to obtain a natural polymer (chitin and chitosan) that is biodegradable and biocompatible, while also avoiding the use of petroleum-derived products and their ecological consequences.

Different sources of chitin and chitosan from insects were identified, with around 39 species studied in this context. Additionally, a comparative analysis of the extraction conditions of this bioplastic from the black soldier fly (*Hermetia illucens*) was conducted, examining the critical variables throughout the process. Regarding the analysis of this natural polymer, it was possible to establish the relevant physicochemical properties to consider during the evaluation of chitin and chitosan, to understand their structure and composition.

Environmental impact was another key factor considered in this work, where the effect of synthetic plastics and bioplastics on the natural environment was analyzed through a comparative study of the degradation of these materials over time. The results of this study provide a more comprehensive perspective on the long-term impact of synthetic and natural plastics on the ecosystem, highlighting the importance of developing more sustainable materials.

Keywords: bioplastic, degradation, chitin, chitosan, environmental impact.

Contenido

Lista de Figuras	9
Lista de Tablas.....	9
Problema de Investigación	10
Objetivos	12
Objetivo general.....	12
Objetivos específicos.....	12
Justificación.....	13
Marco Teórico	14
Contaminación plástica	14
Bioplásticos como alternativa	15
Quitina y Quitosano.....	16
Insectos	17
Extracción de Quitina y Quitosano	18
Quitina y Quitosano: Trabajos de investigación	20
Diseño metodológico	24
Análisis sectorial	24
Contexto a nivel mundial.....	24
Contexto en Colombia.....	29
Contexto de los bioplásticos	32
Estado del arte.....	35
Fuentes de Quitina y Quitosano (insectos)	35
Metodología de extracción.....	37
Propiedades fisicoquímicas de la Quitina y Quitosano	39
Impacto ambiental.....	41
Análisis y discusión de resultados.....	43
Resultados del análisis sectorial.....	43
Resultados del estado del arte	45
Propuestas	47
Conclusiones.....	48
Lista de referencias.....	50

Lista de Figuras

Figura 1	Proceso de obtención de Quitina y Quitosano	19
Figura 2	Consumo mundial de plástico	25
Figura 3	Disposición final del plástico	26
Figura 4	Aporte global del plástico al océano	27
Figura 5	Artículos plásticos presentes en el océano.....	28
Figura 6	Generación y eliminación acumulada de residuos plásticos (en millones de toneladas métricas).	29
Figura 7	Residuos sólidos en Colombia	30
Figura 8	Asignación de residuos sólidos por industria.....	31
Figura 9	Publicaciones de Quitina y Quitosano	33
Figura 10	Distribución global de las publicaciones para Quitina y Quitosano.....	33
Figura 11	Demanda del Quitosano en USA	34
Figura 12	Degradación de bioplásticos	42

Lista de Tablas

Tabla 1	Fuente de quitina y quitosano.....	35
Tabla 2	Condiciones de obtención de quitina y quitosano	38
Tabla 3	Metodologías de evaluación de la quitina y el quitosano.....	40
Tabla 4	Degradación de los plásticos sintéticos (años)	41

Problema de Investigación

Durante los últimos años la producción de plástico como materia prima para la fabricación de artículos para el consumo diario ha incrementado de forma abismal, de acuerdo con Ritchie et al. (2023) en 1950 la producción de este material se encontraba sobre los 2 millones de toneladas, y hoy en día va por más de 450 millones de toneladas a nivel mundial. El escalamiento en su producción se debe principalmente a que es un producto económico, versátil y estéril, que cuenta con variedad de aplicaciones en sectores como: construcción, consumo masivo, médico, alimenticio, entre otros (Ritchie et al., 2023).

Los plásticos se obtienen a partir de fuentes como la celulosa (origen natural) y mayoritariamente del petróleo u otras fuentes fósiles (polímero sintético), estos materiales sintéticos están conformados por largas cadenas de átomos que permiten que sea un producto fuerte, ligero y flexible (*Science History Institute*, n.d.). Se estima que para la producción de plástico sintético se emiten cerca de 1.5-12.5 millones de toneladas de gases de efecto invernadero (Vasarhelyi, 2023), y representa entre el 4-8% del consumo mundial del petróleo. Si la situación frente a los plásticos continua así para el 2050 se espera que el consumo de petróleo incremente hasta en un 20%, lo cual implica que la explotación hacia el entorno continúe (fracturación hidráulica, tala de árboles, etc.) (Bauman, 2019).

La contaminación plástica no sólo ocurre durante el proceso de extracción, sino que también su disposición genera un impacto al ambiente y al ecosistema, dentro de las opciones de gestión del plástico sintético se cuenta con vertederos, incineración o reciclaje, en el caso de los vertederos para la degradación de estos materiales se necesitan alrededor de 50 años o más, y durante este proceso se generan contaminantes orgánicos como benceno o tolueno. La segunda opción es la incineración, sin embargo, mediante este proceso se liberan sustancias nocivas al ambiente entre las que se encuentran metales pesados, bifenilos policlorados o HAP; Finalmente está el reciclaje (Webb et al., 2013), pero a nivel mundial anualmente solo se

recicla un 9% (Braun, 2023), es decir que la mayoría de los residuos plásticos termina en vertederos o incinerados.

Uno de los grandes retos que tiene la sociedad es la búsqueda de alternativas al plástico sintético que permita dar continuidad a nuestro diario vivir, sin generar afectaciones al entorno que les rodea; Una de las opciones que se plantea es la obtención de polímero natural, que tengan un bajo impacto el ambiente, sea biodegradable y al mismo tiempo funcional.

Los bioplásticos como alternativa al plástico sintético representa una vía para la disminución de la huella ambiental que existe en el mundo, debido a que para fabricar 1 kg de plástico se utilizan 2,000 litros de agua y se generan 3.5 kg de dióxido de carbono(Arévalo Ahúja, 2023). Frente a esta situación se plantea evaluar la viabilidad técnica y ambiental de obtener polímero natural a base de quitina y quitosano, como estrategia para contrarrestar el impacto que tiene el uso de los materiales sintéticos en el medio ambiente y en la salud de las personas.

Objetivos

Objetivo general.

Determinar la viabilidad técnica y ambiental de la extracción y obtención de quitina y quitosano de exoesqueletos de insectos como alternativa ecológica a los polímeros sintéticos.

Objetivos específicos.

- Identificar el mercado de quitina y quitosano, y explorar fuentes alternativas para su obtención a partir de exoesqueletos.
- Comparar las etapas de la extracción de quitina y obtención del quitosano, y analizar las condiciones que representan mayor porcentaje de rendimiento.
- Establecer cuáles propiedades fisicoquímicas pueden ser usadas para la evaluación de la quitina y el quitosano.
- Analizar el impacto ambiental de la quitina y quitosano versus el plástico sintético en relación con la disposición final de estos materiales.

Justificación

El presente trabajo busca evaluar la factibilidad ambiental y funcional de la obtención de quitina y quitosano a partir de insectos como alternativa a los plásticos, debido a la problemática ambiental que se presenta hoy en día, en torno a estos materiales sintéticos y su posterior disposición. Los insectos representan una fuente sostenible y económica de bioplástico, lo que permite que la fabricación de polímero natural sea más eficiente y con un menor impacto ambiental.

En este contexto se busca explorar las fuentes de obtención de quitina y quitosano, determinar condiciones favorables de extracción y establecer las técnicas de caracterización de estos polímeros. El objetivo de esta investigación es impulsar la innovación, fomentar la economía circular y promover la sostenibilidad mediante el uso de biopolímeros. Estos materiales con gran potencial y progresivo interés para el mercado global representan una solución para un futuro más sustentable.

Marco Teórico

Contaminación plástica

Los plásticos y su contaminación se han convertido en una gran problemática ambiental a causa de una acelerada producción de estos artículos, en especial los que se encuentran en la categoría de plásticos desechables, dentro de los países más afectados por esta situación se encuentran África y Asia donde el sistema de recolección de residuos no es eficiente y el porcentaje de reciclaje sobre estos productos es bastante bajo (Parker, 2024).

Estos materiales plásticos tienen como fuente los combustibles fósiles y su origen data de la segunda guerra mundial, donde surgen como una solución al ser un material ligero y duradero, con gran variedad de aplicaciones que van desde el transporte hasta la medicina, sin embargo, pese sus grandes aportes a la industria y la modernización la realidad es otra, pues de toda la cantidad de objetos plásticos que se producen, un 40% es destinado para un solo uso como bolsas plásticas y empaques de alimentos, en donde para su degradación se requiere esperar una cantidad significativa de años hasta que desaparezcan, debido a que contienen aditivos que lo hacen ser resistente, flexible y duradero (Parker, 2024).

Adicionalmente de acuerdo con La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) los productos plásticos son responsables por la emisión de un 3.4% de gases de efecto invernadero (GEI), y 90% de estas emisiones provienen de los procesos productivos para la obtención de estos materiales. Se proyecta que para el 2060 se dupliquen las emisiones de GEI de no realizar una intervención oportuna (*Environmental Protection Agency*, 2024).

En relación con la producción de estos materiales se ha estimado que para 1950 la generación de plástico en el mundo fue de 2.3 millones de toneladas y alcanzó 448 millones de toneladas en 2015, de ahí cerca de 8 millones de toneladas en desperdicios han terminado en océanos (Parker, 2024), lo cual indica una amenaza al entorno marino por el riesgo que existe

en el consumo de este material. En cuanto al impacto a la salud humana, se ha establecido que los químicos presentes en los plásticos tienden a migrar al agua del grifo en forma de microplásticos, y terminan alojándose en hígados, riñones y placentas, ocasionando la ingesta de sustancias cancerígenas, las cuales se asocian a problemas en el desarrollo, reproductivos, neurológicos e inmunológicos (*Environmental Protection Agency, 2024*).

Debido al uso y producción descontrolada de productos plásticos y su incidencia en el ambiente, esta situación ha propiciado la búsqueda de alternativas a materiales sostenibles, que tengan fuentes naturales y renovables, y permitan que estos nuevos productos de origen ecológico presenten tiempos de degradación más cortos, y su impacto al medio ambiente sea menor.

Bioplásticos como alternativa

Los bioplásticos son materiales poliméricos que se obtienen a través de dos vías: sistemas biológicos (microorganismos, plantas y animales) y los sintetizados químicamente (a partir de fuentes como aminoácidos, azúcares, grasas naturales o aceites), una de las grandes características de estos materiales es que su tiempo de degradación tiende a ser corto (alrededor de unos meses) en condiciones específicas, donde por acción de microorganismos (bacterias, hongos y algas) el material va perdiendo sus propiedades y esto deriva en la formación de compuestos inorgánicos o biomasa (*QUIROGA ARIZA, 2019*).

En comparación con los plásticos convencionales, los biopolímeros son una alternativa ecológica por su renovabilidad debido a su fuente de extracción, además no son tóxicos, lo cual permite su uso en dispositivos médicos e implantes, pues se ha evidenciado que los plásticos sintéticos contienen bisfenol y este se ha relacionado con incidentes en la salud como cáncer o trastornos reproductivos (*Blossom, 2023*).

Las propiedades de estos biomateriales son mecánicamente similares versus los plásticos sintéticos, lo cual da oportunidad a que sean implementados en diversas aplicaciones como la

industria textil o de alimentos (ácido poliláctico, bioplástico producido a partir de almidón de maíz), y su impacto ambiental es positivo, ya que tiene una huella de carbono menor en comparación con el plástico convencional. Aunque el potencial de estos biopolímeros es bastante amplio, hay retos y desafíos por superar, principalmente el costo de producción es elevado con relación a los plásticos sintéticos (Blossom, 2023).

Quitina y Quitosano

Dentro de las fuentes de polímeros naturales se encuentra la quitina y el quitosano. La quitina es un polisacárido natural derivado de organismos vivos (se encuentra principalmente en exoesqueletos de artrópodos, en las paredes celulares de hongos o cáscaras de huevos de nematodos) (Merzendorfer & Zimoch, 2003), es el segundo polímero más abundante del planeta luego de la celulosa (Casadidio et al., 2019), es biodegradable y no tóxico, su estructura lo hace insoluble en presencia de diferentes sustancias químicas, por lo cual generalmente se aplican diversos tratamientos químicos (desacetilación) para mejorar esta propiedad de afinidad a las sustancias (de este proceso se obtiene el quitosano) (CABARCAS LORDUY et al., 2011).

El quitosano, derivado de la quitina es un polisacárido lineal, soluble en agua (en pH ligeramente ácido), es un polímero no tóxico, biocompatible, biodegradable, que presenta buena estabilidad. El quitosano debido a la desacetilación es una estructura de carácter hidrófilo que permite usarse en la industria para diversas modificaciones químicas, lo cual representa una ventaja en términos de sus propiedades y aplicaciones (biotecnología, medicina, membranas, cosméticos, industria alimentaria, etc.) (Bikiaris, n.d.).

Dentro de las fuentes de obtención de quitina se encuentra marina, terrestre y microbiana. La fuente marina está conformada por crustáceos como camarones, cangrejos, percebes, etc., los desechos de estos animales específicamente los caparazones contienen alrededor de un 10 a 25% de quitosano y del 30 al 50% de quitina (Elsoud et al., 2022).

Para la fuente terrestre se ubican los insectos, una opción sostenible, ecológica y económica, y frente a los crustáceos presentan una gran ventaja y es que su producción no es estacionaria y además tienen altos índices de fertilidad, se han establecido estudios relacionados con mosquitos, gusanos de seda, cucarachas y abejas, en donde las alas y la cutícula se utilizan para la extracción de quitina (Elsoud et al., 2022).

Por último, está la fuente microbiana, de la cual se extraen polímeros quitinosos a partir de bacterias, algas y hongos. Los micelios fúngicos contienen alto contenido de quitina y quitosano, los cuales se producen a través de procesos fermentativos fúngicos, o también el quitosano puede aislarse de la pared celular sin el paso de la desacetilación, donde se pueden llegar a obtener entre 13.3 a 43% de quitina. Se consideran una buena alternativa por cuestiones ambientales y económicas, debido a que el quitosano microbiano que se obtiene es más puro y posee características más consistentes, además requiere de menor cantidad de sustancias químicas para la purificación de la quitina en comparación con los crustáceos, debido al contenido que estas especies marinas presentan en cuanto a lípidos, minerales, proteínas y pigmentos (Elsoud et al., 2022).

Insectos

Los insectos constituyen una de las especies más variadas del mundo, pertenecen al reino animal, y su hábitat puede ser desde desiertos hasta los llanos, debido a que cualquier lugar tiende a ser habitable para estas especies. Poseen un revestimiento duro, sólido y flexible conocido como cutícula, que posee gran contenido de quitina y esta les permite articular estructuras como el exoesqueleto y la matriz peritrófica, esta cutícula cumple funciones importantes dentro de su desarrollo como protección al ambiente, movilidad, reparación y crecimiento (Castañeda Barrera, 2016).

La quitina se encuentra especialmente en el tejido tegumento, que está compuesto por células epiteliales que cubre todo el plan corporal, además también se localiza en los tejidos del

intestino anterior y posterior, el sistema traqueal y la matriz peritrófica (la cual tiene similitud con el hidrogel en cuanto a su estructura) (Sugumaran, 2022).

De acuerdo con Zainol Abidin et al. (2020a) los artrópodos que han sido de gran interés para el proceso de extracción de quitina y quitosano han sido: escarabajos, abejorros, cigarras, moscas, abejas, grillos y gusanos de seda; Los cuales a partir de diversos procedimientos químicos (en concentraciones y temperaturas determinadas) extraen inicialmente la quitina y luego el quitosano (Zainol Abidin et al., 2020a).

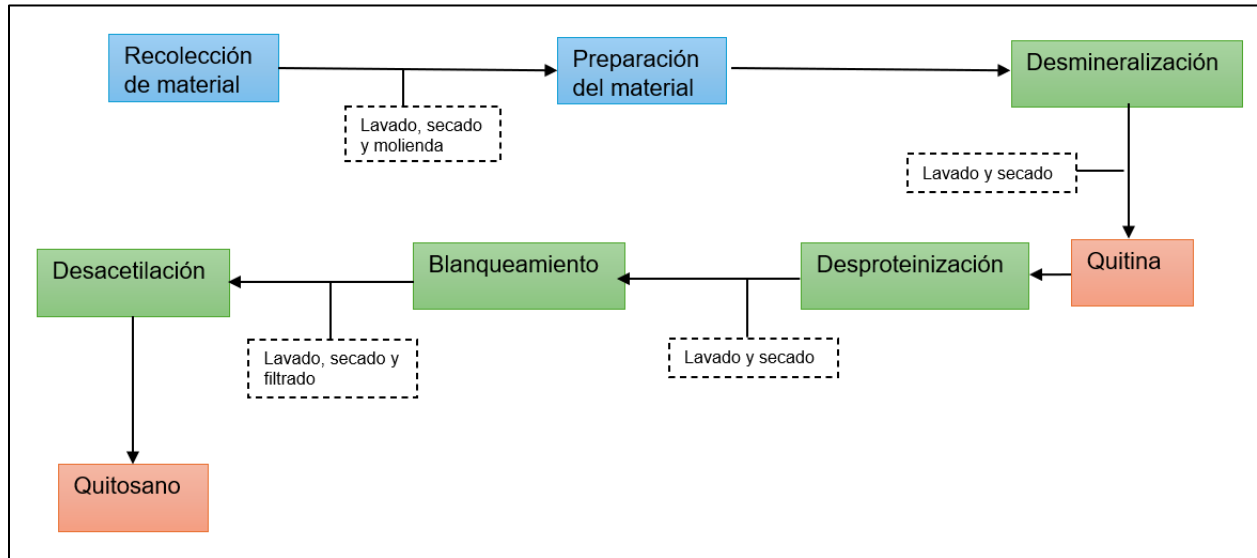
Extracción de Quitina y Quitosano

La obtención de quitosano a partir de quitina ha sido estudiada como alternativa a los polímeros sintéticos, donde con estos polisacáridos es posible obtener plástico biodegradable a través de diferentes especies de insectos. La quitina representa ser el segundo biopolímero más abundante del mundo luego de la celulosa, y dependiendo la fuente (especie de insecto) de la cual se extraída la quitina va a variar el porcentaje de este biopolímero y su pureza; El quitosano se adquiere cuando se eliminan grupos acetilo, este procedimiento se realiza con el objetivo de obtener una molécula más soluble (facilita la procesabilidad) y con mejores propiedades, en términos de características el polímero que se obtiene es no tóxico, biodegradable y de alto peso molecular. En relación con esto la quitina y el quitosano se proyectan como materia prima de gran interés, debido a su biocompatibilidad, biodegradabilidad, absorción y capacidad para la formación de película (Zainol Abidin et al., 2020b).

La obtención de estos compuestos la han descrito varios autores en las siguientes etapas: recolección de material, preparación del material, desmineralización, desproteinización, blanqueamiento o decoloración y desacetilación (Colina et al., 2014)(Londoño Morales & Mancipe Gómez, 2021) (Hahn, Tafi, et al., 2020).

Figura 1

Proceso de obtención de Quitina y Quitosano



Nota. El siguiente diagrama muestra de manera resumida los pasos necesarios para la extracción de Quitina y Quitosano a partir de insectos. Adaptado de Londoño Morales & Mancipe Gómez (2021).

De acuerdo con Hahn, Tafi, et al. (2020), el proceso de obtención de quitina y quitosano inicia con el tratamiento que se aplica a la muestra (especie de insectos), el cual incorpora un lavado con agua-detergente y luego se realiza un secado en un horno, este paso se realiza para mejorar la penetración de los químicos en las etapas posteriores del proceso. El tamaño de partícula es otro de los factores que afecta esta accesibilidad y el grado de desacetilación, por lo cual se recomienda incluir el proceso de molienda después del secado Hahn, Tafi, et al. (2020).

Posteriormente se continúa con el proceso de desmineralización, donde a través del uso de ácidos como el ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico, acético, oxálico y fórmico, se descompone el carbonato de calcio y el dióxido de carbono, es decir, los minerales presentes en el insecto. En

esta etapa el ácido por excelencia es el ácido clorhídrico, sin embargo, por temas de sustentabilidad se está migrando hacia el uso de ácidos orgánicos (Pellis et al., 2022).

Después de obtener la quitina purificada sigue el proceso de desproteínización, en donde se busca la eliminación de la proteína presente en la quitina, y parte del pigmento asociado con la especie de insecto a analizar (Xiong et al., 2023), este procedimiento generalmente se realiza con un tratamiento alcalino como el hidróxido de sodio. Esta etapa finaliza cuando se separan las partículas proteicas que están en suspensión mediante una técnica de filtrado (HEMMAMI et al., 2024).

Posterior a la desmineralización y desproteínización se puede hacer un proceso de blanqueo, en donde se busca eliminar de la biomasa todos los pigmentos y colores que aún están presentes en los fragmentos quitinosos firmes y flexibles de la muestra (Nguyen, 2021) (Issahaku et al., 2023).

Finalmente, para la obtención del quitosano se procede con la desacetilación heterogénea a partir del hidróxido de sodio, donde se eliminan grupos acetilo y da origen a grupos aminos, los cuales proporcionan sitios activos en el polímero para dar lugar a varias reacciones, lo cual lo hace versátil y funcional para las diversas aplicaciones en la industria. Otro factor para tener en cuenta es que este método permite que aumente la solubilidad del polímero (Hahn, Tafi, et al., 2020).

Quitina y Quitosano: Trabajos de investigación

En un estudio reciente acerca de la extracción de estos polisacáridos se emplearon moscas, específicamente la mosca soldado-negra o *Hermetia illucens*, el trabajo se centró en la obtención de quitosano como coagulante para el tratamiento de aguas naturales sintéticas, Cánepa Ivazeta (2018) partió de aproximadamente 23.41g de polvo de mosca soldado-negra, a partir de esta materia prima aplicaron las 5 etapas para la obtención de quitosano, el resultado fue de 0.4g de quitosano con un grado de desacetilación del 88.55% y 1.7% de rendimiento

(Londoño Morales & Mancipe Gómez, 2021), el grado de desacetilación obtenido indica que el polímero extraído cuenta con buenas propiedades de solubilidad, basicidad, adsorción, etc., así como su funcionalidad (Cánepa Ivazeta, 2018).

Zhang et al. (2000) evaluó la obtención de quitina y quitosano a partir de larvas de escarabajo y de la exuvia (exoesqueleto) de pupas de gusanos de seda (*Bombyx mori*), el procedimiento utilizado incluyó desmineralización (HCl, 1 N, 100 °C por 20 min) y desproteización (NaOH, 1 N, 80 °C por un período de 1 a 2 días), obteniendo así un rendimiento de quitina del 15% al 20%. Posteriormente el producto se disolvió en ácido acético al 2% para después ser filtrado, la solución se ajustó a pH 8-9 con NaOH 1 N para producir un precipitado, luego este se lavó y secó dando como resultado quitosano con un rendimiento del 70-80% (Zhang et al., 2000).

Otra investigación se realizó a partir de grillos domésticos (*Brachytrupes portentosus*) en donde fue posible obtener rendimientos de quitina entre un 4.3-7.1% y de quitosano entre 2.4-5.8%, y un grado de desacetilación del 108,1%. La cantidad obtenida de quitosano fue limitada en parte por la poca cantidad de alas que posee el grillo y la secuencia de extracción, debido a que realizar la desproteización antes de la desmineralización se erosiona la capa proteica del material, y esto ocasiona que la quitina quede desprotegida y expuesta al tratamiento ácido, dando lugar a la eliminación de materiales inorgánicos y pérdida de material sólido en la fracción de quitina, resultando así en un bajo rendimiento de quitina y el quitosano (Ibitoye et al., 2018).

Kim et al. (2017), estudió la posibilidad de extraer quitina y quitosano de grillos de campo (*Gryllus bimaculatus*) tipo I y II, para el tratamiento de esta especie se utilizó HCl al 2 N para la eliminación de minerales, NaOH 1,25 N para la desproteización y soluciones de NaOH al 50% para desacetilación. El rendimiento promedio de quitina y quitosano obtenidos de *G. bimaculatus* fue del 10.91% y 7.50% respectivamente (Kim et al., 2017).

De acuerdo con Álvarez Guerreo & Baena (2022) durante los últimos años ha aumentado el uso de biomateriales empleando insectos como fuente alternativa, en esta publicación evaluaron la obtención de quitina y quitosano a partir de *Bombyx mori* L. (gusano de seda) donde para su realización realizaron: un pretratamiento (lavado, secado, molienda), desengrasado (empleando hexano como solvente, luego se lavó y secó la biomasa), desproteínización (NaOH al 10 %), desmineralización (HCL 1N) y desacetilación (NaBH₄ al 0.08% en NaOH al 40 %). Partiendo de estas etapas se extrajo quitina con un 1.860 +/- 0.02 % y quitosano con un 1.75 +/- 0.23 %, en cuanto al grado de desacetilación se obtuvo un 38.17 +/- 0.03 %, este valor está relacionado con un alto grado de impurezas por parte de la quitina obtenida de acuerdo con los autores. (Álvarez Guerreo & Baena, 2022).

En otro estudio Huet et al. (2021) evaluaron la posibilidad de mejorar el rendimiento de quitina y quitosano con la inclusión de un pretratamiento químico (uno con un líquido iónico y otro con cloruro de ácido láctico) antes de las etapas de desmineralización, desproteínización y desacetilación. Los resultados obtenidos para ambos pretratamientos arrojaron que al ser sustancias tan agresivas la quitina tiende a perder zonas amorfas y proteínas, lo que da lugar a un bajo peso molecular y un bajo grado de desacetilación (debido que la quitina queda muy expuesta), lo que se traduce en un bajo rendimiento en la cantidad de quitosano obtenido versus el porcentaje extraído cuando la biomasa está cruda. Es decir, se favorece más la extracción del quitosano cuando no se aplican este tipo de sustancias (Huet et al., 2021).

Además, durante este trabajo se encontró que los insectos versus los crustáceos poseen menor cantidad de contenido de minerales, es decir, que la etapa de desmineralización es más efectiva en este tipo de artrópodos por su naturaleza, por consiguiente, si el proceso de extracción de quitina y quitosano se escalará de forma industrial habría un beneficio en el costo y duración durante esta fase de desmineralización (Huet et al., 2021).

Estas variaciones entre los rendimientos obtenidos de quitina y quitosano tienen como fuente la diferencia en las especies de insectos utilizados y la disparidad con la que se aplican los métodos (concentraciones de sustancias químicas, tiempos, temperaturas y secuencia en los tratamientos). Cada especie de artrópodos posee una composición única en su exoesqueleto (como grosor y consistencia), lo cual implica que la calidad y cantidad de quitina y quitosano a extraer se verá afectada por esta variable. Por otro lado, la metodología a aplicar para la obtención del bioplástico influye de forma sustancial en el rendimiento del biopolímero, como los tiempos de exposición, fuentes de calor aplicadas y la concentración de los químicos a usar, pues una cantidad elevada de NaOH puede ocasionar la reducción en el rendimiento de la quitina (Soon et al., 2018).

Adicional, a las variables mencionadas en el párrafo anterior, de acuerdo con la revisión bibliográfica varios autores establecen que las etapas a validar para la extracción de quitina y quitosano son: desmineralización, desproteinización, blanqueamiento o decoloración y desacetilación, y estas deben ser aplicadas en ese orden, de lo contrario el rendimiento final del quitosano puede ser menor, así como lo expuso Ibitoye et al. (2018) en su trabajo.

Diseño metodológico

La presente investigación será aplicada al contexto de la contaminación y el uso de bioplásticos como remediación a la problemática ambiental, se realizará un trabajo de tipo exploratorio, en el cual a través de la revisión bibliográfica se establezcan las fuentes de extracción de estos polímeros naturales, se identifiquen las propiedades fisicoquímicas que se podrían medir y se analice el potencial del mercado. Este estudio será de carácter cualitativo, donde a través de los diferentes registros académicos se examine cuáles son las condiciones más favorables para el proceso de obtención de plásticos naturales, y se determine cual es el impacto entorno a la disposición final de un plástico natural versus uno sintético; El trabajo tendrá un enfoque deductivo en el cual partiendo de los desafíos ambientales se llegue a una posible alternativa ecológica, a través de un análisis de viabilidad.

Análisis sectorial

Contexto a nivel mundial

Durante más de 50 años el plástico ha acompañado a la humanidad en su diario vivir, en diversos aspectos como atención médica, construcción, embalaje, en el hogar, etc. Este producto tan indispensable es un derivado del combustible fósil, es no biodegradable y de alta durabilidad (las bolsas plásticas perduran 20 años, las botellas plásticas alrededor de 450 años y el hilo de pescar cerca de 600 años) (Kibria et al., 2023).

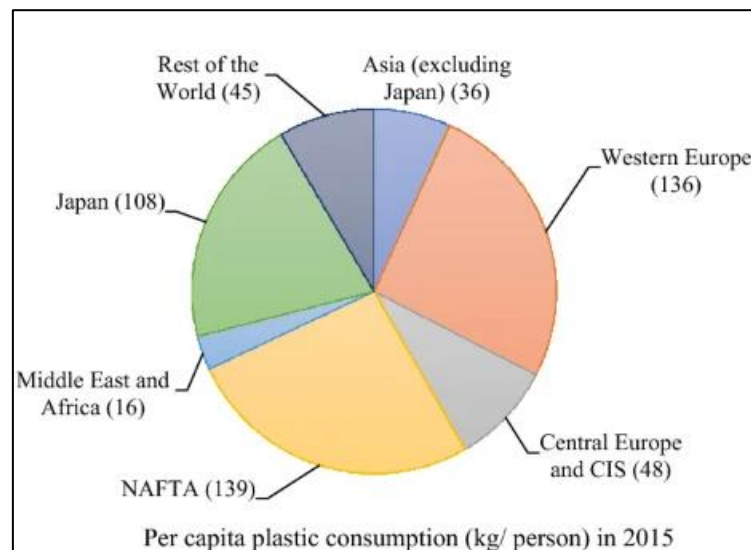
La realidad mundial es que este material está presente en varios sectores y su producción genera gran cantidad de residuos plásticos, de acuerdo con un reporte entregado por el Banco Mundial, los plásticos constituyen entre el 5% y el 12% del total de residuos producidos a nivel mundial. En cuanto a la fabricación de productos plásticos, China lidera la producción, satisfaciendo el 29.4% de la demanda global, en segundo y tercer lugar se encuentran Europa y América del Norte, con un 18.5% y un 17.7% respectivamente (Kibria et al., 2023).

Según Geyer et al. (2017), la producción de plástico en 2015 alcanzó 381 Mt, de esta cantidad el 19.5% fue reciclado, el 25.5% incinerado y el 55% se descartó (Geyer et al., 2017). De toda la cantidad de residuos que se descarta el ambiente, el 80% genera infertilidad del suelo, contaminación del agua, obstrucción de los drenajes e inundaciones. En torno a la reutilización de estos desperdicios, Estados Unidos recicla un 9%, Noruega y Suiza un 31.1%, lo cual es un gran avance para el nivel de contaminación que se genera diariamente por residuos plásticos, no obstante, este porcentaje de aprovechamiento no es alcanzable para países pobres o en desarrollo, pues la recolección de estos desechos resulta ser complicada (Kibria et al., 2023).

Las figuras 2 y 3 ilustran el comportamiento de los plásticos a nivel mundial, su consumo, producción y eliminación final.

Figura 2

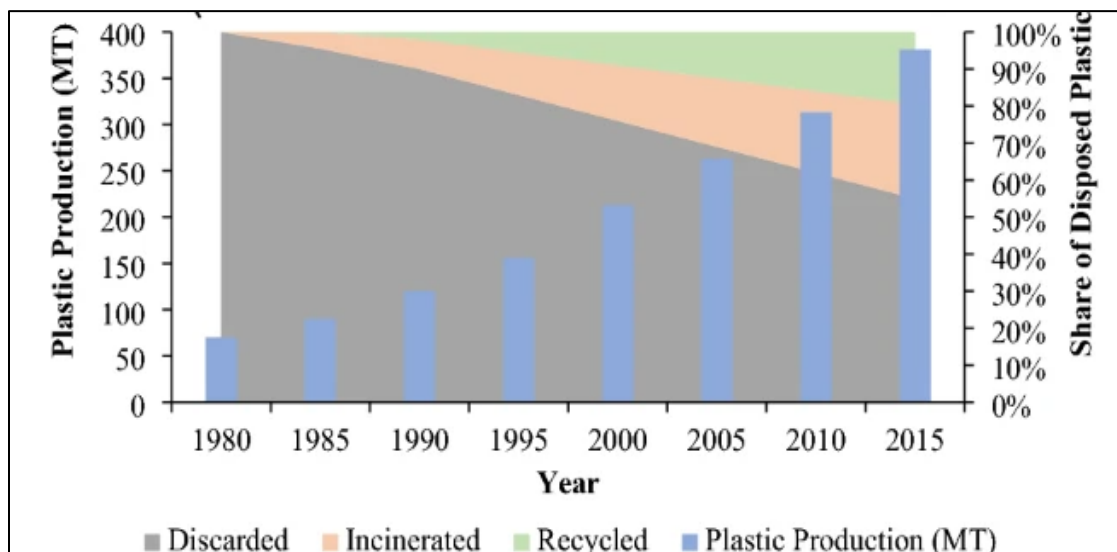
Consumo mundial de plástico



Nota: El siguiente gráfico muestra la distribución global de consumo de plástico para el año 2015. Tomado de Kibria et al. (2023).

Figura 3

Disposición final del plástico



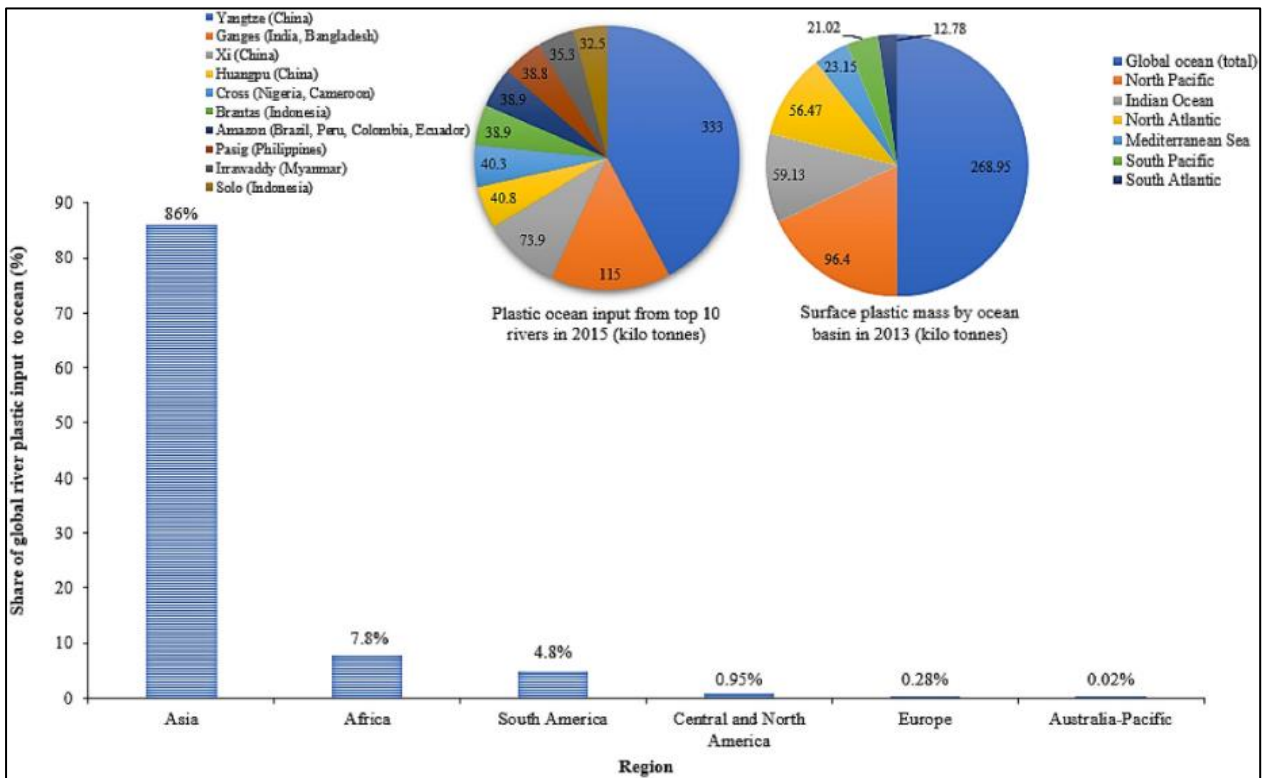
Nota: El siguiente gráfico expone la situación mundial alrededor de la producción de plástico y su disposición final. Tomado de Kibria et al. (2023).

La contaminación plástica es una gran problemática, se estima que alrededor del 60-80% de los animales marinos contienen plástico, debido a que gran parte de la disposición final de estos residuos terminan desembocando en océanos, mares y ríos (ver figura 4) (Kibria et al., 2023), donde las concentraciones más altas de estos desechos se encuentran en las costas y los fondos marinos (ver figura 5) (Williams & Rangel-Buitrago, 2022). En una investigación realizada en la isla Henderson, en el pacífico sur Lavers et al. (2021) descubrió que los plásticos pueden provocar variaciones en la temperatura de hasta 2.5°C, lo que ocasiona inconvenientes para especies como aves y tortugas; Lavers et al. (2021) establecieron que estos residuos plásticos fueron responsables del deceso de más de 500.000 cangrejos ermitaños (Lavers et al., 2021).

Un estudio efectuado en el Mar Atlántico reveló una alarmante concentración de plástico, alrededor de 580,000 piezas por kilómetro cuadrado de superficie marina, lo cual evidencia una crisis en la gestión de los desechos plásticos a nivel mundial, además de una limitada capacidad en los vertederos para retener estos residuos y evitar que estos terminen en los océanos, donde se empeora la contaminación en los ecosistemas marinos. (Costa et al., 2023).

Figura 4

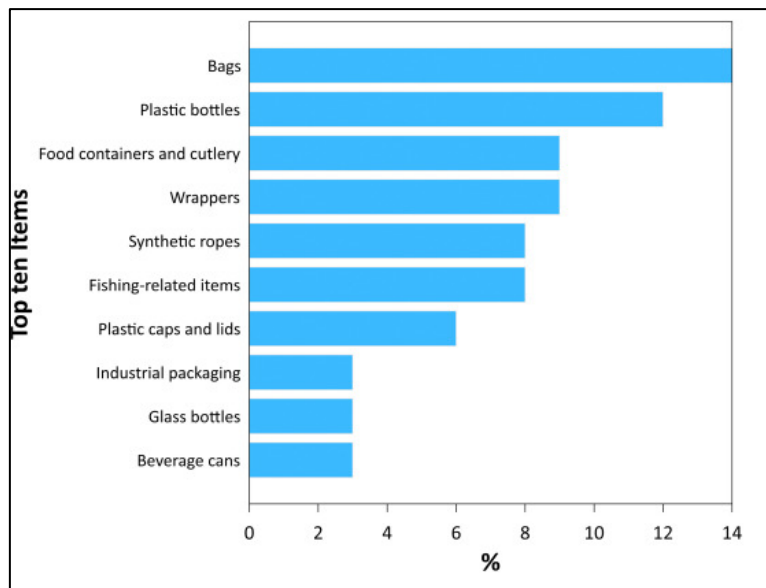
Aporte global del plástico al océano



Nota: el siguiente gráfico ilustra la contribución plástica en el océano por continentes. Tomado de Kibria et al. (2023).

Figura 5

Artículos plásticos presentes en el océano



Nota: el siguiente gráfico muestra los principales desechos plásticos presentes en el océano.

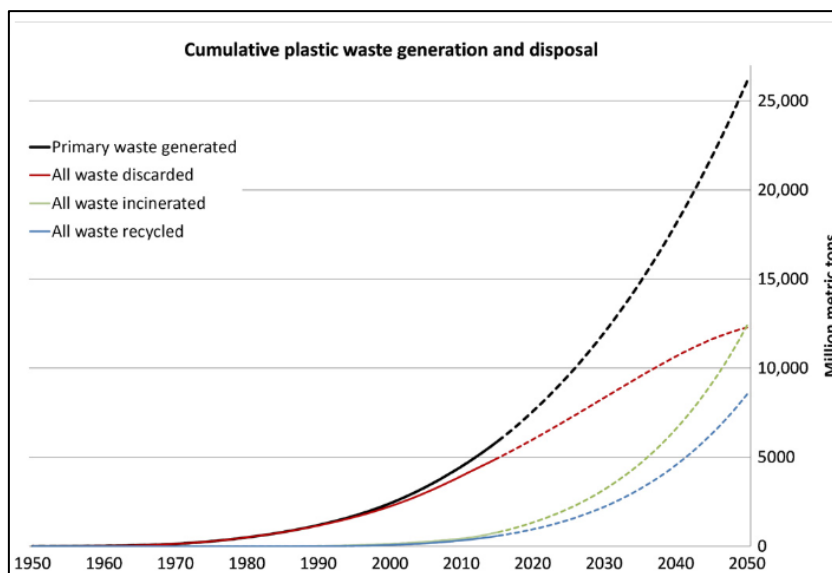
Tomado de Williams & Rangel-Buitrago (2022).

En línea con la contaminación plástica, debido a las condiciones climáticas y a la durabilidad de los desechos plásticos, se forman en el ambiente lo que se conoce como micro fragmentos de plásticos o micro plásticos (Kibria et al., 2023), los cuales representan una amenaza social, ambiental y económica para los seres vivos. Se calcula que una persona en promedio llega a ingerir en un año cerca de 50.000 micro plásticos, causando así afectaciones a la salud, como disrupciones endocrinas(Williams & Rangel-Buitrago, 2022). Además, estos micro plásticos están relacionados con la degradación del suelo y su fertilidad (Kibria et al., 2023).

Si la tendencia de producción de plástico continua así, se espera que para el 2050 se produzcan 26.000 Mt de resinas, 6.000 Mt de fibras de polipropileno y 2.000 Mt de aditivos, de los cuales 9.000 Mt de residuos plásticos serán reciclados, 12.000 Mt se habrán incinerado y 12.000 Mt terminarán en vertederos (ver figura 6)(Geyer et al., 2017).

Figura 6

Generación y eliminación acumulada de residuos plásticos (en millones de toneladas métricas).



Nota: el siguiente gráfico muestra los datos históricos desde 1950-2015 (líneas continuas), y la tendencia hasta 2050 (líneas discontinuas). Tomado de Geyer et al. (2017).

Contexto en Colombia

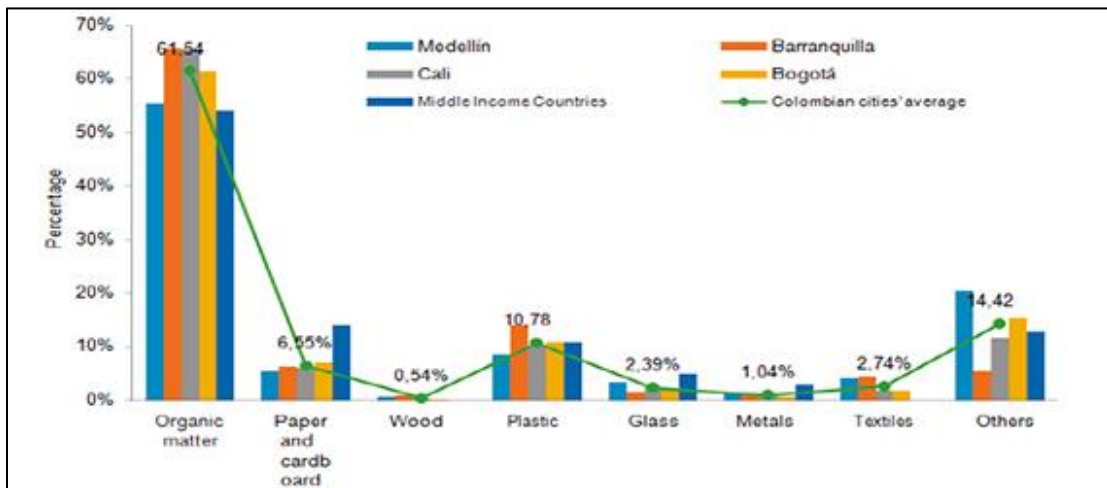
De acuerdo con Acoplásticos el 54% de la producción de plásticos a nivel nacional está relacionada con empaques y envases, productos de higiene y aseo, productos industriales y lubricantes (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Se estima que Colombia consume cerca de 1.250.000 toneladas de plástico, y de ahí un 56% corresponden a plásticos de un solo uso, este nivel de producción genera una alarma ante el grado de contaminación plástica que el país lleva, pues al año se producen 12 millones de toneladas de basura y de ahí un 10.78% corresponde a desechos plásticos (ver figura 7) (*El Empaque*, 2022) y sólo se recicla un 17% (Mejía Osorio, 2020).

En la capital se producen diariamente 6.300 toneladas de basura y sólo se logra aprovechar entre un 14-15%, el porcentaje restante termina acumulado en rellenos sanitarios, en

montañas, valles y ríos (Mejía Osorio, 2020). De hecho, en la lista de los 20 ríos más contaminados se encuentran el Amazonas (puesto 7) y el Magdalena (puesto 15) (*El Empaque*, 2022). La industria en Colombia llama la atención por la ineficaz tarea en torno a la economía circular, debido a que no ha invertido en ciencia, tecnología e innovación para reducir el impacto ambiental generado por los residuos sólidos (Zapata Bravo et al., 2021).

Figura 7

Residuos sólidos en Colombia

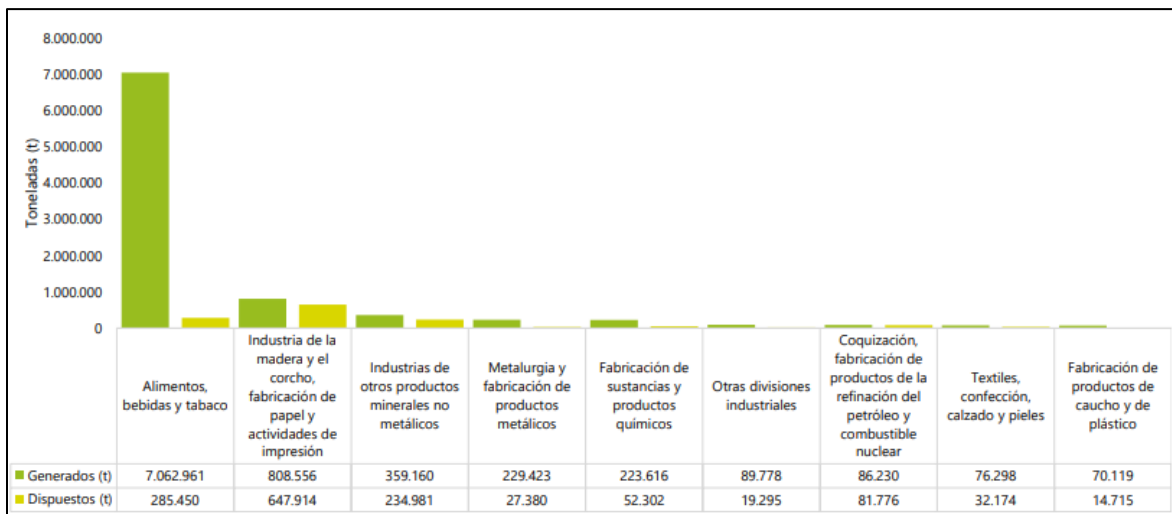


Nota: el siguiente gráfico ilustra la caracterización de los residuos sólidos en algunas ciudades colombianas. Tomado de Zapata Bravo et al. (2021)

De acuerdo con el DANE (2022) la industria de plástico y caucho en Colombia genera 70.119 toneladas, y solo contribuye con su disposición de 14.715 toneladas, esta situación preocupante, debido a que cerca del 80% de estos desperdicios no se está aprovechando y terminan en vertederos, mares o ríos (ver figura 8) (DANE, 2022).

Figura 8

Asignación de residuos sólidos por industria



Nota: el siguiente gráfico expone la distribución de los residuos sólidos generados y dispuestos por los establecimientos industriales según dominios de actividades industriales (toneladas) Total Nacional 2020. Tomado de DANE (2022).

En el país la tecnología mecánica constituye la herramienta predominante para el aprovechamiento de desechos sólidos, sin embargo, se están empezando a realizar exploraciones en reciclaje químico, y se está evaluando la posibilidad de incineración con recuperación de energía (Mejía Osorio, 2020). Adicional, Colombia le apuesta a lograr que el 100% de plásticos de un solo uso sean reutilizables o compostables (degradación biológica por microorganismos), la idea es que gradualmente se obtengan avances en relación con la economía circular, de acuerdo con Andrea Corzo (directora de Asuntos Urbanos y Ambientales), este proyecto se dará en 3 etapas: 2023, 2025 y 2030 (Ministerio de Ambiente, 2021).

Contexto de los bioplásticos

Una de las opciones ante los plásticos convencionales son los bioplásticos, materiales biodegradables y compostables fabricados a partir de fuentes renovables. Estos derivados de biomasa han adquirido gran interés a nivel mundial, se estima que se producen cerca de 4 millones de toneladas de bioplástico anualmente (Ali et al., 2022), y se espera que aumente 2.42 millones de toneladas para el 2024. Uno de los mercados más populares para la industria del bioplástico es el embalaje, que representa un 40% de la producción a nivel mundial (Ahsan et al., 2023).

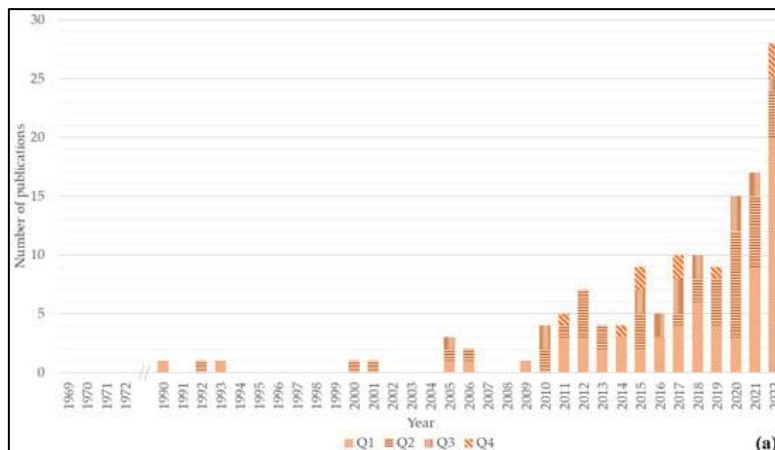
Dentro de los bioplásticos se encuentran los polisacáridos como la celulosa y la quitina, los cuales representan el primero y el segundo más abundante en el planeta, estos provienen de plantas (celulosa) y exoesqueletos de crustáceos, insectos u hongos (quitina), ambos son biodegradables y se ha comprobado que se desintegran durante un proceso de compostaje (Shamshina et al., 2023).

El mercado mundial de la quitina tuvo un valor de \$803 millones de dólares en 2016, aumentó a \$893 millones de dólares en 2017 y se pronostica que se triplique hasta alcanzar los \$2.941 millones de dólares para 2027 (Shiflett, 2020), a pesar de ello, este crecimiento está sujeto a: el desarrollo de tecnologías para la obtención de quitosano a partir de quitina y propiedades intrínsecas como el peso molecular, grado de desacetilación, etc., los cuales son difíciles de controlar (Shamshina et al., 2023).

En cuanto a investigaciones realizadas acerca de la quitina y el quitosano, estas ha tenido un gran progreso en los últimos años (ver figura 9), y alrededor del mundo estos materiales han sido objeto de gran interés para diversos usos como tratamiento de agua, medicina, medicina veterinaria, farmacia, cosméticos, bebidas y alimentos (Piekarska et al., 2023), estas publicaciones referencian a cerca de 43 países, de los cuales India y China conforman el mayor interés en el mercado de la quitina y el quitosano (ver figura 10) (Vieira et al., 2023).

Figura 9

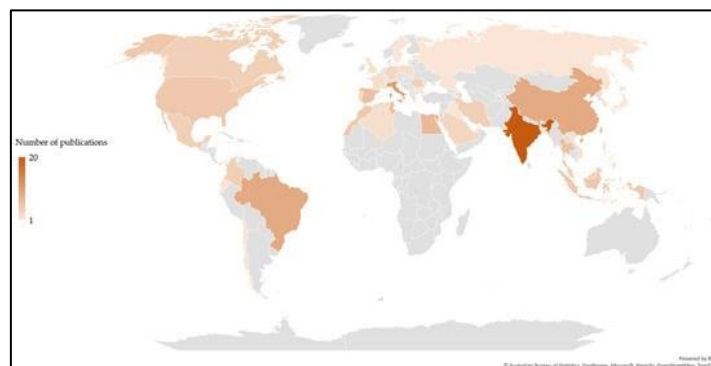
Publicaciones de Quitina y Quitosano



Nota: el siguiente gráfico muestra el número de publicaciones para la cadena de valor quitina/quitosano. Tomado de Vieira et al. (2023).

Figura 10

Distribución global de las publicaciones para Quitina y Quitosano

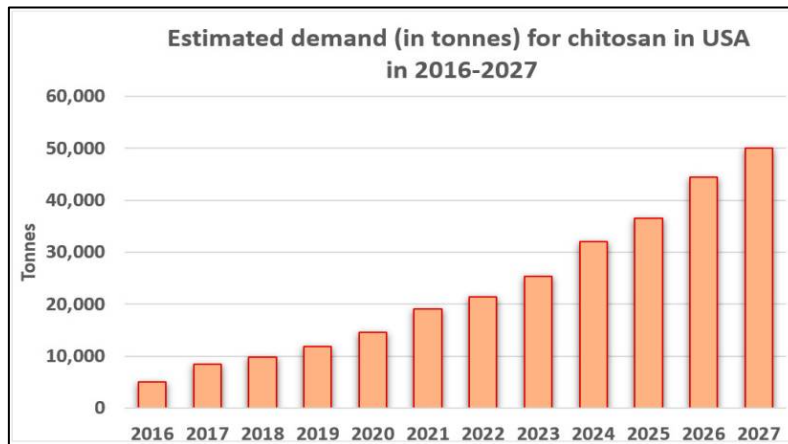


Nota: el siguiente mapa ilustra la distribución geográfica de las publicaciones relacionadas con la cadena de valor de quitina/quitosano según el país del autor o autores correspondientes. Tomado de Vieira et al. (2023).

En torno a la tendencia que se ha observado del mercado del quitosano, se espera que la demanda de este bioplástico en Estados Unidos incremente de manera progresiva para el año 2027 (ver figura 11) (Piekarska et al., 2023).

Figura 11

Demanda del Quitosano en USA



Nota: el siguiente gráfico expone la demanda estimada (en toneladas) de quitosano en los Estados Unidos en 2016-2027. Tomado de Piekarska et al. (2023).

El mercado global muestra gran interés entorno a los bioplásticos, y con la dinámica mundial se hace evidente un cambio hacia materiales sostenibles como la quitina y el quitosano, donde la proyección del mercado para estos polisacáridos es bastante positiva en diversos países, como en Estados Unidos que le apuestan a una economía circular. En el caso particular de Colombia, no se encontraron datos o estadísticas relacionadas con estos bioplásticos, no obstante, esto representa una oportunidad para generar conocimiento, innovación e incursionar en el negocio de la sustentabilidad.

Estado del arte

Fuentes de Quitina y Quitosano (insectos)

La obtención de quitina y quitosano a partir de insectos se logra a través de la cutícula, una estructura dérmica que contribuye a la rigidez y permite la unión con las proteínas cuticulares. En los artrópodos la quitina puede representar aproximadamente un 40%, sin embargo, este resultado es propenso a variaciones, dependiendo la especie y tratamiento químico a utilizar (Muthukrishnan et al., 2020).

Estudios realizados por Saenz-Mendoza et al. (2023) entre el año 2022 y 2023, afirma que los 5 órdenes de insectos estudiados para la extracción y caracterización fisicoquímica de quitina y quitosano son (Saenz-Mendoza et al., 2023):

- Blattaria (Blattodea): cucarachas.
- Coleópteros: escarabajos.
- Himenópteros: abejas, las avispas, los abejorros y las hormigas.
- Lepidópteros: mariposas y polillas.
- Hemimetábolos: langostas, grillos y saltamontes.

De acuerdo con la búsqueda bibliográfica, estas son las fuentes de insectos que se han evaluado para la extracción de quitina y quitosano:

Tabla 1

Fuente de quitina y quitosano

Espece	Nombre común	Año	Referencia
<i>Acheta domesticus</i>	Grillo doméstico	2018	(Ibitoye et al., 2018)
<i>Agabus bipustulatus</i>	Escarabajo del género Agabus	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Anax imperator</i>	Libélula emperador	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Apis mellifera</i>	Abeja melífera occidental	2016	(N. H. Marei et al., 2016)
<i>Argynnis pandora</i>	Mariposa grande	2015	(Kaya, Bağrıaçık, et al., 2015)
<i>Blaberus giganteus</i>	Cucaracha gigante	2017	(Kaya et al., 2017)
<i>Bombus terrestris</i>	Abejorro	2007	(Majtán et al., 2007)

**Viabilidad de Obtención de Quitina y Quitosano
a partir de Insectos como Polímero Natural**

<i>Bombyx mori</i>	Gusano de seda	2019	(Milusheva & Rashidova, 2019)
<i>Brachytrupes portentosus</i>	Grillo comestible gigante	2018	(Ibitoye et al., 2018)
<i>Calosoma rugosa</i>	Escarabajos grandes de color negro con brillos metálicos	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Catharsius molossus</i>	Escarabajo pelotero	2015	(Ma et al., 2015)
<i>Chrysomya megacephala</i>	Mosca oriental de la letrina	2013	(Song et al., 2013)
<i>Cicada mordoganensis</i>	Cigarra del género Cicada	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Cicadetta tibialis</i>	Cigarra de monte	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Dicotoma de alomirina</i>	Escarabajo rinoceronte	2019	(Shin et al., 2019)
<i>Ephestia kuehniella</i>	Polilla	2017	(Mehranian et al., 2017)
<i>Gryllotalpa gryllotalpa</i>	Grillo topo	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Gryllus bimaculatus</i>	Grillo de dos puntos	2017	(Kim et al., 2017)
<i>Hermetia illucens</i>	Mosca soldado-negra	2020	(Soetemans et al., 2020)
<i>Holotrichia parallela</i>	Escarabajos blancos	2012	(Liu et al., 2012)
<i>Hydrophilus piceus</i>	Escarabajo hidrófilo	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Leptinotarsa decemlineata</i>	Escarabajo de la patata	2014	(Kaya, Baran, et al., 2014)
<i>Melolontha melolontha</i>	Escarabajo sanjuanero	2014	(Kaya, Baublys, et al., 2014)
<i>Musca domestica</i>	Mosca doméstica	2008	(Ai et al., 2008)
<i>Notonecta glauca</i>	Abeja de agua	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Oedipoda caerulescens</i>	Saltamontes de alas azules	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Oedipoda miniata</i>	Saltamontes de alas rojas	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Omophlus sp</i>	Escarabajos con garras	2016	(Kaya et al., 2016)
<i>Palomena prasina</i>	Insecto escudo verde	2015	(Kaya, Baublys, et al., 2015)
<i>Periplaneta americana</i>	Cucaracha americana	2015	(Kaya, Baran, et al., 2015)
<i>Polyphylla fullo</i>	Escarabajo batanero	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Pyrgomorpha cognata</i>	Saltamontes	2015	(Kaya, Bitim, et al., 2015)
<i>Ranatra linearis</i>	Insectos palo acuáticos	2014	(Kaya, Baublys, et al., 2014)
<i>Schistocerca gregaria</i>	Langosta del desierto	2019	(N. Marei et al., 2019)
<i>Tenebrio molitor</i>	Gusano de la harina	2016	(Kim et al., 2016)
<i>Vespa crabro</i>	Avispón europeo	2016	(Kaya et al., 2016)
<i>Vespa orientalis</i>	Avispón oriental	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Vespula germanica</i>	Avispa alemana	2020	(Mohan et al., 2020)
<i>Zophobas morio</i>	Gusano de la harina	2019	(Shin et al., 2019)

Nota: La siguiente tabla ilustra las especies de insectos estudiadas para la obtención de quitina y quitosano.

Al comparar las fuentes de insectos viables para la extracción de quitina y quitosano, se observa que el rango de evaluación es más amplio de acuerdo con lo que establece Saenz-

Mendoza et al. (2023), y aunque las publicaciones son recientes, la razón por la cual establece Saenz-Mendoza et al. (2023) sólo define 5 grupos es debido a que él tiene presente las especies de insectos examinados para la obtención de plástico natural como alternativa al plástico sintético, mientras que en los trabajos relacionados en la tabla 1 los autores evaluaron la extracción de quitina y quitosano para otro tipo de aplicaciones, como: tratamiento de agua, propiedades antibacteriales, fuente de valor nutricional, sector farmacéutico o sólo para la evaluación de propiedades fisicoquímicas. En consecuencia, la disparidad está determinada por el enfoque que cada autor realizó a su investigación, lo cual indica que aún faltan más especies por explorar dependiendo el campo de interés o el enfoque que cada experto aspire a analizar.

Metodología de extracción

El análisis de la obtención de quitina y quitosano se basó en la mosca soldado-negra americana (*Hermetia illucens* L), una de las fuentes de insectos ecológica y económicamente más eficientes (Antonov et al., 2019), esta especie tiene la ventaja que se reproduce y se cría de forma fácil (Lu et al., 2022), además el crecimiento es rápido y produce un bajo impacto a escala industrial (Kaczor et al., 2023).

La tabla 2 muestra un comparativo de las diferentes condiciones y pasos aplicados a la mosca soldado-negra americana (*Hermetia illucens* L) para la extracción de quitina y quitosano. De acuerdo con los resultados el rendimiento máximo que se puede obtener en torno al quitosano es de aproximadamente un 80%, el cual se consigue a través de las etapas de desmineralización, desproteínización, decoloración, desacetilación y purificación.

Tabla 2

Condiciones de obtención de quitina y quitosano

Desmineralización	Desproteización	Decoloración	Rendimiento de quitina (%)	Desacetilación	Purificación	Rendimiento de quitosano (%)	Referencia
1 M HCl, 1:10 (w/v) por 2 h	1 M NaOH, 1 g/10 mL, 80 °C por 6 h	1% KMnO4 temperatura ambiente por 4 h	3,025-18,8	50% (w/v) NaOH (1: 50) por 4 h a 95 °C	-	61,58-81,034	(Peng et al., 2022)
1 M HCl por 2 h	1 M NaOH por 4 h	-	10,18 ± 0,42	40% NaOH por 8 h	-	6,58	(Lagat et al., 2021)
0.5 M ácido fórmico temperatura ambiente por 1h	2 M NaOH, por 2 h a 80 °C	5% (v/v) H2O2 por 30–60 min a 90 °C	6-10	12 M NaOH por 4 h a 100 °C	-	3-10	(Triunfo et al., 2022)
0.5 M CH2O2 temperatura ambiente por 1h	2 M NaOH 80°C por 2h	-	31-35	12 M NaOH 120–140°C por 3–6h	-	8-16	(Hahn, Roth, et al., 2020)
0.5 M HCl temperatura ambiente por 2h	1.9 M NaOH 50°C por 2h	-	46	19 M NaOH 100 °C por 2h	-	80	(Khayrova et al., 2019)
1 M HCl 70°C	1 M NaOH 80°C	-	28	Acetona (100 mg/mL)	0.1 M ácido acético 60°C	14-16	(Abduh et al., 2023)

Nota: La siguiente tabla muestra un comparativo de las etapas de extracción de la quitina y el quitosano para la mosca-soldado negra (Black soldier fly, *Hermetia illucens*).

Al realizar un análisis sobre las condiciones más favorables para lograr quitosano de alto rendimiento, se determinó que para la desmineralización (eliminación de minerales) se debe realizar un tratamiento ácido y de acuerdo con el comparativo la sustancia química recomendada es el ácido clorhídrico (HCl) entre 0.5 a 1M, si se aumenta la concentración esto podría ocasionar modificaciones como la despolimerización y desacetilación de la quitina (Younes & Rinaudo, 2015); A una temperatura ambiente por 2 horas, ya que si se incrementa el tiempo se puede degradar el polímero (Peng et al., 2022) (Khayrova et al., 2019) (Younes & Rinaudo, 2015).

Se continua con la desproteización heterogénea, donde el método químico a usar por excelencia es el hidróxido de sodio (NaOH) de 1 a máximo 2M a una temperatura de 50 a 80°C entre 2 a 6 horas, conforme a lo obtenido por los autores Peng et al. (2022) y Khayrova et al. (2019), para lograr la eliminación de las proteínas residuales y material nitrogenado. Luego sigue la decoloración, un paso extra que se realiza con el objetivo de eliminar el pigmento presente en el insecto y se realiza con agentes blanqueantes o desinfectantes, como el permanganato de potasio (KMnO₄) o el peróxido de hidrógeno (H₂O₂) (Peng et al., 2022).

Finalmente, para obtener el quitosano se realiza un proceso de desacetilación química, donde se recomienda el uso de soluciones alcalinas, como el NaOH utilizado en la tabla 2, es posible usar ácidos, sin embargo, una desacetilación ácida degrada los enlaces glucosídicos y esto hace que se rompa la cadena polimérica (Hosney et al., 2024), para este paso la concentración sugerida es de máximo 20M, con el cual se logran rendimientos altos de acuerdo con Khayrova et al. (2019), a una temperatura de 90 +/- 10°C entre 2 y 4 h (Peng et al., 2022) (Khayrova et al., 2019).

Propiedades fisicoquímicas de la Quitina y Quitosano

Para la evaluación fisicoquímica de la quitina y el quitosano Hahn, Tafi, et al. (2020) y Kaya et al., (2017), recomiendan métodos como:

Tabla 3

Metodologías de evaluación de la quitina y el quitosano

Método aplicado	Principio general	Principales aplicaciones de la quitina y el quitosano (de origen insecto)	Referencia
Espectroscopia infrarroja	Excitación de vibraciones por irradiación con rayos infrarrojos	Determinación del grado de desacetilación	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
		Identificación de los grupos funcionales	(Kaya et al., 2017)
Espectroscopia de rayos X	Detección de rayos X elásticos dispersos	Determinación de la cristalinidad	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
		Determinación del polimorfo de quitina	
Análisis termogravimétrico	Determinación de pérdida de masa o flujo de calor durante el calentamiento	Temperatura de degradación	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
		Contenido de humedad	(Kaya et al., 2017)
		Determinación del polimorfo de quitina	
Análisis elemental	Combustión y determinación del contenido de diferentes elementos	Determinación del grado de desacetilación de quitina y quitosano	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
		Grado de purificación de la quitina	
Viscosimetría	Medición de la viscosidad de las soluciones que contienen polisacáridos.	Medición de la viscosidad-peso molecular medio	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
Microscopía electrónica de barrido	Reflexión de los electrones interactuando con los átomos.	Determinación de la morfología de la superficie de la quitina	(Hahn, Tafi, et al., 2020) (Kaya et al., 2017)
Espectroscopia de RMN	Investigación del entorno electrónico de átomos individuales y la interacción con átomos vecinos.	Determinación del grado de desacetilación	(Hahn, Tafi, et al., 2020)
		Distribución de grupos acetilo	
		Determinación de impurezas	
Ángulo de contacto del agua	Medición de las fuerzas de cohesión y adhesión, junto con la tensión superficial	Determinar la hidrofiliidad de los materiales	(Kaya et al., 2017)
Transparencia UV/visible de películas	Transmitancia óptica	Determinar la transparencia de las películas	(Kaya et al., 2017)
Módulo de Young	Pruebas de tracción	Determinar la resistencia a la tracción, el módulo de tracción y el alargamiento de rotura	(Kaya et al., 2017)

Nota: La siguiente tabla muestra los principales métodos analíticos aplicados para la investigación de quitina y quitosano de insectos.

Al realizar estas pruebas se obtiene un perfil detallado de las propiedades de la quitina y el quitosano obtenido, y de esta forma comprender la estructura, composición y comportamiento.

Impacto ambiental

La evaluación del impacto ambiental entre la quitina y quitosano versus el plástico convencional se realizó a partir de una revisión bibliográfica teniendo en consideración únicamente la disposición final de estos polímeros. La tabla 4 muestra la degradación de los diferentes plásticos sintéticos, en esta evaluación Chamas et al. (2020) realizó un comparativo en torno al tiempo que requieren estos materiales con y sin aceleración por calor o UV, para el entorno marino y para el suelo. La figura 12 ilustra los días en los cuales unas películas de quitosano con almidón se descomponen en el suelo por acción de los microorganismos presentes en la tierra (Jangong et al., 2019).

Tabla 4

Degradación de los plásticos sintéticos (años)

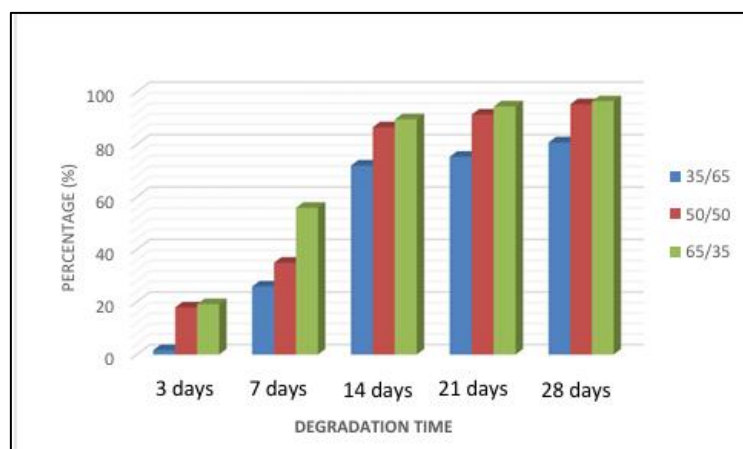
Vidas medias estimadas				
Tipo de plásticos	Marino	Marino (acelerado por UV/calor)	Tierra (enterrado)	Tierra (acelerado por UV/calor)
1. PET	–	110	>2500	–
2. HDPE	4.3	9.5	250	190
2. HDPE	4.3	9.5	5000	3900
3. PVC	–	–	>2500	–
4. LDPE	15	10	4.6	2.3
5. PP	7.5	4.6	–	780
6. PS	–	–	>2500	–

Nota: La siguiente tabla expone la degradación de diferentes plásticos sintéticos (años), donde se tiene presente su descomposición en el suelo y el entorno marino. Adaptada de Chamas et al. (2020).

Los diferentes plásticos expuestos en la tabla 4, son el reflejo de los años que toman en descomponerse estos materiales sintéticos con y sin aceleración por factores ambientales, no obstante, es evidente que la exposición de los plásticos a variables como la humedad, el calor, la luz y la acción microbiana, aumentan la velocidad de desgaste de estos materiales, debido a que los polímeros se deterioran en pedazos pequeños (micro plásticos) y luego se rompen en pequeñas moléculas (Chamas et al., 2020).

Figura 12

Degradación de bioplásticos



Nota: la siguiente gráfica muestra la degradación de películas hechas a partir de almidón y quitosano (35/65, 50/50 y 65/35). Tomado de Jangong et al. (2019).

Para el análisis del desgaste de las películas de bioplástico, Jangong et al. (2019) fabricaron tres muestras con diferentes proporciones de almidón y quitosano (35/65, 50/50 y 65/35). La evaluación de la degradabilidad se realizó mediante el método de prueba de entierro en el suelo, que consiste en registrar el peso inicial de cada una de las películas, enterrar los especímenes en la tierra y analizarlos después de 3, 7, 14 y 28 días. Posteriormente, Jangong et al. (2019) midieron el peso final de las muestras y, a través de la pérdida de peso observada determinaron el porcentaje de descomposición de cada una. (Jangong et al., 2019).

Los resultados de las pruebas de degradación de los bioplásticos realizadas por Jangong et al. (2019) mostraron que la muestra con una proporción de 65/35 presentó un porcentaje de descomposición aproximado del 96.45%, un valor significativamente más alto en comparación con las otras dos muestras evaluadas, de acuerdo con Jangong et al. (2019), esto se debe a que el almidón tiende a degradarse con mayor facilidad en comparación con el quitosano (Jangong et al., 2019). Sin embargo, esto no significa que el quitosano no tenga una evolución satisfactoria frente a la descomposición.

Al comparar los estudios de Jangong et al. (2019) y Chamas et al. (2020), sobre la degradación de los plásticos convencionales frente a la quitina y el quitosano, es indiscutible que el polímero natural ofrece una gran ventaja en cuanto a su disposición final, según Chamas et al. (2020), los derivados del petróleo tienen un tiempo de deterioro significativamente alto (hasta 5000 años) (Chamas et al., 2020), generando así un impacto ambiental importante por su acumulación en el entorno natural. Por otro lado, Jangong et al. (2019) señala que los bioplásticos elaborados a partir de fuentes renovables presentan una duración de deterioro más corta, puesto que están diseñados para que en condiciones específicas de compostaje se degraden con mayor rapidez (Jangong et al., 2019).

Análisis y discusión de resultados

Resultados del análisis sectorial

El plástico es un material versátil y duradero utilizado en diversas industrias, sin embargo, su origen en combustibles fósiles hace que su disposición al final de su vida útil genere residuos contaminantes (Kibria et al., 2023). A nivel mundial la producción del plástico ha ido en aumento y con ello la contaminación. Se estima que en 2015 se produjeron 381 millones de toneladas de plástico, de las cuales solo el 19.5% fue reciclado, el 25.5% incinerado y el 55% descartado (Geyer et al., 2017), este gran volumen de desechos plásticos y su mala gestión

causan infertilidad del suelo, contaminación del agua y daño al ecosistema marino. Además, los micro plásticos formados por la descomposición de plásticos son ingeridos por humanos, causando problemas de salud (Williams & Rangel-Buitrago, 2022) y degradación del suelo (Kibria et al., 2023).

En Colombia se producen 12 millones de toneladas de basura anual, de las cuales el 10.78% son plásticos (*El Empaque*, 2022) y solo el 17% se recicla (Mejía Osorio, 2020). En Bogotá, la situación es aún más crítica, pues se producen 6.300 toneladas diarias de basura, aprovechándose solo el 14-15%, mientras el resto se acumula en rellenos sanitarios, ríos y valles (Mejía Osorio, 2020). En torno al reciclaje, el país utiliza principalmente tecnología mecánica para el aprovechamiento de los desechos plásticos, aunque se están explorando el reciclaje químico y la incineración con recuperación de energía (Mejía Osorio, 2020). Adicionalmente, como parte de un esfuerzo hacia una economía circular, se ha establecido el objetivo nacional, que para el 2030 el 100% de los plásticos de un solo uso sean reutilizables o compostables (*Ministerio de Ambiente*, 2021).

Los bioplásticos hechos de fuentes renovables son parte de los materiales compostables y se fabrican a gran escala, con una producción anual cercana a los 4 millones de toneladas (Ali et al., 2022). La celulosa y la quitina son los bioplásticos más comunes en el mundo (Shamshina et al., 2023), para el caso de la quitina se prevé un crecimiento significativo del mercado, esperándose que alcance los \$2.941 millones de dólares para el 2027 (Shiflett, 2020), aunque su crecimiento depende del desarrollo de tecnologías de procesamiento. El quitosano, otro polímero natural derivado de la quitina, también ha generado interés, especialmente en Estados Unidos, donde se proyecta un aumento progresivo de su producción (Piekarska et al., 2023). A nivel mundial, hay un creciente interés en los bioplásticos como parte de un cambio hacia materiales sostenibles, lo que representa una oportunidad para países como Colombia de innovar e implementar modelos de producción y consumo sostenible.

Resultados del estado del arte

La revisión bibliográfica permitió identificar cinco órdenes principales de insectos (Blattaria, Coleoptera, Hymenoptera, Lepidoptera y Hemimetabola) como fuentes estudiadas para la obtención de bioplásticos. Además, se encontró que la investigación sobre la extracción de quitina y quitosano se ha extendido a otros campos como el tratamiento de agua, nutrición y sector farmacéutico, abarcando una variedad más amplia de artrópodos (39 especies estudiadas). Este contexto demuestra el amplio interés en la obtención de estos dos polisacáridos y su versatilidad en diversas aplicaciones, esta situación presenta una oportunidad significativa para continuar el estudio de las más de 900.000 especies de insectos existentes, con el potencial de descubrir nuevas utilidades para estos materiales de origen sostenible.

En cuanto al proceso de obtención de quitina y quitosano a partir de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens* L), se identificaron las siguientes variables críticas: para la desmineralización, se estableció como clave el uso de HCl en concentraciones de 0.5-1 M para la eliminación eficaz de minerales (Younes & Rinaudo, 2015), para la desproteización se estableció que el uso de NaOH al 1-2 M, a temperaturas entre 50-80°C, durante 2 a 6 horas, favorece la eliminación de proteínas residuales y material nitrogenado. Para el caso de la decoloración, esta requiere el uso de blanqueantes o desinfectantes como permanganato de potasio (KMnO₄) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂) para eliminar el pigmento presente en la mosca (Peng et al., 2022), finalmente, para la desacetilación, se recomienda utilizar NaOH a una concentración máxima de 20 M, a una temperatura de 90 +/- 10°C, durante 2-4 horas (Peng et al., 2022) (Khayrova et al., 2019) lo que permite alcanzar un rendimiento de quitosano del 80%.

Para comprender la estructura, composición y comportamiento de la quitina y el quitosano extraídos, se realizó una exploración bibliográfica que permitió establecer las pruebas

necesarias para tal propósito. Según Hahn, Tafi, et al. (2020) y Kaya et al., (2017), las metodologías a requerir son: análisis de composición (radiación infrarroja y espectroscopia de RMN), termogravimétricos, elementales, de superficie (microscopia de barrido) y de comportamiento (ángulo de contacto y transparencia UV) (Hahn, Tafi, et al., 2020) (Kaya et al., 2017).

El impacto ambiental del plástico versus el bioplástico fue otro factor de interés considerado en este trabajo. El estudio realizado por Chamas et al. (2020), estableció que periodo de tiempo para que un plástico se degrade por completo va desde 2-5000 años, dependiendo las condiciones ambientales y el medio al cual esté expuesto (Chamas et al., 2020). Por otro lado Jangong et al. (2019), realizó una evaluación con películas de almidón y quitosano, utilizando una técnica de entierro en el suelo y medición de pérdida de peso, encontrando que la degradación de estos biomateriales es cuestión de un mes (Jangong et al., 2019). Al comparar los tiempos de degradación, es evidente que el bioplástico presenta una ventaja significativa frente al plástico en cuanto a la disposición final, posicionándose como una alternativa sostenible para la gestión de residuos, especialmente considerando el panorama actual de la contaminación plástica.

Propuestas

- Continuar investigando diversas especies de insectos como fuentes potenciales de bioplásticos, enfocándose en aquellas que ofrezcan ventajas significativas en términos de alta tasa de reproducción, facilidad en el procesamiento y alto rendimiento de quitosano. Este enfoque permitirá identificar y optimizar las especies más prometedoras para la producción sostenible de biopolímeros.
- Explorar y evaluar el uso de solventes orgánicos en reemplazo del HCl, como alternativa sustentable al proceso de extracción de quitina y quitosano, analizando su implicación en el proceso de desmineralización y la eficiencia de producto obtenido.
- Diseñar y plantear un método de degradación que utilice quitosano al 100% bajo condiciones ambientales controladas y en contextos específicos, donde se logre estimar con precisión la tasa de descomposición de este bioplástico, lo cual es crucial para evaluar su impacto ambiental y su potencial en diversas aplicaciones.

Conclusiones

- Los bioplásticos han ganado relevancia global como alternativa sostenible a los plásticos convencionales, en particular, la quitina y el quitosano presentan una favorable proyección en el mercado mundial, lo que representa una oportunidad significativa para Colombia y otros países en el desarrollo e implementación de polímeros naturales. Esta tendencia hacia la sostenibilidad ofrece un camino prometedor hacia un futuro más verde y sostenible.
- Se identificaron cinco órdenes de insectos como fuentes de quitina y quitosano, los cuales fueron estudiados para la obtención de bioplástico. Además, se han realizado estudios en 39 artrópodos para aplicaciones en sectores como tratamiento de agua, alimentos y sector farmacéutico, no obstante, existen en el mundo cerca de 900.000 variedades de insectos alrededor del mundo, lo que indica que hay un amplio potencial para explorar y descubrir nuevas fuentes que puedan diversificar la obtención de estos materiales.
- El análisis comparativo de las etapas de extracción de quitina y obtención de quitosano de la mosca soldado-negra americana (*Hermetia illucens* L) reveló variaciones significativas en la eficiencia del proceso según los parámetros aplicados. Se identificaron las condiciones que generan el mayor porcentaje de rendimiento, proporcionando así una base para optimizar la extracción de estos biopolímeros a partir de esta especie.
- La revisión bibliográfica permitió establecer un conjunto de propiedades fisicoquímicas esenciales para la evaluación de la quitina y el quitosano extraídos de insectos. Estas propiedades incluyen análisis elemental, termogravimétrico y de estructura, las cuales proporcionan información clave sobre la composición, estructura y comportamiento de los biopolímeros obtenidos. La identificación de estas propiedades ofrece un marco

sistemático para la caracterización y cuantificación de los atributos intrínsecos de estos bioplásticos.

- El análisis del impacto ambiental entre plásticos convencionales y los derivados de fuentes renovables, como la quitina y el quitosano, reveló diferencias significativas en su disposición final, específicamente los tiempos de degradación varían drásticamente: mientras los plásticos sintéticos pueden perdurar miles de años en el ambiente, los bioplásticos se descomponen en tan solo un mes. Esta notable diferencia en la fase de disposición final posiciona a los polímeros naturales como una alternativa sustentable frente a la actual crisis de contaminación plástica, ofreciendo una solución más compatible con los ciclos naturales del ecosistema.
- La investigación realizada demuestra que la extracción de quitina y quitosano a partir de exoesqueletos de insectos es una alternativa factible a los polímeros sintéticos, tanto desde el punto de vista técnico como ambiental. Técnicamente, el proceso es viable ya que requiere principalmente sustancias químicas comunes y equipos de calentamiento básicos, lo que facilita su implementación. Desde la perspectiva ambiental, estos biopolímeros ofrecen una ventaja significativa sobre los plásticos sintéticos, ya que su degradación ocurre en cuestión de días, en contraste con los miles de años que requieren los plásticos convencionales. Esta rápida biodegradabilidad contribuye directamente a la reducción de residuos sólidos acumulados en el planeta, posicionando a la quitina y el quitosano como opciones prometedoras para abordar la crisis de contaminación por plásticos.

Lista de referencias

- Abduh, M. Y., Shafitri, T. R., Jamilah, M., Firmansyah, M., & Manurung, R. (2023). Chemical and antibacterial properties of chitosan derived from *Mucor* spp., *Rhizopus*, *Oryzae* and *Hermetia illucens*. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 11(6), 185–192. <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.138594>
- Ahsan, W. A., Hussain, A., Lin, C., & Nguyen, M. K. (2023). Biodegradation of Different Types of Bioplastics through Composting—A Recent Trend in Green Recycling. In *Catalysts* (Vol. 13, Issue 2). MDPI. <https://doi.org/10.3390/catal13020294>
- Ai, H., Wang, F., Fen Zhu, Q., & Lei, C. (2008). Preparation and biological activities of chitosan from the larvae of housefly, *Musca domestica*. *Carbohydrate Polymers*, 72(3), 419–423. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.09.010>
- Ali, S. S., Elsamahy, T., Abdelkarim, E. A., Al-Tohamy, R., Kornaros, M., Ruiz, H. A., Zhao, T., Li, F., & Sun, J. (2022). Biowastes for biodegradable bioplastics production and end-of-life scenarios in circular bioeconomy and biorefinery concept. In *Bioresource Technology* (Vol. 363). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127869>
- Álvarez Guerreño, G. E., & Baena, L. M. (2022). Physicochemical characterization and morphological properties of chitin and chitosan from *Bombyx mori* L. Hybrid Pílamo 1. *Acta Agronomica*, 71(1), 29–38. <https://doi.org/10.15446/acag.v71n1.100854>
- Antonov, A., Ivanov, G., Pastukhova, N., & Bovykina, G. (2019). Production of chitin from dead *Hermetia Illucens*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 315(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/4/042003>
- Arévalo Ahúja, L. M. (2023, June 15). *Tecnológico de Monterrey*. Los Plásticos y Nuestro Consumo Responsable.
- Bauman, B. (2019, August 20). *Yale Climate Connection*. How Plastics Contribute to Climate Change.
- Bikiaris, D. (n.d.). Chitosan and its Derivatives: Structure, Properties, and Applications. *MDPI*.
- Blossom, E. (2023). Biopolymers as Sustainable Alternatives to Plastics. *Biopolymers Research*, 7(2), 1. <https://doi.org/10.4172/bsh.1000142>
- Braun, S. (2023, March 17). *DW*. Why Most Plastic Can't Be Recycled.
- CABARCAS LORDUY, M., MARIMÓN BOLÍVAR, W., & MIRANDA MARZOLA, M. (2011). *DISEÑO DE UN PROCESO ECONÓMICO Y COMPETITIVO PARA LA EXTRACCIÓN DE QUITINA Y PRODUCCIÓN DE QUITOSANO A PARTIR DE EXOESQUELETOS DE CAMARÓN MAURICIO CABARCAS LORDUY*.
- Cánepa Ivazeta, J. J. (2018). *OBTENCIÓN DE QUITOSANAS CON ALTO GRADO DE DESACETILACIÓN*.
- Casadidio, C., Vargas Peregrina, D., Rosa Gigliobianco, M., Deng, S., Censi, R., & Di Martino, P. (2019). Chitin and Chitosans: Characteristics, Eco-Friendly Processes, and Applications in Cosmetic Science. *MDPI*, 17(6), 1.
- Castañeda Barrera, M. (2016). *OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE QUITOSANO PROVENIENTE DE QUITINA DE CUATRO ESPECIES DE INSECTOS Y EVALUACION PRELIMINAR DE SU USO EN REMOCIÓN DE CROMO EN AGUA*.
- Chamas, A., Moon, H., Zheng, J., Qiu, Y., Tabassum, T., Jang, J. H., Abu-Omar, M., Scott, S. L., & Suh, S. (2020). Degradation Rates of Plastics in the Environment. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(9), 3494–3511. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>
- Colina, M., Ayala, A., Rincón, D., Molina, J., Medina, J., Yncierte, R., Vargas, J., & Montilla, B. (2014). *EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN QUÍMICA DE*

- QUITINA Y QUITOSANO A PARTIR DE DESECHOS DE CANGEJOS. ESCALA PILOTO E INDUSTRIAL. In *Rev. Iberoam. Polim* (Vol. 15, Issue 1).
- Costa, A., Encarnação, T., Tavares, R., Bom, T. T., & Mateus, A. (2023). Bioplastics: Innovation for Green Transition. *Polymers*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/polym>
- DANE. (2022). *Boletín Técnico*.
- El empaque*. (2022, July 19). Colombia Se Podría Enfrentar a Un “Tsunami” Plástico.
- Elsoud, M. M. A., Elmansy, E. A., & Abdelhamid, S. A. (2022). Economic and Non-Seasonal Source for Production of Chitin and Chitosan. *Journal of Chemical Reviews*, 4(3), 222–240. <https://doi.org/10.22034/jcr.2022.342454.1173>
- Environmental Protection Agency*. (2024, April 23). Impacts of Plastic Pollution.
- Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). *Production, use, and fate of all plastics ever made*. <https://www.science.org>
- Hahn, T., Roth, A., Ji, R., Schmitt, E., & Zibek, S. (2020). Chitosan production with larval exoskeletons derived from the insect protein production. *Journal of Biotechnology*, 310, 62–67. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2019.12.015>
- Hahn, T., Tafi, E., Paul, A., Salvia, R., Falabella, P., & Zibek, S. (2020). Current state of chitin purification and chitosan production from insects. In *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* (Vol. 95, Issue 11, pp. 2775–2795). John Wiley and Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/jctb.6533>
- HEMMAMI, H., BEN AMOR, I., BEN AMOR, A., ZEGHOUD, S., AHMED, S., & ALHAMAD, A. A. (2024). Chitosan, Its Derivatives, Sources, Preparation Methods, and Applications: A Review. *Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry*, 11(1), 341–364. <https://doi.org/10.18596/jotcsa.1336313>
- Hosney, A., Ullah, S., & Barčauskaitė, K. (2024). Chemical Extraction of Chitosan from Shrimp Shells Subjects: Fisheries. *Encyclopedia*.
- Huet, G., Hadad, C., González-Domínguez, J. M., Courty, M., Jamali, A., Cailleu, D., & van Nhien, A. N. (2021). IL versus DES: Impact on chitin pretreatment to afford high quality and highly functionalizable chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 269. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118332>
- Ibitoye, E. B., Lokman, I. H., Hezmee, M. N. M., Goh, Y. M., Zuki, A. B. Z., & Jimoh, A. A. (2018). Extraction and physicochemical characterization of chitin and chitosan isolated from house cricket. *Biomedical Materials (Bristol)*, 13(2). <https://doi.org/10.1088/1748-605X/aa9dde>
- Issahaku, I., Tetteh, I. K., & Tetteh, A. Y. (2023). Chitosan and chitosan derivatives: Recent advancements in production and applications in environmental remediation. *Environmental Advances*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2023.100351>
- Jangong, O. S., Gareso, P. L., Mutmainna, I., & Tahir, D. (2019). Fabrication and characterization starch/chitosan reinforced polypropylene as biodegradable. *Journal of Physics: Conference Series*, 1341(8). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1341/8/082022>
- Kaczor, M., Bulak, P., Proc-Pietrycha, K., Kirichenko-Babko, M., & Bieganski, A. (2023). The Variety of Applications of *Hermetia illucens* in Industrial and Agricultural Areas—Review. *Biology*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/biology12010025>
- Kaya, M., Bağrıaçık, N., Seyyar, O., & Baran, T. (2015). COMPARISON OF CHITIN STRUCTURES DERIVED FROM THREE COMMON WASP SPECIES (*Vespa crabro* LINNAEUS, 1758, *Vespa orientalis* LINNAEUS, 1771 and *Vespula germanica* (FABRICIUS, 1793)). *Archives of Insect Biochemistry and Physiology*, 89(4).
- Kaya, M., Baran, T., Erdoğan, S., Menteş, A., Aşan Özüsallam, M., & Çakmak, Y. S. (2014). Physicochemical comparison of chitin and chitosan obtained from larvae and adult Colorado potato beetle (*Leptinotarsa decemlineata*). *Materials Science and Engineering C*, 45, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2014.09.004>

- Kaya, M., Baran, T., & Karaarslan, M. (2015). A new method for fast chitin extraction from shells of crab, crayfish and shrimp. *Natural Product Research*, 1477–1480.
- Kaya, M., Baublys, V., Can, E., Šatkauskienė, I., Bitim, B., Tubelytė, V., & Baran, T. (2014). Comparison of physicochemical properties of chitins isolated from an insect (*Melolontha melolontha*) and a crustacean species (*Oniscus asellus*). *Zoomorphology*, 285–293.
- Kaya, M., Baublys, V., Šatkauskienė, I., Akyuz, B., Bulut, E., & Tubelytė, V. (2015). First chitin extraction from *Plumatella repens* (Bryozoa) with comparison to chitins of insect and fungal origin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 79, 126–132. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.04.066>
- Kaya, M., Bitim, B., Mujtaba, M., & Koyuncu, T. (2015). Surface morphology of chitin highly related with the isolated body part of butterfly (*Argynnis pandora*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 81, 443–449. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.08.021>
- Kaya, M., Sargin, I., Al-jaf, I., Erdogan, S., & Arslan, G. (2016). Characteristics of corneal lens chitin in dragonfly compound eyes. *International Journal of Biological Macromolecules*, 89, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.056>
- Kaya, M., Sargin, I., Sabeckis, I., Noreikaite, D., Erdonmez, D., Salaberria, A. M., Labidi, J., Baublys, V., & Tubelytė, V. (2017). Biological, mechanical, optical and physicochemical properties of natural chitin films obtained from the dorsal pronotum and the wing of cockroach. *Carbohydrate Polymers*, 163, 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.01.022>
- Khayrova, A., Lopatin, S., & Varlamov, V. (2019). Black Soldier Fly *Hermetia illucens* as a Novel Source of Chitin and Chitosan. *International Journal of Sciences*, 8(04), 81–86. <https://doi.org/10.18483/ijsci.2015>
- Kibria, M. G., Masuk, N. I., Safayet, R., Nguyen, H. Q., & Mourshed, M. (2023). Plastic Waste: Challenges and Opportunities to Mitigate Pollution and Effective Management. *International Journal of Environmental Research*, 17(1). <https://doi.org/10.1007/s41742-023-00507-z>
- Kim, M. W., Han, Y. S., Jo, Y. H., Choi, M. H., Kang, S. H., Kim, S. A., & Jung, W. J. (2016). Extraction of chitin and chitosan from housefly, *Musca domestica*, pupa shells. *Entomological Research*, 46(5), 324–328. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12175>
- Kim, M. W., Song, Y. S., Han, Y. S., Jo, Y. H., Choi, M. H., Park, Y. K., Kang, S. H., Kim, S. A., Choi, C., & Jung, W. J. (2017). Production of chitin and chitosan from the exoskeleton of adult two-spotted field crickets (*Gryllus bimaculatus*). *Entomological Research*, 47(5), 279–285. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12239>
- Lagat, M. K., Were, S., Ndwigah, F., Kemboi, V. J., Kipkoeh, C., & Tanga, C. M. (2021). Antimicrobial activity of chemically and biologically treated chitosan prepared from black soldier fly (*Hermetia illucens*) pupal shell waste. *Microorganisms*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/microorganisms9122417>
- Lavers, J. L., Rivers-Auty, J., & Bond, A. L. (2021). Plastic debris increases circadian temperature extremes in beach sediments. *Journal of Hazardous Materials*, 416. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126140>
- Liu, S., Sun, J., Yu, L., Zhang, C., Bi, J., Zhu, F., Qu, M., Jiang, C., & Yang, Q. (2012). Extraction and characterization of chitin from the beetle *Holotrichia parallela motschulsky*. *Molecules*, 17(4), 4604–4611. <https://doi.org/10.3390/molecules17044604>
- Londoño Morales, N. A., & Mancipe Gómez, D. A. (2021). *Uso del quitosano obtenido a partir de quitina de Hermetia illucens Linnaeus. (INSECTA:DIPTERA) para el tratamiento de aguas naturales sintéticas.*
- Lu, S., Taethaisong, N., Meethip, W., Surakhunthod, J., Sinpru, B., Sroichak, T., Archa, P., Thongpea, S., Paengkoum, S., Purba, R. A. P., & Paengkoum, P. (2022). Nutritional Composition of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens* L.) and Its Potential Uses as

- Alternative Protein Sources in Animal Diets: A Review. In *Insects* (Vol. 13, Issue 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/insects13090831>
- Ma, J., Xin, C., & Tan, C. (2015). Preparation, physicochemical and pharmaceutical characterization of chitosan from *Catharsius molossus* residue. *International Journal of Biological Macromolecules*, *80*, 547–556. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.027>
- Majtán, J., Bíliková, K., Markovič, O., Gróf, J., Kogan, G., & Šimúth, J. (2007). Isolation and characterization of chitin from bumblebee (*Bombus terrestris*). *International Journal of Biological Macromolecules*, *40*(3), 237–241. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2006.07.010>
- Marei, N., Elwahy, A. H. M., Salah, T. A., El Sherif, Y., & El-Samie, E. A. (2019). Enhanced antibacterial activity of Egyptian local insects' chitosan-based nanoparticles loaded with ciprofloxacin-HCl. *International Journal of Biological Macromolecules*, *126*, 262–272. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.204>
- Marei, N. H., El-Samie, E. A., Salah, T., Saad, G. R., & Elwahy, A. H. M. (2016). Isolation and characterization of chitosan from different local insects in Egypt. *International Journal of Biological Macromolecules*, *82*, 871–877. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.10.024>
- Mehranian, M., Pourabad, R. F., Bashir, N. S., & Taieban, Soheila. (2017). Physicochemical characterization of chitin from the Mediterranean flour moth, *Ephestia kuehniella* Zeller (Lepidoptera: Pyralidae). *Journal of Macromolecular Science*, *54*(10), 720–726.
- Mejía Osorio, D. C. (2020). *ESTUDIO DEL MANEJO DE RESIDUOS PLÁSTICOS EN COLOMBIA*.
- Merzendorfer, H., & Zimoch, L. (2003). Chitin metabolism in insects: structure, function and regulation of chitin synthases and chitinases. *Journal of Experimental Biology*.
- Milusheva, R. Yu., & Rashidova, S. Sh. (2019). Bombyx Mori Chitosan Nanoparticles: Synthesis and Properties. *Open Journal of Organic Polymer Materials*, *09*(04), 63–73. <https://doi.org/10.4236/ojopm.2019.94004>
- Ministerio de Ambiente. (2021, June 16). Colombia Aspira a Que En 2030 El 100 % de Los Plásticos de Un Solo Uso Del Mercado Sean Reutilizables o Compostables.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2021). *PLAN NACIONAL PARA LA MESA NACIONAL PARA LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL PLÁSTICO SECRETARÍA TÉCNICA*.
- Mohan, K., Ganesan, A. R., Muralisankar, T., Jayakumar, R., Sathishkumar, P., Uthayakumar, V., Chandirasekar, R., & Revathi, N. (2020). Recent insights into the extraction, characterization, and bioactivities of chitin and chitosan from insects. *Trends in Food Science and Technology*, *105*, 17–42. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.08.016>
- Muthukrishnan, S., Mun, S., Noh, M. Y., Geisbrecht, E. R., & Arakane, Y. (2020). Insect Cuticular Chitin Contributes to Form and Function. *Current Pharmaceutical Design*, *26*(29), 3530–3545. <https://doi.org/10.2174/1381612826666200523175409>
- Nguyen, P. (2021). *RECOVERED CHITIN, CHITOSAN FROM SHRIMP SHELL: Structure, Characteristics and Applications*.
- Parker, L. (2024, February 21). *National Geographic*. The World's Plastic Pollution Crisis, Explained.
- Pellis, A., Guebitz, G. M., & Nyanhongo, G. S. (2022). Chitosan: Sources, Processing and Modification Techniques. *Gels*, *8*(7). <https://doi.org/10.3390/gels8070393>
- Peng, T. H., Wei, L. K., Chiang, E. C. W., & Yoon, M. S. O. (2022). Antibacterial Properties of Chitosan Isolated from the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*. *Sains Malaysiana*, *51*(12), 3923–3935. <https://doi.org/10.17576/jsm-2022-5112-05>
- Piekarska, K., Sikora, M., Owczarek, M., Józwick-Pruska, J., & Wiśniewska-Wrona, M. (2023). Chitin and Chitosan as Polymers of the Future—Obtaining, Modification, Life Cycle Assessment and Main Directions of Application. In *Polymers* (Vol. 15, Issue 4). MDPI. <https://doi.org/10.3390/polym15040793>

- QUIROGA ARIZA, L. J. (2019). *EVALUACIÓN DE BIOPOLÍMEROS (QUITINA Y QUITOSANO) EXTRAÍDOS A PARTIR DEL CAPARAZÓN DE CANGREJO *Procambarus clarkii* - GIRARD 1852 (CRUSTACEA:CAMBARIDAE), PAIPA-BOYACÁ*. UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.
- Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. (2023). *Our World in Data*. <https://Ourworldindata.Org/Plastic-Pollution>.
- Saenz-Mendoza, A. I., Zamudio-Flores, P. B., Tirado-Gallegos, J. M., García-Anaya, M. C., Velasco, C. R., Acosta-Muñiz, C. H., Espino-Díaz, M., Hernández-González, M., Vela-Gutiérrez, G., Salgado-Delgado, R., Rendón-Villalobos, J. R., & Ortega-Ortega, A. (2023). Insects as a potential source of chitin and chitosan: Physicochemical, morphological and structural characterization. -A review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 35(5), 388–407. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2023.v35.i5.3095>
- Science History Institute. (n.d.). History and Future of Plastics.
- Shamshina, J. L., Berton, P., & Rogers, R. D. (2023). Chitin as a Resource for Eco-friendly Bioplastics. *Springer, Singapore*.
- Shiflett, M. B. (2020). Are Ionic Liquids Enabling Technology? Startup to Scale-Up to Find Out. In Springer (Ed.), *Commercial Applications of Ionic Liquids (Green Chemistry and Sustainable Technology) Commercial Applications of Ionic Liquids (Green Chemistry and Sustainable Technology)* (1st ed., p. 73).
- Shin, C. S., Kim, D. Y., & Shin, W. S. (2019). Characterization of chitosan extracted from Mealworm Beetle (*Tenebrio molitor*, *Zophobas morio*) and Rhinoceros Beetle (*Allomyrina dichotoma*) and their antibacterial activities. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125, 72–77. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.242>
- Soetemans, L., Uyttebroek, M., & Bastiaens, L. (2020). Characteristics of chitin extracted from black soldier fly in different life stages. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 3206–3214. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.11.041>
- Song, C., Yu, H., Zhang, M., Yang, Y., & Zhang, G. (2013). Physicochemical properties and antioxidant activity of chitosan from the blowfly *Chrysomya megacephala* larvae. *International Journal of Biological Macromolecules*, 60, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.05.039>
- Soon, C. Y., Tee, Y. B., Tan, C. H., Rosnita, A. T., & Khalina, A. (2018). Extraction and physicochemical characterization of chitin and chitosan from *Zophobas morio* larvae in varying sodium hydroxide concentration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 108, 135–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.138>
- Sugumaran, M. (2022). *Insect Cuticle - Chitin, Catecholamine and Chemistry of Complexation* (R. Jurenka, Ed.; 1st ed., Vol. 62). Academic Press.
- Triunfo, M., Tafi, E., Guarnieri, A., Salvia, R., Scieuzo, C., Hahn, T., Zibek, S., Gagliardini, A., Panariello, L., Coltelli, M. B., De Bonis, A., & Falabella, P. (2022). Characterization of chitin and chitosan derived from *Hermetia illucens*, a further step in a circular economy process. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-10423-5>
- Vasarhelyi, K. (2023, December 15). *University of Colorado*. The Impact of Plastic on Climate Change.
- Vieira, H., Lestre, G. M., Solstad, R. G., Cabral, A. E., Botelho, A., Helbig, C., Coppola, D., de Pascale, D., Robbens, J., Raes, K., Lian, K., Tsirtsidou, K., Leal, M. C., Scheers, N., Calado, R., Corticeiro, S., Rasche, S., Altintzoglou, T., Zou, Y., & Lillebø, A. I. (2023). Current and Expected Trends for the Marine Chitin/Chitosan and Collagen Value Chains. *Marine Drugs*, 21(12). <https://doi.org/10.3390/md21120605>
- Webb, H. K., Arnott, J., Crawford, R. J., & Ivanova, E. P. (2013). Plastic degradation and its environmental implications with special reference to poly(ethylene terephthalate). *Polymers*, 5(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/polym5010001>

- Williams, A. T., & Rangel-Buitrago, N. (2022). The past, present, and future of plastic pollution. *Marine Pollution Bulletin*, 176. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113429>
- Xiong, A., Ruan, L., Ye, K., Huang, Z., & Yu, C. (2023). Extraction of Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) and Its Puparium by Using Biological Treatment. *Life*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/life13071424>
- Younes, I., & Rinaudo, M. (2015). Chitin and chitosan preparation from marine sources. Structure, properties and applications. *Marine Drugs*, 13(3), 1133–1174. <https://doi.org/10.3390/md13031133>
- Zainol Abidin, N. A., Kormin, F., Zainol Abidin, N. A., Mohamed Anuar, N. A. F., & Abu Bakar, M. F. (2020a). The potential of insects as alternative sources of chitin: An overview on the chemical method of extraction from various sources. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 21, Issue 14, pp. 1–25). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms21144978>
- Zainol Abidin, N. A., Kormin, F., Zainol Abidin, N. A., Mohamed Anuar, N. A. F., & Abu Bakar, M. F. (2020b). The Potential of Insects as Alternative Sources of Chitin: An Overview on the Chemical Method of Extraction from Various Sources. *MDPI*, 14, 21.
- Zapata Bravo, Á., Vieira Escobar, V., Zapata Domínguez, Á., & Rodríguez Ramírez, A. (2021). La Economía Circular de las botellas PET en Colombia. *Cuadernos de Administración*, 37(70), e2310912. <https://doi.org/10.25100/cdea.v37i70.10912>
- Zhang, M., Haga, A., Sekiguchi, H., & Hirano, S. (2000). Structure of insect chitin isolated from beetle larva cuticle and silkworm (*Bombyx mori*) pupa exuvia. In *International Journal of Biological Macromolecules* (Vol. 27). www.elsevier.com