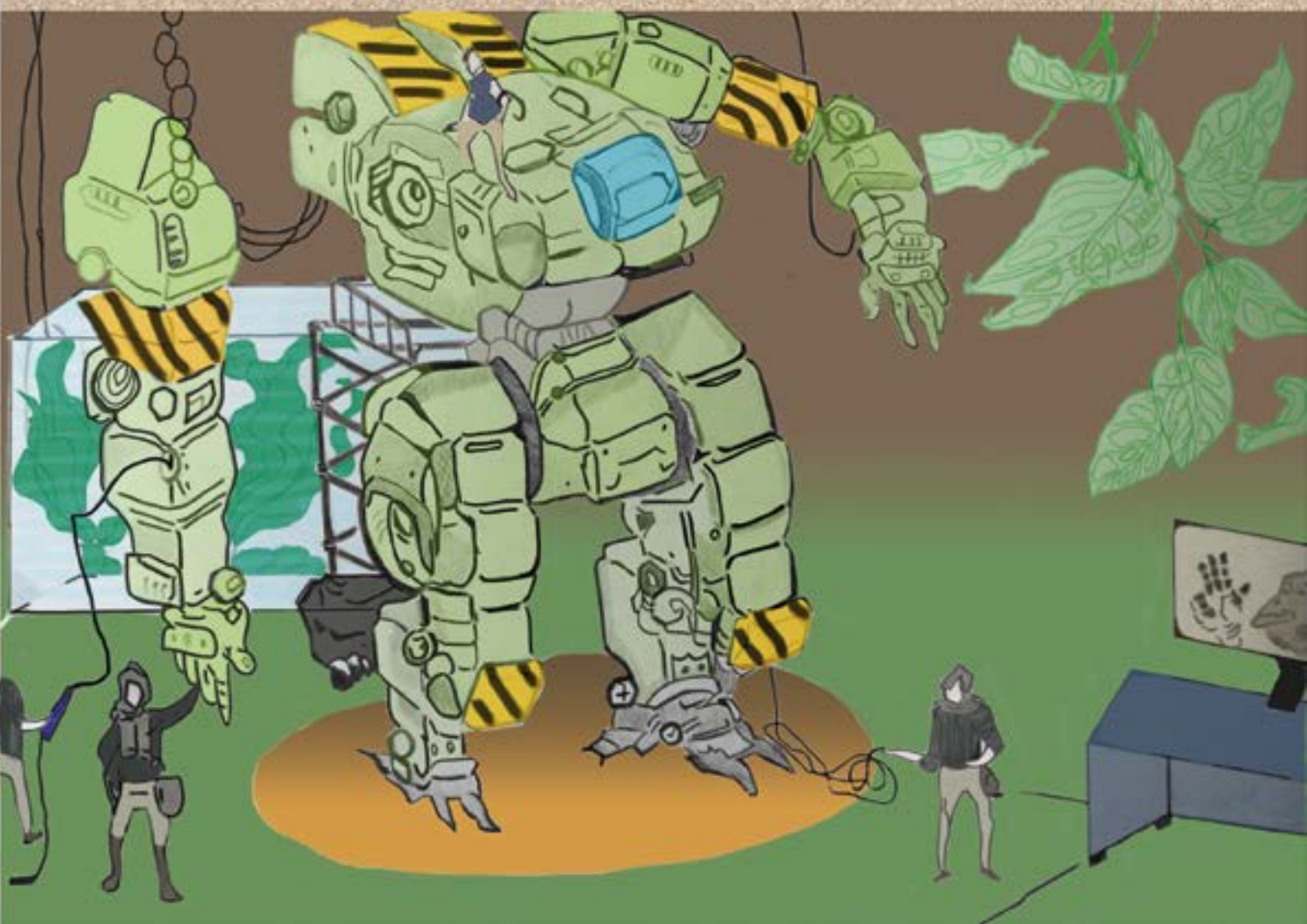


Biología para Ingenieros

Editor. Oscar Rafael Tinoco Gómez



Biología para Ingenieros

Oscar Rafael Tinoco Gómez
Nora Rosa Malca Casavilca
Pedro Pablo Rosales López
Olivio Nino Castro Mandujano
Luis Benavides Luksic
Francisco Javier Wong Cabanillas
Ysabel Zevallos Paravé

EDITOR. OSCAR RAFAEL TINOCO GÓMEZ

Biología para Ingenieros

Autores:

© Oscar Rafael Tinoco Gómez
© Nora Rosa Malca Casavilca
© Pedro Pablo Rosales López
© Olivio Nino Castro Mandujano
© Luis Benavides Luksic
© Francisco Javier Wong Cabanillas
© Ysabel Zevallos Paravé

Editado por :

© Oscar Rafael Tinoco Gómez
Calle El Abutillon 3881, Urb. Las Palmeras - Los Olivos
otinocog@unmsm.edu.pe

Diagramación de texto, maquetación y diseño:

© Carlos Alberto Vega Vidal

Hecho el depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2025-03173

Primera edición digital, abril 2025

ISBN: 978-612-03-0772-4

Libro electrónico disponible en: [http:// librosctscafe.ctscafe.pe/](http://librosctscafe.ctscafe.pe/)

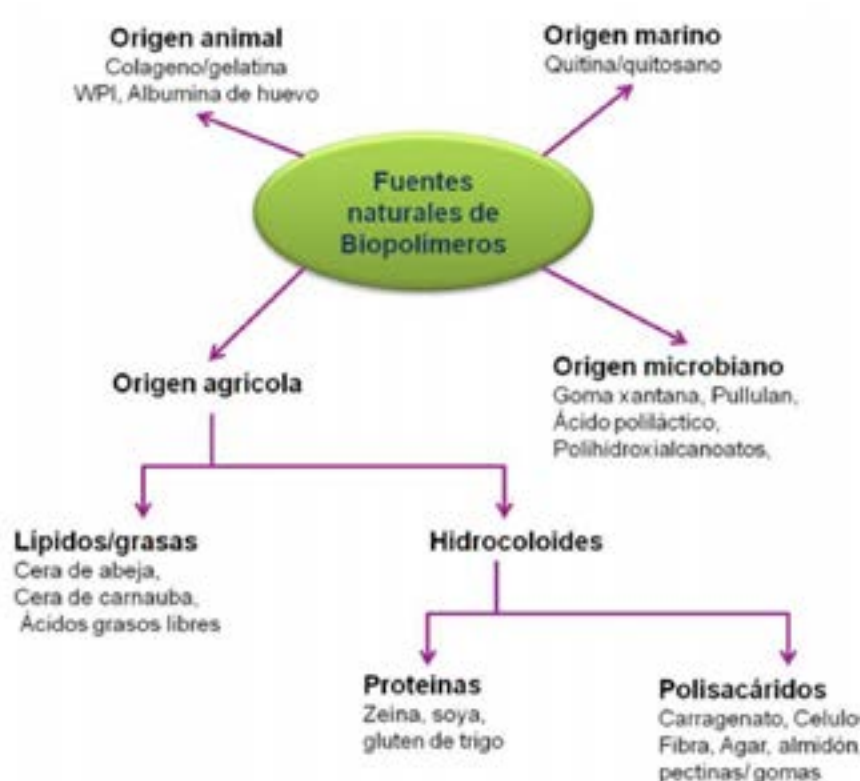
Capítulo V: Biopolímeros

Olivio Nino Castro Mandujano

Introducción a Biopolímeros

La industria alimentaria ha sido criticada por el uso de métodos de producción, materiales y estrategias de tratamiento no biodegradables, no ecológicos y tóxicos. La principal preocupación es la contaminación plástica en la industria de alimentos.

Figura N°1: Fuentes naturales de biopolímeros



Fuente: Gupta (2022)

Los plásticos aptos para alimentos como el tereftalato de polietileno, el polipropileno, el polietileno de alta y baja densidad y el policarbonato están aprobados por la FDA para su uso con materiales en contacto con alimentos; son polímeros muy utilizados por su facilidad de fabricación, rendimiento, propiedad modulación y fácil eliminación. Sin embargo, por muy versátiles que sean, no son biodegradables; lo que conduce a su acumulación en el ecosistema dando lugar a graves problemas ecológicos y de salud. Una mejor alternativa a tales materiales es el uso de polímeros derivados de la naturaleza que tienen características similares a los plásticos convencionales. Esto crea un escenario para productos comestibles y biodegradables. biopolímeros en la producción y envasado de alimentos (Gupta 2022).

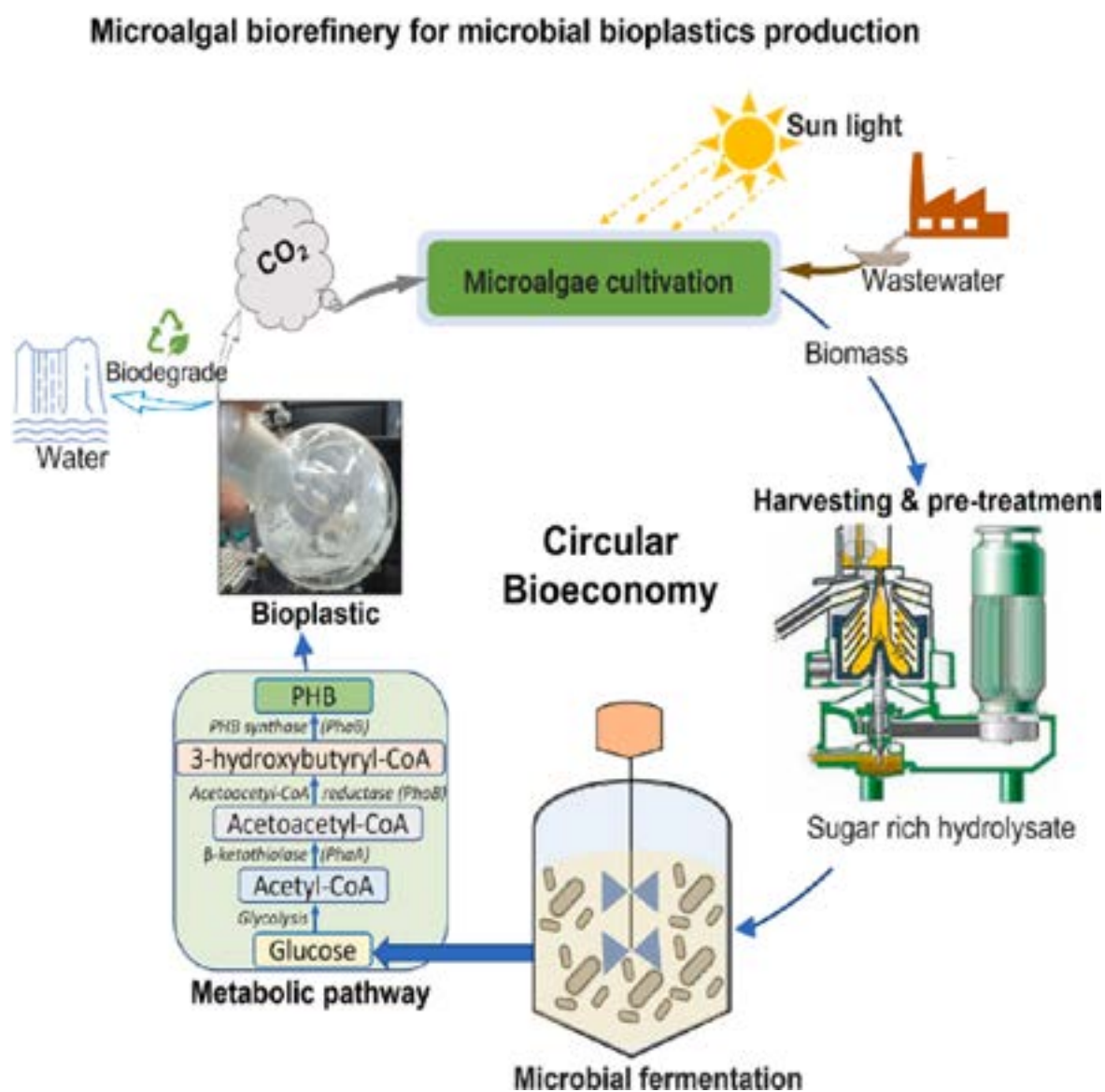
Estos polímeros se pueden clasificar como agrícolas, marinos y animales en función de su origen. Dichos polímeros tienen aplicabilidad como materiales de revestimiento, películas y materiales de embalaje o materiales conservantes y protectores. La capacidad de formar películas, de estos polímeros se utiliza en el envasado de alimentos y la entrega de sustancias bioactivas, como medicamentos y nutraceuticos. El polímero de refuerzo con micro o nanorrellenos y la introducción de la nanotecnología en el sector alimentario ha mostrado un uso prospectivo en el procesamiento y envasado de alimentos. biosensores para la detección de patógenos, mientras que la impresión 3D ha dado lugar a novedosos trabajos que alimentos basados en la nutrición y los requisitos personalizados que proporcionan una mejora en el estándar general de vivir (Sharma 2022).

Biomasa de cuatro especies de microalgas nórdicas diferentes, cultivadas en medio BG-11 o aguas residuales sintéticas (SWW), se exploró como materia prima económica rica en carbohidratos para la producción de polihidroxibutirato (PHB) a través de microbios fermentación. Pretratamiento termoquímico (tratamiento ácido seguido de autoclave) con clorhídrico al 2% Se usó ácido o ácido sulfúrico al 1% (v/v) para maximizar el rendimiento de azúcar antes de la fermentación. Pretratamiento dio como resultado un rendimiento de azúcar ~ 5 veces mayor en comparación con el control. El hidrolizado rico en azúcar se utilizó como carbón fuente de la bacteria extremófila productora de PHB Halomonas halophila.

La producción máxima de PHB fue logrado con hidrolizado de Chlorococcum sp. (MC-1) crecido en medio BG-11 ($0,27 \pm 0,05$ g PHB/ g DW), seguido por hidrolizado derivado de Desmodesmus sp. (RUC-2) cultivado en SWW ($0,24 \pm 0,05$ g PHB/ g DW).

Por lo tanto, la biomasa de microalgas nórdicas cultivadas en aguas residuales se puede utilizar como materia prima barata para bioplásticos sostenibles. producción. Esta investigación destaca el potencial de las microalgas nórdicas para desarrollar una economía de base biológica (Mehariya 2023).

Figura N°2: Ejemplo de producción de biopolímeros a partir de biomasa

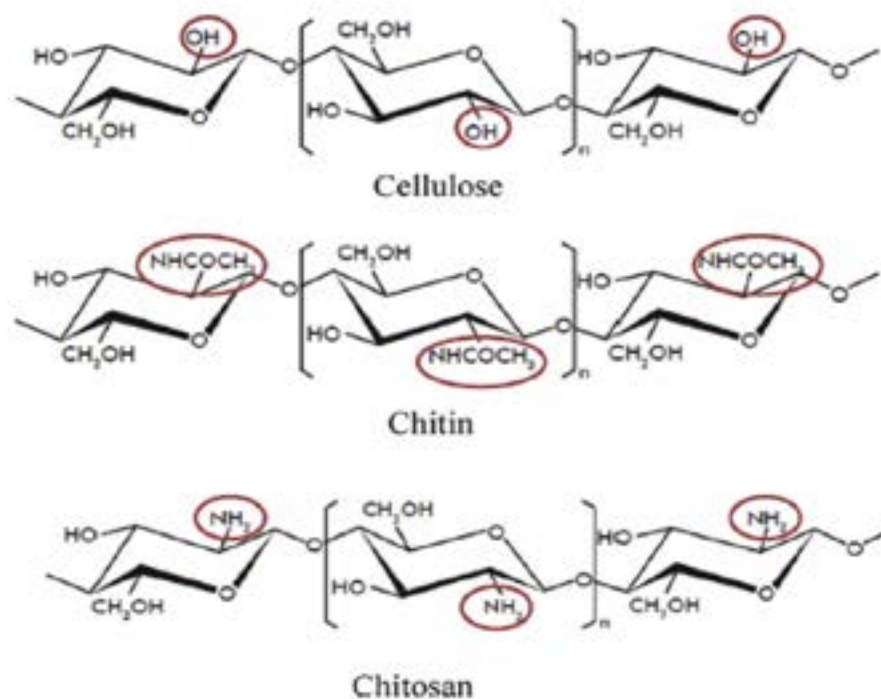


Fuente: Mehariya (2023).

Quitina y Quitosano

Después de la celulosa, la quitina ($(C_8H_{13}O_5N)_n$) es la segunda más abundante biopolímero en la tierra. La celulosa y la quitina son polisacáridos con estructura semejanza; quitina tiene un grupo acetamida ($NHCOCH_3$) en C-2 en lugar del grupo hidroxilo en la celulosa.

Figura N°3: Comparación de las estructuras química de la celulosa, quitina y quitosano



Fuente: Hamed (2017).

La quitina se puede obtener de diversas fuentes (Tabla 1), se encuentra principalmente en los exoesqueletos de artrópodos (insectos, crustáceos y arácnidos) y moluscos (picos y endoesqueleto de cefalópodos). Sin embargo, varios microorganismos también producen quitina, incluidas las paredes celulares de los hongos y levaduras, y espinas de diatomeas. Las conchas de crustáceos, tales ya que los de cangrejos y camarones son la quitina más importante fuente para uso comercial debido a la disponibilidad de desechos de la industria procesadora de productos del mar. La quitina da a los organismos vivos una estructura fuerte.

El primer descubrimiento de quitina fue hecho en 1811 por el profesor Henri Braconnot. El polisacárido fue aislado de hongos y fue nombrado fungino. Más tarde, en 1823, Odier encontró la misma sustancia en el exoesqueleto de los insectos y lo llamó quitina. Este término viene de las palabras griegas “chiton” que significa túnica o envoltura. En 1859, Roughet descubrió que la quitina podía transformarse en un forma soluble en agua después de la manipulación química. Después de eso, en 1870, esta quitina modificada se denominó quitosano. A pesar del temprano descubrimiento de quitina, la cantidad y calidad de la investigación reciente, se amplió la información disponible.

Tabla N°1: Fuentes de quitina y quitosano

Tabela 4. Fontes Naturais de Quitina e Quitosana

Crustáceos/Moluscos	Insetos	Microrganismos
Anelídios	Escorpiões	Algas Verdes
Moluscos	Aranhas	Leveduras
Celenterados	Formigas	Fungos
Lagostas	Besouros	Esporos
Camarão		Algas Marrons
Krill		

Fonte: Adaptado de CAMPANA-FILHO et al., (2007)

Fuente: Hamed (2017).

La quitina se obtiene de los exoesqueletos de los crustáceos después de la desmineralización y tratamientos de desproteínización. Sin embargo, una de las limitaciones en el uso de este biopolímero a gran escala es su insolubilidad en agua. Por lo tanto, se han producido derivados solubles en agua. Existen 3 tipos de quitina: alfa, beta y gamma, la forma más abundante y la más extensamente investigada es la alfa-quitina que se encuentra en la cutícula de los artrópodos (langostinos) y en ciertos hongos, la beta-quitina está en el calamar y la gamma quitina esta en los escarabajos.

El quitosano es el más importante de ellos. Se obtiene después de la desacetilación de la quitina y es el único polisacárido catiónico natural conocido. La quitina y sus derivados son compuestos renovables, biocompatibles, biodegradables y no tóxicos que tienen muchas propiedades biológicas tales como: propiedades anticancerígeno, antioxidante, antimicrobiano y anticoagulante. Además, se utilizan como biomateriales en una amplia gama de aplicaciones: para fines biomédicos, como para artificial regeneración de piel, huesos y cartílagos, para la conservación de alimentos como para películas comestibles, y para productos farmacéuticos fines como la entrega de fármacos.

Tabla N°2: Principales aplicaciones de los derivados de quitina

Aplicación	Cultivo	Propiedades	Compuesto
Protección postcosecha	Mango	Antimicrobiana	Quitosana
	Guayaba	Antimicrobiana	
	Tomate	Antimicrobiana	
Retardación de la maduración de frutos	Papaya	Formador de películas semipermeables	Quitosana
Estimulación de enzimas defensivas	Arroz	Elicitora	Quitina
	Tabaco		Quitosana
	Chícharo		Quitosana
Estimulador de simbiontes micorrizógena	Tomate	Inductor de mecanismos de reconocimiento	Quitina
Control de nemátodos	Tomate	Aumenta la microbiota quitinolítica del suelo	Quitina
Potenciador de la acción de biocontroles	Maní	Sustrato estimulador de enzimas hidrolasas	Quitina
	Manzana		

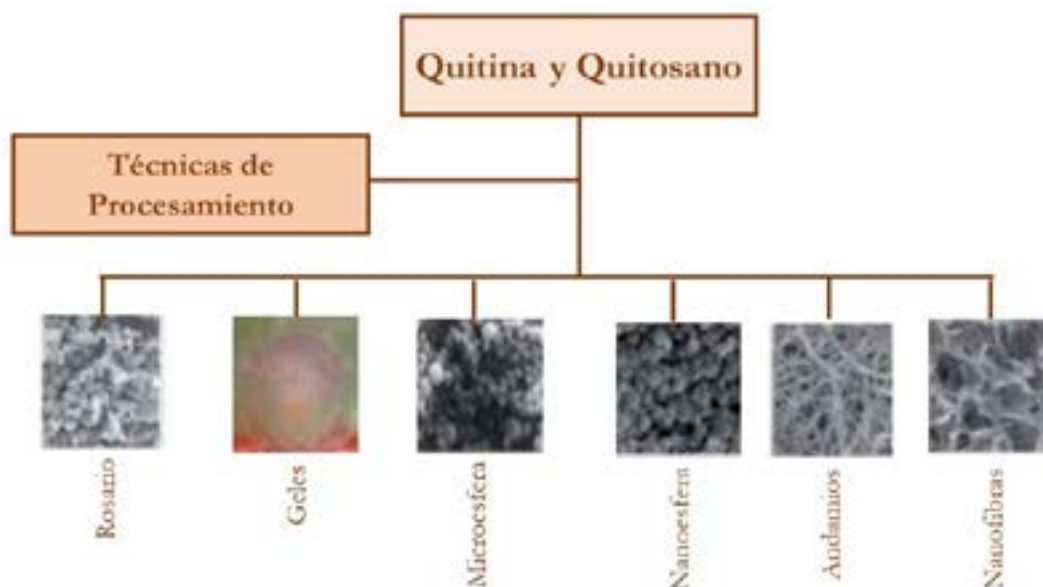
Fuente: Elaboración propia

Los residuos producidos cada año por las industrias procesadoras de mariscos representan un desafío práctico. Con aproximadamente el 75% del peso total de los crustáceos (camarones, cangrejos, langostinos, langosta y krill) que terminan como subproductos y la falta actual de opciones aceptables de gestión de residuos existe una Preocupación por un peligro ambiental potencialmente grande.

Por lo general, los mariscos los desechos se tiran al mar, se queman, se depositan en vertederos o simplemente se dejan fuera estropear. Por lo tanto, la extracción de quitina de caparazones de crustáceos y su uso tal cual o después de un procesamiento adicional puede ser una forma de minimizar los residuos y producir compuestos valiosos con notables propiedades biológicas y aplicación crucial en varios campos.

Extracción de quitina.- La quitina de los desechos de caparazones de crustáceos representa aproximadamente la mitad del peso total de los mariscos. Durante el procesamiento de las cabezas, conchas y colas se consideran no comestibles. El vertido incontrolado de esta biomasa residual tiene un impacto negativo en el medio ambiente. Debido a su abundancia, las conchas de los crustáceos se consideran la fuente preferida de quitina aislamiento. Se utilizan dos tipos de métodos para obtener quitina: métodos químicos y biológicos (microbianos).

Figura N°4: Varias formas físicas de la quitina y quitosano



Fuente: Elaboración propia

Tabla N°3: Principales propiedades del quitosano en relación al uso médico

Potenciales aplicaciones biomédicas	Principales características
Suturas quirúrgicas	Biocompatible
Implantes dentales	Biodegradable
Piel artificial	Renovable
Reconstrucción de hueso	Formación de película
Lentes de contacto corneales	Agente hidratante
Medicamentos de liberación prolongada para animales y humanos	No tóxicos, tolerancia biológica
Material encapsulante	Hidrolizado por lisosima
	Propiedades curativas de heridas
	Eficaz contra bacterias, virus, hongos.

Fuente: Elaboración propia

A pesar de que los métodos químicos tienen muchas desventajas (antieconómico, ecológico y que afecta negativamente a las propiedades fisicoquímicas de la quitina), el corto tiempo de procesamiento todavía lo convierte en el tratamiento más utilizado comercialmente. Otro inconveniente de la purificación química de quitina es que las proteínas y minerales eliminados, aunque potencialmente

valiosos suplementos para alimentos humanos y animales, son suficientemente dañados que ya no son apropiados para estas aplicaciones. Por lo tanto, el interés por la extracción biológica va en aumento por ser una forma más segura y económica en el tratamiento para la recuperación de quitina. Pero hasta la fecha, se ha limitado a estudios a escala de laboratorio. Un estudio comparativo (Cuadro 3) que usó desechos de camarones para extraer quitina y quitosano por métodos químicos y microbianos. Ellos demostraron que el método microbiano produce más quitina que el método químico, utilizando cáscaras de gambas obtuvieron resultados similares. Destacaron también el mayor efecto ambiente favorables de los métodos microbianos.

Despolimerización del quitosano. El muy alto peso molecular y la alta viscosidad del quitosano dificultan su uso en muchas aplicaciones. Productos hidrolizados de quitosano como COS resultó ser mucho más fácil de manipular en aplicaciones comerciales a gran escala. Para obtener esas degradaciones en los productos se han desarrollado varios métodos: químicos y enzimático (Fig. 4). Por lo general, se prefieren las enzimas a los reactivos químicos, que se asocian con mayores riesgos ambientales. Los métodos aceptables deben ser capaces de reducir el peso molecular de quitosano sin alterar su estructura química. quitonooligosacáridos.

Los quitinooligosacáridos (COS) son los productos despolimerizados de quitosano (Xu et al., 2008). Quitosanos con grados de polimerización inferior a 20 y un peso molecular medio inferior a 3900 Da son llamados COS. Durante la preparación de quitosanos, la viscosidad se usa generalmente para estimar el peso molecular. Hay un interés creciente en COS porque son más adecuados para algunas aplicaciones industriales debido a sus pesos moleculares bajos, viscosidad baja y longitudes de cadena cortas. Además de sus propiedades de solubilidad en agua, también se reportan COS que tienen excelentes propiedades biológicas: reducción del colesterol, antibacteriano, antitumoral y efectos de mejora inmunológica.

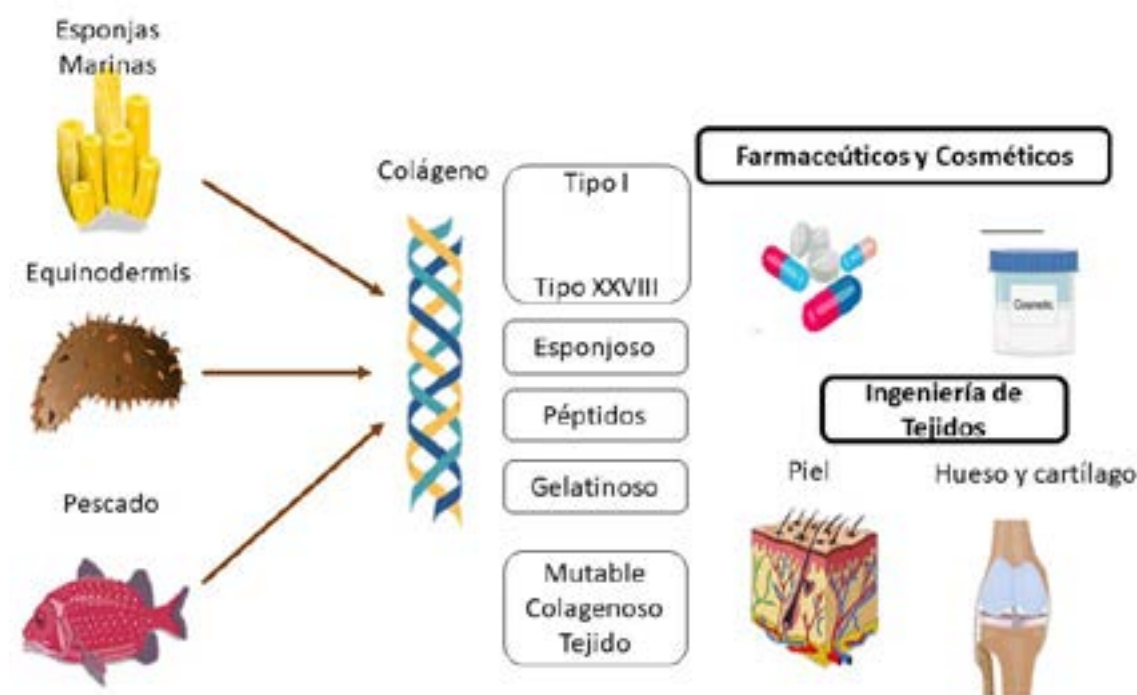
Colágeno

Los biopolímeros de colágeno pueden ser analizados mediante análisis físico-químicos, densitométricos y espectroscópicos para obtener sus principales características, visando su manipulación biotecnológica.

El colágeno extraído de los recursos pesqueros es un producto de alto valor añadido, con potencial uso en la industria alimentaria, biofarmacéutica y cosmética. Algunos factores hacen prometedor el uso del polímero de los recursos pesqueros, tales como: alta disponibilidad; mayor distancia ontogenética entre peces y humanos; ausencia de barreras socioculturales; y ausencia de toxicidad. El método de extracción del colágeno (soluble en ácido, soluble en pepsina, electrodiálisis, ultrasonido, precipitación isoelectrica) influirá directamente en sus propiedades. Así, este trabajo pretende dar una visión general de los métodos de extracción, técnicas de caracterización (solubilidad, potencial zeta,

viscosidad, termogravimetría, calorimetría diferencial de barrido, SDS-PAGE, densitometría, fuerza de gel, composición centesimal, color, aminograma, determinación de hidroxiprolina, difracción de rayos X, dicroísmo circular, espectroscopia ultravioleta, Raman y FTIR) y análisis de potencial con foco en fuentes acuícolas y pesqueras, a través de una recopilación de información científica que puede ser de utilidad para orientar a los profesionales de la biotecnología acuática, considerando que sus propiedades son similares al colágeno extraído de los mamíferos (Oliveira 2021).

Figura N°5: Fuentes, tipos y aplicaciones del colágeno



Fuente: Fassini (2021).

El material absorbente juega un papel cada vez más importante en la separación de agua y aceite debido a su alta eficiencia, rentabilidad y respeto por el medio ambiente. Aquí, matriz de fibra de colágeno derivada de biomasa funcionalizada con amino (definida como A-CFM) con cadenas de hidrocarburo de dodecilo se preparó como material adsorbente de separación de agua y aceite por in-situ copolimerización por injerto de metacrilato de 2-(dimetilamino)etilo (DMAEMA) y metacrilato de glicidilo (GMA).

Figura N°6: Fuentes, extracción y caracterización del colágeno

Fuente: Oliveira (2021).

El A-CFM posee porosidad favorable, tamaño de poro apropiado y excelente hidrofobicidad, que exhibe alta eficiencia de separación (~99,90 %) para emulsiones sin tensioactivos o emulsiones estabilizadas con tensioactivos, incluso después de tres ciclos. Además, la humectabilidad ajustable de A-CFM se puede lograr alterando el valor de pH, que no solo imparte un excelente rendimiento de reciclaje, sino que también mejora el rendimiento antiincrustante para A-CFM material absorbente. Además, el análisis del mecanismo de separación agua-aceite indica que la hidrofobicidad y la fuerza capilar, especialmente la interacción electrostática (atracción/repulsión electrostática), juegan un papel clave en emulsiones separadoras estabilizadas por tensioactivo iónico. Nuestros hallazgos amplían el conocimiento de la emulsión de aceite en agua separación, así como pavimentar una nueva forma de desarrollar materiales adsorbentes de alto rendimiento con buenas perspectivas de aplicación en la separación de emulsiones de agua y aceite.

Figura N°7: Fuentes naturales de colágeno



Fuente: Oliveira (2021).

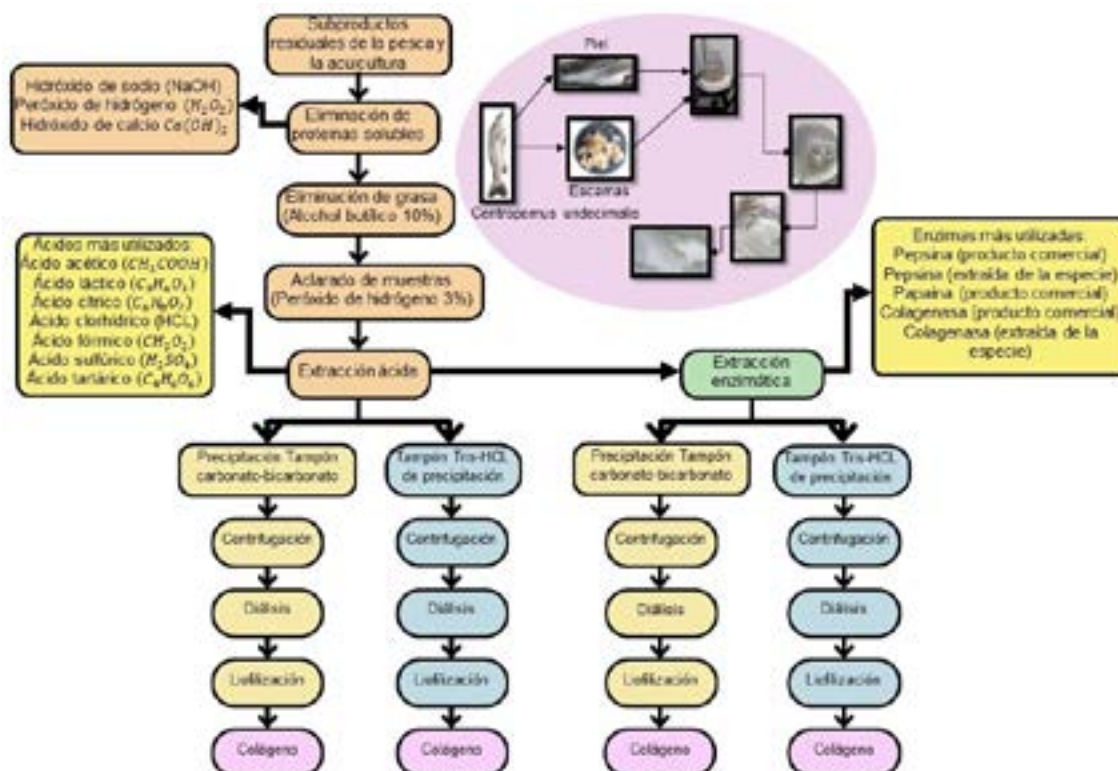
Figura N°8: Fuentes de colágeno de un pescado

Fuente: Oliveira (2021).

El colágeno es una proteína fibrosa blanca, opaca, no ramificada, sintetizada por fibroblastos animales que se encuentran ampliamente en tendones, ligamentos, cartílago, piel y otros tejidos conectivos. Tiene la función de apoyar órganos y proteger el músculo. Tiene abundantes fuentes, fácil extracción y purificación, antigenicidad débil y baja posibilidad de causar la respuesta inmune.

Es biodegradable y absorbible, y puede proporcionar apoyo para la unión celular, la migración y la proliferación, no tóxico y biocompatible. Los apósitos de colágeno tienen una fuerte absorción de agua y puede absorber una gran cantidad de exudado, reduciendo la pérdida de proteínas y electrolitos del exudado traumático y evitar deshidratación de la herida. Para aumentar la fuerza mecánica de los apósitos de colágeno, necesitan ser modificados. El agente de reticulación químico comúnmente usado es glutaraldehído, pero el rendimiento de los apósitos de colágeno debe mejorarse urgentemente debido a su toxicidad biológica propia y entrecruzada, así como la dificultad de controlar la dosificación.

Figura N°9: Extracción de colágeno de la piel del pescado

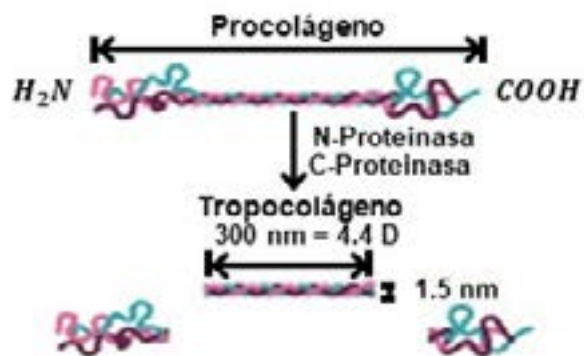


Fuente: Oliveira (2021).

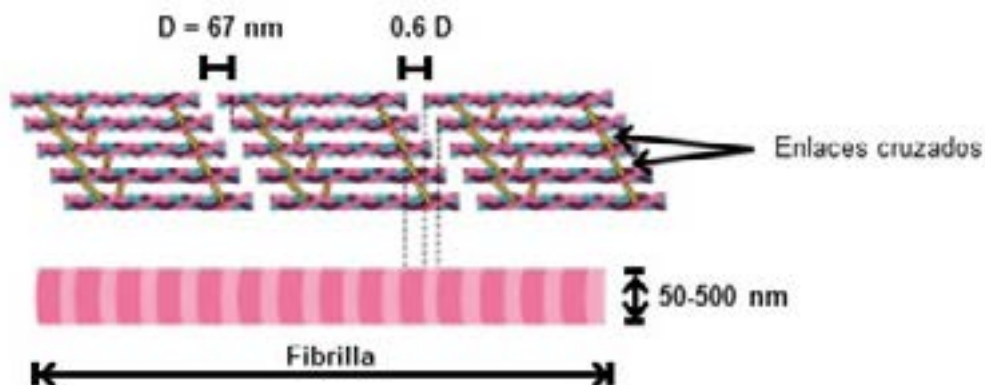
Si el producto de colágeno se mezcla con otros materiales poliméricos no degradables como el poliuretano y el nylon o materiales degradables como poliéster y ácido poliglutámico, etc. el rendimiento de los apósitos de colágeno se puede mejorar de manera efectiva. Sin embargo, los productos de degradación de algunos apósitos aumentarán la acidez de los tejidos circundantes, lo que resulta en una inflamación estéril, que pueden afectar sus propiedades biológicas.

Figura N°10: Estructura del colágeno

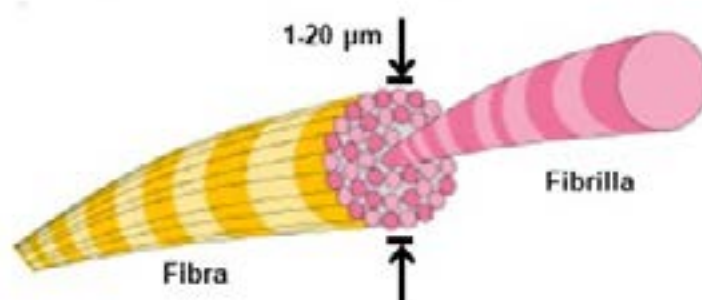
A. Formación de tropocolágeno



B. Montaje de tropocolágeno en una fibrilla

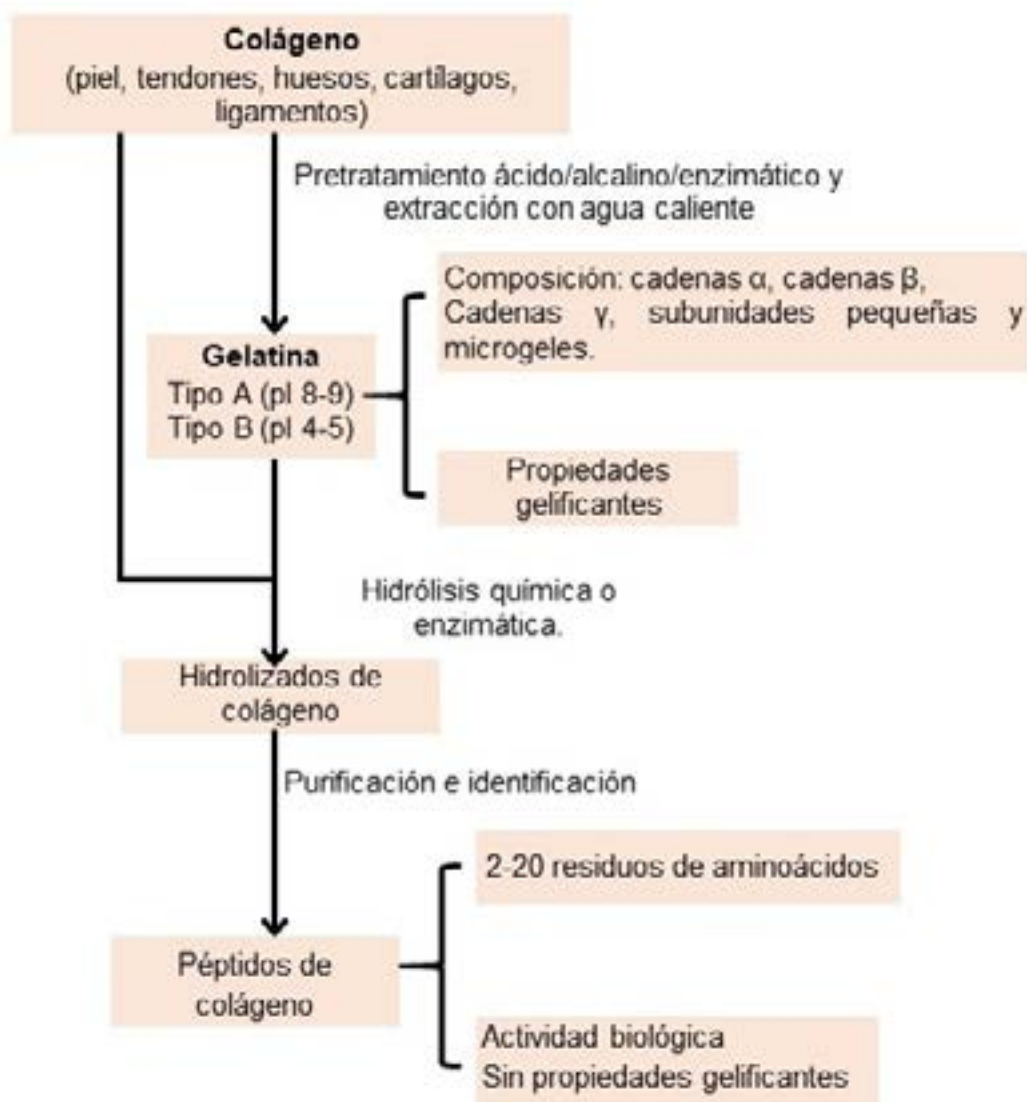


C. Las fibrillas de colágeno se agrupan en fibras.



Fuente: Peng (2022).

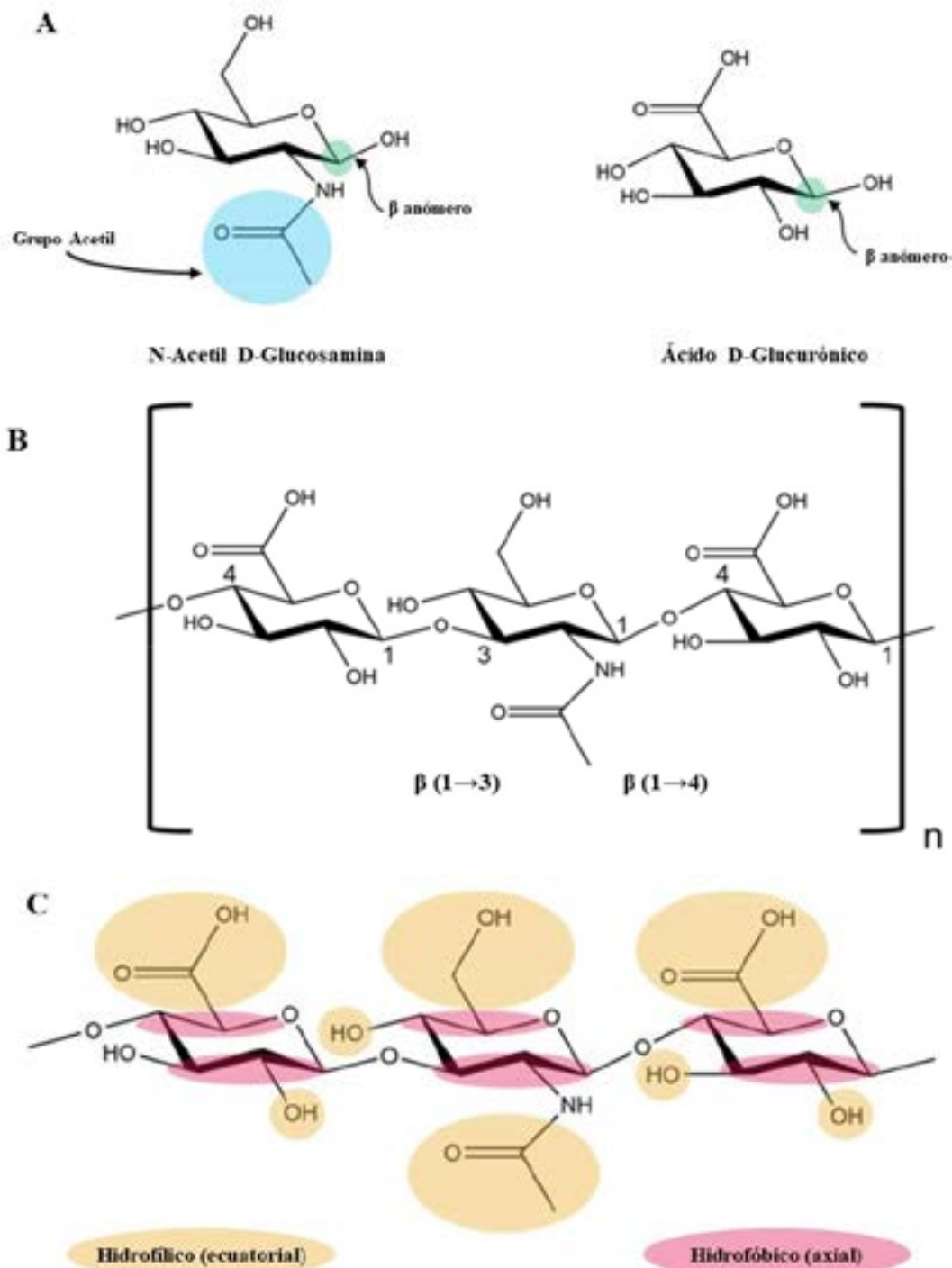
Además, la masa molecular de algunos de los apósitos modificados es difícil de controlar. Una masa molecular demasiado pequeña puede resultar en una falta de resistencia mecánica y demasiado grande puede afectar las propiedades hidrofílicas del material (Peng 2022).

Figura N°11: Proceso de obtención de colágeno y gelatina

Fuente: Elaboración propia

En el campo de la medicina regenerativa, la importancia de la bioimpresión 3D es evidente y no desdeñable. Sin embargo, La tecnología de bioimpresión 3D también requiere biotinta con un rendimiento excelente como material de soporte para fabricar un andamio bioinspirado multifuncional. La biotinta a base de colágeno se considera una tinta de bioimpresión 3D ideal por su excelente biocompatibilidad, capacidad de impresión controlable y propiedad de carga celular. Es un avance importante en medicina regenerativa con el progreso de la biotinta a base de colágeno, que fabrica andamios bioinspirados con diferentes funciones y se aplica en diferentes escenarios de reparación. Esta revisión resume las diferentes aplicaciones de biotinta a base de colágeno y los clasifica en tejido blando y tejido duro según la región de destino.

Figura N°12: Estructura química del HA y sus componentes. (A) Estructuras de D-glucurónico ácido y N-acetil-D-glucosamina. (B) Estructura química de la unidad repetitiva de disacárido de HA unida entre sí alternando β -(1 $\rightarrow$ 4) y Enlaces glucosídicos β -(1 $\rightarrow$ 3). (C) Restos hidrofílicos e hidrofóbicos, que impulsan la torsión de la molécula HA, están etiquetados para mostrar su ecuatorial y posiciones axiales, respectivamente.



Fuente: Elaboración propia

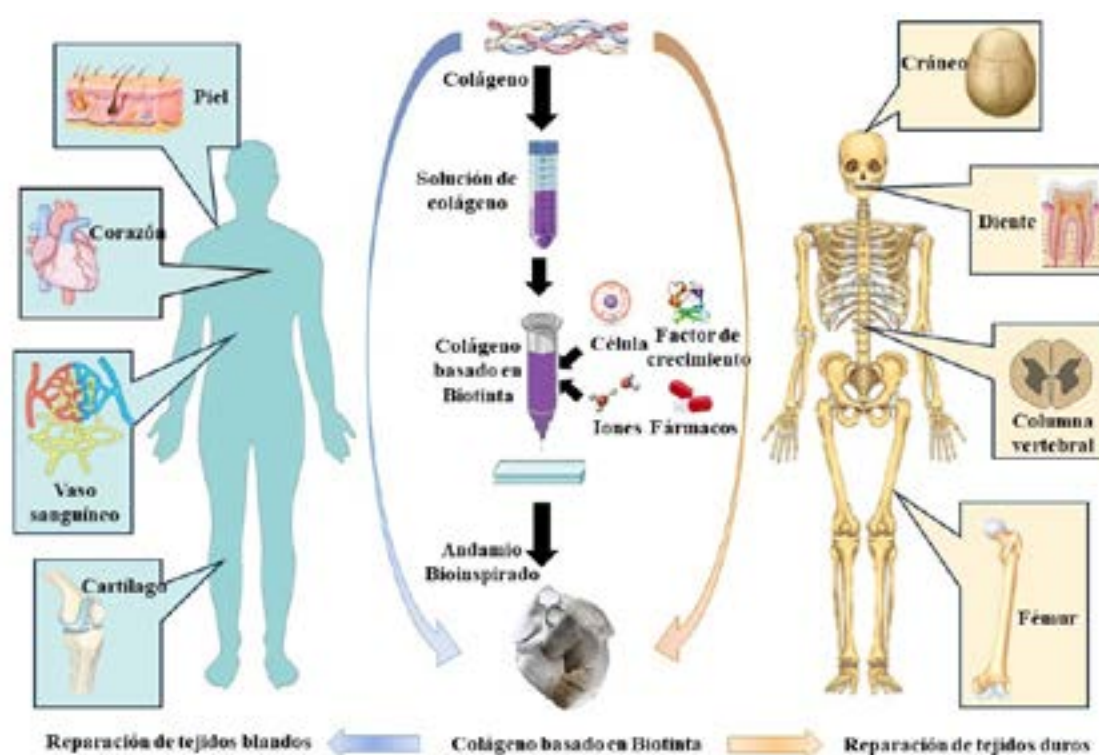
Figura N°13: Producción de péptidos de colágeno



Fuente: Hamed (2020).

Las aplicaciones de la región objetivo en los tejidos blandos incluyen la piel, el cartílago, el corazón y los vasos sanguíneos, mientras que en los tejidos duros incluyen el fémur, el cráneo, los dientes y la columna vertebral. Cuando se aplica biotinta a base de colágeno para reparar tejidos blandos, los requisitos de la función son mayores, mientras que las propiedades mecánicas deben mejorarse aún más en la reparación de duro tejido. Resumimos además las características de la biotinta a base de colágeno y señalamos las más importantes propiedades que deben ser consideradas en diferentes escenarios de reparación, que pueden servir de referencia para la preparación de biotintas con diferentes funciones. Finalmente, señalamos los principales retos a los que se enfrenta la biotinta a base de colágeno y prospectar las direcciones futuras de la investigación (Tang 2022).

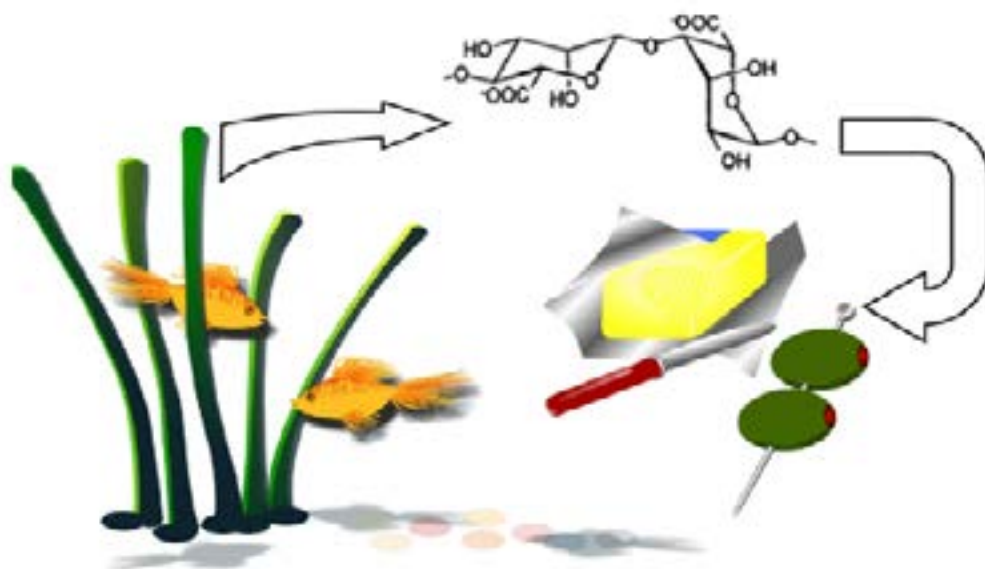
Figura N°14: El esquema de la fabricación de un andamio bioinspirado con biotinta a base de colágeno y su aplicación en la reparación de tejidos blandos y duros



Fuente: Li (2023).

Algas y Alginato

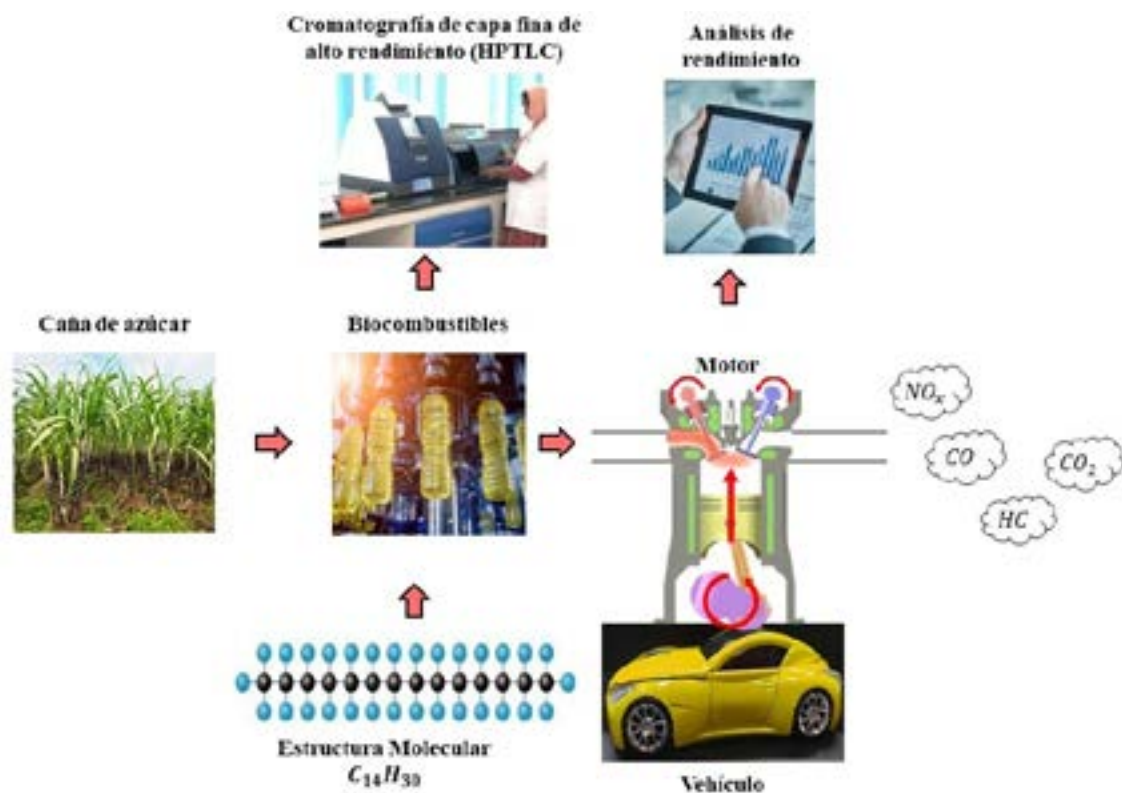
Uno no tan conocido es el caso de los alginatos, que provienen, como su nombre ya nos indica, de las algas. Estando la corteza terrestre cubierta en un 70% por agua, resulta lógico que uno de los polímeros naturales más abundantes provenga del océano. Descubiertos en 1881 por el químico británico E.C.C. Stanford, los alginatos son polisacáridos presentes en gran cantidad (aproximadamente 40% w/w) en las matrices celulares de las macroalgas marinas Phaeophyceae (ver Figura 1). Se encuentran también, aunque en menor proporción, en bacterias del género *Azotobacter* y *Pseudomonas*. ¿Qué es lo que tienen de atractivo los alginatos? A pesar de no ser uno de los grupos de polímeros más “mediáticos”, los podemos encontrar en nuestra vida diaria en productos como los helados de leche o los cosméticos, donde se aprovecha su capacidad gelificante. Incluso en el ámbito médico seguramente también nos hemos cruzado con este polímero si alguna vez nos han hecho un molde dental. Veamos cómo son estos polímeros polivalentes.

Figura N°15: Algas y alginatos y sus aplicaciones

Fuente: Ayarza (2014).

Los alginatos son polímeros lineales, y están formados por unidades de los ácidos β -D-manurónico (M) y α -L-gulurónico (G), Figura 2a, unidos por enlaces glicosídicos 1 $\rightarrow$ 4. Los alginatos no tienen unidades regulares repetitivas, por lo cual no basta conocer la composición monomérica para describir su estructura secuencial. Como se observa en la Figura 2b, existen diversas formas del enlace glicosídico según como sea la secuencia de unión entre monómeros. Esto genera 3 formas estructurales: el bloque GG, una estructura abultada o capsular; el bloque MM, una estructura tipo cinta plana; y el bloque MG, una estructura tipo escalera. El enlace glicosídico en un bloque MM se forma entre los carbonos ecuatoriales C-1 y C-4, mientras que en un bloque GG, se forma entre los carbonos axiales C-1 y C-4.2 El ratio M/G y la cantidad relativa de determinados bloques son factores determinantes en las propiedades del alginato.

Figura N°16: Resumen de las aplicaciones de la biomasa (alga) y proceso general

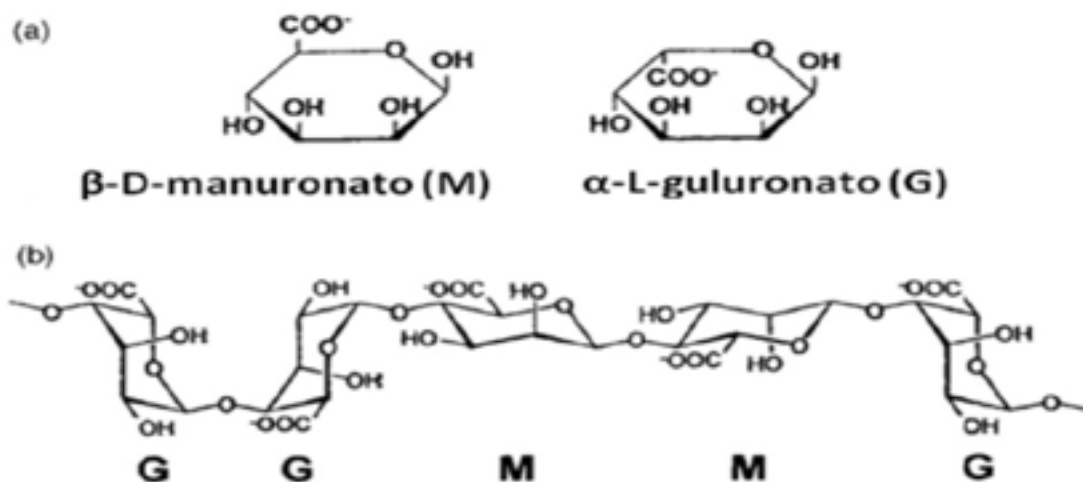


Fuente: Kartik. (2021).

¿Cómo se pueden obtener los alginatos?

El proceso de manufactura comienza en el mar, donde se cultiva y recolecta el alga. De entre las diversas especies de algas pardas, se extraen alginatos con diferentes propiedades, principalmente debido a la variación del ratio M/G y de la composición estructural. Las fuentes comerciales más comunes son las especies de algas *Ascophyllum*, *Durvillae*, *Ecklonia*, *Laminaria*, *Lessonia*, *Macrocystis*, *Sargassum* y *Turbinaria*. La especie *Macrocystis* se recolecta principalmente en la costa oeste de Norte América (México y Estado Unidos); la especie *Laminaria*, en el norte de Europa (Francia, Irlanda, Noruega, Escocia) y en el este asiático (China, Japón y Korea); la especie *Ascophyllum*, en Escocia e Irlanda; y las especies *Durvillae*, *Lessonia* y *Ecklonia*, en Australia y Chile. En el Perú, se vienen recolectando las especies *Macrocystis pyrifera*, *Lessonia trabeculata* y *Lessonia nigrescens* en la zona centro-sur del litoral, principalmente en la región Ica.

Figura N°17: Estructura del alginato: (a) monómeros constituyentes; (b) diversas formas estructurales en el polímero dependiendo de la secuencia adoptada por los monómeros



Fuente: Ayarza (2014).

Una vez recolectada el alga, esta puede usarse húmeda o seca. El alga húmeda se corta en pequeños pedazos, se trata con solución diluida de formol y puede almacenarse en tanques de concreto por varios meses. El alga seca generalmente se tritura y se puede almacenar por meses. Cuando va a ser usada, se la hidrata remojándola por varias horas. No obstante, algunos productores emplean el alga intacta. En general, la trituration es más ventajosa pues permite un manejo más sencillo a nivel de planta, e incrementa la superficie de reacción en los tratamientos posteriores.

El alginato en el alga se encuentra principalmente como la sal de calcio, la cual es insoluble en agua, y en mucha menor medida como sales de sodio, potasio, magnesio, estroncio y bario. En un pre-tratamiento (Figura 3a), se trata el alga con una solución de formol para remover los compuestos fenólicos que dan un color oscuro indeseable, y se remoja en HCl diluido por periodos cortos de tiempo para convertir el alginato de calcio a ácido algínico, según la reacción (1).

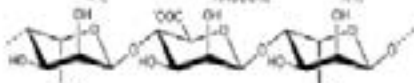
Tabla N°4: Las fuentes naturales más importantes de polisacáridos y alginatos

Fuente	Polímero Extraído	Polímero Inicial o Derivados	Propiedades Principales
Madera	Lignina	Alcalino-lignina, lignosulfonato (de papel al sulfito, proceso)	Arcilla defloculante Aditivo en fluidos de perforación
	Celulosa	Fibras: textil, papel, compuestos.	Sustrato fibroso.
		Derivados: metilcelulosa, carboximetilcelulosa...	Polímeros gelificantes y/o espesantes.
Frutas	Hemicelulosas Pectinas	Copolímero basado en unidades repetidas de ácido galacturónico con diferentes grados de metilación	Gelling polymer depending on the cations and temperature
Algas	Carragenanos (extraídos de algas rojas)	Copolímeros alternos sulfatados (formas l, k, i)	Polímero gelificante en función de los cationes y la temperatura.
	Alginatos (extraídos de algas pardas)	Copolímeros en bloque basados en unidades gulurónicas y manurónicas.	Polímero gelificante en presencia de contraiones divalentes.
Cereales	Almidón	Almidón catiónico	Retención de fibras y cargas en la industria papelera.
	Celulosa	Fibras: textil, papel, compuestos.	Sustrato fibroso.
		Derivados: metilcelulosa, carboximetilcelulosa...	Polímeros gelificantes y/o espesantes.

Fuente: Rinaudo (2008).

Tabla N°5: Representación esquemática de la estructura química, características principales y fuente de los polisacáridos utilizados en el estudio

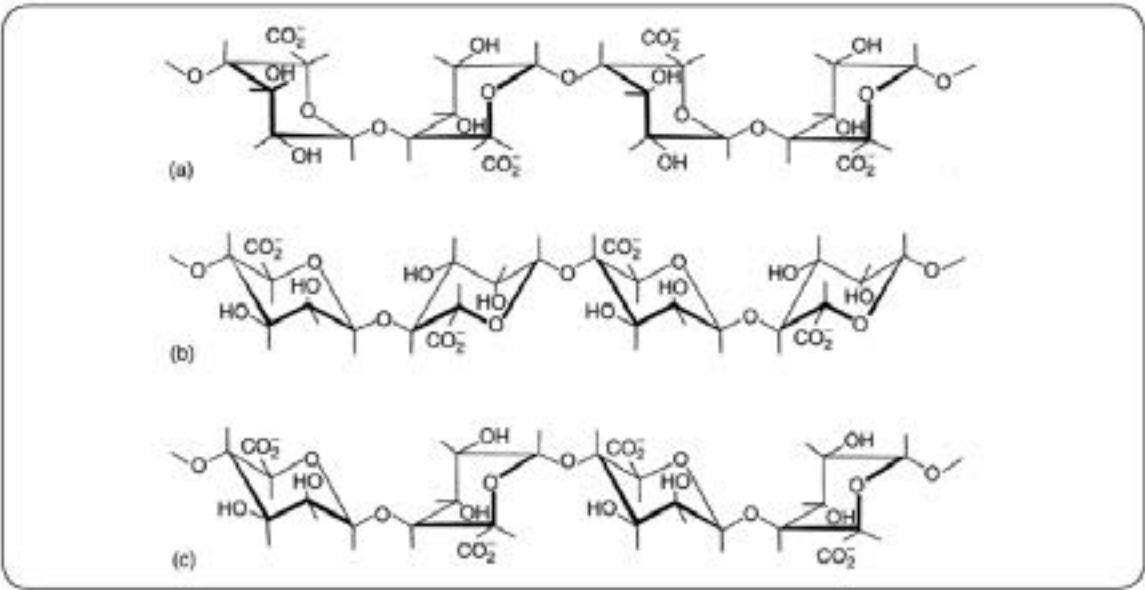
Table 1
Schematic representation of the chemical structure, major characteristics and source of the polysaccharides used in the study.

Polysaccharide	Chemical structure	Characteristics	Supplier
Chitosan chloride (Protasan™ UP Q. 213)		Mw 307 kDa ^a DA 83% ^b	Novamatrix - FMC Biopolymer (Norway)
Sodium alginate (Protanal® LF 10/60)		Mw 147 kDa ^c G-65-75% ^b	FMC Biopolymer (Norway)
Pectin sodium salt (Genu® pectin LM-102 AS)		Mw 96 kDa ^d DE 30% ^b DA 19% ^b	CPKelco (Denmark)

^a Jonassen et al. (2012).
^b Information given by the supplier.
^c Pistone et al. (2015).
^d Nguyen et al. (2011).

Fuente: Pistone (2017).

Figura N°18: Estructuras químicas de los bloques de ácido urónico implicados en la composición del alginato



Fuente: Rinaudo (2014).



La conversión no es total, pero busca remover la mayor cantidad de calcio sin degradar el alginato. El resultado del pre-tratamiento es un lodo de alga que se separa por medio de un filtro de tambor rotatorio. La extracción del alginato como su sal de sodio se realiza con un tratamiento alcalino con una solución de carbonato de sodio Na_2CO_3 , los detalles se muestran en la Figura 3b. En este paso compiten procesos de intercambio iónico y neutralización ácido-base:

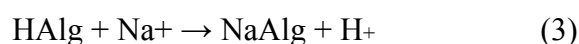
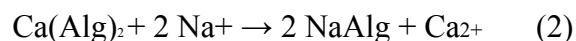


Figura N°19: Las diferentes etapas del proceso de extracción y purificación del alginato de sodio en base a la referencia 2.

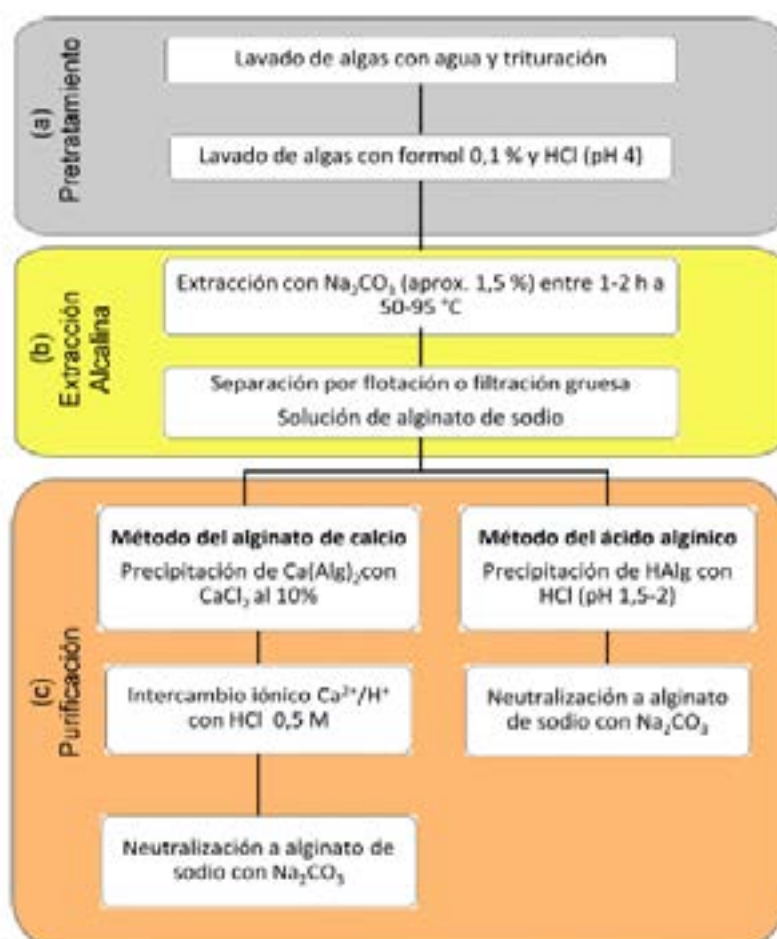


Figura 3. Las diferentes etapas del proceso de extracción y purificación del alginato de sodio en base a la referencia 2.

Fuente: Ayarza (2014)

Las condiciones de reacción afectan la viscosidad final del alginato. El alginato de sodio se disuelve formando una solución muy viscosa, mientras que la celulosa y otros compuestos del alga quedan en suspensión. Para separar los residuos insolubles primero es necesario diluir el extracto entre 4-6 veces su volumen con agua. Luego, se puede emplear la flotación, con ayuda de un floculante, o la filtración, con perlita o tierra diatomea.

Una vez que se tiene la solución de alginato de sodio, se pueden emplear dos métodos de purificación, como se muestra en la Figura 3c: i) el proceso del alginato de calcio y ii) el proceso del ácido alginico. En el primer método, la solución de alginato de sodio se añade a una solución de cloruro de calcio CaCl_2 , lo que da lugar a la obtención de fibras. Si se desea decolorar el alginato, este se puede tratar con una solución de hipoclorito de sodio. Luego, se reemplaza a los iones Ca^{2+} con H^+ por adición de ácido clorhídrico diluido, lo que da lugar al ácido alginico, que es también insoluble. Finalmente, se convierte el ácido alginico a alginato de sodio por neutralización con álcali en solución acuosa, formándose una pasta. En el segundo método, se precipita directamente el ácido alginico de la solución de alginato de sodio y se sigue el mismo procedimiento que en el caso anterior. La pasta de alginato de sodio resultante se pulveriza y se seca. En un método alternativo, la conversión a alginato de sodio se puede realizar con álcali en suspensión con un alcohol (metanol, etanol o 2-propanol). (Ayarza 2014)

Figura N°20: Visión general involucrada en las industrias de biopolímeros. Las fuentes de biomasa, métodos para procesar biomasa y tipos de biopolímeros.

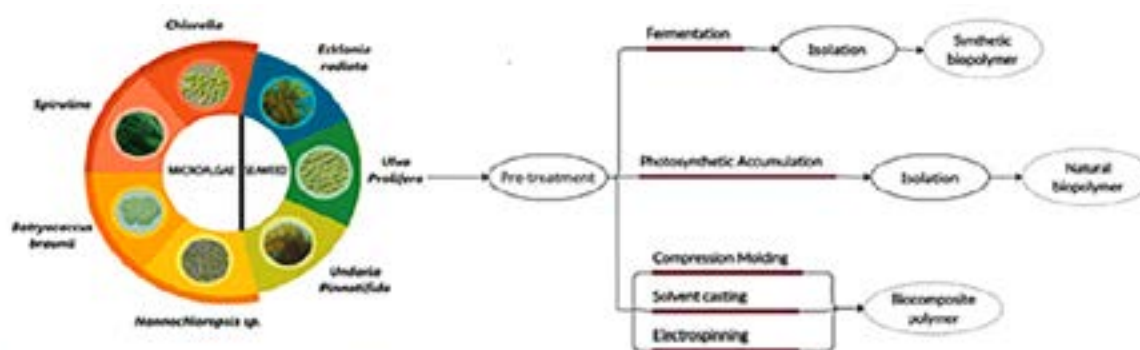


Fig. 1. The figure illustrates the overall view involved in biopolymer industries. The sources of biomass, methods to process biomass and types of biopolymer depicted.

Fuente: Kartik. (2021).

Una vez extraído el alginato, este debe ser caracterizado. Para ello se emplean diversas técnicas analíticas. Realizando una hidrólisis parcial con ácido y empleando la espectroscopía de resonancia magnética nuclear de alta resolución de ^1H y ^{13}C , uni- y bidimensional, se pueden determinar las frecuencias de las mónadas FG (fracción de unidades de guluronato), FM (fracción de unidades de manuronato), los dúos F_{GG} , F_{MG} , F_{GM} , F_{MM} , y las triadas F_{GGG} , F_{GGM} , F_{MGG} , F_{MGM} , F_{MMM} , F_{MMG} , F_{GMM} , F_{GMG} . Utilizando estas frecuencias se pueden determinar valores como la longitud promedio en número de los bloques- G (N_G), la longitud promedio en número de los bloques-G sin considerar los singuletes -

MGM- ($N_{G>1}$), y de forma equivalente, los valores N_M y $N_{M>1}$.

En general, se puede lograr una buena caracterización determinando F_G y $N_{G>1}$, lo que es importante pues el contenido de ácido gulurónico está relacionado directamente con las propiedades de gelificación del alginato, que son las propiedades más importantes desde el punto de vista de su aplicación. Adicionalmente, se ha reportado el uso de la espectroscopia infrarroja FT-IR como método alternativo para determinar la estructura secuencial.

Otro factor determinante en la caracterización del alginato es su masa molar promedio. Las mediciones de viscosidad intrínseca de un polímero se relacionan con su masa molecular promedio por medio de la ecuación de Mark-Houwink (4):

$$[\eta] = KM^\alpha \quad (4)$$

Donde $[\eta]$ es la viscosidad intrínseca, M es la masa molar promedio de viscosidad, y K y α son constantes para un sistema polímero/solvente en particular. Adicionalmente, se emplea la cromatografía de permeación en gel (GPC), con columnas de exclusión molecular por tamaño, para determinar la distribución de masas molares. En conjunto, la composición, estructura secuencial y masa molar determinan la utilidad del alginato para una determinada aplicación. (Ayarza 2014)

Propiedades y usos: los alginatos en la vida diaria

En general, las aplicaciones de los alginatos se relacionan con su hidrofiliidad, su capacidad de formar geles y su biocompatibilidad. Tres de sus derivados son de importancia comercial: el alginato de sodio, el alginato de calcio y el alginato de propilenglicol. No obstante, también se producen en bajas cantidades las sales de amonio, potasio, magnesio y trietanolamina. Sus presentaciones comerciales son, por lo general, en forma de polvo granulado de un color blanco a marrón amarillento. Los derivados del alginato son considerablemente estables y pueden durar por varios meses si se mantienen en un ambiente seco, fresco y sin exposición al sol.

Su capacidad de formar geles es quizá su propiedad más resaltante, y la más explotada en la industria. Los alginatos tienen gran afinidad por cationes multivalentes, principalmente debido al efecto quelato de los bloques poligulurónicos del polímero, con lo cual se pueden formar geles por entrecruzamiento iónico (ver Figura 4). Los geles formados son resistentes a la temperatura, es decir, no se descomponen ni pierden su forma; tal es así que se usan para hornear cremas. Existen, no obstante, otros métodos alternativos de gelificación que incluyen el entrecruzamiento químico, la reducción del pH para formar el gel del ácido algínico, y la interacción electrostática con polielectrolitos (i.e. polímeros cargados).

Extracción de alginatos (método de RINAUDO 2013)

Extracción de alginatos Las algas molidas (1 g) se suspenden en agua destilada (100 ml), y se añade una solución acuosa de HCl 0,1 N bajo fuerte agitación para obtener pH $\frac{1}{4}$ 3. La mezcla se agita durante 24 h, a temperatura ambiente temperatura. El sobrenadante se elimina por centrifugación. Los residuos de algas humedecidas se lavan con agua destilada y luego se suspende en 100 ml de agua destilada. Por adición de una solución acuosa de Na₂CO₃ 1 M y 0,5 g de EDTA, el pH de la suspensión pasa a pH 11. Las algas se agitan a 80°C durante 2 h. Después filtración sobre membranas porosas de 0,8 mm, la solución extraída se ha acidificado con HCl 6 N hasta pH $\frac{1}{4}$ 3. El precipitado formado se recoge por centrifugación y se suspende en 300 ml de agua destilada agua. Mediante la adición de una solución acuosa de NaOH 1 M, el pH de la suspensión se ajusta a pH 10. El alginato de sodio se ha precipitado con etanol en presencia de NaCl. este precipitado se lava con mezclas de etanol/agua con rendimiento creciente en etanol/agua desde 70% (v/v) hasta etanol absoluto; el precipitado se solubiliza en agua destilada, se concentra con un Rotavapor R-210 de Büchi antes de la liofilización (Rinaudo 2013).

Luego de obtener el alginato; se debe de caracterizar, para ello se determinan algunas propiedades aplicando las siguientes técnicas:

- Porcentaje de humedad
- Porcentaje de cenizas
- Porcentaje de nitrógeno
- Análisis químico por RMN
- Total hidrolisis de los alginatos.
- Viscosimetría por capilaridad
- Análisis de los geles de alginatos con iones calcio

Figura N°21: Diferentes métodos de extracción de polímeros naturales



Fuente: Saravanan (2022).

Alginatos y sus aplicaciones como absorbentes

Las paredes celulares de las algas marinas contienen polisacáridos que proporcionan a las algas su flexibilidad y ayudan a adaptarse a la variedad de movimientos de agua en los que crecen. También se hinchan en el agua y así conservan la hidratación. Estos polímeros, a menudo llamados ficocoloides, generalmente se extraen de las algas con agua a diferentes temperaturas y condiciones. Los tres principales polisacáridos comerciales son los agares (incluida la agarosa, un polisacárido neutro), alginatos (polisacáridos carboxílicos) y carragernano (polisacáridos sulfatados) y se utilizan principalmente por sus propiedades espesantes y gelificantes, dependiendo de las condiciones termodinámicas y de sus estructuras moleculares, así como se discute más adelante. Las algas rojas contienen principalmente agares y carrageninas, mientras que las algas pardas producen alginatos (Rinaudo 2008).

Las algas pardas contienen grandes cantidades de polisacáridos aniónicos en sus paredes celulares. Alginato, también llamado algínico ácido o algina, fue descubierto en 1880. La cantidad y calidad de los alginatos extraídos depende de las algas y en la temporada de cosecha. La producción total de alginatos, extraídos principalmente de las especies de los órdenes Laminariales y Fucales ronda las 40 000 toneladas anuales, de las cuales el 30 por ciento se utiliza en la industria alimentaria. Ellos pueden aislarse bajo diferentes formas iónicas y aplicarse en alimentos en el ácido (E400), sodio (E401), potasio (E402), amonio (E403) o forma de calcio (E404) (E es el código para aditivos alimentarios en el reglamento de la UE). (Rinaudo 2008).

Los alginatos son copolímeros de bloques lineales compuestos por ácido d-manurónico (M) enlazado en 1,4 con conformación de anillo $4C_1$ y -ácido l-gulurónico (G) con conformación $1C_4$, presente en proporciones variables y en su forma piranósica, estructura. Están formados por tres tipos de bloques: bloques M y G alternados, resistentes al hidrólisis ácida, la parte más flexible de la cadena, bloques de GG y de MM, con un DP 20. En relación a su estructura química, se demostró que las propiedades físicas de estos polímeros en medio acuoso dependen, no solo de la M/G relación, sino también de la distribución de las unidades M y G a lo largo de la cadena. Los bloques GG en los que un axial-axial el enlace está involucrado, son más rígidos que los bloques MM unidos diecuatorialmente; por lo tanto, la rigidez de la cadena, así como su formación de complejos de calcio, depende de la composición y distribución de las unidades M y G, así como lo discutido por Smidsrod. Los bloques G de más de 6 a 10 residuos cada uno forman uniones reticuladas estables (y geles) con contraiones divalentes (Ca, Ba, Sr), pero no con Mg, como también se encontró con pectinas con bajo grado de metilación. También se demostró que la viscosidad relativa aumenta rápidamente sobre una cantidad crítica de contraiones divalentes (con Ca, Ba, Sr, pero no con Mg) cuando las cadenas interactúan.

A pH bajo, los alginatos forman geles ácidos estabilizados por enlaces H. Los bloques G homopoliméricos forman las uniones y la estabilidad de los geles está determinada por el contenido relativo y la longitud de los bloques G. Para su caracterización, los alginatos deben ser previamente purificados y aislados bajo su forma de sodio. Espectroscopia de RMN (^1H y ^{13}C) es la técnica más poderosa para caracterizar la composición química y la microestructura de alginatos [46–49]. Los alginatos purificados, aislados bajo la forma de sal de sodio, también se caracterizaron por cromatografía de exclusión estérica (SEC) con tres detectores en línea. Para productos comerciales, los pesos moleculares puede oscilar entre 32 000 y 400 000. Otro medio de caracterización es su viscosidad intrínseca utilizando el Relación Mark-Houwink.

Las dimensiones de las cadenas de alginato (radio de giro y viscosidad intrínseca) en soluciones acuosas dependen de la concentración de sal externa, estando su expansión directamente relacionada con el rendimiento espesante del polímero. Parece, sin embargo, que la expansión de polisacáridos, incluso en exceso de sal externa, es mayor que la de una aleatoria bobina en ausencia de repulsión electrostática, debido al carácter semirrígido generalmente asociado con este tipo de polímeros. La extensión relativa de los tres tipos de bloques en alginatos aumenta en el siguiente orden.

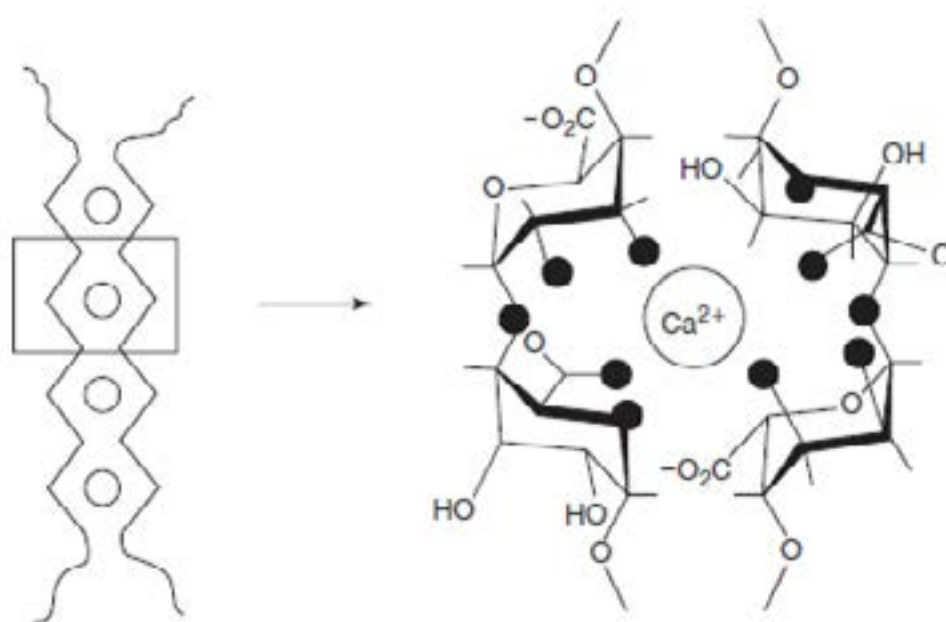
Las propiedades técnicas más importantes de los alginatos son su carácter espesante (aumento de la viscosidad del disolvente, después de la disolución), su aptitud de intercambio iónico y su capacidad de formación de gel en presencia de multivalente contraiones. Estas características son consecuencia directa del hecho de que los alginatos son polielectrolitos y siguen, por tanto, el comportamiento habitual de los polímeros cargados. Los alginatos, en su forma de sal monovalente, son solubles en agua independientemente de la temperatura y sus propiedades iónicas (interacciones electrostáticas de corto y largo alcance), así como la conformación y el peso molecular, son factores importantes que controlan su comportamiento reológico. La viscosidad de sus soluciones acuosas dependen de su concentración, peso molecular y concentración de sal externa (porque del efecto de apantallamiento de las interacciones electrostáticas). La viscosidad de las soluciones de alginato es casi constante entre pH 6 y 8 pero, en concentraciones moderadas, aumenta por debajo de pH 4,5 y alcanza un máximo alrededor de 3-3,5 y luego disminuye (el ácido algínico forma geles). Este comportamiento surge del hecho de que las atracciones del enlace H dominan sobre repulsiones electrostáticas, como se observó recientemente con hialuronano. En soluciones diluidas, la viscosidad disminuye. cuando el pH disminuye desde pH 6 y en el rango de pH 1–4, el ácido algínico se hidroliza. Estas soluciones se consideran ser estable en el rango de pH 5-10. El pK intrínseco del ácido algínico es de aproximadamente 3, como es el caso de muchos ácidos poliurónicos.

Otra característica de los alginatos, además de sus propiedades gelificantes y estabilizantes, es su capacidad para retener agua. Debido a su estructura lineal y alto peso molecular, los alginatos también forman películas fuertes y buenas fibras en estado sólido. El mecanismo de gelificación está relacionado con la estructura química de estos polímeros. Primero, propiedades electrostáticas son importantes para las interacciones selectivas con contraiones divalentes. Se forma una interacción

cooperativa específica de Ca en bloques G, que es la base de las zonas de unión y el entrecruzamiento de una red iónica, tan pronto como el grado de polimerización es mayor que 20; esta interacción no se observa para M bloques de unidades.

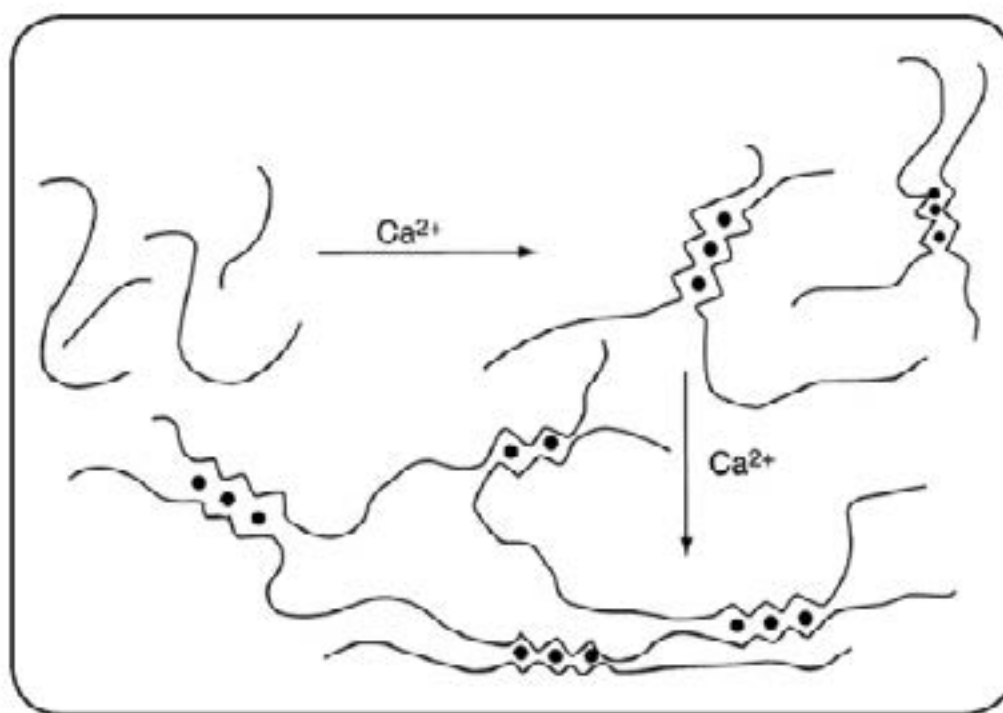
La conformación de polisacáridos ácidos y sus interacciones con los iones de calcio fue examinada por molecular simulación, y los autores demostraron la existencia de unión específica de calcio con poli- α -D-glucuronato. El mecanismo de formación de complejos involucra interacciones de calcio con diferentes átomos de oxígeno de dos unidades de ácido gulurónico adyacentes y con dos unidades entre cadenas, como se visualiza en el modelo de caja de huevos. El mecanismo de gelificación es un proceso de dos pasos: el primer paso es la formación de un dímero, seguido de la precipitación de pequeñas cadenas, o gelificación para las largas formadas con diferentes tipos de bloques.

Figura N°22: Interacción específica del ion calcio con el bloque de caja α -D-glucurónico. Los círculos oscuros representan los átomos de oxígeno involucrados en la coordinación del ion calcio



Fuente: Rinaudo (2008).

Figura N°23: Entrecruzamiento esquemático de alginato en presencia de contraiones de calcio completos con guluronic bloques



Fuente: Rinaudo (2014).

Las propiedades de los geles resultantes dependen de las características moleculares de los alginatos; la estabilidad de los geles y sus propiedades físicas dependen directamente de su contenido de G y de la longitud de sus bloques de G. Está despejado que la rigidez de los geles aumenta cuando aumenta el contenido de G y la longitud de los bloques de G. La muestra es que la fuerza del gel aumenta para una estructura molar dada cuando el peso molecular aumenta hasta un límite alrededor de $M \times 10^5$, un comportamiento similar al de la α -carragenina.

Los alginatos tienen interesantes propiedades de intercambio iónico: la mayoría de los contraiones monovalentes (excepto Ag^+) forman sales de alginato, mientras que los cationes divalentes y multivalentes (excepto Mg^{2+}) forman geles o precipitados. La afinidad se encontró que sigue el orden. La eficiencia de un ion divalente como precipitante para el alginato depende, no solo de su afinidad por el alginato, sino también de la cantidad de iones que deben unirse al alginato para la formación del gel. Esta secuencia no es exactamente la misma que el dado anteriormente.

Los alginatos purificados se producen bajo diferentes formas de sal: Na, K, NH_4^+ , Ca y/o derivado de propilenglicol como aditivos para espesar sopas y jaleas. Se utilizan como preparados antiácidos como Gaviscon[®], en la fabricación de moldes materiales en odontología en presencia de una sal de calcio de liberación lenta para controlar el retraso de la gelificación. Alginatos en forma de fibras o películas se comercializan como materiales hemostáticos y apósitos para heridas, como AlgiDERM[®] o Sorbsan[®] hecho de fibras de alginato de calcio purificado estéril. Los geles a base

de calcio a menudo se usan en forma de perlas como inmovilización. matrices para células animales o protoplastos vegetales. Finalmente, los complejos de polielectrolitos se usan a menudo en biomédica. aplicaciones; por lo tanto, las perlas de quitosano-alginato se evaluaron para la ingeniería de tejidos y el vendaje de heridas.

Los alginatos tienen diversas aplicaciones en la industria y, aunque no sea evidente, nos encontramos con ellos frecuentemente: La industria textil emplea los alginatos como agentes espesantes en pastas para teñir textiles. Su gran aplicabilidad en esta industria es debida a que el alginato tiene afinidad por la celulosa y no reacciona con los colorantes, como sí lo hace el almidón (Ayarza 2014)

Figura N°24: Diagrama del proceso de gelificación iónica (a) solución de alginato de sodio, con las secuencias poligulurónicas representadas como sierras; (b) efecto quelato de las secuencias poligulurónicas sobre los iones Ca^{2+} causan el entrecruzamiento y, por ende, la gelificación.

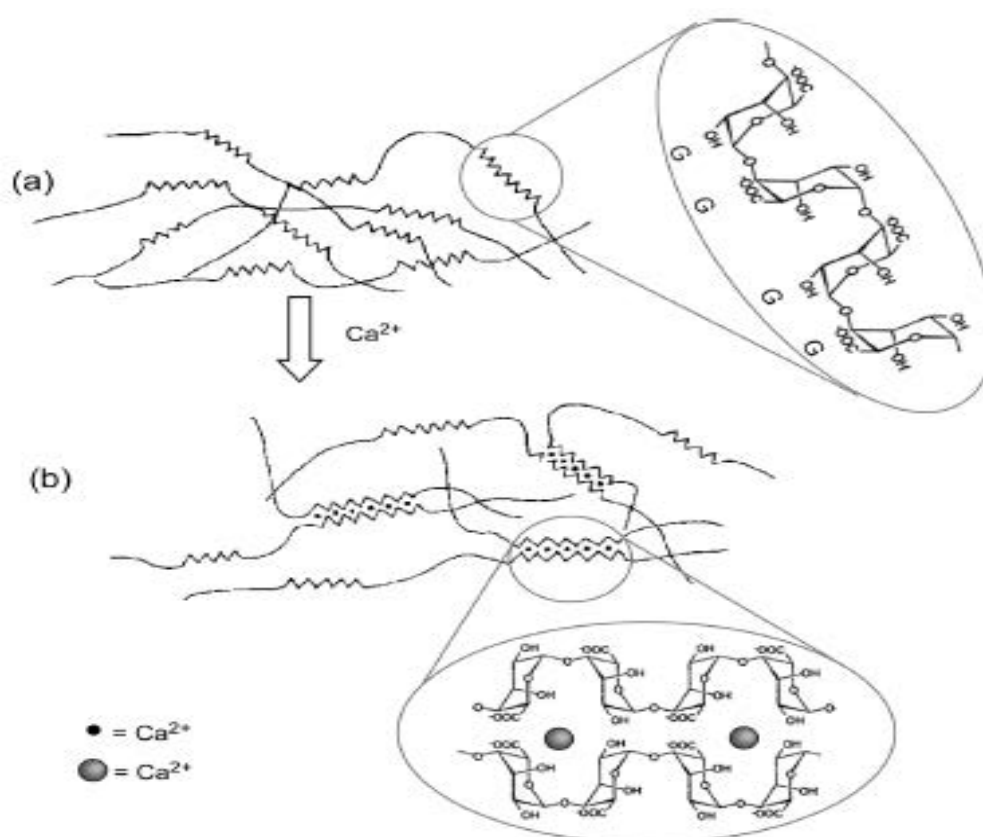


Figura 4. Diagrama del proceso de gelificación iónica (a) solución de alginato de sodio, con las secuencias poligulurónicas representadas como sierras; (b) efecto quelato de las secuencias poligulurónicas sobre los iones Ca^{2+} causan el entrecruzamiento y, por ende, la gelificación. Basado en la referencia 2.

Fuente: Ayarza (2014)

En la industria alimentaria, el alginato se añade en pequeñas cantidades como agente espesante o estabilizante en salsas, mayonesas, postres horneados, helados, productos lácteos en general, etc. Suelen aparecer en muchos alimentos codificados con los números SIN, desde el SIN-400 (ácido algínico) al SIN-405 (alginato de propilenglicol).⁸ En alimentos con pH ligeramente básico o neutro se emplea el alginato de sodio (SIN-401), mientras que aquellos con pH ligeramente ácido, se emplea el alginato de propilenglicol pues este es más estable en esas condiciones de pH. En la actualidad,

el alginato ha tomado gran cabida en la cocina debido a sus interesantes propiedades de gelificación y biocompatibilidad, particularmente en el área de cocina molecular. De hecho, se pueden formar gelatinas comestibles de alginato de calcio con variados ingredientes (ver Cuadro 1: del relleno de olivas al Cuba Libre molecular).

El alginato también tiene aplicaciones biotecnológicas como inmovilizador de agentes catalíticos para síntesis química, e.g. catalizadores organometálicos o enzimas, o incluso células vivas. Por ejemplo, se usa en la conversión de glucosa a fructosa, en la producción de penicilinas y en la conversión de almidón a etanol en la industria cervecera, entre otras (Ayarza 2014).

En la medicina y la industria farmacéutica, las aplicaciones son variadas. Fibras de alginato de calcio, de considerable fuerza, son usadas por sus propiedades antibacterianas y hemostáticas. Además, son fácilmente absorbibles por el cuerpo humano, o se pueden retirar aplicando solución salina de sodio. El ácido algínico en polvo se añade a comida dietética, pues en presencia de agua se hincha y da una sensación de “lleno”. También se añade en algunas pastillas para el reflujo gástrico. Los odontólogos emplean alginato de calcio para hacer moldes dentales. Algunas medicinas son encapsuladas en alginato ya que este permite una liberación paulatina y controlada.

Como se ve, el alginato es un polímero natural abundante en muchas partes del mundo, y también en el Perú. Posee propiedades interesantes y variadas posibilidades de aplicación.

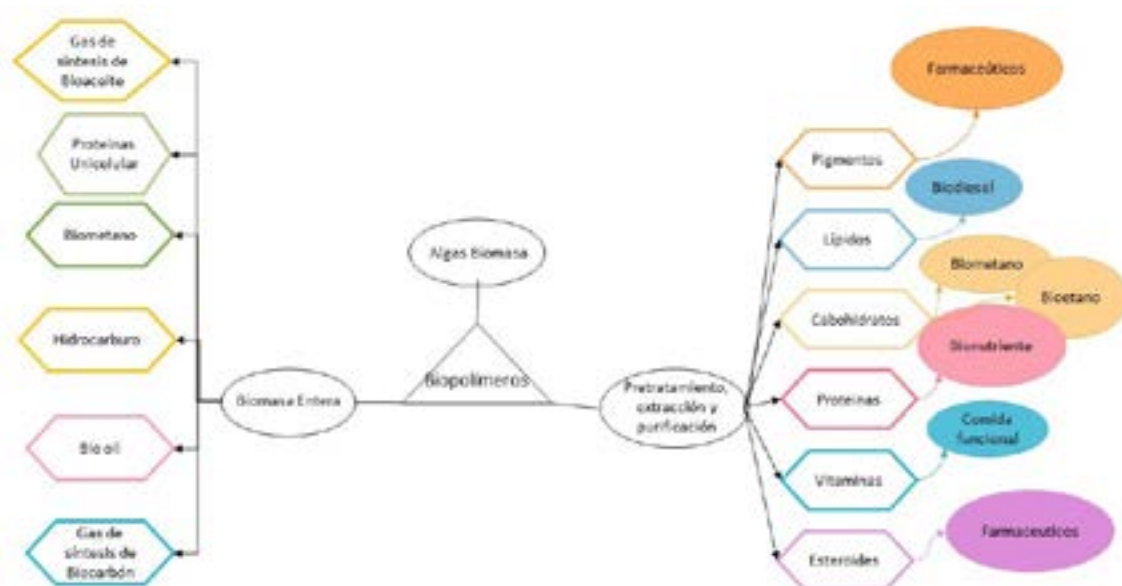
La piel de alginato y los apósitos para heridas están hechos de un alginato insoluble. Las principales materias primas son el carburo de sodio metálico, celulosa y alginato de calcio, que se caracterizan por una alta higroscopicidad, propiedades pegajosas y hemostáticas, suave y fácil de plegado, haciéndolos rellenos ideales y han sido ampliamente utilizados en el postoperatorio de heridas que necesitan promover la hemostasia y en crónicas heridas con alto exudado. Los apósitos de alginato actualmente en el mercado se pueden dividir en dos categorías principales, a saber, apósitos para superficies y rellenos de heridas. Cuando el apósito está en contacto con la superficie de la herida, convierte el alginato de calcio insoluble en sodio soluble alginato, a través del intercambio entre iones que puede absorber el equivalente de exudado para duplicar su propio peso, que es de 5 a 7 veces el de una gasa ordinaria, manteniendo un entorno de curación húmedo para la herida, mientras libera iones de calcio en la herida, induciendo la activación plaquetaria y acelerando la cicatrización de heridas. El alginato de calcio también absorbe bacterias, evitando que entren en la herida y activa los macrófagos para defenderse de la invasión de microorganismos patógenos. El vendaje en sí tiene una apariencia de pus que es fácil de confundir por la infección de la herida, por lo que es importante informar al paciente de las propiedades del apósito antes de su uso. Si no hay suficiente exudado en la herida para convertir completamente todo el alginato de calcio, se formará una costra dura en la superficie de la herida, lo que puede provocar una nueva lesión cuando se cambia el vendaje, por lo que está especialmente indicado para pacientes crónicos con heridas con mucho exudado como escaras y úlceras. (Peng 2022).

Preparación y caracterización de microesferas de alginato-Ca

La preparación y caracterización de microesferas de alginato de Ca obtenidas por un nuevo procedimiento a partir de ácido algínico, (Fundueanu 1998), tratados con un exceso de NaOH y posteriormente con una solución muy concentrada de CaCl_2 . Las partículas producidas tienen una forma esférica con un diámetro promedio de 350 mm. Las partículas muestran una densidad relativa y estructura interna homogénea en comparación con las microcápsulas de alginato reportadas previamente (la densidad aparente siendo 0.47 g:cm³), en consecuencia, la matriz de partículas se caracteriza por una alta densidad de grupos carboxílicos cargados.

Las partículas producidas con un tiempo de contacto de 1 h mostraron un grado de reticulación del 54%. Las microesferas tienen una buena estabilidad y, a pesar de un grado de hinchamiento muy bajo, tienen una buena recuperación de disolventes y una excelente unión iónica, capacidad de las drogas catiónicas. Después de la preparación, las perlas se cargaron mediante complejación iónica con un antitumoral tetramidina aromática. Además, se ha estudiado la liberación in vitro del fármaco (Fundueanu 1998).

Figura N°25: La figura anterior ilustra el árbol de aplicaciones de los biopolímeros obtenidos a partir de biomasa de algas



Fuente: Kartik. (2021).

Pectinas

Las pectinas se encuentran en la laminilla media y en las paredes celulares primarias de los tejidos vegetales y consisten principalmente en enlaces 1,4 - Unidades d -galacturónicas o sus ésteres metílicos con algunas interrupciones por la región ramnogalacturonana que retuerce la columna vertebral poligalacturónica lineal [85]. También contienen cadenas ramificadas compuestas de azúcares neutros como galactosa o arabinosa. Estos azúcares neutros representan del 10 al 15 por ciento del peso seco péctico y se concentran en bloques (llamada la región pilosa). Las pectinas se extraen principalmente de marcas de manzana y cáscaras de cítricos.

Las pectinas con diferentes grados de esterificación (DE) representan alrededor del 70% de todas las estructuras naturales, dependiendo de la edad de la fuente y de la presencia de enzimas (causando una distribución aleatoria o por bloques de carboxílicos libres); grupos en relación con la naturaleza de la enzima); si DE 50% son insolubilizados por asociación de calcio en la planta y la extracción impondrá el uso de agentes quelantes, como el oxalato de sodio. Dos categorías de estas pectinas son reconocidas: Las pectinas HM (alto metoxilo; DE 50%) forman geles en condiciones ácidas y en presencia de sacarosa para disminuir la actividad del agua. La gelificación se basa en la asociación de enlaces H y es termorreversible, pectinas LM (bajo metoxilo; DE 50%) forman geles en presencia de iones de calcio.

Las pectinas HM se pueden extraer con agua, ácidos minerales o bases. Estas diferencias se pueden encontrar, donde el coeficiente de actividad del calcio se determina en pectinas con diferente DE (distribución aleatoria de los carboxílicos grupos). La agregación de cadenas en el régimen diluido ocurre cuando es DE 50%.

Las pectinas LM se inmovilizan in situ a través de iones metálicos y necesitan un agente secuestrante para desplazar los contraiones. Se compararon diferentes tratamientos entre remolacha azucarera y pulpa de patata. Antes de la extracción de pectina, es necesario un pretratamiento del material vegetal para inactivar las enzimas (agua a 85°C, 20 min). Las pectinas HM naturalmente se encuentran en la pulpa de remolacha azucarera y se extrajeron en condiciones alcalinas (NaOH 50 mM, pH 12) y se precipitaron con etanol después de la neutralización a pH 6,5–7. Por el contrario, para la pulpa de patata que contiene una pectina LM, la extracción se realizó en condiciones ácidas (pH 3,5 en presencia de 0,75% de hexametáfosfato, 75°C, 1h). Las pectinas se precipitaron a pH 2 con HCl. El precipitado se redispersó en agua con NaOH hasta pH 6,5–7 y reprecipitado con etanol. También se extrajo pulpa de patata en condiciones alcalinas con hexametáfosfato, precipitado a pH 2, redispersado en agua a pH 6,5–7 y precipitado con etanol. Las pectinas LM obtenidas en condiciones alcalinas tuvo una mayor capacidad gelificante debido a la desesterificación y desacetilación parcial.

El tratamiento alcalino también tiene un papel fundamental en la desesterificación y produce una hidrólisis aleatoria del grupo éster. Para ambas fuentes se obtuvieron pectinas con buenas propiedades gelificantes en presencia de iones de calcio.

La interacción con el calcio es muy cooperativa debido a la estereoquímica de la galacturónica monomérica ligada a 1,4. unidades, lo que lleva a la formación de una cavidad polar que puede ser ocupada por calcio o cationes relacionados. El mecanismo de interacción se describe mediante el modelo de caja de huevo ya discutido anteriormente para alginatos (ver Fig. 24.7). Se investigó una serie de oligómeros de ácido galacturónico para probar la concentración mínima de grupos carboxílicos necesario para obtener una unión estable. Un proceso de dos pasos conduce a la gelificación: primero, se produce una formación de dímero para DP 10 (o 5 Ca^{2+}), seguido de agregación formando las zonas de unión [53]. La influencia de la configuración del ácido urónico fue investigado por Kohn [54], quien mostró que ocurren interacciones específicas de Ca^{2+} con l-gulurónico y unidades de ácido d-galacturónico, pero no con equivalentes de ácido d-manurónico. La capacidad de gelificación se puede determinar a partir de la dependencia de la viscosidad o la dispersión de la luz en la concentración de contraiones añadidos. A una concentración de polímero dada, la cantidad crítica de cationes en el punto de gel es directamente relacionado con el grado de esterificación, pero también con la distribución de los grupos carboxilo a lo largo de la cadena.

Esto se muestra con el mismo DE promedio, pero una con una distribución en bloques de grupos carboxílicos (a) y el otro se muestra una distribución aleatoria (b). También se demostró que los contraiones divalentes forman geles con la secuencia de afinidad Ba Sr Ca, pero Mg no forma geles ni dímeros. Esta asociación fue investigada por conductimetría, a partir de la cual el coeficiente de transporte (f , que está cerca del coeficiente de actividad) de los contraiones divalentes se determinó en soluciones diluidas, donde los valores experimentales se comparan con el transporte teórico coeficientes calculados a partir de la teoría de Manning. Estos datos explican, sobre la base del parámetro de carga, por qué, en presencia de Mg, la pectina permanece como una sola cadena, mientras que con Ba y Sr, los valores son mucho más bajos, especialmente cuando DE 50 por ciento, lo que indica la formación de dímeros con alguna agregación adicional. Como se mencionó anteriormente, las pectinas LM forman complejos de polielectrolitos con quitosano, que se concibieron como materiales de encapsulación para aceite de hígado de tiburón (Rinaudo 2008).

La obtención de pectinas de residuos de la agroindustria ha tomado gran relevancia gracias a que permite recuperar residuos que se consideran basura y los cuales pueden ser aprovechados como posible potencial de materia prima en procesos industriales. En el estudio de Ferreira, (2007) se evidencia la obtención de pectinas provenientes de residuos industrializados de frutas como piña, naranja y mango; el producto que se consiguió fue de buena calidad para el uso industrial. En el caso de la piña donde se logró aprovechar el 40% de residuos fibrosos y un 60% de residuos que eran considerados como basura para la extracción de pectina, la cual puede ser aprovechada en fabricación de alimentos, medicamentos; y aun después de su extracción este residuo puede convertirse nuevamente en materia prima para la producción de otros alimentos como concentrado para animales. El aprovechamiento y uso racional de estos desechos industriales, contribuye en

el cuidado y preservación del medio ambiente; dado que se aprovecha al máximo los productos y subproductos de la agroindustria, disminuyendo la cantidad de residuos que son liberados en el medio para su degradación.

En otras industrias se encuentra la aplicación en el templado del acero, recubrimiento de láminas de aluminio, emulgente para diversos aceites, papel celofán y cintas de adorno (Estrada, 1998). En la producción de plásticos también se ha utilizado, así como en la fabricación de productos espumantes, como agente de aglutinantes y de clarificación, y como material para la absorción de contaminantes de afluentes con industriales líquidos (Chasquibol-Silva et al., 2008); la utilización de pectinas y su potencial es muy amplio y variado en todas las industrias lo que demuestra la gran importancia y valor comercial. (Rubiano et al., 2022)

Actividad:

Complete el espacio en blanco:

Las pectinas conforman un grado _____ de polisacáridos ácidos de origen vegetal.

Las pectinas se usan como gelificante en jaleas y mermeladas, como espesante, emulsificante y estabilizante en productos lácteos, margarinas, mayonesa y salsas; o como sustituto de la grasa en confitería; también como agente viscosante en bebidas, agente _____ en helados y postres fríos, y en soluciones para recubrir salchichas y carnes enlatadas.

El alto consumo de fibra dietaria como la pectina favorece la disminución de colesterol y glucosa en la sangre; pues esta reduce la velocidad de absorción de _____, aumenta la sensibilidad a la insulina, e incrementa la saciedad, lo que contribuye en la reducción del consumo total de energía (Martínez et al., 2011; Theuwissen et al., 2008) También posee propiedades anticancerígenas, en caso de cánceres como los de colon, próstata, mama y pulmón (Cho et al., 2012; Eliaz & Raz, 2019).

Las pectinas son un conjunto de _____ los cuales son de gran importancia para la industria alimenticia como en la farmacéutica por sus propiedades fisicoquímicas que ayudan a dar espesor a los alimentos procesados y beneficiar la salud humana.

Respuestas:

1. heterogéneo
2. estabilizante
3. micronutrientes
4. polisacáridos

Referencias Bibliográficas

- Ahmed M, Kumar A, Patel R. (2020). Collagen extraction and recent biological activities of collagen peptides derived from sea-food waste: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 18 (2020) 100315
- Alam R, Shahid A, Alimuzzaman S, Nabi A. (2022). Sources, extractions and applications of bio-maker collagen—A review. *Biomedical Engineering Advances* 4 (2022) 100064
- Ayarza J. (2014). Los alginatos: 20000 usos de las algas submarinas, *Revista de Química PUCP*, 2014, vol. 28, nº 1-2
- Fassini D, Wilkie L, Pozzolini M, et. al. (2021). Diverse and Productive Source of Biopolymer Inspiration: Marine Collagens. *Biomacromolecules* 2021,
- Gupta I, Chewoo L, Bhatia R, Settia H. (2022). Biopolymers: Implications and application in the food industry *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 46 (2022) 102534
- Hamed I, Ozogul F, Regenstein J. (2016). Review Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review. *Trends in Food Science & Technology* 48, 40-50.
- Kartik A, Akhil D, et al. (2021). A critical review on production of biopolymers from algae biomass and their applications *Bioresource Technology* 329 (2021) 124868
- Li Z, Ruan C, Niu X. (2023). Collagen-based bioinks for regenerative medicine: Fabrication, application and prospective. *Medicine in Novel Technology and Devices* 17 (2023) 100211
- Mehariya S, Piohn M, Jablonski P, Stage S. (2023). Biopolymer production from biomass produced by Nordic microalgae grown in wastewater. *Bioresource Technology* 376 (2023) 128901.
- Oliveira V, Dias C, Marques B, Coelho R, et al. (2021). Physical, biochemical, densitometric and spectroscopic techniques for characterization collagen from alternative sources: A review based on the sustainable valorization of aquatic by-products. *Journal of Molecular Structure* 1224 (2021) 129023
- Peng W, Li DS, Dai K, et al. (2022). Recent progress of collagen, chitosan, alginate and other hydrogels in skin repair and wound dressing applications. *International Journal of Biological Macromolecules* 208 (2022) 400–408
- Pistone S, Goycoolea F, Young A et al. (2017). Formulation of polysaccharide-based nanoparticles

for local administration into the oral cavity *European Journal of pharmaceutical Sciences* 96 (2017) 381–389

Rinaudo M. (2008). Polyelectrolytes Derived from Natural Polysaccharides. Capitulo 24, 495-517. https://www.researchgate.net/publication/281252653_Polyelectrolytes-Derived_from_Natural_Polysaccharides.

Rinaudo M, Pascaline M, Hevraud A. (2013). Structure and properties of three alginates from Madagascar seacoast algae *Food Hydrocolloids* 32, 143-146

Rinaudo M. (2014). biomaterials based on a natural polysaccharide: alginate. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1):92-96, 2014.

Rubiano Gonzalez, V., Montaña Numpaque, M., & da Silva Dias, N. (2022). Pectinas: extracción, usos e importancia en la agroindustria. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(5), 5294-5309. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3498

Tang C, Zhou K, Zhu Y, et al. (2022). Collagen and its derivatives: From structure and properties to their applications in food industry. *Food Hydrocolloids* 131 (2022) 107748

ACERCA DE LOS AUTORES

Oscar Rafael Tinoco Gómez

Nació en Huaraz, capital del departamento de Ancash, sus estudios primarios los realizó entre Huaraz y Lima, la secundaria en la Gran Unidad Escolar Ricardo Bentín, Lima, su formación profesional la realizó en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se recibió como Ingeniero Industrial. Su grado de doctor lo obtuvo en la Universidad Nacional Federico Villarreal, en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible. Actualmente es director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial de la Facultad de Ingeniería Industrial de la UNMSM, así como docente investigador RENACYT nivel VI y coordinador del Grupo de Investigación “Producción más limpia”.

Nora Rosa Concepción Malca Casavilca

Bióloga, magíster y doctora en Ciencias Ambientales, docente de pre y posgrado por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, investigadora de temas gestión ambiental, asesora de tesis de pre y posgrado, integrante de grupos de investigación relacionado con el cambio climático, revisora par y evaluadora de los artículos para revistas nacionales e internacionales, integrante del comité consultivo de la revista IIGEO de la FIGMMG-UNMSM. Parte del Comité Editor de la Revista Gemma de la FIGMMG-UNMSM. Autora y co-autora de artículos de investigación y libros relacionados al ambiente y educación.

Pedro Pablo Rosales López

Doctor y magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Es asesor y consultor de empresas en optimización, métodos y sistemas, así como docente investigador (RENACYT CM-III) en temas de productividad, circularidad, sostenibilidad y simulación de sistemas complejos. Es miembro titular del grupo de investigación Producción más Limpia, de la UNMSM. Cuenta con más de 20 años de experiencia profesional en el análisis, desarrollo e implementación de sistemas orientados a producción, logística, gestión, planeamiento, calidad y control de la producción, y de sistemas comerciales, de contabilidad, finanzas y recursos humanos. Es autor de los libros *Casos de Ingeniería Industrial*, *Logística para pymes*, *Estadística Básica*, *Introducción al análisis cuantitativo en la investigación de mercados con soporte del SPSS* y *Algoritmos de programación con Lenguaje C*.

Luis Benavides Luksic

Doctorado en Pensamiento Complejo, magíster en Administración de Empresas y licenciado en Ciencias especialidad Biología, el profesor Benavides posee un profundo conocimiento en diversas áreas del saber, lo que le permite abordar de manera integral los desafíos del mundo empresarial y académico. Con 9 años de experiencia en la docencia universitaria y 17 años liderando la gestión comercial y de operaciones en empresas de servicios industriales y ambientales, el docente Benavides aporta una visión estratégica y un enfoque innovador a sus actividades profesionales. Su combinación de experiencia práctica y conocimientos teóricos lo convierten en un referente en la integración de la teoría y la práctica en el ámbito educativo y empresarial. Con un enfoque en la excelencia académica y el desarrollo integral de sus estudiantes, el maestro Benavides se destaca como un líder en la formación de profesionales capaces de enfrentar los retos del mundo empresarial actual. Su pasión por la enseñanza y su compromiso con la excelencia lo posicionan como un activo invaluable en el campo de la educación superior y la gestión empresarial.

Olivio Nino Castro Mandujano

Docente e investigador de la UNMSM-Perú. Químico de la UNI, magíster en Química de la PUCP, doctor en Ciencias Químicas de la UNMSM. Docente asociado a dedicación exclusiva en la UNMSM. Ha trabajado en diferentes proyectos nacionales (CONCYTEC, INNOVATE, PROCENCIA, varias universidades, etc.) e internacionales (AECI, ALFA-POLYLIFE, POLYCOM, ETC.) Las líneas de investigación que desarrolló son: Química de los productos naturales y biopolímeros. Autor de 10 libros y 40 artículos publicados en revistas nacionales y 9 artículos en revistas internacionales. Asesor de 6 tesis de pregrado sustentadas.

Francisco Javier Wong Cabanillas

Nació en Lima, en el distrito capitalino de Lince, en el año 1955. Su formación profesional la realizó en las siguientes universidades: Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), obteniendo el título de Ingeniero Electrónico, Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM) Facultad de Ciencias Sociales obteniendo el título de licenciado en Sociología; a su vez realizó estudios en la Facultad de Ciencias Contables y Administrativas obteniendo el grado de doctor en Ciencias Contables y Empresariales, realizó estudios en la Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, obteniendo el grado de doctor en Ciencias de la Educación.

Dentro de su formación complementaria ha llevado los siguientes diplomados: diplomado en Planificación y Gestión del Desarrollo Local y Regional en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el diplomado en Políticas Públicas e Interculturalidad (UNMSM).

Director General de la Revista Digital CTS-CAFÉ-Para ciudadanos,

Ha desempeñado diversos cargos a nivel académico y profesional, jefe de la Oficina General de

Cooperación y Relaciones Interinstitucionales (OGCRI) de la UNMSM, director académico y director del Instituto de Investigaciones Histórico-Sociales de la Facultad de Ciencias Sociales en la UNMSM. Director General de la Dirección General de Responsabilidad Social (DGRS) en la UNMS. Rector de la Universidad Garcilaso de la Vega, en el periodo, 2023-2024.

En la actualidad, de desempeña como docente de pregrado y posgrado, así como docente investigador Renacyt, y coordinador de Estudios Generales en la Facultad de Ingeniería Industrial- UNMSM.

Ysabel Zevallos Paravé

Docente de las especialidades de Biología y Química, magíster y doctora en Ciencias de la Educación, maestría concluida en Bioquímica y Nutrición por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Docente de pregrado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Investigadora de productos naturales y temas educativos; asesora de tesis de pre y posgrado, integrante de grupos de investigación relacionado con educación y productos naturales. Autora y co-autora de artículos de investigación relacionados a educación y productos naturales. Integrante del comité científico de la revista CTS café en el área de Ciencias de la Salud.

DIBUJO Y ARTE DE LA PORTADA: MARIELLA SOLEDAD VILLAVICENCIO QUIÑONES
DISEÑO DE PORTADA: CARLOS ALBERTO VEGA VIDAL



ISBN: 978-612-03-0772-4

