

Una Perspectiva de las Aplicaciones de las Macroalgas en la Agricultura y la Alimentación

A Perspective of the Applications of Macroalgae in Agriculture and Food

Celestino García Gómez¹; Carolina Cruz-Martínez¹; Debanhy Alejandra Cuellar-Olivares; ¹ Frida Lizeth Esparza-Montenegro¹; Ángel Renato León-Félix¹; Joel Horacio Elizondo-Luévano^{1,*}

Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Av. Francisco Villa S/N, Col. Ex Hacienda el Canadá, C.P. 66050, General Escobedo, Nuevo León, México;

celestino.garciagm@uanl.edu.mx (C.G.-G.); carolina.cruzmr@uanl.edu.mx (C.C.-M.);

alejandra.cuellarolvr@uanl.edu.mx (D.A.C.-O.); frida.esparzamo@uanl.edu.mx (F.L.E.-M.);

angel.leonfl@uanl.edu.mx (A.R.L.-F.); joel.elizondolv@uanl.edu.mx (J.H.E.-L.)

* **Correspondencia:** joel.elizondolv@uanl.edu.mx (J.H.E.-L.)

RESUMEN

Este artículo de revisión se centra en el estudio de las macroalgas, su uso en agricultura y alimentación desde el punto de vista de la bioinformática. El artículo comienza con las generalidades de las macroalgas, donde son organismos fotosintéticos que prosperan en ambientes acuáticos y como es que se utilizan como fuente de nutrientes. Aquí destacan sus diferentes aplicaciones tanto en agricultura como en nutrición animal y humana, destacando su capacidad para ser fuente de proteínas vegetal y sostenibles. Se describieron y catalogaron las macroalgas (algas pardas, algas rojas y algas verdes) según color, composición nutricional y compuestos bioactivos. Se nombraron algunos ejemplos de especies de algas de cada tipo, como las algas verdes (*Ulva*, *Codium* y *Chaetomorpha*) y las algas pardas (*Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum*). También se menciona el ciclo de vida y reproducción de las macroalgas, y se mencionaron algunas técnicas bioinformáticas utilizadas para el análisis de estas algas. Se revisaron 40 artículos de las bases de datos de Elsevier, Springer, PubMed y Google Scholar con un corte de búsqueda desde 2006 hasta mayo del 2024.

Palabras Clave: Macroalgas, Alimentación, Chlorophyta, Composición nutricional, NGS, Phaeophyta, Rhodophyta, *Spirulina*, *Ulva*

ABSTRACT

This review article focuses on the study of macroalgae, and their use in agriculture and food from a bioinformatics point of view. The article begins with macroalgae, which are photosynthetic organisms that thrive in aquatic environments, and how they are used as a source of nutrients. Here, their different applications in agriculture, animal, and human nutrition are highlighted, emphasizing their capacity to be a source of vegetable and sustainable proteins. Macroalgae (brown algae, red algae, and green algae) were described and catalogued according to color, nutritional composition, and bioactive compounds. Some examples of algae species of each type were named, such as green algae (*Ulva*, *Codium*, and *Chaetomorpha*) and brown algae (*Fucus*, *Laminaria*, *Sargassum*). The life cycle and reproduction of macroalgae and some bioinformatics techniques used to analyze these algae are also mentioned. Forty articles were reviewed from Elsevier, Springer, PubMed, and Google Scholar. Forty articles from the Elsevier, Springer, PubMed, and Google Scholar databases were reviewed with a search cutoff from 2006 to May 2024.

Keywords: Macroalgae, Feeding, Chlorophyta, Nutritional composition, NGS, Phaeophyta, Rhodophyta, *Spirulina*, *Ulva*.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las macroalgas han ganado cada vez más interés debido a sus diversas propiedades promotoras de la salud que pueden disminuir los riesgos de muchas enfermedades crónicas e incluso ayudar a prolongar la vida útil, así mismo estas se han utilizado como fertilizante natural minimizando la necesidad de fertilizantes químicos y en el tratamiento de aguas residuales (Biris-Dorhoi et al., 2020). Las macroalgas, mejor conocidas como algas marinas (Figura 1), son organismos fotosintéticos que crecen en ambientes acuáticos. Estas algas son una fuente abundante de nutrientes, compuestos bioactivos y tienen diversas aplicaciones. En la presente revisión abordamos las actividades biológicas de las macroalgas tanto como las herramientas bioinformáticas que fueron utilizadas en su estudio y aplicación, ya que las macroalgas también son una fuente acuática de muy alto potencial para producir proteínas que sostenibles y libre de animales, y se adhieren, por ejemplo, a las preferencias dietéticas veganas. Además, las algas marinas suelen destacar por sus propiedades nutraceuticas y beneficiosas para la salud (Adarshan et al., 2023). Se clasifican en los siguientes tipos (Figura 1) según su composición morfológica:

Algas verdes (Chlorophyta): Las algas verdes son las más comúnmente conocidas, son organismos que pertenecen a la clase *Chlorophyceae* (phylum *Chlorophyceae*), incluidas las especies microscópicas y macroscópicas. Estas algas son el grupo más diverso, con más de 13,000 especies; se estima que alrededor de la mitad de estas especies son algas marinas. El color característico se debe a la presencia de la clorofila *a* y *b*, pigmento que es utilizado durante el proceso fotosintético (Adarshan et al., 2023). Su color depende generalmente del equilibrio entre estas clorofilas y otros pigmentos, como el β -caroteno y las xantofilas. Las algas verdes son muy comunes en áreas donde la luz es abundante, como aguas poco profundas y las piscinas naturales. El género principal de estas incluye *Ulva*, *Codium*, *Chaetomorpha* y *Cladophora* (Makkar et al., 2016).

Algas rojas (Rhodophyta): En comparación con las algas verdes y pardas, las rojas (clase *Rhodophyceae*) contienen una gran cantidad de proteínas, estas alcanzan el 47 % de una materia seca. Las proteínas pertenecientes a este grupo de algas marinas que están formadas por cadenas de aminoácidos, especialmente la glicina (Gly), alanina (Ala), arginina (Arg), prolina (Pro), el ácido glutámico (Glu) y aspártico (Asp) (las cuales componen gran parte de la fracción de aminoácidos), mientras tanto la tirosina, la metionina y la cisteína aparecen en una cantidad mucho menor. Los ácidos glutámico y aspártico, que tienen cadenas laterales ácidas a un pH neutro, en las algas rojas representan el 14-19 % de los aminoácidos (Moreda-Piñeiro et al., 2012).

Algas pardas (Phaeophyta): En general, las algas pardas de la clase *Phaeophyceae* son las algas marinas con el menor contenido de proteínas, a comparación con las algas rojas y verdes. El contenido de proteína más determinado en las algas marrones se da en un rango declarado del 5 al 15 %. Las concentraciones de EAA en las algas pardas difieren sustancialmente entre las especies. Las concentraciones de treonina, valina, isoleucina, leucina, fenilalanina, lisina y metionina fueron más altas en *Undaria pinnatifida* que en *Laminaria* spp.; sin embargo, *Laminaria* spp. Destacó ya que tenía concentraciones más altas de cisteína (Cys) que en *Undaria pin* (Gupta & Abu-Ghannam, 2011).

Las algas pardas son fuentes equilibradas de omega 3 y 6. Las algas marrones, como *Undaria pinnatifida*, *Laminaria* spp. y *Hizikia fusiforme*, contienen predominantemente 20 ácidos eicosapentaenoicos poliinsaturados y ácido araquidónico. El ácido palmítico es uno de los más abundantes, pero no tan abundantes como en la mayoría de las algas rojas. En general, otros ácidos grasos, abundantes en las algas pardas, son los ácidos grasos esenciales, como el oleico, linoleico, linolénico y los precursores de los eicosanoides, el ácido araquidónico y el ácido eicosapentaenoico, más aparte algunos ácidos grasos saturados y monoinsaturados se encuentran en abundancia solo en algunas algas pardas (*Laminaria* sp. y *Undaria pinnatifida*), como el ácido mirístico y el palmitoleico (Gupta & Abu-Ghannam, 2011).

Importancia actual del uso de las macroalgas

La principal aplicación industrial de las algas marinas es la producción de los hidrocoloides como alginato, agar y cartagenina, las cuales se utilizan como agentes gelificantes para la industria

alimentaria. Con unos 25 millones de toneladas cultivadas en 2019, más del 70 % son corrientes secundarias y/o residuales ricas en minerales y proteínas. Dentro de la industria de los hidrocoloides, las algas rojas pertenecientes a los géneros *Eucheuma*, *Chondrus*, *Kappaphycus*, *Hypnea* y *Gigartina* se utilizan comúnmente como fuentes para la extracción de carragenano. Las algas rojas se consideran de alto valor para aplicaciones alimentarias por su muy alto contenido de proteínas, alcanzando más del 47 % de la materia seca y destacan como una fuente prometedora de proteínas alternativas para incrementar la sostenibilidad alimentaria mundial (Morais et al., 2020).

En otros campos como en la biología y la química, la investigación centrada en las ómicas ha proporcionado grandes beneficios significativos a lo largo de las últimas dos décadas, debido en gran parte a los rápidos avances en la secuenciación de ácidos nucleicos (es decir, secuenciación de próxima generación; NGS) y la identificación de proteínas y metabolitos (es decir, varios modos de espectrometría de masas). Estos avances han facilitado investigaciones orgánicas en profundidad, como los roles, relaciones y funciones de las biomoléculas (por ejemplo, genes, proteínas y metabolitos) (Patwary et al., 2021). En esta revisión se abordará los principales beneficios que se pueden tener de las macroalgas en el campo agrícola y alimentaria utilizando a la par herramientas bioinformáticas.

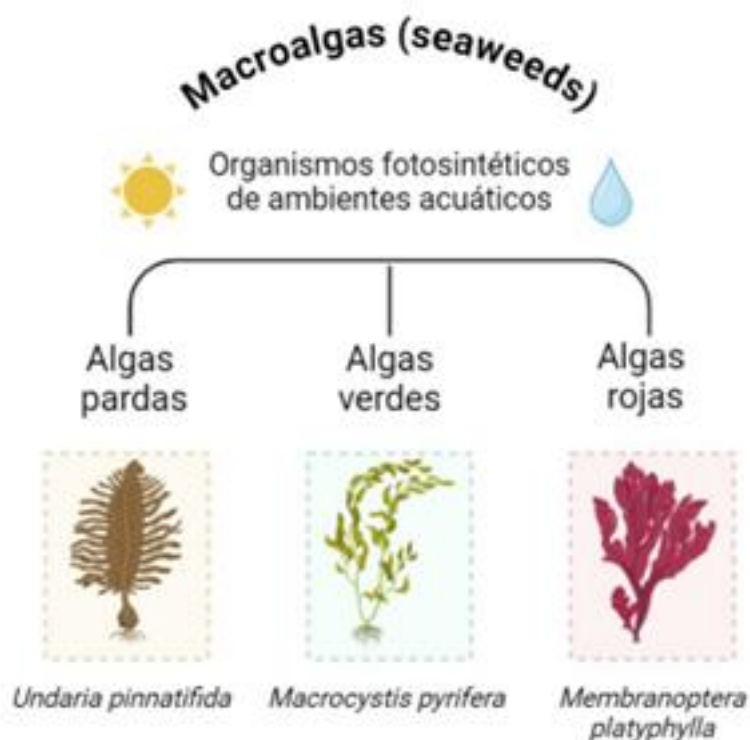


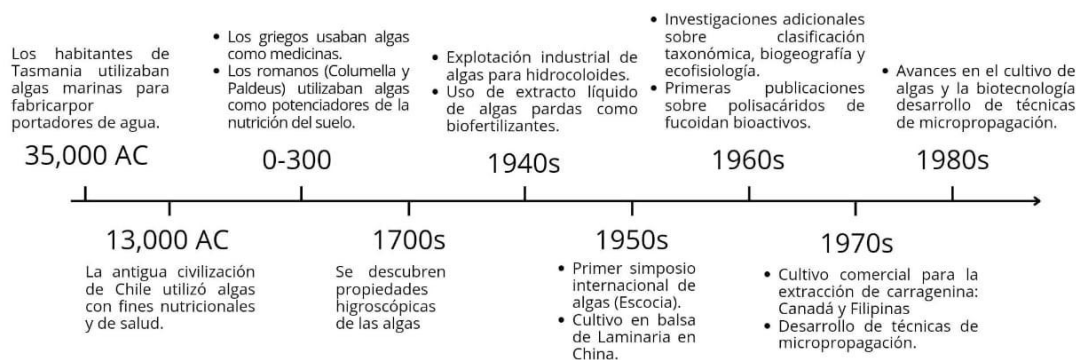
Figura 1. Diagrama de la clasificación general de las macroalgas. Elaborado por BioRender.

MÉTODOS

El propósito del artículo es adjuntar información relevante a las utilidades de las macroalgas en relación de la agricultura y alimentos mediante el uso de técnicas bioinformáticas, se revisaron 40 artículos de las bases de datos de Elsevier, Springer, PubMed y Google scholar y el corte fue de aproximadamente 19 años del 2006 hasta mayo del 2024 las palabras clave para la búsqueda fueron "bioinformatics", "seaweeds", "macroalgas", "industria alimentaria", "agrícola", "bioactivos", "generalidades de las macroalgas".

BIOLOGÍA Y DIVERSIDAD DE LAS MACROALGAS

Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos



Las algas conforman a un diverso conjunto de organismos vivos, de los cuales se clasifican dentro de dos reinos y cuatro filos. Muchas sino es que todas las macroalgas son bastante llamativas por sus diversas coloraciones y se les es también conocidas por nombre como los ornamentales del océano. Por otra parte, se tiene registros del uso de las macroalgas dentro de la historia de la humanidad a lo largo de todas las épocas (Figura 2) (Baweja et al., 2016).

Figura 2. Línea del tiempo acerca de los usos antropológicos de las algas. Elaborado mediante Canva.

Las algas se posicionan dentro de los componentes bióticos de gran importancia en los diferentes ecosistemas marinos. Y es así como su distribución depende de muchos factores como físicos, químicos y biológicos (Baweja et al., 2016). En conjunto con los animales coralinos se clasifican dentro de los organismos bentónicos dominantes, donde normalmente se usa como un efectivo indicador sobre la salud dentro de los ecosistemas. Además, son de utilidad para la red alimenticia de los ecosistemas marinos, siendo directamente alimento para organismos como los erizos de mar y de algunos peces. Las macroalgas son también funcionales como refugios y áreas reproductivas para ciertas especies de peces, mamíferos, invertebrados, etc. estas pueden alterarse dado a los cambios ambientales, y cambiar para adaptarse, esto tanto alteraciones físicas como químicas. Es así como condiciones físicas como la recirculación del agua de mar provoca un estrés mecánico a las algas, donde en este caso reaccionan generando cambios fisiológicos teniendo un fuerte asidero, estípites flexibles y espadas. La flexibilidad de las algas permite doblarse hacia el sustrato a medida que la energía de las olas los envuelve (Baweja et al., 2016).

CICLO DE VIDA Y REPRODUCCION DE LAS MACROALGAS

ALGAS VERDES

Las algas verdes se adecuan a un grupo bastante diverso referido morfológicamente, puesto que, incluye miembros de caracteres unicelulares, coloniales, como además están los de formas filamentosas y parenquimatosas, donde pueden llegar a ser individuos de tamaños microscópicos hasta haber de grandes longitudes, llegando a alcanzar más de un metro de largo.

Organización celular

La pared celular de las algas verdes consiste en una estructura fibrilar de celulosa, aunque algunos géneros pueden contener xilosa, manosa o carbonato de calcio. Pueden tener uno o varios cloroplastos por célula y pigmentos como clorofila, betacaroteno, luteína, violaxantina y zeaxantina, similares a los de plantas vasculares y briófitos. Su reserva principal es el almidón, aunque algunas almacenan aceite y pueden tener flagelos, generalmente 2 o 4 por célula, simples o plumosos, en la región anterior. La mayoría de las células flageladas tienen un estigma en el cloroplasto, cerca de los flagelos (Mansilla et al., 2013).

Ciclo de vida de *Ulva Lactuca*

Ulva lactuca, al igual que muchas algas verdes, presenta alternancia de generaciones. El esporófito diploide, compuesto por una fronda de dos hileras de células, se divide por meiosis para producir esporas haploides móviles. Estas zoosporas, con cuatro flagelos, nadan hasta encontrar un sustrato adecuado, donde pierden sus flagelos y se dividen por mitosis, formando un filamento que se desarrolla en una fronda similar a la del esporófito. Este ciclo de vida isomórfico produce gametofitos y esporofitos con el mismo aspecto. En las especies del género *Ulva*, los gametos femeninos y masculinos son indistinguibles, haciendo que estas especies sean isógamas. Otras algas verdes, incluidas algunas especies de *Ulva*, son anisógamas, con gametos femeninos significativamente más grandes que los masculinos (Figura 3) (Marina et al., 2015).

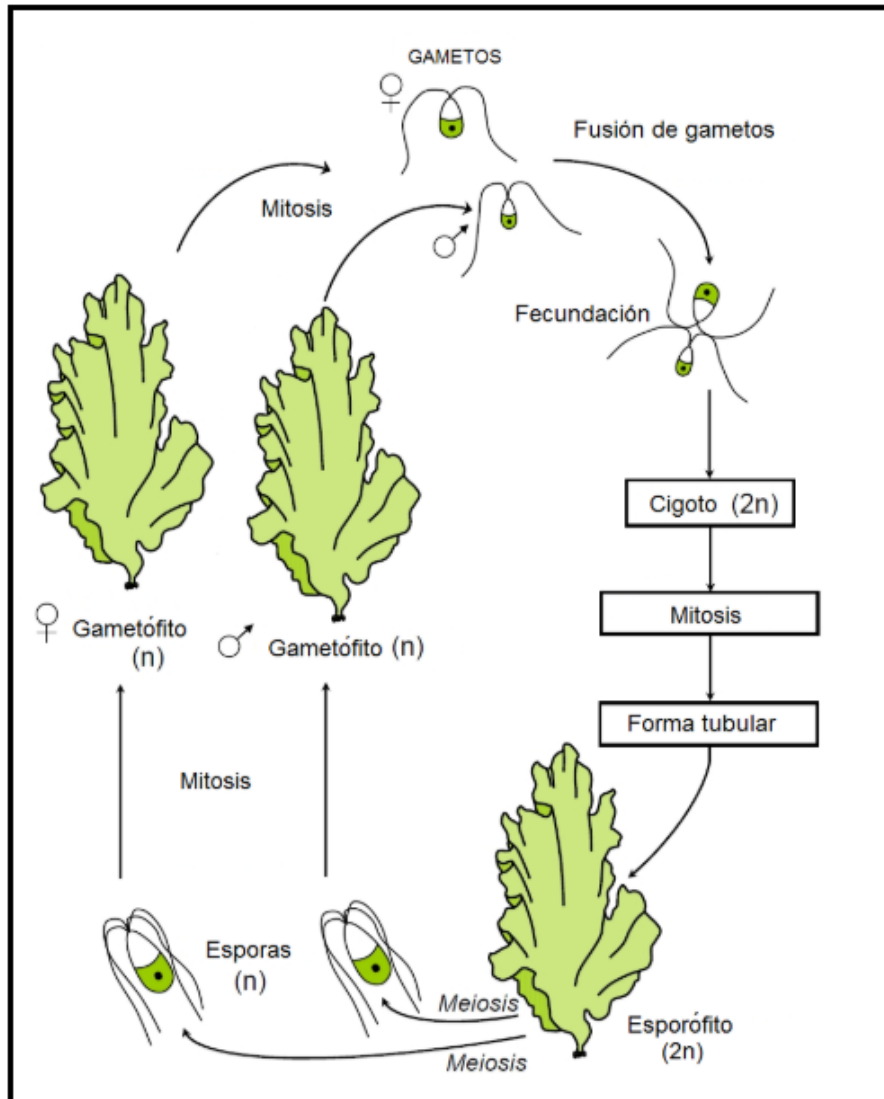


Figura 3. Diagrama del ciclo de vida de *Ulva lactuca* (Marina et al., 2015).

ALGAS PARDAS

Las algas pardas no presentan formas coloniales ni unicelulares, salvo en gametos y esporas. Las formas más simples son pluricelulares microscópicas y de hábitos epífitos, mientras que las más complejas son bentónicas y pueden alcanzar hasta cerca de 60 metros de longitud, como en el caso de *Macrocystis* (Mansilla et al., 2013).

Organización celular

Desde el punto de vista citológico, la pared celular de las algas pardas tiene una fracción sólida de celulosa y alginato, y una mucilaginoso de alginato y fucoídina. Los alginatos son sales de ácido algínico con cationes como Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ y K^+ . Los plastos contienen clorofilas a y c, fucoxantina y carotenoides. La sustancia de reserva es laminarina (Ribamar Da Cruz et al., 2015).

Reproducción y ciclo de vida

Las macroalgas laminarias presentan un ciclo biológico (Figura 4) que alterna entre una generación de filamentos microscópicos, denominada gametófito por su producción de gametos, y una generación caracterizada por una fronda de varios metros de longitud, conocida como esporófito, que produce esporas (Peteiro et al., 2016).

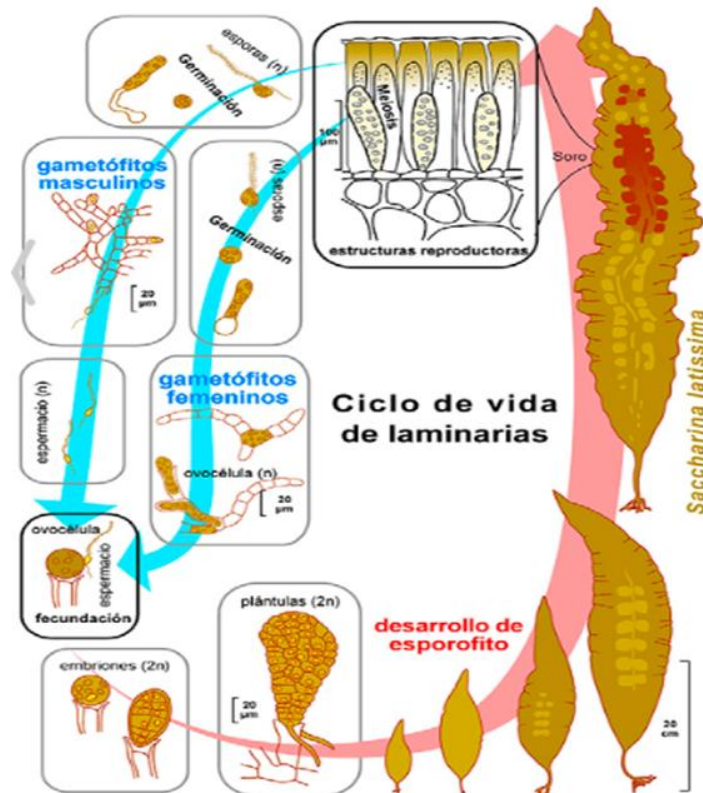


Figura 4. Diagrama del ciclo de vida de *Saccharina latissima* (Peteiro et al., 2016).

ALGAS ROJAS

Las algas rhodophytas, poseen diversidad de especies y tipos de reproducción, considerándose un pináculo de la evolución en el reino algal. En cuanto a sus pigmentos fotosintéticos, las algas rojas emplean clorofila a y d, junto con pigmentos accesorios como las ficobilinas y carotenoides (Dreckmann et al., 2013).

Organización celular

La pared celular de las algas rojas está constituida por una pared interna y rígida, la cual está formada por microfibrillas de celulosa y mucilaginoso, compuesta por galactanos, (agar o carragenano); por otra parte, también es posible encontrar algunas algas rojas que presentan en la pared depósitos de carbonato de calcio, obteniendo un aspecto rígido a estas algas. Es así como los depósitos pueden estar formados de aragonita o calcita, como sucede en las algas coralinas. La cantidad de cloroplastos celular varía y generalmente se presentan ovalados o discoidales, además se caracteriza por la presencia de clorofila, carotenoides (principalmente betacaroteno) y de ficobiliproteínas; estos últimos pigmentos siempre se encuentran asociadas formando los

ficobilisomas (en la membrana de los tilacoides) y están principalmente conformados por ficocianina, aloficocianina, y ficoeritrina (Mansilla et al., 2013). Poseen rodoplastos no asociadas al retículo endoplásmico y tilacoides aislados y equidistantes, separados por bandas de uno a uno en el rodoplasto (Dreckmann et al., 2013).

Reproducción y ciclo de vida

Las algas rojas se reproducen asexualmente mediante esporas que regeneran el talo original y sexualmente con gametos masculinos ("espermátidas") y femeninos ("carpogonios"). Las espermátidas se liberan en los márgenes de las láminas y las carpogonios tienen estructuras receptivas llamadas "tricóginos" para la fertilización, donde las espermátidas se adhieren para iniciar el proceso (Figura 5) (Bañeras, 2014).

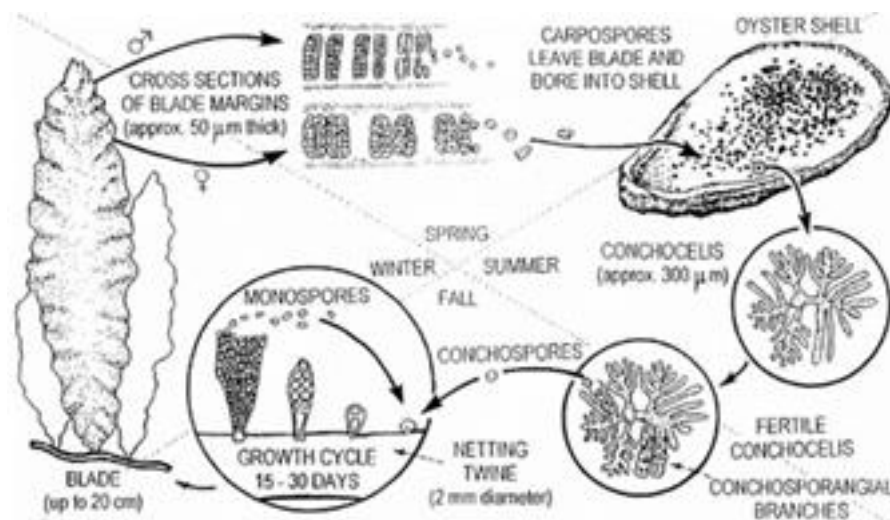


Figura 5. Esquema del ciclo de vida de las algas rojas (Bañeras, 2014).

FACTORES QUE AFECTAN A LAS MACROALGAS

La propagación, abundancia y composición general de las macroalgas están determinadas por distintos factores como salinidad, temperatura, marea y factores biológicos espaciales y temporales (Harley et al., 2012). Las diferencias de latitudes cambian las características de los factores mencionados anteriormente y a las corrientes marinas, resultando en una distinta distribución de las macroalgas (Harley et al., 2012). Las ocrofitas aumentan su diversidad hacia regiones frías, los patrones de diversidad de las rodófitas varían entre hemisferios, aumentando de los polos a los trópicos en el hemisferio norte y disminuyendo de los polos a los trópicos en el hemisferio sur; mientras que las clorófitas presentan un patrón menos asociado a la latitud con un leve aumento hacia zonas tropicales (Liuzzi et al., 2011). Por lo que cada macroalga tiene sus requerimientos propios.

La zona intermareal se caracteriza por una abundante presencia de macroalgas; en esta zona el estrés ambiental y las características del sustrato afectan fuertemente la diversidad de macroalgas. Sustratos con mayor rugosidad retienen más humedad, favoreciendo la sobrevivencia de las macroalgas, mientras que sedimentos de grano fino próximos a las rocas limitan el desarrollo de las macroalgas disminuyendo su capacidad fotosintética (Liuzzi et al., 2011). Las especies exóticas, asociadas a actividades antrópicas o la acuicultura (Carlton, 1993), compiten por el espacio y sustrato disponible con las macroalgas nativas generando una disminución en su biodiversidad así mismo de los organismos asociados a estas (Schaffelke y Hewitt, 2007).

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

Las macroalgas (o algas) contienen altas cantidades de carbohidratos (hasta un 60%), cantidades medias/altas de proteínas (10-47%) y bajas cantidades de lípidos (1-3%) con un contenido

variable de cenizas minerales (7- 38%) (Dominguez & Loret, 2019). La tabla 1 y 2 se describe las composiciones generales de los 3 tipos de algas, así como especies específicas.

Tabla 1. Valores nutricionales en promedio de diferentes especies de macroalgas expresado en porcentaje de 100 gramos de alga, donde se muestra proteínas, lípidos, cenizas y fibra dietética sacados de literatura correspondiente.

Alga	Cantidades en %				Referencia
	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Fibra dietética	
<i>Gratelopia turuturu</i>	22.9 ± 2.0	2.6 ± 0.1	18.1 ± 0.6	60.4 ± 2.3	(Denis et al., 2010)
<i>Ulva clathrata</i>	20.1 ± 0.1	2.2 ± 0.1	27.5 ± 0.2	40.6	(Peña-Rodríguez et al., 2011)
<i>Ulva lactuca</i>	27.2 ± 1.1	0.3±0.0	11.0±0.1	61.5±0.8	(Ortiz et al., 2006)
<i>Durivillaea antarctica</i>	11.6 ± 0.9	4.3 ± 0.6	25.7 ± 2.5	ND	(Ortiz et al., 2006)
<i>Laminaria saccharina</i>	25.70 ± 0.11	0.79 ± 0.07	34.78 ± 0.08	ND	(Gómez-Ordóñez et al., 2010)
<i>Hizikia fusiforme</i>	10.9 ± 1.0	1.4 ± 0.1	ND	62.3 ± 0.7	(Dawczynski et al., 1998)

%; Cantidades en porcentaje; ND: Es información no disponible.

Las macroalgas marinas son ricas en componentes polisacáridos bioactivos (Délérís et al., 2016), fibras, carotenoides, polifenoles y otros compuestos cruciales en el tratamiento de enfermedades como cardiovasculares, cáncer y diabetes (Quiral R. et al., 2012). Además, contienen antioxidantes potentes y compuestos como ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos, vitaminas y esteroides que promueven tanto la salud humana como el crecimiento vegetal (Al-Saman et al., 2015). Se han identificado también compuestos osmoprotectores que mejoran la respuesta agronómica de los cultivos bajo estrés osmótico. La composición mineral de las algas incluye una amplia gama de macrominerales (Sharma et al., 2014) y microminerales esenciales (Hernández-Herrera et al., 2014).

Tabla 2. Caracterización de los aminoácidos en los 3 tipos de macroalgas según el Filo (Dumay & Morançaïs, 2016) en el que se expresa en miligramos de aminoácido entre gramos de proteínas de las macroalgas.

	Recomendaciones	Algas pardas			Algas verdes		Algas rojas	
		(9 especies)			(11 especies)		(16 especies)	
		WHO/FAO (2007)	Promedio	Puntuación	Promedio	Puntuación	Promedio	Puntuación
	(mg/g Proteínas)	(mg/g Proteínas)			(mg/g Proteínas)		(mg/g Proteínas)	
EAA	His	15	19.8±5.1	ND	23.3±8.3	ND	20.1±9.7	ND
	Ile	30	39.0±8.6	1.4±0.3	38.0±4.5	1.4±0.2	60.6±22.2	21.1±0.8
	Leu	59	69.3±16.2	1.0±0.2	73.6±11.4	1.1±0.2	71.1±11.7	1.1±0.2
	Met	22	18.0±11.0	0.7±0.4	13.1±4.9	0.5±0.2	13.7±8.2	0.6±0.3
	Phe	38	44.6±9.9	1.2±0.3	50.6±10.4	1.4±0.3	50.9±11.5	1.3±0.5
	Thr	23	46.6±8.3	1.4±0.3	51.1±8.3	1.5±0.2	50.3±8.6	1.5±0.2
	Val	39	50.7±9.4	1.4±0.3	63.8±10.7	1.8±0.3	55.3±11.4	1.5±0.4
	Lys	45	44.2±10.8	0.8±0.2	53.4±14.3	0.9±0.2	60.9±20.9	1.0±0.4
NEAA	Asp	ND	103.1±22.9	ND	115.3±27.1	ND	125.4±26.9	ND
	Ser	ND	43.5±12.1	ND	57.5±4.7	ND	47.5±13.8	ND
	Glu	ND	152.6±48.2	ND	116.7±28.1	ND	119.0±36.4	ND
	Pro	ND	39.3±9.2	ND	54.0±15.0	ND	43.4±12.3	ND
	Gly	ND	33.7±26.5	ND	70.9±15.0	ND	61.4±21.4	ND
	Ala	ND	64.4±14.4	ND	87.7±27.3	ND	67.1±12.0	ND
	Cys	ND	21.5±22.2	ND	2.5±4.5	ND	10.4±13.1	ND
	Tyr	ND	21.9±4.9	ND	38.1±33.1	ND	28.4±5.4	ND
	Arg	ND	44.1±8.6	ND	55.8±30.8	ND	56.2±21.8	ND
	[Trp] [A1] [A2]	ND	8.6±4.1	ND	3.0±0.0	ND	12.0±4.4	ND
% EAA		ND	38.9±4.8	ND	38.0±4.0	ND	40.4±4.2	ND

%: Porcentaje; EAA: Aminoácido esencial; NEAA: Aminoácido no esencial; Puntuación: representa la relación entre la cantidad de cada aminoácido en comparación con la proteína del huevo; ND: Es información no disponible; Ala: Alanina; Arg: Arginina; Cys: Cisteína; His: Histidina; Ile: Isoleucina; Leu: Leucina; Met: Metionina; Phe: Fenilalanina; Thr: Treonina; Val: Valina; Lys: Lisina; Asp: Ácido Aspártico; Glu: Ácido Glutámico; Pro: Prolina; Gly: Glicina; Ser: Serina; Tyr: Tirosina; Trp: Triptofano.

Las macroalgas marinas son ricas en componentes polisacáridos bioactivos (Délérís et al., 2016), fibras, carotenoides, polifenoles y otros compuestos cruciales en el tratamiento de enfermedades como cardiovasculares, cáncer y diabetes (Quiral R. et al., 2012). Además, contienen antioxidantes potentes y compuestos como ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos, vitaminas y esteroides que promueven tanto la salud humana como el crecimiento vegetal (Al-Saman et al., 2015). Se han identificado también compuestos osmoprotectores que mejoran la respuesta agronómica de los cultivos bajo estrés osmótico. La composición mineral de las algas incluye una amplia gama de macrominerales (Sharma et al., 2014) y microminerales esenciales (Hernández-Herrera et al., 2014).

Tabla 2. Caracterización de los aminoácidos en los 3 tipos de macroalgas según el Filo (Dumay & Morançaís, 2016) en el que se expresa en miligramos de aminoácido entre gramos de proteínas de las macroalgas.

Recomendaciones			Algas pardas		Algas verdes		Algas rojas	
			(9 especies)		(11 especies)		(16 especies)	
WHO/FAO (2007)			Promedio		Promedio		Promedio	
(mg/g Proteínas)			(mg/g Proteínas)	Puntuación	(mg/g Proteínas)	Puntuación	(mg/g Proteínas)	Puntuación
EAA	His	15	19.8±5.1	ND	23.3±8.3	ND	20.1±9.7	ND
	Ile	30	39.0±8.6	1.4±0.3	38.0±4.5	1.4±0.2	60.6±22.2	21.1±0.8
	Leu	59	69.3±16.2	1.0±0.2	73.6±11.4	1.1±0.2	71.1±11.7	1.1±0.2
	Met	22	18.0±11.0	0.7±0.4	13.1±4.9	0.5±0.2	13.7±8.2	0.6±0.3
	Phe	38	44.6±9.9	1.2±0.3	50.6±10.4	1.4±0.3	50.9±11.5	1.3±0.5
	Thr	23	46.6±8.3	1.4±0.3	51.1±8.3	1.5±0.2	50.3±8.6	1.5±0.2
	Val	39	50.7±9.4	1.4±0.3	63.8±10.7	1.8±0.3	55.3±11.4	1.5±0.4
	Lys	45	44.2±10.8	0.8±0.2	53.4±14.3	0.9±0.2	60.9±20.9	1.0±0.4
NEAA	Asp	ND	103.1±22.9	ND	115.3±27.1	ND	125.4±26.9	ND
	Ser	ND	43.5±12.1	ND	57.5±4.7	ND	47.5±13.8	ND
	Glu	ND	152.6±48.2	ND	116.7±28.1	ND	119.0±36.4	ND
	Pro	ND	39.3±9.2	ND	54.0±15.0	ND	43.4±12.3	ND
	Gly	ND	33.7±26.5	ND	70.9±15.0	ND	61.4±21.4	ND
	Ala	ND	64.4±14.4	ND	87.7±27.3	ND	67.1±12.0	ND
	Cys	ND	21.5±22.2	ND	2.5±4.5	ND	10.4±13.1	ND
	Tyr	ND	21.9±4.9	ND	38.1±33.1	ND	28.4±5.4	ND
	Arg	ND	44.1±8.6	ND	55.8±30.8	ND	56.2±21.8	ND
	[Trp] [A3] [A4]	ND	8.6±4.1	ND	3.0±0.0	ND	12.0±4.4	ND

%							
EAA	ND	38.9±4.8	ND	38.0±4.0	ND	40.4±4.2	ND

%: Porcentaje; EAA: Aminoácido esencial; NEAA: Aminoácido no esencial; Puntuación: representa la relación entre la cantidad de cada aminoácido en comparación con la proteína del huevo; ND: Es información no disponible; Ala: Alanina; Arg: Arginina; Cys: Cisteína; His: Histidina; Ile: Isoleucina; Leu: Leucina; Met: Metionina; Phe: Fenilalanina; Thr: Treonina; Val: Valina; Lys: Lisina; Asp: Ácido Aspártico; Glu: Ácido Glutámico; Pro: Prolina; Gly: Glicina; Ser: Serina; Tyr: Tirosina; Trp: Triptofano.

APLICACIONES AGRONÓMICAS DE LAS MACROALGAS

Se mencionará algunas aplicaciones en investigaciones recientes en donde se utilizan las algas como extractos y harina en cultivos de plantas. Primero se probaron 2 algas en un cultivo de maíz (*Zea mays*) para observar su contenido fitoquímico, el alga *Corallina elongata* incremento el contenido de antioxidantes en la raíz, el ácido tánico en toda la planta y el contenido de polifenoles; al utilizar el alga *Jania rubens* tuvo buenos resultados para la mejora en el contenido de lípidos, nitrógeno y proteínas. Y estas 2 algas al combinarse hicieron que incrementara su contenido en antioxidantes en los brotes y el contenido de azúcar (Al-Saman et al., 2015). También se analizó el efecto que tiene en el suelo y crecimiento de la planta de cilantro (evaluando la longitud y su biomasa seca a los 90 días), pero esta vez utilizando el alga parda *Sargassum vulgare*, al aplica 6 y 9 gramos de harían de esta alga se observó que en suelo hubo más nutrientes y esto hizo que la planta se desarrollará mejor, asimismo a los 35 días se indicó que hubo cambios en el pH y su CE (conductividad eléctrica) (Camurati et al., 2019).

Las algas también se pueden utilizar para la elaboración de composta utilizando desechos orgánicos distribuyéndose de la siguiente manera: 50% de algas (*Cladophora sp* y *Ulva Lactuca*), cantidades iguales de 25% de estiércol de granja y lodo residual. Esta composta ayudo al cultivo desarrollando más a las plantas de maíz y al terminar se analizó el suelo tratado y se observó una mejora en la cantidad de nutrientes, hubo un aumento de humedad, la circulación del aire mejoró y el ambiente hizo que la actividad de microorganismos mejorará (Uribe-Orozco et al., 2018).

De igual manera las algas también se pueden utilizar para la buena germinación de las plantas como en este caso la *Lepidium sativum*, que para su germinación se utilizó composta y extractos de *Fucus sp*. Se evaluó la longitud de esta planta al utilizar composta y extracto para su fertilización, sus resultados fueron buenos, ya que, su crecimiento fue 2 veces mayor en comparación al grupo control (Uribe-Orozco et al., 2018). Asimismo, las algas se pueden utilizar como biofertilizantes gracias a su alto contenido de betainas, compuesto osmilítico orgánico que este ayuda en la protección contra las sales, la sequía y el estrés por temperaturas extremas; para el biofertilizante se utilizaron extractos de las algas *Ascophyllum nodosum*, *Laminaria digitata*, *Laminaria hyperborea* y *Fucus serratus* (Blunden et al., 2010).

APLICACIONES EN LA ALIMENTACIÓN HUMANA Y ANIMAL

Alimentación humana

Las algas marinas a sus inicios se cosechaban para elaborar espesantes (alginato, agar y carragenina) y para consumo directo. Hoy en día ya se han realizado varios estudios en donde se han probados que las macroalgas son un alimento muy beneficioso para nuestro cuerpo, ya que, son ricas tanto en proteínas como en vitaminas (en especial las vitaminas A, C y la B12), también proporcionan un buen contenido de lípidos, fibras y minerales (hierro, calcio, yodo, potasio y selenio (Doctoral et al., 2014).

Alimentación animal

En el cultivo de crustáceos (moluscos y peces) las algas marinas son una buena opción para su alimentación, este alimento normalmente viene en forma de pellets, polvo seco o en extractos. Aunque generalmente para hacer este tipo de alimento para los crustáceos se utilizan productos de baja calidad o subproductos del procesamiento de algas. También las macroalgas se utilizan para la alimentación del ganado, pues estas son una buena fuente de proteínas con altos niveles de aminoácidos esenciales, debido a que varios estudios han demostrado que las algas son buenas para la alimentación animal, y algunas de estas pueden ser utilizadas como aditivo alimenticio, para mejorar el crecimiento, en la mejora del metabolismo y para mejorar el estado nutricional de los animales (Camurati et al., 2019).

HERRAMIENTAS BIOINFORMÁTICAS APLICADAS AL ESTUDIO DE LAS MACROALGAS

En la actualidad, se han desarrollado bases de datos especializadas en diversas áreas de las ciencias biológicas, las cuales tienen una amplia variedad de usos, desde la identificación de secuencias de ADN y proteínas hasta el análisis de rutas metabólicas y la evolución de los organismos. Cada una de ellas tiene sus propias características y fortalezas específicas en la investigación biológica. Las bases de datos especializadas ofrecen información valiosa para la investigación biológica. Estas bases de datos incluyen información sobre secuencias de ADN y ARN, estructuras tridimensionales de proteínas y otras macromoléculas biológicas, clasificación taxonómica de los organismos, rutas metabólicas, funciones biológicas, genomas, variaciones genéticas, familias de ARN no codificante conservadas evolutivamente y árboles filogenéticos. Las Bases de Datos más utilizadas incluyen GenBank, UniProtKB, Protein Data Bank (PDB), NCBI Taxonomy, KEGG, Ensembl, Rfam y TreeBASE (De Grado et al., 2023). Estas bases de datos han ayudado a identificar macroalgas de importancia agronómica, así como la salud humana, e identificar extractos o proteínas importantes en las macroalgas gracias al uso de estas herramientas (Tabla 3).

Por otra parte, han existido otras herramientas bioinformáticas que se utilizan en las macroalgas, por ejemplo, el acoplamiento molecular, este se ha convertido en un componente importante del proceso de descubrimiento de fármacos. Desde que se desarrolló por primera vez en la década de 1980, los avances en la potencia del hardware informático y el creciente número y facilidad de acceso a estructuras de proteínas y moléculas pequeñas han contribuido al desarrollo de métodos mejorados, lo que ha hecho que el acoplamiento sea más popular tanto en entornos industriales como académicos. A lo largo de los años, las modalidades mediante las cuales se utiliza el acoplamiento para ayudar en las diferentes tareas del descubrimiento de fármacos han cambiado. Aunque inicialmente se desarrolló y utilizó como método independiente, el acoplamiento ahora se emplea principalmente en combinación con otros enfoques computacionales dentro de flujos de trabajo integrados (Pérez & Tvaroška, 2014). Sin embargo, el acoplamiento molecular también se ha utilizado en las macroalgas para estudiar interacciones proteínas – ligandos de compuestos bioactivos de estas.

Una técnica eficiente para el estudio conjunto de estos compuestos bioactivos son las tecnologías de secuenciación de próxima generación (NGS), estas permiten la generación de información más realista y analizable sobre la diversidad genética de organismos, ya sea a un nivel individual, especie y de taxones superiores. El número de polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) detectados mediante secuenciación de próxima generación es un orden de magnitud superior al de los SNP y/o alelos detectados mediante códigos de barras tradicionales o microsatélites (Fort et al., 2018). En la tabla 3 se tienen algunas aplicaciones bioinformáticas en las macroalgas que han permitido entender más de estas. Gracias a estos se han tenido más información de sus capacidades en agricultura y en muchas otras áreas de estudio.

Tabla 3. Estudios bioinformáticos relacionados con los 3 tipos de macroalgas de diferentes especies utilizando diferentes técnicas (Base de datos, NGS, acoplamiento molecular) en su correspondiente literatura.

Objetivo	Alga	Técnica bioinformática	Referencia
Proceso automatizado de análisis EST (ESTFrontier) de alga roja	<i>Eucheuma denticulatum</i>	Base de datos EuDBase	(Hussein et al., 2011)
Determinación de alérgenos	<i>Rhodophyta</i>	AllergenOnline proporciona coincidencias de identidad de secuencia y una base de datos para la búsqueda y comparación de alérgenos	(Gaspan & Tolentino, 2023)
Evaluar los polisacáridos sulfatados (SSP) de algas bioactivas frente a la proteína objetivo ompF	No especifica	Acoplamiento molecular simulado utilizando AutoDockTools 1.5.6 (ADT)	(Arunkumar et al., 2022)
Identificación de péptidos emulsionantes derivados de algas, bacterias metanotróficas y proteínas de patata	<i>E. denticulatum</i>	Proteómica cuantitativa	(Yesiltas et al., 2021)
El potencial hipocolesterolémico del alga parda comestible	<i>Fucus vesiculosus</i>	análisis proteómico cuantitativo por PCR	(André et al., 2023)
extracción de ADN preparado para NGS de macroalgas	<i>Ulva spp.</i>	NGS utilizando perlas magnéticas	(Fort et al., 2018)
Interacción alga-microbio	<i>Rhodophyta</i>	Tecnologías NGS	(Patwary et al., 2021)

CONCLUSIONES

Las macroalgas son una fuente de compuestos bioactivos con importantes aplicaciones en la agricultura y en la industria. La investigación entre la biología y la biotecnología, ayudan a entender mejor su ecología, fisiología y potencial comercial, fomentando su conservación y su aprovechamiento sostenible de las macroalgas. En la agricultura las macroalgas juegan un papel valioso, ya que proporcionan fertilizantes orgánicos y bioestimulantes, el cual su uso puede mejorar tanto el crecimiento como la resistencia de los cultivos a enfermedades y condiciones adversas del suelo. Los extractos de macroalgas podrían reemplazar los típicos fertilizantes químicos tradicionales, contribuyendo a la agricultura sostenible y la reducción de la contaminación. En la alimentación, las macroalgas son ricas en nutrientes, incluyendo vitaminas, minerales, proteínas y compuestos bioactivos como los carotenoides. El análisis bioinformático de su composición nutricional y de sus propiedades funcionales puede ayudar a identificar variedades de macroalgas con perfiles nutricionales óptimos para su incorporación en la dieta humana y animal. La bioinformática se puede utilizar en la catalogación de las algas, facilitando tecnologías para la producción y desarrollo de alimentos a base de macroalgas, como lo pueden ser snacks, bebidas, suplementos, productos de panadería, etc. La aplicación de la bioinformática

en el estudio de las macroalgas da paso a nuevas oportunidades para su uso, ya sea en la agricultura y la alimentación, dando soluciones innovadoras, así como sostenibles para mejorar la salud de la humanidad tanto la del medio ambiente.

PERSPECTIVAS A FUTURO Y DESAFÍOS:

Además de su valor como fertilizantes, las macroalgas contienen compuestos bioactivos que promueven el crecimiento de las plantas. Las algas se están estudiando como biostimulantes vegetales para mejorar la resistencia al estrés, la absorción de nutrientes y la calidad de los cultivos. Los géneros más estudiados de algas como bioestimulantes son *Chlorella sorokiana*, *Scenedesmus quadricauda*, algas bálticas, *Chlorella vulgaris* y *Spirulina plantesis*.

Los extractos obtenidos de algas marinas son reconocidos como promotores del crecimiento vegetal. Han sido utilizados tanto en la aplicación foliar como en el sustrato para potenciar el crecimiento de las plantas incluso en condiciones adversas como el frío extremo, la sequía y la salinidad elevada. Además, las plantas tratadas con estos extractos han demostrado una considerable resistencia frente a enfermedades ocasionadas por hongos, bacterias y virus.

Es importante destacar que el uso de macroalgas está en aumento en la industria alimentaria. Dada su capacidad para crecer en entornos diversos y su alto contenido nutricional, las macroalgas se están considerando como una solución para abordar la seguridad alimentaria, especialmente en regiones donde la agricultura tradicional enfrenta desafíos debido a la escasez de agua o suelos degradados.

Declaración de ética: Los autores respaldan el presente trabajo y contribuyendo de manera significativa en su autoría. Así mismo no existe conflicto de interés y se han seguido todos los procedimientos éticos necesarios.

Agradecimientos: Agradecimiento a la Facultad de Agronomía de la UANL por brindarnos fuentes de apoyos económicos y becas, así como la infraestructura y acceso a bases de datos para llevar a cabo la presente revisión.

REFERENCIAS

- Adarshan, S., Sree, V. S. S., Muthuramalingam, P., Nambiar, K. S., Sevanan, M., Satish, L., Venkidasamy, B., Jeelani, P. G., & Shin, H. (2023). Understanding Macroalgae: A Comprehensive Exploration of Nutraceutical, Pharmaceutical, and Omics Dimensions. *Plants* 2024, Vol. 13, Page 113, 13(1), 113. <https://doi.org/10.3390/PLANTS13010113>
- Al-Saman, M., ... S. F.-I. J. of, & 2015, undefined. (2015). Effects of some red Algae on antioxidant and phytochemical contents of Maize (*Zea mays* L.) plants. *Staff.Usc.Edu.EgMA Al-Saman, SA Farfour, RA HamoudaInternational Journal of Agriculture Sciences*, 2015•*staff.Usc.Edu.Eg*, 5(2), 393–398. <https://www.staff.usc.edu.eg/uploads/8a002660c432b63c2266f572a8e95b8b.pdf>
- André, R., Pacheco, R., Alves, A. C., Santos, H. M., Bourbon, M., & Serralheiro, M. L. (2023). The Hypocholesterolemic Potential of the Edible Algae *Fucus vesiculosus*: Proteomic and Quantitative PCR Analysis. *Foods (Basel, Switzerland)*, 12(14). <https://doi.org/10.3390/FOODS12142758>
- Arunkumar, M., Mahalakshmi, M., Ashokkumar, V., Aravind, M. K., Gunaseelan, S., Mohankumar, V., Ashokkumar, B., & Varalakshmi, P. (2022). Evaluation of seaweed sulfated polysaccharides as natural antagonists targeting *Salmonella typhi* OmpF: molecular docking and pharmacokinetic profiling. *Beni-Suef University Journal of Basic*

and Applied Sciences, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/S43088-021-00192-X/TABLES/2>

- Bañeras, S. B. (2014). *Análisis del sector de producción de algas con fines alimentarios. Percepción del consumidor frente al consumo de algas*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/22271>
- Baweja, P., Kumar, S., Sahoo, D., & Levine, I. (2016). Biology of Seaweeds. *Seaweed in Health and Disease Prevention*, 41–106. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00003-8>
- Biris-Dorhoi, E. S., Michiu, D., Pop, C. R., Rotar, A. M., Tofana, M., Pop, O. L., Socaci, S. A., & Farcas, A. C. (2020). Macroalgae—A Sustainable Source of Chemical Compounds with Biological Activities. *Nutrients*, 12(10), 1–23. <https://doi.org/10.3390/NU12103085>
- Blunden, G., Morse, P. F., Mathe, I., Hohmann, J., Critchley, A. T., & Morrell, S. (2010). Betaine yields from marine algal species utilized in the preparation of seaweed extracts used in agriculture. *Natural Product Communications*, 5(4), 581–585. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500418>
- Camurati, J. R., Hocsman, J., & Salomone, V. N. (2019). Potentialities of Argentine marine macroalgae. *Marine and Fishery Sciences (MAFIS)*, 32(2), 169–183. <https://doi.org/10.47193/MAFIS.3222019121907>
- Dawczynski, C., Schubert, R., chemistry, G. J.-F., & 2007, undefined. (1998). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *ElsevierC Dawczynski, R Schubert, G JahreisFood Chemistry, 2007•Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.09.041>
- De, D., Marina, B., De, E., Actividad, L. A., & De, A. (2015). *EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE Ulva lactuca*. <https://biblio.uabcs.mx/tesis/te3372.pdf>
- De Grado, T., Optar, P., Título De Magíster En, A. L., Maestría, B., & Biotecnología, E. N. (2023). *La bioinformática como herramienta para el conocimiento de microorganismos edáficos con potencial para la producción agrícola sostenible, recuperación y*. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/28824>
- Déléris, P., Nazih, H., & Bard, J. M. (2016). Seaweeds in Human Health. *Seaweed in Health and Disease Prevention*, 319–367. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00010-5>
- Denis, C., Morañais, M., Li, M., Deniaud, E., Gaudin, P., Wielgosz-Collin, G., Barnathan, G., Jaouen, P., & Fleurence, J. (2010). Study of the chemical composition of edible red macroalgae Grateloupia turuturu from Brittany (France). *Food Chemistry*, 119(3), 913–917. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2009.07.047>
- Doctoral, T., Lucas, A. :, Directora, M., Alicia, D., Califano Co-Directora, N., Silvina, D., & Andrés, C. (2014). *Alternativas tecnológicas para el desarrollo de productos cárnicos emulsionados saludables*. <https://doi.org/10.35537/10915/34958>
- Dominguez, H., & Loret, E. P. (2019). Ulva lactuca, A Source of Troubles and Potential Riches. *Marine Drugs* 2019, Vol. 17, Page 357, 17(6), 357. <https://doi.org/10.3390/MD17060357>
- Dumay, J., & Morañais, M. (2016). Proteins and Pigments. *Seaweed in Health and Disease Prevention*, 275–318. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00009-9>
- Fort, A., Guiry, M. D., & Sulpice, R. (2018). Magnetic beads, a particularly effective novel method for extraction of NGS-ready DNA from macroalgae. *Algal Research*, 32, 308–313. <https://doi.org/10.1016/J.ALGAL.2018.04.015>

- Gaspan, D., & Tolentino, M. (2023). Identificación y caracterización in silico de posibles alérgenos de algas rojas. *Revista Abierta de Bioinformática y.* <https://www.biolscigroup.us/articles/OJBB-7-113.php>
- Gómez-Ordóñez, E., Jiménez-Escrig, A., & Rupérez, P. (2010). Dietary fibre and physicochemical properties of several edible seaweeds from the northwestern Spanish coast. *Food Research International*, 43(9), 2289–2294. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2010.08.005>
- Gupta, S., & Abu-Ghannam, N. (2011). Desarrollos recientes en la aplicación de algas o extractos de algas como medio para mejorar la seguridad y los atributos de calidad de los alimentos. *Ciencia de Los Alimentos Innovadora y Emergente...* <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1466856411001007>
- Harley, C. D. G., Anderson, K. M., Demes, K. W., Jorve, J. P., Kordas, R. L., Coyle, T. A., & Graham, M. H. (2012). EEffects Of Climate Change On Global Seaweed Communities. *Journal of Phycology*, 48(5), 1064–1078. <https://doi.org/10.1111/J.1529-8817.2012.01224.X>
- Hernández-Herrera, R. M., Santacruz-Ruvalcaba, F., Ruiz-López, M. A., Norrie, J., & Hernández-Carmona, G. (2014). Effect of liquid seaweed extracts on growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 619–628. <https://doi.org/10.1007/S10811-013-0078-4/FIGURES/4>
- Hussein, Z. A. M., Loke, K. K., Abidin, R. A. Z., & Othman, R. (2011). EuDBase: An online resource for automated EST analysis pipeline (ESTFrontier) and database for red seaweed *Eucheuma denticulatum*. *Bioinformation*, 7(4), 157. <https://doi.org/10.6026/97320630007157>
- Liuzzi, M. G., Gappa, J. L., & Piriz, M. L. (2011). Latitudinal gradients in macroalgal biodiversity in the Southwest Atlantic between 36 and 55°S. *Hydrobiologia*, 673(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/S10750-011-0780-7>
- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., & Ankers, P. (2016). Seaweeds for livestock diets: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 1–17. <https://doi.org/10.1016/J.ANIFEEDSCI.2015.09.018>
- Mansilla, A., Oceanografía, K. A.-B. M. y, & 2013, undefined. (n.d.). CAPITULO 16. GENERALIDADES SOBRE LAS MACROALGAS. *Recursosbiblio.Url.Edu.GtA Mansilla, K AlvealBiología Marina y Oceanografía, México, 2013•recursosbiblio.Url.Edu.Gt.* Retrieved May 13, 2024, from <http://recursosbiblio.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/BioMarina/12.pdf>
- Manual de practicas de laboratorio biologia de algas - Google Académico.* (n.d.). Retrieved May 28, 2024, from https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Manual+de+practic+de+laboratorio+biologia+de+algas&btnG=
- Morais, T., Inácio, A., Coutinho, T., Ministro, M., Cotas, J., Pereira, L., & Bahcevandziev, K. (2020). Seaweed Potential in the Animal Feed: A Review. *Journal of Marine Science and Engineering 2020, Vol. 8, Page 559*, 8(8), 559. <https://doi.org/10.3390/JMSE8080559>
- Moreda-Piñeiro, J., Moreda-Piñeiro, A., & Romarís-Hortas, V. (2012). Metales traza en alimentos marinos: estimación de la biodisponibilidad y efecto de los principales componentes de

los alimentos. *Química de Los Alimentos*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814612003809>

- Ortiz, J., Romero, N., Robert, P., Araya, J., Lopez-Hernández, J., Bozzo, C., Navarrete, E., Osorio, A., & Rios, A. (2006). Dietary fiber, amino acid, fatty acid and tocopherol contents of the edible seaweeds *Ulva lactuca* and *Durvillaea antarctica*. *Food Chemistry*, 99(1), 98–104. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2005.07.027>
- Patwary, Z. P., Paul, N. A., Nishitsuji, K., Campbell, A. H., Shoguchi, E., Zhao, M., & Cummins, S. F. (2021). Application of omics research in seaweeds with a focus on red seaweeds. *Briefings in Functional Genomics*, 20(3), 148–161. <https://doi.org/10.1093/BFGP/ELAB023>
- Peña-Rodríguez, A., Mawhinney, T. P., Ricque-Marie, D., & Cruz-Suárez, L. E. (2011). Chemical composition of cultivated seaweed *Ulva clathrata* (Roth) C. Agardh. *Food Chemistry*, 129(2), 491–498. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2011.04.104>
- Pérez, S., & Tvaroška, I. (2014). Carbohydrate-protein interactions: Molecular modeling insights. *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry*, 71, 9–136. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800128-8.00001-7>
- Peteiro, C., Cortés, B., ... N. A.-C. O., & 2016, undefined. (n.d.). Creación de bancos de germoplasma o “semillas” con algas laminarias para su conservación, restauración ecológica y/o cultivo comercial. *Digital.Csic.EsC Peteiro, B Cortés, NL Arroyo, M García-Tasende, A Vergés, B MartínezCentro Oceanográfico de Santander, 2016•digital.Csic.Es*. Retrieved May 28, 2024, from https://digital.csic.es/bitstream/10261/314162/4/IPAC_Peteiro.pdf
- Quitral R., V., Morales G., C., Sepúlveda L., M., & Schwartz M., M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(4), 196–202. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000400014>
- Ribamar Da Cruz, J., Júnior, F., & Ribamar Da Cruz, F. J. (2015). *Desarrollo y aplicaciones del cultivo de "Saccharina latissima" (Laminariales, Ochrophyta) en sistemas de acuicultura multitrófica integrada (MTI)*. <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/15444>
- Sharma, H. S. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2014). Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 465–490. <https://doi.org/10.1007/S10811-013-0101-9/TABLES/3>
- Uribe-Orozco, M., (Arica), L. M.-C.-I., & 2018, undefined. (n.d.). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *SciELO Chile*. Retrieved May 14, 2024, from https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-34292018005001202&script=sci_arttext
- Yesiltas, B., Gregersen, S., Lægsgaard, L., Brinch, M. L., Olsen, T. H., Marcatili, P., Overgaard, M. T., Hansen, E. B., Jacobsen, C., & García-Moreno, P. J. (2021). Emulsifier peptides derived from seaweed, methanotrophic bacteria, and potato proteins identified by quantitative proteomics and bioinformatics. *Food Chemistry*, 362, 130217. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2021.130217>