

Avance y Perspectiva

Revista de divulgación del CINVESTAV

Microorganismos asociados a macroalgas marinas: una comunidad invisible

Karina Galache · Wednesday, July 31st, 2024

Categorías: [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

Las macroalgas marinas son un grupo de organismos fotosintéticos fundamentales para el funcionamiento de los ecosistemas marinos. Son algas multicelulares con una alta variedad de formas, tamaños y en función de su pigmentación, se dividen en rojas, verdes y pardas.

Estos vegetales marinos se encuentran en la intersección de muchas tendencias de actualidad, otorgando beneficios al proporcionar: a) servicios ecosistémicos clave, como ser productores de oxígeno; sumideros de carbono, y hábitat de otros organismos; b) servicios a la población humana por emplearse en muchas aplicaciones industriales y farmacológicas; y c) servir como alimento humano participando en el cambio dietético hacia fuentes de proteínas de origen oceánico con menores emisiones de CO₂ durante el proceso productivo.

Aunado a esto, las macroalgas tienen la capacidad de poder cultivarse, generando una actividad económica significativa que ha ido ganando importancia en los últimos años. Las 32.4 millones de toneladas de algas cultivadas en 2018 a nivel global representan el 51.3% de la producción total de productos marinos de acuicultura, y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés), les asigna un valor de 13,300 millones de dólares anuales.

Las macroalgas han desarrollado una serie de estrategias de aclimatación a corto y largo plazo para sobrevivir en condiciones ambientales cambiantes y difíciles. Esto implica cambios en la morfología del talo, composición de la pared celular, y otras adaptaciones fisiológicas o metabólicas, como cambios de pigmentación, y alteraciones en la morfología del cloroplasto.

La superficie de las macroalgas por sí misma constituye un hábitat importante para una gran cantidad de microorganismos marinos: bacterias, diatomeas y hongos. Estas biopelículas se ven afectadas por la hidrodinámica en el hábitat, las propiedades fisicoquímicas de la superficie, y la respuesta conductual de los colonizadores.

Las macroalgas, incluso cuando están saludables, son constantemente colonizadas por una gran diversidad de bacterias que son de vital importancia tanto para ellas como para el ambiente, ya que llevan a cabo la degradación de la materia orgánica, contribuyendo a los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y azufre, ciclos fundamentales para el funcionamiento y salud de estos

ecosistemas y sus integrantes.

Para conocer un poco más sobre esta comunidad, para nosotros invisible, a través de esta lectura se presentará información relevante sobre los grupos de microorganismos que coexisten con las macroalgas, y que resultan benéficos o perjudiciales para ellas. Además, se abordarán las estrategias en que las macroalgas son capaces de regular el número de microorganismos que se desarrollan en su superficie.

Comunidades microbianas asociadas a las macroalgas y sus interacciones

Las comunidades microbianas asociadas a las macroalgas se comenzaron a estudiar a inicios de la década del 2000, por lo que su composición, estructura y dinámica permanecen todavía poco exploradas. Con el desarrollo de nuevas técnicas moleculares, se ha logrado registrar un mayor número de representantes de estos grupos que no era posible identificar con las técnicas convencionales de identificación. Gracias a ello se ha conseguido diferenciar tanto las comunidades microbianas establecidas sobre las macroalgas, como las presentes en la columna de agua circundante.

Entre los grupos asociados a macroalgas marinas más abundantes y mejor representados, se encuentran los Bacteroidetes, Planctomicetes, Verrucomicrobia, Cianobacteria y γ -Proteobacteria (Figura 1).



Figura 1. Principales grupos de microorganismos encontrados en asociación con macroalgas marinas. Grupos más representados y aislamientos más comunes.

Las interacciones huésped-microbio desempeñan un papel crucial en una comunidad simbiótica, donde el socio más grande en función de su tamaño, en este caso las macroalgas, se considera huésped. El huésped y todos sus microorganismos asociados, o microbiota, se conoce actualmente como holobionte, término acuñado por la científica Lynn Margulis en 1991. Al incluir toda la microbiota asociada, sus interacciones pueden ser benéficas o perjudiciales (Figura 2).



Figura 2. Descripción general de las interacciones benéficas (verde) y perjudiciales (rojo) entre las macroalgas y las bacterias.

Entre las interacciones benéficas, se puede mencionar cómo algunas bacterias favorecen la incorporación de nutrientes a través de la fijación y suministro de nitrógeno inorgánico, fomentando el crecimiento de las macroalgas. Se ha observado también la morfogénesis inducida por bacterias, que influye en el desarrollo y cambios morfológicos de algunas especies de macroalgas.

Las bacterias también pueden impedir el asentamiento de larvas de invertebrados u otras algas epífitas sobre las macroalgas marinas mediante la producción de metabolitos secundarios, actuando como toxinas o compuestos de señalización. Por otro lado, las bacterias pueden provocar efectos

adversos a su hospedero, al competir por nutrientes o actuar como agentes patógenos.

¿Cómo se comunican las macroalgas y las bacterias?

Las bacterias forman comunidades llamadas colonias y algunas presentan un estilo de vida libre. Para comunicarse entre sí, utilizan un “lenguaje químico” para ponerse de acuerdo y hacer cosas que solo hacen en conjunto, como regular su densidad poblacional y adueñarse de espacio. Es lo que se conoce como “Quorum sensing” o percepción de quórum.

La palabra quórum proviene del latín “quorum”, que es el número necesario de individuos para tomar una decisión determinada. En el mundo de los microorganismos, el “Quorum sensing” es referido a la autoinducción de una población de bacterias que regula su comportamiento en función de la densidad poblacional. Las bacterias involucradas producen y excretan sustancias llamadas autoinductores, que sirven de señal química y comunicación célula a célula para inducir una expresión genética colectiva.

Cuando un autoinductor alcanza un umbral crítico, las bacterias lo detectan, se ponen de acuerdo y responden a esta señal activando la expresión de genes que regulan la densidad celular de la colonia. El principal autoinductor conocido en la actualidad es la N-acil homoserina lactona. Esta molécula de señalización interviene en la regulación de genes relacionados con la producción de antibióticos, factores de virulencia, transferencia de plásmidos y en un tipo de desplazamiento coordinado conocido como “en enjambre”.

Por su parte, las macroalgas son capaces de regular el número de microorganismos que se desarrollan en su superficie, ya que tanto los componentes químicos de su pared celular, así como algunos de sus metabolitos secundarios pueden desencadenar interacciones específicas entre las algas y las bacterias que pueden regular, o bloquear las moléculas autoinductoras rompiendo la comunicación entre las bacterias.

Otra de las formas conocidas para regular la cantidad de microorganismos en las macroalgas ocurre mediante el proceso llamado “explosión oxidativa”, proceso por el cual algunas células de las algas son capaces de producir y liberar especies reactivas de oxígeno, tales como radicales superóxido y peróxido de hidrógeno, lo que, a su vez, va a constituir un estímulo para la producción de compuestos tóxicos para las bacterias, regulando así dicha comunidad.

Producción de sustancias reguladoras del crecimiento, morfogénesis y desarrollo

Los microorganismos asociados a las macroalgas tienen la capacidad de asentarse sobre el talo sin penetrar los tejidos (epífitos), o bien, colonizarlas internamente (endófitos). Estos últimos pueden resultar beneficiosos al producir reguladores del crecimiento, tales como el ácido indolacético (AIA), que inducen la proliferación celular al formar agallas bacterianas en el interior de los tejidos algales.

Asimismo, pueden encontrarse bacterias nitrificantes al interior de las agallas que convierten el amoníaco en nitratos o nitritos asimilables para las macroalgas. En la literatura científica se reportan al menos 20 especies de macroalgas rojas y pardas con presencia de agallas asociadas a

bacterias (Figura 3). Esta relación pareciera ser relevante para el desarrollo de las macroalgas, ya que las comunidades microbianas asociadas también suministran dióxido de carbono, minerales y vitaminas, mientras que las algas producen compuestos orgánicos y oxígeno, creando asociaciones simbióticas.



Figura 3. Agallas bacterianas en las algas rojas A: *Palmaria palmata*. B: género *Prionitis*.

Los procesos de morfogénesis en la familia *Ulvaceae*, familia de algas verdes cuyo representante más conocido es el género *Ulva* o lechuga de mar, dependen en mayor medida de bacterias que regulan la formación del talo. Se ha demostrado en diversos estudios, que las bacterias asociadas a este grupo de algas marinas secretan compuestos biológicamente activos, que permiten un correcto y eficiente desarrollo de las algas.

Si estas algas se cultivan axénicamente, es decir, eliminando mediante el uso de antibióticos las bacterias presentes en el talo (Figura 4), el alga pierde la morfología del talo y puede recuperar su desarrollo normal al inocular bacterias nuevamente.



Figura 4. Morfogénesis de *Ulva fasciata* en cultivo axénico después de (A) 4 semanas y (B) 6 semanas en ausencia de bacterias inductoras de morfogénesis, (C) 4 semanas y (D) 6 semanas en presencia de bacterias inductoras de morfogénesis (modificado de Sing *et al.* 2011).

Ayuda en la liberación y asentamiento de esporas algales

Al igual que las plantas terrestres que necesitan de sus semillas con innumerables procesos de dispersión que las llevan a colonizar nuevos hábitats, las macroalgas marinas se pueden dispersar en el océano a partir del movimiento de sus esporas.

Uno de los tipos de reproducción de las algas marinas, es la reproducción a través de zoosporas, esporas asexuales móviles que contienen flagelos para lograr su propulsión en la columna de agua, y que al llegar a un lugar con las condiciones idóneas se fijan al sustrato, ya sea el sedimento del fondo, una roca o el ancla de un barco, dando origen a una nueva alga.

Todo este proceso parece muy sencillo, sin embargo, se ha comprobado que el asentamiento de zoosporas de macroalgas puede ser estimulado o inhibido por algunos géneros de bacterias que secretan compuestos que van a regular dicho proceso. Se ha observado que los géneros *Vibrio* y *Shewanella* producen N-acil homoserina lactona, compuesto imprescindible para la fijación y germinación de las zoosporas de algas en los nuevos ambientes.

Por el contrario, otras especies de microorganismos pueden producir moléculas que inhiben el éxito de las zoosporas en la colonización, como es el caso de *Shewanella oneidensis* que produce ácido cis-9-oleico y ácido 2-hidroximirístico que actúan como inhibidores. También, *Pseudoalteromonas tunicata* y otras *Alteromonas* pueden producir péptidos con esta misma función.

Interacciones y patogenicidad

El microbioma puede desempeñar una función protectora, con bacterias presentes en la superficie de las macroalgas que liberan sustancias químicas que impiden el asentamiento de otros organismos, o mediante el intercambio de nutrientes.

Sin embargo, factores ambientales estresantes como, por ejemplo, altas temperaturas, pueden afectar directa o indirectamente los ensamblajes de bacterias epífitas debilitando las capacidades defensivas del huésped (macroalga) lo que, en consecuencia, permite la colonización de patógenos circundantes o hace que bacterias oportunistas se vuelvan dañinas, causando diferentes enfermedades (Figura 5). Muchas de estas bacterias pertenecen al grupo de las Alphaproteobacteria y Gammaproteobacteria, particularmente los géneros *Alteromonas*, *Flavobacterium*, *Pseudoalteromonas*.

Insistimos en la relevancia económica y humana de la acuicultura de algas en el mundo; sin embargo, este sector no está exento de riesgos, ya que los cultivos pueden verse afectados por enfermedades y plagas en general poco estudiados, experimentado en los últimos años graves problemas de bioseguridad. Una de ellas, que ocasiona importantes pérdidas económicas en cultivos comerciales de algas rojas tropicales de los géneros *Kappaphycus* y *Eucheuma*, es la enfermedad del “ice-ice” (hielo-hielo).

Estas macroalgas son productoras del gelificante carragenina, empleado ampliamente en productos alimenticios y farmacéuticos. El “ice-ice” es provocada por la bacteria *Vibrio alginolyticus*, y produce el blanqueamiento de diferentes partes del talo, seguido por un ablandamiento de los tejidos y su posterior desintegración, perdiendo biomasa y la consecuente reducción de la productividad de los cultivos.

En la Figura 5 podemos ver otros ejemplos de enfermedades o patógenos asociados a la acuicultura de macroalgas. Hasta la fecha, apenas se ha investigado la biodiversidad de agentes patógenos en las algas, incluyendo su taxonomía, síntomas macro o microscópicos, etiología, hábitat y distribución, y esta información es particularmente relevante, ya que se reportan brotes en instalaciones de maricultura o poblaciones silvestres comerciales, sin que se disponga de líneas de base con las cuales comparar.



Figura 5. Diferentes enfermedades causadas por microorganismos que degradan la pared celular de diferentes especies de algas rojas provenientes de cultivos comerciales diferentes.

Consideraciones finales

Las algas y las bacterias han recorrido un largo camino evolutivo; hay que recordar que los cloroplastos de algas se originaron a partir de cianobacterias endosimbióticas, y como puede observarse en esta lectura, la estrecha relación entre las poblaciones de macroalgas y las comunidades bacterianas sigue existiendo. En muchos de los casos resulta inviable separar al huésped del hospedero, y es necesario vigilar las condiciones del medio circundante para evitar la proliferación de patógenos y el surgimiento de enfermedades en las macroalgas.

En el contexto actual, en el que las poblaciones humanas crecen exponencialmente, se necesita la

introducción global de nuevas fuentes de proteína de origen natural, para satisfacer la creciente demanda de alimentos de elevada calidad nutricional, así como de biomasa sostenible usada en numerosas aplicaciones industriales.

Es por ello que el sector de la acuicultura de macroalgas crece a un ritmo vertiginoso, y las bacterias asociadas a ellas desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de enfermedades y en la salud del medioambiente circundante. Hasta la fecha, la biodiversidad de agentes causantes de enfermedades en las algas ha sido poco investigada. Por ello es importante conocer en profundidad estas relaciones con la finalidad de establecer cultivos de macroalgas con los sistemas de bioseguridad asociados, que hagan compatibles la producción de algas y la demanda actual de esta biomasa.

Bibliografía recomendada

Abdul Malik, S.A., Bedoux, G., Garcia Maldonado, J.Q., Freile-Pelegrín, Y., Robledo, D., Bourgougnon, N. (2019) *Defence on surface: macroalgae and their surface-associated microbiome* Advances in Botanical Research, 95, 327-368 <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2019.11.009>

FAO. 2020. *The state of world fisheries and aquaculture: sustainability in action*. Rome (Italy): FAO. p. 1–206 <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

Mendez C., D. Bustamante, M.S. Calderón, C. Gauna, L. Hayashi, D. Robledo, C. Tapia-Larios, I. Campbell, R. Westermeier, P. Murúa (2024) *Biosecurity baseline for a sustainable development of seaweed aquaculture in Latin America* Marine Policy 159, 105933 <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105933>

Hmani, Imen, Ghaderiardakani, Fatemeh, Ktari, Leila, El Bour, Monia and Wichard, Thomas. (2023) *High-temperature stress induces bacteria-specific adverse and reversible effects on Ulva (Chlorophyta) growth and its chemosphere in a reductionist model system* *Botanica Marina* <https://doi.org/10.1515/bot-2023-0053>

Singh, R. P., Mantri, V. A., Reddy, C. R. K., y Jha, B. (2011). *Isolation of seaweed-associated bacteria and their morphogenesis-inducing capability in axenic cultures of the green alga Ulva fasciata*. *Aquatic Biology*, 12(1), 13-21 <https://doi.org/10.3354/ab00312>

This entry was posted on Wednesday, July 31st, 2024 at 11:54 pm and is filed under [Ciencias Naturales y de la Salud](#), [Zona Abierta](#)

You can follow any responses to this entry through the [Comments \(RSS\)](#) feed. Both comments and pings are currently closed.

