

## Primer registro de una población de *Caulerpa okamurae* (Bryopsidales) en el Pacífico mexicano

[Laura González-Ortíz](#)<sup>1,2</sup>, [Alejandra Mazariegos-Villarreal](#)<sup>2</sup>, [Ruth Noemí Aguila-Ramírez](#)<sup>3</sup>, [Juan Manuel López-Vivas](#)<sup>4</sup>, [Ilie S Racotta](#)<sup>2</sup>, [Víctor Hugo Cruz-Escalona](#)<sup>3</sup>, [Crisalejandra Rivera-Pérez](#)<sup>2</sup>, [Sergio Scarry González-Peláez](#)<sup>2</sup>, [Alejandra Piñon-Gimate](#)<sup>3</sup>, [Arturo del Pino-Machado](#)<sup>3</sup>, [Mauricio Muñoz-Ochoa](#)<sup>3</sup>, [Karla León-Cisneros](#)<sup>4</sup>, [Christine J Band-Schmidt](#)<sup>3</sup>, [Tonatiuh Chávez-Sánchez](#)<sup>3</sup>, [Elisa Serviere-Zaragoza](#)<sup>2\*</sup>

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historial del artículo:

Recibido 6 de octubre de 2025

Aceptado 25 de noviembre de 2025

Publicado 19 de diciembre de 2025

READ IN ENGLISH:

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3582>

AUTOR DE CORRESPONDENCIA

\* E-mail: [serviere04@cibnor.mx](mailto:serviere04@cibnor.mx)

<sup>1</sup> Unión de Acuicultores del Complejo Lagunar de la Biosfera el Vizcaino S. de R.L. de C.V., 23940 Guerrero Negro, Baja California Sur, México.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C., 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>3</sup> Instituto Politécnico Nacional-Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas (CICIMAR-IPN), 23096 La Paz, Baja California Sur, México.

<sup>4</sup> Universidad Autónoma de Baja California Sur, 23080 La Paz, Baja California Sur, México.

**RESUMEN.** En la costa occidental de la Península de Baja California se han registrado 5 especies de *Caulerpa* consideradas como parte del elenco florístico regional; sin embargo, a finales de 2023 se detectó en la Laguna Ojo de Liebre, en las costas del Pacífico de Baja California Sur, la presencia de *Caulerpa okamurae*, cuya abundancia se incrementó notablemente durante 2024-2025. La macroalga se adhiere a los sistemas de cultivo de ostión, incrementa los costos de limpieza y amenaza praderas de pastos marinos y otros hábitats, con posibles efectos sobre recursos pesqueros. Distinguir entre poblaciones criptogénicas, no nativas e invasoras es clave en la investigación sobre la introducción de especies, pues una especie se considera invasora cuando su presencia amenaza la biodiversidad, la economía o la salud. En México existen lineamientos y una estrategia nacional para prevenir, detectar y controlar estas especies. En este trabajo se presenta el primer registro de una población de *C. okamurae* en las costas del Pacífico mexicano, a partir de la evidencia morfológica de ejemplares recolectados en Laguna Ojo de Liebre, en ausencia de registros previos en México. La confirmación de este hallazgo se suma a las 16 macroalgas introducidas ya documentadas en el Pacífico mexicano, la mayoría de las cuales provienen de Japón y Corea y cuya propagación está asociada al tráfico marítimo y la acuicultura. Ante la introducción y potencial establecimiento de *C. okamurae* en la Laguna Ojo de Liebre, es imprescindible implementar programas de monitoreo continuos y rigurosos que permitan determinar con precisión su distribución espacio-temporal.

*Palabras clave:* algas verdes, especie no nativa, especie invasora, macroalgas, México.

## INTRODUCCIÓN

### Consideraciones sobre especies no nativas e invasoras

En primera instancia, es importante distinguir entre una especie no nativa o “exótica” y una especie invasora, ya que en la legislación ambos conceptos suelen agruparse de manera conjunta. La Ley General de Vida Silvestre, en su fracción XVII, define a una especie exótica invasora como: “aquella especie o población que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y

ecosistemas naturales y que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública” (DOF 2010). Por su parte, la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), la Comisión Nacional de Áreas Protegidas (CONANP) y la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) consideran que los ejemplares o poblaciones invasoras son todos aquellos individuos o poblaciones de una especie exótica, introducidos accidental o intencionalmente fuera de su área de distribución natural actual o en el pasado, incluyendo sus gametos, semillas, propágulos o huevos, con capacidad de colonizar, invadir y persistir, y cuya introducción, establecimiento y dispersión

Acceso abierto

En línea ISSN: 2395-9053

Verificado con Similarity Check impulsado por iThenticate

<https://doi.org/10.7773/cm.v2025.3582>



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](#), que permite compartir y adaptar el trabajo, siempre y cuando se dé el crédito apropiado a los autores originales y la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. Las figuras, tablas y otros elementos del artículo están incluidos en la licencia CC BY 4.0 del artículo, a menos que se indique lo contrario. Debe solicitar permiso al titular de los derechos de autor para utilizar material no cubierto por esta licencia. El título de la revista está protegido por derechos de autor propiedad de la Universidad Autónoma de Baja California, y el título y el logotipo de la revista no están sujetos a esta licencia.

amenace a la diversidad biológica, o cause daños al ambiente, la economía y a la salud humana (Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras 2010).

Como parte de los compromisos de México en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) y la Estrategia Nacional de Biodiversidad, y en respuesta a los retos de las invasiones biológicas, la SEMARNAT identificó la necesidad de crear la “Estrategia nacional sobre especies invasoras en México: prevención, control y erradicación”, coordinada por la CONABIO con apoyo de un Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. El objetivo central de la estrategia es “contribuir a la conservación del capital natural y al bienestar humano a través de decisiones orientadas a la prevención, el control y la erradicación de especies invasoras en México mediante la participación coordinada, proactiva y responsable de todos los actores involucrados” (Comité Asesor sobre Especies Invasoras 2010). Para el año 2020, se esperaba que el país contara con sistemas de prevención, detección temprana y respuesta temprana, así como un marco legal integral para atender la problemática de las especies invasoras.

Para los fines del presente documento, es importante distinguir entre especie exótica, definida como aquella que no es nativa, que se encuentra fuera de su ámbito de distribución natural, y que es capaz de sobrevivir, reproducirse y establecerse en hábitats y ecosistemas naturales, e invasora, definida como aquella que amenaza la diversidad biológica nativa, la economía o la salud pública. Basados en estas aseveraciones, distinguir, entre poblaciones para las que no se puede clasificar con certeza su origen (criptogénicas), no nativas e invasoras, es clave en los estudios de introducción de especies. Las identificaciones de especies consideradas en la literatura como no nativas, pero sustentadas únicamente por observaciones morfológicas, sin evidencia molecular, fueron catalogadas como criptogénicas en el sentido de Carlton (1996), dado que no existe certeza sobre las rutas de introducción o los vehículos de su dispersión, así como sobre los posibles efectos que podrían tener en el entorno de los ecosistemas (Pedroche y Aguilar-Rosas 2025).

En este trabajo se presenta el primer registro de una población de *Caulerpa okamurae* en las costas del Pacífico mexicano, a partir de la evidencia morfológica de ejemplares recolectados en Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, en ausencia de registros previos en México (Pedroche y Senties 2020).

### Macroalgas introducidas en el Pacífico mexicano

En el Pacífico mexicano se ha documentado la presencia de 16 macroalgas marinas introducidas, de las cuales 2 son verdes, 7 pardas y 7 rojas (Aguilar-Rosas et al. 2014). De estas, 8 pueden ser consideradas especies invasoras, debido a su alta abundancia en las zonas donde han sido registradas. Entre ellas, 4 especies son algas pardas (Ochrophyta), *Cladostephus spongiosus* (Hudson) C Agardh, *Sargassum horneri* (Turner) C Agardh, *Sargassum muticum* (Yendo)

Fensholt y *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, y 4 son algas rojas (Rhodophyta), *Chondracanthus squarulosus* (Setchell y NL Gardner) Hughey, PC Silva y Hommersand, *Grateloupia turuturu* Yamada, *Gracilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss y *Acanthophora spicifera* (Vahl) Børgesen. No se ha registrado a la fecha alguna alga verde con características invasoras (Aguilar-Rosas et al. 2014).

Aproximadamente, el 80% de estas especies son originarias de Japón o Corea. En la mayoría de los casos, se ha sugerido que su introducción ocurrió a través del tráfico marítimo, y en menor medida, mediante actividades relacionadas con la acuicultura o la pesca. En este último caso, la introducción de *Sargassum muticum* en la costa del Pacífico canadiense se ha atribuido a un evento accidental asociado al transporte del Ostión Japonés *Magallana gigas* (Thunberg, 1793) (como *Crassostrea gigas* Thunberg, 1793), en cuyas conchas posiblemente se encontraban adheridas pequeñas plántulas (Scagel 1956). A partir de este evento, se ha sugerido que las corrientes marinas han facilitado su dispersión natural hacia el sur, alcanzando incluso la costa de Baja California Sur en México (Aguilar-Rosas et al. 2014). No obstante, se ha señalado la falta de información confiable sobre las rutas de introducción o los vectores específicos para cada una de las macroalgas no nativas. Por ello, se considera prioritario desarrollar estudios orientados a identificar los mecanismos de introducción de cada una de las especies, lo cual permitirá establecer medidas efectivas de prevención.

Adicionalmente, 2 macroalgas, *Dactylosiphon durvillei* (Bory) Santiañez, KM Lee, SM Boo y Kogame (como *Colpomenia phaeodactyla* MJ Wynne y JN Norris) e *Ishige sinicola* (Setchell y NL Gardner) Chihara, han sido registradas dentro del listado de macroalgas consideradas como introducidas e invasoras o potenciales a ingresar en la costas del Pacífico mexicano, en un proyecto de CONABIO intitolado “Estado actual de las especies de macroalgas introducidas e invasoras en la costa Pacífico de México” (CONABIO 2025).

### El género *Caulerpa*

El género *Caulerpa* está compuesto por varias especies de algas verdes y se distribuye globalmente en los ambientes marinos. En general, las especies de *Caulerpa* se encuentran en aguas tropicales y subtropicales poco profundas, aunque algunas especies pueden habitar en lagunas salobres. En cada especie de *Caulerpa*, el talo está compuesto de filamentos cenocíticos, es decir, formados por una única célula con múltiples núcleos sin paredes celulares que los dividan. Estos filamentos presentan numerosas trabéculas, que son excrecencias cilíndricas ramificadas de la pared celular.

Las especies de *Caulerpa* presentan 2 tipos de propagación, sexual y vegetativa, lo que permite que incluso fragmentos pequeños den lugar a nuevos individuos, además de conferirles una alta tasa de crecimiento. Estas características, junto con la presencia frecuente de compuestos

toxigénicos que las protegen de los herbívoros, especialmente en entornos nuevos, facilitan la rápida colonización de nuevas áreas (Gao et al. 2019). Asimismo, las especies de *Caulerpa* poseen adaptaciones que les permiten tolerar una amplia gama de condiciones ambientales, lo cual favorece aún más su alto potencial para colonizar otras localidades (Park et al. 2022).

En México, a lo largo de la costa occidental de la Península de Baja California, se han registrado 5 especies del género *Caulerpa* como parte de la flora de diversos sitios: *Caulerpa chemnitzia* (Esper) JV Lamouroux (como *Caulerpa peltata* JV Lamouroux), *Caulerpa cylindracea* Sonder (como *Caulerpa racemosa* [var. *laetevirens*] f. *cylindracea* [Sonder] Weber Bosse), *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J Agardh var. *racemosa* (como *Caulerpa racemosa* var. *macrophysa* [Sonder ex Kützing] WR Taylor), *Caulerpa sertularioides* (SG Gmelin) M Howe y *Caulerpa chemnitzia* var. *vanbosseae* (Setchell y NL Gardner) Fernández-García y Riosmena-Rodríguez (como *Caulerpa vanbosseae* Setchell y NL Gardner) (Francisco F Pedroche, com. pers., noviembre de 2025). Sin embargo, a finales de 2023, pescadores ribereños observaron la presencia de una macroalga verde en la zona de Laguna Ojo de Liebre, en la costa occidental de Baja California Sur, la cual no había estado presente previamente. Posteriormente, a finales del 2024, se observó un incremento considerable en la presencia y abundancia de esta macroalga (Fig. 1a). Los ejemplares fueron identificados como *C. okamuræ* por académicos del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR) y de la Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS). Su llegada, junto con el incremento de su biomasa y posteriores avistamientos en diversos sitios de la Laguna Ojo de Liebre, representan una amenaza para las praderas de pastos marinos (Fig. 1b) y otras macroalgas que se distribuyen en la zona, y para diversos recursos que constituyen elementos clave del ecosistema, como hábitat o alimento, incluidos aquellos de importancia comercial. En particular, el impacto es evidente en los sistemas de cultivo del ostión, a los cuales llegan arribazones de esta macroalga. Las labores de limpieza realizadas por parte de los integrantes de las cooperativas pesqueras resultan extenuantes y poco fructíferas, dada la capacidad del alga para recolonizar los sistemas de cultivo en pocas semanas (Fig. 1 c,d).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material examinado

Los ejemplares se recolectaron manualmente el 10 de marzo de 2025 en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México (La Concha, 27°48'51"N, -114°13'53"O) (Figs. 2, 3). Los ejemplares estaban creciendo en sustrato arenoso, sobre los sacos ostrícolas y, en ocasiones, sobre la concha de moluscos bivalvos. Ejemplares de referencia fueron depositados en el Herbario Ficológico de Baja California Sur, UABCS (FBCS 20347).

## RESULTADOS

### Clasificación taxonómica de *Caulerpa okamuræ* Weber Bosse

Imperio: Eukaryota.

Reino: Plantae.

Subreino: Viridiplantae.

Filo: Chlorophyta.

Subfilo: Chlorophytina.

Clase: Ulvophyceae.

Orden: Bryopsidales.

Familia: Caulerpaceae.

Género: *Caulerpa*.

Especie: *Caulerpa okamuræ* Weber Bosse.

Okamura, 1897: p. 5, pl. I; Figs. 13, 14 ('*Okamurai*'). Weber-van Bosse, 1898: p. 385, pl. XXXIV; Fig. 9. Okamura, 1923: p. 11, pl. CIIV; Figs. 1-8.

*Localidad sintipo*: Japón; Suruga, Mikawa, Oki, Noto.

Sinónimo heterotípico: *Caulerpa okamuræ* f. *minor* S Narita.

### Descripción morfológica de *Caulerpa okamuræ* Weber Bosse

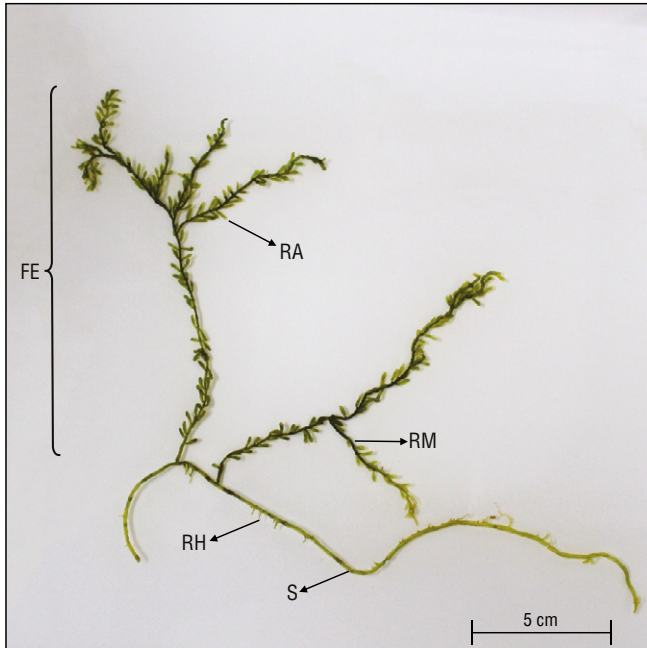
Las frondas surgen a partir de un eje rastrero que se ramifica en varias direcciones, formando una densa cobertura sobre el sustrato. Los rizoides se disponen a intervalos irregulares (0.4 mm a 17.6 mm), generalmente en grupos de 3 a 5. Las frondas también surgen a intervalos irregulares, de 5.7 mm a 43.4 mm, y ocasionalmente en pares. Las frondas son cilíndricas, simples o con 1 a 4 ramificaciones irregulares, alcanzando una altura máxima de 14 cm (Fig. 2). El eje rastrero presenta un diámetro de 1.1 mm a 1.5 mm. Las frondas tienen un diámetro similar en su base (1.1 mm a 1.4 mm), y son un poco más delgadas en la porción apical (diámetro: 1.1 mm a 1.2 mm). En toda su extensión, las frondas están recubiertas por rúmulas dispuestas de forma más o menos densamente imbricadas. El color de las frondas varía; las partes expuestas presentan un tono verde brillante, mientras que las no expuestas tienen un color pajizo apagado. Las rúmulas pueden disponerse de manera dística y opuesta, predominantemente cerca de la base de la fronda, y se imbrican o superponen gradualmente hacia el ápice. El eje esta ligeramente constreñido en el punto de inserción de las rúmulas, sobresaliendo lateralmente por debajo

de la constricción, dando origen a un pedicelo corto del cual emerge la rámara. La unión entre la rámara y el pedicelo está claramente constreñida. Las rámulas basales son generalmente más cortas que las superiores y son obovadas; las rámulas

superiores son oblongas o subclavadas-cilíndricas. La porción apical de las rámulas es un poco más gruesa que su porción basal (Fig. 3). En la base de la fronda las rámulas miden entre 4.9 y 6.2 mm de largo, con un diámetro basal de 0.9 mm a 1.3



**Figura 1.** Incidencia de la macrolaga *Caulerpa okomurae* en los sistemas de cultivo de ostión de la Unión de Acuacultores del Complejo Lagunar de la Reserva de la Biosfera el Vizcaino. Primera visualización a finales de 2024 en cultivos de ostión en costales sobre cama (a); coexistencia y cobertura de pastos marinos a finales de 2024 (b); invasión masiva en líneas de cultivo de ostión en costales suspendidos (c) y labores de limpieza realizadas por miembros de la Unión de Acuacultores del Complejo Lagunar de la Biosfera el Vizcaino en mayo de 2025 (d). Fotografías: Laura González-Ortiz, Sergio Scarry González-Peláez e Ilie S Racotta.



**Figura 2.** *Caulerpa okamurae* recolectada en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México. Fronda erecta (FE), rámula (RA), rizoide (RH), ramificación (RM) y estolón (S). Fotografía: Alejandra Mazariegos-Villarreal, Laboratorio de Macroalgas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR).

mm y un diámetro apical de 1.2 mm a 1.7 mm. En la parte apical de las frondas las rámulas tienen una longitud de 4.7 mm a 6.8 mm, con un diámetro basal de 0.9 mm a 1.4 mm y un diámetro apical de 1.1 mm a 1.5 mm.

Las características y dimensiones de los ejemplares recolectados en Laguna Ojo de Liebre corresponden con la descripción de la especie *C. okamurae* de acuerdo con Okamura (1897). Se han descrito una forma y una ecada de esta especie; sin embargo, estas no han sido observadas en los ejemplares recolectados en Laguna Ojo de Liebre. *Caulerpa okamurae* f. *oligophylla* Okamura presenta frondas muy elongadas, que alcanzan o superan los 15 cm de largo, con ramificaciones irregulares y un número reducido de rámulas pediceladas que en ocasiones están ligeramente imbricadas (Okamura 1916). *Caulerpa okamurae* ecada *lamourouxii* se caracteriza por presentar un eje comprimido (Prud'Homme Van Reine et al. 1996).

## DISCUSIÓN

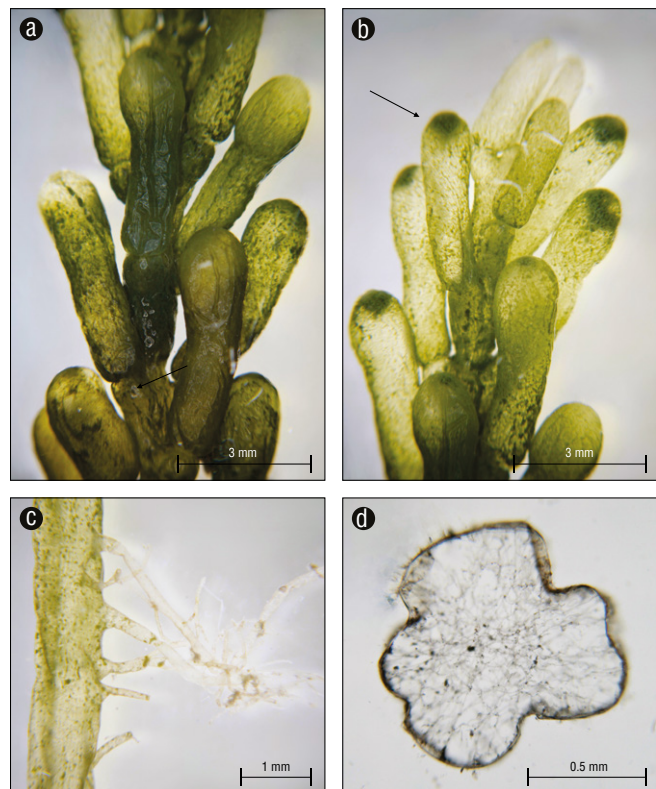
### Distribución

El género *Caulerpa* incluye 104 especies distribuidas a lo largo de un amplio intervalo geográfico, desde regiones templadas hasta tropicales (De Gaillande et al. 2017, Zubia et al. 2020, Guiry y Guiry 2025). Algunas de estas especies, como *Caulerpa taxifolia* (M Vahl) C Agardh, *Caulerpa brachypus*

Harvey y *C. racemosa*, son invasoras bien conocidas que presentan un mecanismo de propagación vegetativa altamente eficaz (Boudouresque et al. 1995, Smith y Walters 1999).

La distribución de *C. okamurae*, originaria del Pacífico asiático, está restringida a Asia y algunas localidades en Oceanía e islas del Pacífico con registros en Asia (China, Japón y Corea), en Australia y Nueva Zelanda (Queensland) y en Islas del Pacífico (Estados Federados de Micronesia y Nueva Caledonia) (Guiry y Guiry 2025) (Fig. 4). En este trabajo se registra *C. okamurae* por primera vez en México, específicamente en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur (Fig. 4). Generalmente, *C. okamurae* crece en aguas poco profundas (hasta los 5 m en la zona sublitoral). En Corea, la biomasa de *C. okamurae* presenta variaciones estacionales en los hábitats naturales, con un máximo durante el verano (Gao et al. 2019).

Se considera a *C. okamurae* como una población no nativa en el Pacífico mexicano, dado que no existen registros bibliográficos ni ejemplares de herbario que confirmen su presencia previa en la región (Pedroche et al. 2005, Pedroche y Senties



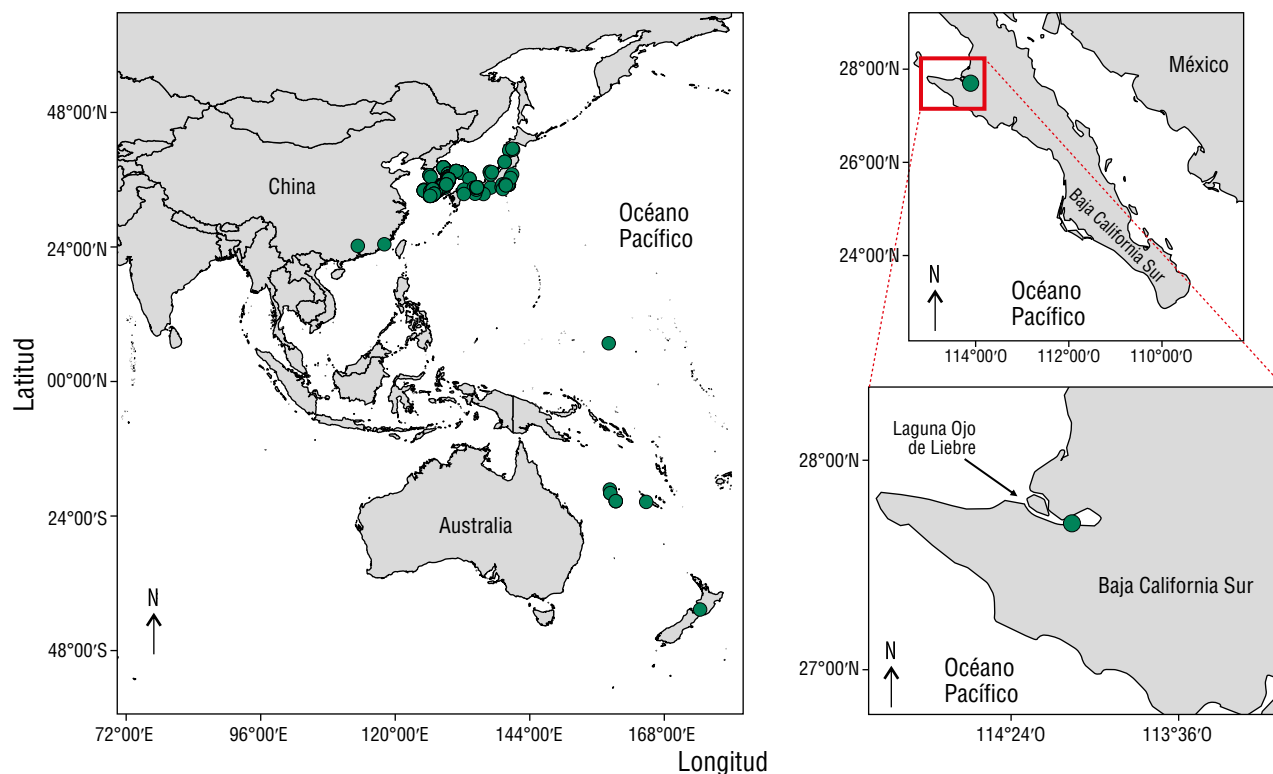
**Figura 3.** *Caulerpa okamurae*. Detalle de la ramificación en la parte media de la fronda, se señala con una flecha el pedicelo corto del cual surge una rámula y su constricción (a). Detalle de la ramificación en el ápice de la fronda, se señala con una flecha una rámula (b). Detalle del eje rastrero mostrando una agrupación de rizoides (c). Corte transversal del eje rastrero mostrando las trabéculas (d). Fotografías: Alejandra Mazariegos-Villarreal, Laboratorio de Macroalgas, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR).

2020). Draisma et al. (2025) mencionan que *C. okamurae* podría estar restringida al noroeste del Pacífico templado. Esta ausencia de registros, junto con la evidencia morfológica, sugiere fuertemente su estatus de no nativa. Sin embargo, siguiendo la terminología de Carlton (1996), podría considerarse criptogénica hasta tener confirmación absoluta de su identidad taxonómica. Por ello, los análisis moleculares en curso son fundamentales para ratificar su identidad taxonómica y, de ser posible, su procedencia geográfica.

*Caulerpa okamurae* posee la capacidad de incrementar rápidamente su biomasa y cobertura, lo que le confiere un alto potencial para expandir su distribución geográfica. Su propagación ocurre mediante 2 patrones de crecimiento vegetativo: el crecimiento rastroso de estolones, que se adhieren mediante varios grupos de rizoides (rizóforos), y el crecimiento vertical de asimiladores altamente densos que surgen del estolón (Shin et al. 2021, Park et al. 2022). Tanto los asimiladores como los estolones fragmentados han mostrado una alta capacidad de regeneración en condiciones de laboratorio (Gao et al. 2019, Shin et al. 2021, Park et al. 2022). Esta capacidad es conocida en el género, ya que las frondas fragmentadas de especies de *Caulerpa* pueden originar nuevos talos (Smith y Walters 1999). En poblaciones silvestres, estos fragmentos se pueden generar por la acción de las olas o la herbivoría y, posteriormente, quedar enterrados en varios tipos de sedimentos, como limo o arena con diferentes tamaños de grano.

De hecho, estudios previos han demostrado que fragmentos de otras especies de *Caulerpa* (e.g., *C. taxifolia*, *C. racemosa* y *Caulerpa lentillifera* J Agardh) pueden sobrevivir, readherirse a varios sustratos y crecer incluso en el lodo (Horstmann 1983, Trono 1990, Ceccherelli y Piazzzi 2001, Wright y Davis 2006, Mary et al. 2009). De forma similar, en ambientes naturales, las frondas de *C. okamurae* pueden adherirse a varios sustratos como limo, arena, roca, grava, conchas y esponjas. Finalmente, las especies del género *Caulerpa* presentan resistencia a la herbivoría por peces debido a su alto contenido de sesquiterpenos y otros compuestos fitoquímicos, que actúan como defensa química (Paul et al. 1987).

Las invasiones del género *Caulerpa* suelen provocar impactos ecológicos graves, como la pérdida de biodiversidad y la alteración de hábitats nativos (e.g., Santini-Bellan et al. 1996; Ceccherelli et al. 2000; Piazzzi et al. 2001; Fernández-García y Cortés-Núñez 2005, 2009; Smith et al. 2010), derivando en severas consecuencias económicas (Francour et al. 1995, Baskin 1996). En el caso de la Laguna Ojo de Liebre, ya se observa un fuerte impacto en el cultivo de ostión, con una pérdida estimada del 60% de la producción desde finales del 2024 a la fecha, así como en la competencia por espacio con pastos marinos. Ante estos impactos ecológicos y económicos evidentes, la confirmación taxonómica y el posible origen geográfico de esta población mediante análisis moleculares son pasos prioritarios. Estos



**Figura 4.** Distribución de *Caulerpa okamurae* (izquierda) y ubicación de la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México (derecha). Elaboración: José Antonio González Rousseau, Laboratorio Botánica Marina, Universidad Autónoma de Baja California Sur (UABCS).

datos no solo darán certeza del estatus de *C. okamurae* como una especie no nativa en México, sino que también son esenciales para valorar el riesgo real de colonización en la región noroeste del país y serán la base para diseñar e implementar estrategias de manejo, control y mitigación.

## CONCLUSIONES

Ante la introducción y potencial establecimiento de *C. okamurae*, es imprescindible implementar programas de monitoreo continuos y rigurosos que permitan determinar con precisión su distribución espacial y temporal. Estos esfuerzos deben ir más allá del mapeo y considerar evaluar rigurosamente si existen impactos sobre la biodiversidad nativa, las funciones ecosistémicas y los servicios ambientales, así como las repercusiones económicas en la pesca y acuicultura, y las posibles implicaciones para la salud humana. La información generada permitirá sustentar decisiones de manejo basadas en evidencias y orientar políticas públicas para la prevención, detección temprana, control y mitigación de sus efectos. Para ello, se proponen las siguientes metas.

### Monitoreo integral y temprano

Se requiere evaluar la distribución y estacionalidad de *C. okamurae*, así como de su potencial impacto en las poblaciones marinas, combinando datos de transectos o parcelas con información obtenida mediante drones y eADN para confirmar su identidad y focos de expansión.

### Estandarización y métricas clave

Se requiere evaluar la cobertura (%), la biomasa ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), la tasa de recolonización ( $\text{día}^{-1}$ ), el esfuerzo de limpieza ( $\text{persona}\cdot\text{t}^{-1}$ ) y la integridad de praderas.

### Diseños de evaluación de impacto

Se requiere cuantificar los efectos sobre las praderas de pastos marinos, las macroalgas nativas y el desempeño productivo (crecimiento, supervivencia y bioincrustación) del ostión y de otras especies sésiles comerciales.

### Bioseguridad y vectores

Se requiere definir protocolos para estandarizar la desinfección y cuarentena de equipos y embarcaciones, mejorar la gestión de residuos sin fragmentación viable, implementar controles en muelles y rutas de traslado y asegurar la trazabilidad de equipos entre sitios.

### Opciones de control

Se requiere realizar pruebas piloto para evaluar la eficiencia de la remoción manual dirigida y de las barreras

físicas, con planes de disposición segura y seguimiento posterior para evitar rebrote.

### Aprovechamiento responsable

Se requiere evaluar los usos potenciales (e.g., alimento, compostaje, biogás y biomoléculas), la inocuidad y el ciclo de vida de *C. okamurae* para asegurar que su aprovechamiento no facilite su dispersión.

### Confirmación taxonómica

Se requiere realizar análisis genéticos (e.g., COI y qPCR con cebadores específicos) para confirmar la identidad de *C. okamurae*, evitar confusiones con otras especies de *Caulerpa* y respaldar su inclusión en listados oficiales como especie no nativa o invasora.

### Gobernanza y participación

Se requiere fomentar la coordinación interinstitucional entre autoridades ambientales, academia y cooperativas pesqueras, así como la implementación de programas de ciencia ciudadana para asegurar que los datos que recolectan pueden integrarse de manera confiable en los reportes.

### Escenarios ambientales

Se requiere incorporar la variabilidad climática (e.g., olas de calor marinas) y la eutrofización del ecosistema en modelos de distribución y riesgo para identificar sitios críticos y priorizarlos en las estrategias de conservación.

### Costo-beneficio

Se requiere estimar y comparar los costos de no actuar y de las estrategias de manejo, definir umbrales de acción y establecer metas medibles a 6-24 meses.

## DECLARACIONES FINALES

### Agradecimientos

A Joan Vásquez Rivera y Edgar Rivera Domínguez de la Unión de Acuacultores del Complejo Lagunar de la Biosfera el Vizcaino por su apoyo en la colecta de ejemplares de *Caulerpa* y al Dr. Francisco F. Pedroche y un revisor anónimo por sus comentarios que fortalecieron el trabajo.

### Fondos

Este estudio fue financiado por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste S.C. (CIBNOR). Laura González Ortiz (CVU 516594) es beneficiaria de una beca postdoctoral (#8211436) de la SECIHTI.

### Conflicto de interés

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

### Contribuciones de los autores

Conceptualización: ISR, VHCE, ESZ; Curación de datos: AMV, KLC, ESZ; Análisis formal: AMV, JMLV, ESZ; Investigación: LGO, ISR, ESZ; Metodología: AMV, JMLV, SSGP, ESZ; Recursos: ISR, SSGP, ESZ; *Software*: AMV, JMLV, SSGP; Supervisión: ISR, CRP, ESZ; Validación: RNAR, JMLV, ISR, VHCE, ESZ; Visualización: ISR, VHCE, ESZ; Redacción–borrador original: LGO, RNAR, ISR, VHCE, CRP, ESZ; Redacción–revisión & edición: LGO, AMV, RNAR, JMLV, ISR, VHCE, CRP, SSGP, APG, APM, MMO, KLC, CJBS, TChS, ESZ.

### Disponibilidad de datos

Los datos para este estudio están disponibles a través del autor de correspondencia mediante solicitud.

### Aprobaciones y permisos éticos para estudios con animales

Los ejemplares se recolectaron bajo el Permiso de Pesca de Fomento No. PPF/DGOPA-073/25.

### Uso de herramientas de IA

Los autores no emplearon ninguna herramienta de IA en este trabajo.

### REFERENCIAS

- Aguilar-Rosas LE, Pedroche FF, Zertuche-González JA. 2014. Algas marinas no nativas en la costa del Pacífico mexicano. In: Mendoza R, Koleff P (eds.), *Especies acuáticas invasoras en México*. Mexico City (Mexico): Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. p. 211-222.
- Baskin Y. 1996. Curbing undesirable invaders. *BioSci.* 6(10):732-736. <https://doi.org/10.2307/1312847>
- Boudouresque CF, Meinesz A, Ribera MA, Ballesteros E. 1995. Spread of the green alga *Caulerpa taxifolia* (Caulerpales, Chlorophyta) in the Mediterranean: possible consequences of a major ecological event. *Sci Mar.* 59:21-29.
- Carlton JT. 1996. Biological invasion and cryptogenic species. *Ecology.* 77:1653-1655.
- Ceccherelli G, Piazzzi L, Cinelli F. 2000. Response of non-indigenous *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh to the native seagrass *Posidonia oceanica* (L.) Delile: effect of density of shoots and orientation of edges of meadows. *J Exp Mar Biol Ecol.* 243(2):227-240. [https://doi.org/10.1016/S0022-0981\(99\)00122-7](https://doi.org/10.1016/S0022-0981(99)00122-7)
- Ceccherelli G, Piazzzi L. 2001. Dispersal of *Caulerpa racemosa* fragments in the Mediterranean: lack of detachment time effect on establishment. *Bot Mar.* 44:209-213. <https://doi.org/10.1515/BOT.2001.027>
- Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México: prevención, control y erradicación. Mexico City (Mexico): Comisión para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Reporte. 94 p.
- [CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2025. Estado actual de las especies de macroalgas introducidas e invasoras en la costa Pacífico de México: CONABIO; [2025 August]. <http://ipttest.conabio.gob.mx/iptconabiotest/resource?r=SNIB-GN007>
- De Gaillande C, Payri C, Remoissenet G, Zubia M. 2017. *Caulerpa* consumption, nutritional value and farming in the Indo-Pacific region. *J Appl Phycol.* 29(5):2249-2266. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0912-6>
- [DOF] Diario Oficial de la Federación. 2010 Apr 6. Decreto por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y de la Ley General de Vida Silvestre. Mexico City (Mexico): Secretaría de Gobernación. Decreto. 416 p.
- Draisma SG, Sauvage T, Lagourgue L, Kato A, Dumilag RV, Lim PE, Zubia M, Payri CE. 2025. A species diversity assessment of the genus *Caulerpa* (Bryopsidales) in the Central Indo-Pacific marine realm based on tufA DNA sequences, *Phycologia.* 1-22. <https://doi.org/10.1080/00318884.2025.2575521>
- Fernández-García C, Cortés-Núñez J. 2005. *Caulerpa sertularioides*, a green alga spreading aggressively over coral reef communities in Culebra Bay, North Pacific of Costa Rica. *Coral Reefs* 24:10. <https://doi.org/10.1007/s00338-004-0440-8>
- Fernández-García C, Cortes-Núñez J. 2009. Propagación del alga verde *Caulerpa sertularioides* en el Pacífico de Costa Rica. *Biocenosis.* 22(1-2):200980. <https://revistas.uned.ac.cr/index.php/biocenosis/article/view/1258>
- Francoeur P, Harmelin-Vivien M, Harmelin JG, Duclerc J. 1995. Impact of *Caulerpa taxifolia* colonisation on the littoral ichthyofauna of north-western Mediterranean Sea: preliminary results. *Hydrobiologia.* 300(1):345-353. <https://doi.org/10.1007/BF00024475>
- Gao X, Choi HG, Park SK, Sun ZM, Nam KW. 2019. Assessment of optimal growth conditions for cultivation of the edible *Caulerpa okamurae* (Caulerpales, Chlorophyta) from Korea. *J Appl Phycol.* 31(3):1855-1862. <https://doi.org/10.1007/s10811-018-1691-z>
- Guiry MD, Guiry GM. 2025. AlgaeBase: National University of Ireland; [accessed 2025 March 15]. <https://www.algaebase.org>.
- Horstmann U. 1983. Cultivation of the green alga *Caulerpa racemosa*, in tropical waters and some aspects of its physiological ecology. *Aquaculture.* 32(3-4):361-371. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(83\)90233-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(83)90233-8)
- Mary A, Mary V, Lorella A, Jonathan RM. 2009. Rediscovery of naturally occurring seagrass *Caulerpa lentillifera* from the Gulf of Mannar and its mariculture. *Curr Sci.* 97(10):1418-1420.
- Okamura K. 1897. On the algae from Ogasawara-jima (Bonin Islands). *Bot Mag. Tokyo* 11:1-17.
- Okamura K. 1916. *Icones of Japanese algae*. Vol. IV. Tokyo (Japan): Kazamashobo. 372 p.
- Park SK, Kim JK, Choi HG, Jang KK. 2022. Effect of substratum types on the growth of assimilators and stolons of *Caulerpa okamurae* (Bryopsidales, Chlorophyta). *Algae.* 37(4):293-299. <https://doi.org/10.4490/algae.2022.37.12.10>
- Paul VJ, Littler MM, Littler DS, Fenical W. 1987. Evidence for chemical defense in tropical green alga *Caulerpa ashmeadii* (Caulerpales: Chlorophyta): Isolation of new bioactive sesquiterpenoids. *J Chem Ecol.* 13(5):1171-1185. <https://doi.org/10.1007/BF01020547>
- Pedroche FF, Silva PC, Aguilar-Rosas LE, Dreckmann KM, Aguilar-Rosas R. 2005. Catálogo de las algas marinas bentónicas del Pacífico de México. I. Chlorophycota:

- Universidad Autónoma de Baja California; [2025 August]. [https://www.algaebase.org/search/bibliography/detail/?biblio\\_id=44769](https://www.algaebase.org/search/bibliography/detail/?biblio_id=44769)
- Pedroche FF, Senties A. 2020. Diversidad de macroalgas marinas en México. Una actualización florística y nomenclatural. *Cymbella*. 6(1):4-55.
- Pedroche FF, Aguilar-Rosas LE. 2025. Benthic marine macroalgae non-native to Mexico: An update (2024) for the Mexican Pacific. *Hidrobiológica*. 35(5):183-195.
- Piazzzi L, Balata D, Ceccherelli G, Cinelli F. 2001. Comparative study of the growth of the two co-occurring introduced green alga *Caulerpa taxifolia* and *Caulerpa racemosa* along the Tuscan coast (Italy, western Mediterranean). *Cryptogam Algal*. 22(4):459-466. [https://doi.org/10.1016/S0181-1568\(01\)01059-5](https://doi.org/10.1016/S0181-1568(01)01059-5)
- Prud'Homme Van Reine WF, Verheij E, Coppejans E. 1996. Species and Ecads of *Caulerpa* (Ulvophyceae, Chlorophyta) in Malesia (South-East Asia): Taxonomy, biogeography and biodiversity. *Neth J Aquat Ecol*. 30(2):83-98. <https://doi.org/10.1007/BF02272230>
- Santini-Bellan D, Arnaud PM, Bellan G, Verlaque M. 1996. The influence of the introduced tropical alga *Caulerpa taxifolia*, on the biodiversity of the Mediterranean marine biota. *J Mar Biol Assoc UK*. 76(1):235-237. <https://doi.org/10.1017/S0025315400029180>
- Scagel RF. 1956. Introduction of a Japanese alga *Sargassum muticum* into the northeast Pacific. *Fish Res Paper, Wash Dept Fish*. 1(4):49-58.
- Shin JH, Park SK, Choi HG. 2021. Growth differences in edible *Caulerpa okamuræ* (Weber-van Bosse) thallus parts with and without apex removal. *Korean J Fish and Aquat Sci*. 54(3):311-317. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0311>
- Smith CM, Walters LJ. 1999. Fragmentation as a strategy for *Caulerpa* species: fates of fragments and implications for management of an invasive weed. *Mar Ecol*. 20(3-4):307-319. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0485.1999.2034079.x>
- Smith TB, Fong P, Kennison R, Smith J. 2010. Spatial refuges and associational defenses promote harmful blooms of the alga *Caulerpa sertularioides* onto coral reefs. *Oecologia*. 164(4):1039-1048. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1698-x>
- Trono GC. 1990. A review of the production technologies of tropical species of economic seaweeds. p In: *Technical Resource Papers Regional Workshop on the Culture and Utilization of Seaweeds, Volume II*. Cebu City (Philippines): Food and Agriculture Organization of the United Nations. p 3-27.
- Weber-van Bosse A. 1898. *Monographie des Caulerpes*. *Ann Jard Bot Buitenzorg*. 15(2):243-401, plates 20-34.
- Wright JT, Davis AR. 2006. Demographic feedback between clonal growth and fragmentation in an invasive seaweed. *Ecology*. 87(7):1744-1754. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2006\)87\[1744:DFBCGA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2006)87[1744:DFBCGA]2.0.CO;2)
- Zubia M, Draisma SGA, Morrissey KL, Varela-Álvarez E, de Clerck O. 2020. Concise review of the genus *Caulerpa* JV Lamouroux. *J Appl Phycol*. 32(1):23-39. <https://doi.org/10.1007/s10811-019-01868-9>