



Universidad  
de Alcalá

**Morfología, distribución y potencial invasor de macroalgas  
introducidas en las islas Canarias: *Grateloupia imbricata*  
(Rhodophyta)**

**Morphology, distribution and invasive potential of introduced  
macroalgae in the Canary Islands *Grateloupia imbricata*  
(Rhodophyta)**

Trabajo de Fin de Grado

**Laura Salas Lozano**

Facultad de Ciencias, Sección Biología

Grado en Biología

Septiembre 2022

# ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVO.....	5
MATERIAL Y MÉTODOS .....	6
<b>Material empleado</b> .....	6
<b>Métodos de manipulación del material disponible</b> .....	6
<b>Base de datos y herramientas utilizadas</b> .....	7
RESULTADOS .....	8
<b>Morfología vegetativa y reproductora de <i>Grateloupia imbricata</i></b> .....	8
<b>Fenología de <i>Grateloupia imbricata</i></b> .....	9
<b>Distribución mundial de <i>Grateloupia imbricata</i></b> .....	12
<b>Distribución de <i>Grateloupia imbricata</i> en Canarias</b> .....	13
DISCUSIÓN.....	16
CONCLUSIONES .....	18
CONCLUSIONS .....	19
REFERENCIAS .....	20

## RESUMEN

*Grateloupia imbricata* es un alga roja perteneciente al orden Halymeliales, dentro de la división Rhodophyta. Se considera a esta especie como un ejemplo de macroalga exótica introducida en las Islas Canarias. Los primeros registros que se conocen de este alga según la bibliografía disponible datan del año 2008, aunque a partir del estudio de las muestras disponibles conservadas en las colecciones del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de la Laguna, se ha identificado que esta macroalga se encontraba ya presente en las Islas al menos desde la década de 1990, pero fue incorrectamente identificada como otra especie diferente del mismo género. En este Trabajo de Fin de Grado se exponen una detallada descripción e iconografía original de la morfología de la especie, así como se añaden datos sobre su fenología, hábitat, distribución mundial e insular. Según el material disponible y los datos recientes obtenidos, *Grateloupia imbricata* se encuentra repartida por diversas localidades del archipiélago y, aunque hasta el momento no se considera como una especie invasora, algunas observaciones indican la necesidad de un seguimiento por el incremento reciente detectado en su abundancia.

**Palabras clave:** distribución, especie introducida *Grateloupia imbricata*, Rhodophyta, morfología especie exótica, fenología, hábitat, Islas Canarias.

## ABSTRACT

*Grateloupia imbricata* is a red algae from the order Halymeliales, which is included in the phylum Rhodophyta. This macroalgae is considered as an exotic introduced species in the Canary Islands. The first known record of this algae in the bibliography were in 2008, although through the study of laboratory samples conserved in the collections of the Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal of the University of La Laguna, it is thought that this algae was already rooted in the Canary Islands in the 90's decade, but it was registered as other species of the same genus. This Final Degree Project will show a detailed description and original iconography of the morphology of the species, likewise data of its phenology, habitat, worldwide and insular distribution. According to the available material and the recent data obtained, *Grateloupia imbricata* is distributed throughout various locations in the archipelago and, although it is not considered an invasive species so far, some observations indicate the need for monitoring due to the recent increase detected in its abundance.

**Key words:** distribution, introduced species, *Grateloupia imbricata*, Rhodophyta, morphology, exotic species, phenology, habitat, Canary Islands.

## INTRODUCCIÓN

Las algas marinas consisten en organismos fotosintetizadores que habitan tanto en mares y océanos, constituyendo el denominado fitoplancton, como fijos a cualquier sustrato marino formando el fitobentos. Las algas bentónicas son todas aquellas que proliferan en el sustrato marino y generalmente permanecen adheridos a él en la mayor parte de las etapas de su ciclo de vida, creciendo en lodos, arenas, rocas o sustratos vivos (Graham y Wilcox 2000). En ocasiones, estas algas se desprenden del fondo por la acción del movimiento del agua y llegan a la costa en forma de arribazones. (Mendoza 1999).

Las macroalgas marinas son organismos de gran interés ya que ofrecen numerosos servicios ecosistémicos que son esenciales en los litorales y fondos (Martínez et al. 2015). Las algas pardas (Phaeophyceae), las algas verdes (Chlorophyta) y las algas rojas (Rhodophyta), incluyen a las macroalgas marinas más comunes y abundantes (Guiry y Guiry 2022). En general, las algas pardas caracterizan los paisajes de regiones templadas y frías del planeta, sobre todo las grandes laminariales y fucales. Las algas verdes suelen dominar en fondos someros iluminados de regiones tropicales, pero también caracterizan paisajes alterados siendo algunas especies primocolonizadoras y oportunistas, como las ulvales. Por último, las algas rojas son las que presentan mayor diversidad hacia regiones cálidas y tropicales, y también algunas, como las rojas calcificadas incrustantes, pueden alcanzar grandes profundidades (Lüning 1990).

En este trabajo, se estudia una especie perteneciente a este último phylum. Las algas rojas son ecológicamente significativas como productores primarios, proveedores de hábitat estructural para otros organismos marinos y por su importante papel en el establecimiento y mantenimiento primario de los arrecifes de coral. Las características que distinguen este phylum de otros grupos de eucariotas son principalmente la presencia de pigmentos fotosintéticos accesorios que se disponen en ficobilisomas (ficoeritrina, ficocianina y aloficocianinas), y por la ausencia de flagelos y centriolos (Woelkerling 1990). Además, el almidón de florideas como producto de reserva almacenado en el citoplasma, los tilacoides no apilados en plastidios y la ausencia de retículo endoplásmico cloroplástico, son características exclusivas de este grupo de algas. (Freshwater 2000; Graham y Wilcox 2000).

En cuanto a su clasificación taxonómica, tradicionalmente, las algas rojas se dividían en dos clases, las Bangiophyceae y las Florideophyceae, aunque los estudios más recientes reconocen hasta siete clases (Müller et al. 2010; Yoon et al. 2010; Muñoz – Gómez et al. 2017). Con base

en la ultraestructura y la evidencia molecular, Bangiophyceae ahora se acepta como un grupo parafilético, mientras que Florideophyceae se considera monofilético en base a dos caracteres sinapomórficos: presencia de un gonimoblasto filamentoso y tetrasporangios (Garbary y Gabrielson 1990; Ragan et al. 1994).

En general, las algas rojas presentan multiplicación vegetativa por fragmentación de los talos y también formación de propágulos vegetativos (Hommersand y Fredericq 1990). Sin embargo, la reproducción asexual y sexual son muy frecuentes y aseguran con mayor éxito el mantenimiento de las poblaciones. La reproducción asexual se produce mediante la formación de esporas, que suelen originarse tras meiosis en tetrasporangios. La reproducción sexual es la más compleja entre las algas, ya que tras la fecundación del carpogonio se forma una generación diploide que vive a expensas del gametofito femenino, el carposporofito, del que se liberan numerosas carposporas que originan los esporófitos (Mansilla y Alveal 2013; Vallejos 2014).

Entre las algas rojas se agrupan unas 7505 especies. De ellas, unas 363 pertenecen actualmente al orden Halymeniales, en el que se reconocen al menos cuatro familias. La familia Grateloupiaceae, con 8 géneros aceptados taxonómicamente, incluye al género tipo *Grateloupia* C. Agardh (Guiry y Guiry 2022). De las 94 especies de *Grateloupia* aceptadas en este momento (Gavio y Fredericq 2002; Aguilar-Rosas et al. 2012; Gargiulo et al. 2013; de Azevedo et al. 2015; Bolton et al. 2016; Rodríguez-Prieto et al. 2021), la especie objeto de este estudio *Grateloupia imbricata* Holmes es uno de los representantes de este género conocido en las costas de Canarias, tratándose de una especie introducida en la flora marina del archipiélago.

El Convenio de Diversidad Biológica (Naciones Unidas, 1992) describe las especies alóctonas o exóticas como aquellas especies, subespecies o taxa inferiores introducidas fuera de su ámbito natural, presente o pasado (teniendo en cuenta cualquier parte del organismo en cualquiera de sus fases del desarrollo); siendo esta introducción de forma natural o accidental. De forma más concreta, según Boudouresque y Verlaque (2012), las especies de algas marinas introducidas son aquellas que colonizan una nueva área donde no habían estado presentes antes debido a la acción (directa o indirecta) del ser humano. Además, debe existir una discontinuidad geográfica entre la zona nativa de la especie y la nueva área colonizada; así como las nuevas generaciones de la especie deben desarrollarse sin intervención del hombre. En el momento en el que estas especies se establecen en el nuevo medio y comienzan a reproducirse, pueden desarrollarse sin ocasionar perjuicio sobre el resto de las especies autóctonas o, por otro lado, pueden producir cambios y amenazas para la diversidad biológica nativa, cuando estas especies se empiezan a

conocer como especies invasoras (Boudouresque y Velarque 2002, 2012). Estas especies invasoras, transforman habitualmente los ecosistemas marinos ya sea por su comportamiento invasor o por el riesgo de contaminación genética (Disposición 8565, del BOE núm. 185 de 2013); siendo uno de los principales factores que provocan la pérdida de la biodiversidad en las zonas en las que se establecen. Por lo general presentan una rápida reproducción y crecimiento, así como una alta capacidad de dispersión y de adaptación fisiológica a las nuevas condiciones (Morales-Vásquez et al. 2013). Esto puede provocar la extinción de especies nativas y alterar la estructura genética de las poblaciones naturales. (Gracia et al. 2011).

*G. imbricata*, es considerada una especie exótica introducida en las costas de las islas Canarias, aunque su llegada a las islas es aún muy controvertida. Su semejanza morfológica con otras especies del mismo género ha podido provocar que los individuos no hayan sido correctamente clasificados, nombrándolos como especies próximas. Así, la primera cita de *G. imbricata* en el archipiélago fue la de García Jiménez et al. (2008) como resultado de estudios moleculares con la subunidad grande de la enzima Rubisco (*rbcL*).

## OBJETIVO

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado ha sido el estudio de la morfología, distribución y potencial invasor de *Grateloupia imbricata* (Rhodophyta) en las Islas Canarias. Los objetivos más específicos fueron reconocer las características diagnósticas de la especie, establecer la llegada de *Grateloupia imbricata* a las Islas Canarias según el material disponible (tanto bibliográfico como colecciones de individuos disponibles), evaluando todas las muestras, incluidos los individuos de especies similares que podrían encontrarse erróneamente clasificadas en especies diferentes. Además, otro de los objetivos, fue determinar la distribución de la especie tanto a nivel local como a nivel mundial, para observar la variación espacial desde el origen hasta el destino final; y finalmente, interpretar el futuro de esta macroalga en Canarias teniendo en cuenta los datos sobre su abundancia y su posible expansión a diversas localidades a lo largo del tiempo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### **Material empleado:**

**Muestras en fresco o medio líquido:** Estas muestras consisten en individuos completos del alga (*G. imbricata*), desde su sistema de fijación al sustrato que fueron tomadas de sus poblaciones intermareales. Estas muestras, según fueron recolectadas, fueron trasladadas en bolsas de plástico con agua de mar en oscuridad completa hasta el laboratorio donde fueron estudiadas. Las muestras en medio líquido que se emplearon para este estudio se encuentran depositadas en el laboratorio de Botánica Marina de la Universidad de La Laguna. Todos los individuos estudiados se encuentran conservados en botes con los datos identificativos (fecha de recolección, localización de la toma de la muestra y número TFC Phyc del herbario de la Universidad de La Laguna – SEGAI), algunos acompañados de fragmentos previamente conservados en silica – gel, para su posterior estudio genético.

**Muestras en seco:** Estas muestras consistieron en pliegos de herbario depositados en el herbario TFC de la Universidad de la Laguna – SEGAI, localizado en el Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal.

**Muestras electrónicas:** Así mismo, para completar la recolección de datos de *G. imbricata*, se consultó la base de datos BIOTA (Banco de datos de Biodiversidad de Canarias). BIOTA aglutina información de todas las especies silvestres de Canarias, marinas y terrestres. Constituye el Registro Oficial de Especies del archipiélago en virtud de la Ley 4/2010, del Catálogo Canario de Especies Protegidas. Está en funcionamiento desde 1998, año en que fue creado en virtud de la Orden de 1 de junio de 1999, por la que se crea el banco de Datos de Biodiversidad de Canarias (BOC nº 84, de 30 de junio de 1999). Además, continuando con la recolección de datos, se consultó la página *Algaebase* la cual aportó bibliografía relevante detallada sobre algas exóticas introducidas en Canarias.

### **Métodos de manipulación del material disponible:**

**Muestras en fresco o medio líquido:** De estas muestras, se emplearon algunos fragmentos para realizar observaciones morfológicas. Las primeras observaciones del habito se realizaron bajo un microscopio estereoscópico (lupa binocular) Leica EZ4 (Leica Geosystems, Alemania), incluyendo el fragmento a estudiar en una placa Petri con agua de mar. Posteriormente se realizaron preparaciones microscópicas desechables, con la visión superficial de las ramas o



con secciones transversales realizadas sobre un portaobjetos con una gota de agua utilizando una hojilla de afeitar para poder observar correctamente la morfología interna y estructura de los ejemplares. Las preparaciones microscópicas fueron observadas en un microscopio óptico Leica DM500 (Leica Geosystems, Alemania). Los detalles morfológicos más destacables de las secciones observadas fueron fotografiados mediante cámara fotográfica, adaptada al objetivo de ambos microscopios hasta la obtención de fotografías de buena calidad. De cada individuo se anotó su estado fenológico, en los casos que pudiese determinarse, para la elaboración de la base de datos.

**Pliegos de Herbario:** En el caso de la observación de los pliegos de herbario, se tomaron todos los ejemplares *Grateloupia* del depósito del Herbario de la Universidad de la Laguna para realizar un registro fotográfico de los mismos. Las fotografías fueron tomadas mediante una cámara fotográfica Canon EOS 4000D. De estos individuos también se anotó el estado fenológico.

**Muestras electrónicas:** Para la obtención de estas muestras, se introdujo “*Grateloupia imbricata*” en el buscador de la fuente de datos BIOTA y se obtuvieron 5 resultados válidos. Estos ejemplares, aumentan el registro para la elaboración del mapeo y registro de la llegada del alga y establecimiento en las islas, así como su distribución insular. Así, se aumentó el número de ejemplares que posteriormente fueron recopilados en la base de datos elaborada.

#### **Base de datos y herramientas utilizadas:**

Con todas las muestras recolectadas y observadas, se elaboró un documento Excel en el que se exponen os parámetros más interesantes para la elaboración de un mapa de la distribución de *Grateloupia imbricata* en las Islas Canarias, así como aquellos parámetros interesantes sobre su fenología. Así, el documento de Excel incluye información sobre: Coordenadas geográficas y UTM, localidad e isla en la que fueron encontrados los ejemplares, fecha de recolección, origen del material (pliego de herbario, muestra en fresco o herbario electrónico) , número identificativo del material, fenología de la muestra y hábitat en el que fueron encontrados los individuos.

En cuanto al tratamiento de los datos, se ha empleado la herramienta Excel para poner en conjunto todos los datos y la elaboración de diversos gráficos ilustrativos de los resultados obtenidos sobre la abundancia del alga en las diferentes localidades. Así, se pretende facilitar al lector la comprensión del contenido de este proyecto.

Así mismo, ha sido empleada la herramienta QGIS, para la elaboración de mapas de distribución del alga tanto a nivel local como mundial. El programa Quantum GIS (o QGIS) es un software de código libre para ordenador que permite manejar formatos “raster” y vectoriales, así como bases de datos. Con este programa, mediante tablas de Excel con coordenadas geográficas, se pueden elaborar mapas y establecer los puntos de distribución de especies.

También, en cuanto al establecimiento de la distribución del alga a nivel mundial, se ha consultado la base de datos *Algaebase*, a partir de cuya información se han podido conocer las localizaciones exactas de la especie en todo el mundo.

## RESULTADOS

### **Morfología vegetativa y reproductora de *Grateloupia imbricata***

*Grateloupia imbricata* presenta un hábito arbustivo, de hasta más de 6 cm de longitud, de color rojo púrpura (Figura 1) a anaranjado. Las ramas principales parten de un pequeño disco de fijación (pie basal) que une el individuo al sustrato. Presenta una consistencia cartilaginosa, gruesa y lisa, algo resbaladiza al tacto. Las ramas son aplanadas y la ramificación es abundante, de forma dicótoma a irregular. Los bordes de las ramas son completamente lisos, en raras ocasiones presentan bordes ligeramente ondulados. Es frecuente que las láminas aparezcan con roturas desde las cuales proliferan nuevas ramas.

En visión superficial, se puede observar el crecimiento apical por numerosas células terminales y toda la superficie cubierta por numerosas y pequeñas células corticales. En secciones transversales (Figuras 2 – 5), se puede observar la estructura pseudoparenquimatosa multiaxial, en la que se diferencia una zona medular hialina, laxa, de tipo filamentoso, y una zona cortical pigmentada más compacta rodeando a la anterior, formada por células pequeñas y redondeadas, dispuestas en varias capas (Figura 3 – 5). En los tetrasporofitos, se observaron tetrasporangios distribuidos entre las células corticales. Los gametófitos femeninos, presentaron zonas hinchadas debido a la formación interna de los carposporofitos. Los carposporofitos maduros muestran un poro u ostiolo central por donde se liberan las carposporas.



*Figuras 1 – 5: Morfología macro y microscópica de Grateloupia imbricata. Figura 1; hábito del espécimen depositado en TFC Phyc con el número 15763. En la fotografía se observa la morfología arborescente, el disco de fijación y el patrón de ramificación característico. Figura 2; sección transversal de una de las ramas principales. Figuras 3 - 5; detalles de secciones transversales de las ramas; se observan las zonas medular interna y cortical externa de la estructura pseudoparenquimatosa. Se aprecia la consistencia laxa no consolidada de la médula, rodeada por el córtex pigmentado.*

### **Fenología de *Grateloupia imbricata***

A partir de los pliegos de herbario y las muestras en líquido analizados en el laboratorio, se ha podido determinar la presencia o ausencia de estructuras reproductoras en los ejemplares estudiados. De los 89 pliegos de herbario y una muestra conservada en formaldehído, únicamente 15 ejemplares se encontraban en estado reproductor (Figura 6). Los 75 individuos restantes se consideran no fértiles, aunque de ellos algunos especímenes podrían estar fértiles, pero en estadios muy tempranos de desarrollo imposibles de detectar cuando el material se encuentra prensado.

En cuanto a los individuos fértiles que se observaron (Figura 7), 12 de ellos se determinaron como gametofitos femeninos, 1 ejemplar fue determinado como tetrasporofito y 1 ejemplar como gametofito masculino. Finalmente, se desconoce la asignación como gametofito femenino, masculino o tetrasporofito de un espécimen considerado fértil, disponible como pliego de herbario e incluido en el estudio de Goya (2019). Este espécimen de herbario no incluye este dato y no pudo ser confirmado; sin embargo, en este trabajo de fin de grado se ha incluido como individuo fértil en la evaluación de la fenología del alga, con un estadio reproductivo desconocido.

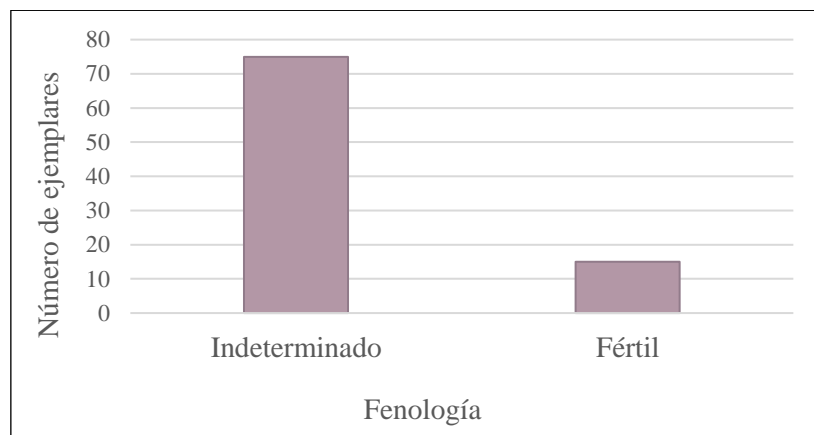


Figura 6: Fenología de *Grateloupia imbricata* según el material analizado. De los 90 ejemplares disponibles, 15 de ellos son fértiles y los 75 restantes se consideran no fértiles o sin posibilidad de conocer su estado reproductor (indeterminados).

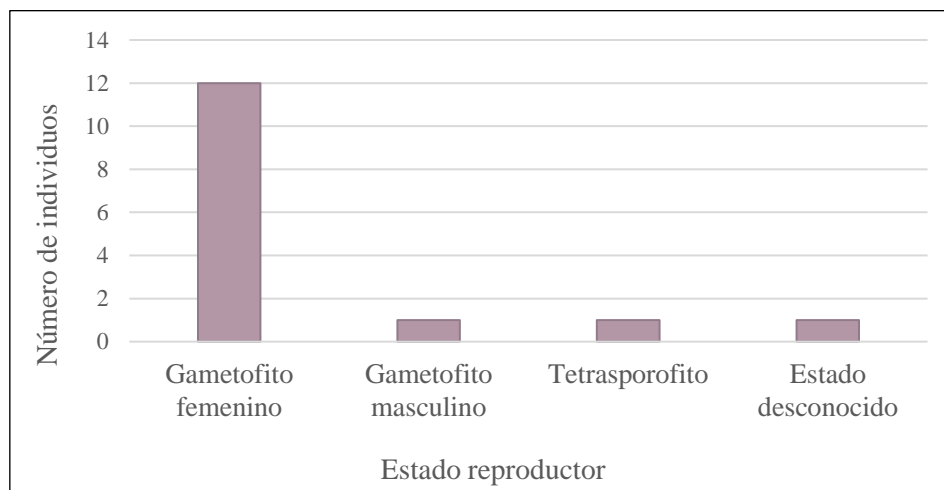


Figura 7: Estado reproductor de los especímenes de *Grateloupia imbricata* estudiados. Se han identificado 12 individuos como gametofitos femeninos, 1 gametofito masculino, 1 tetrasporofito y 1 ejemplar fértil (Goya 2019) de estado desconocido.

A partir de los datos analizados, *Grateloupia imbricata* muestra individuos fértiles prácticamente a lo largo del año, excepto en otoño – invierno (Figura 8). De los especímenes fértiles, la mayoría (3 + 8 individuos) fueron recolectados a finales de invierno – principios de primavera (febrero – marzo), siendo menor el número de individuos en verano – otoño.

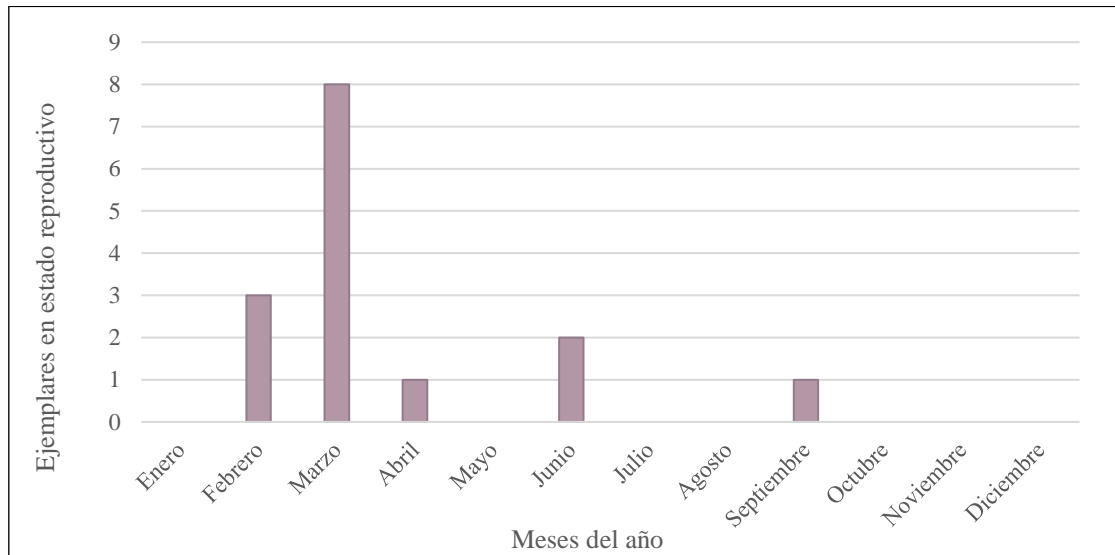


Figura 8: Número de especímenes fértiles de *Grateloupia imbricata* estudiados, según el mes en el que fueron recolectados. La mayoría de los talos fértiles se encuentran en marzo, mientras que no fueron recolectados durante los meses de otoño – invierno.

Aunque el número de individuos fértiles es muy bajo, pueden destacarse algunos resultados singulares. La mayor parte de los gametofitos femeninos se desarrollan y maduran en marzo (7 individuos), aunque pueden encontrarse en otros meses del año (Figura 9). También, el único gametofito masculino detectado se recolectó en marzo (Figura 9). Así, los resultados indican que primavera parece ser la época más favorable para la reproducción sexual. Sin embargo, dada la dificultad de observar los gametofitos masculinos, en los que los anteridios son hialinos y diminutos, difíciles de identificar en ejemplares secos y en ausencia de secciones transversales, se estima que su número entre las muestras disponibles puede ser mayor al detectado.

En cuanto a los tetrasporofitos (Figura 9), el único ejemplar identificado se recolectó en el mes de junio (verano), con posterioridad a la época más favorable para el desarrollo de los gametofitos. Finalmente, el individuo fértil que no pudo ser asignado a un tipo de generación en particular (Figura 9) se recolectó en marzo. En base a la fecha de recolección, podría tratarse de un gametofito.

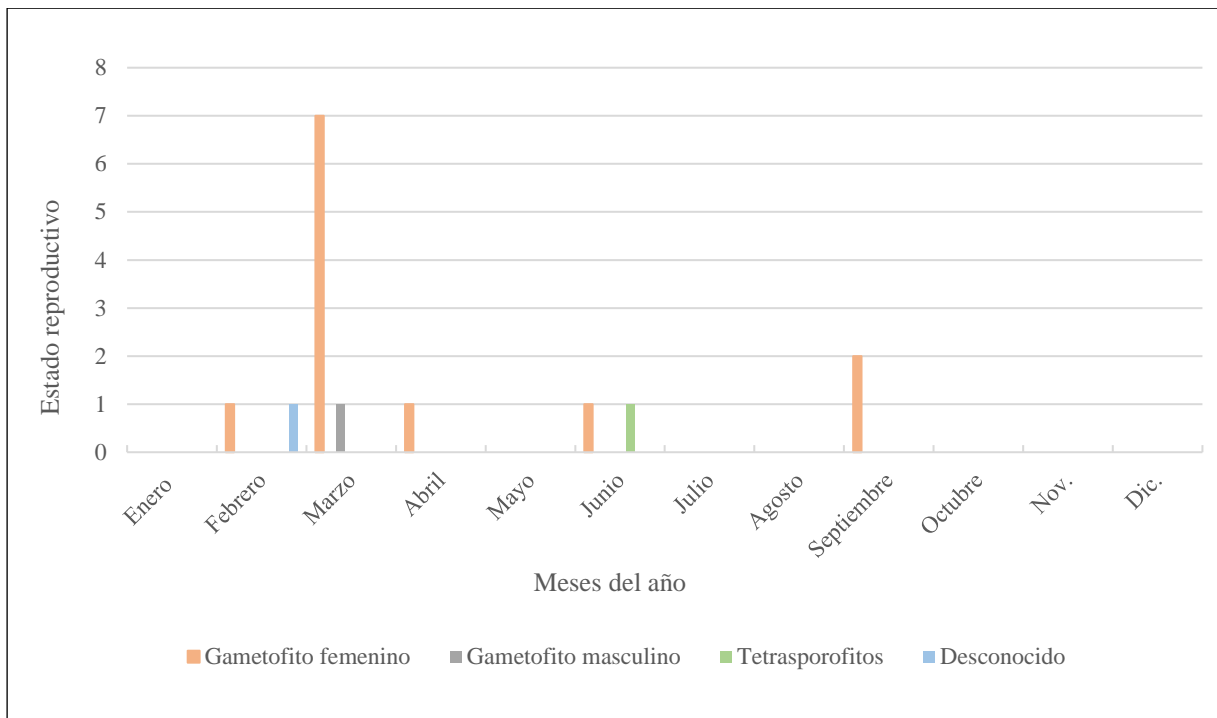


Figura 9: Estado reproductivo de todos los ejemplares de *Grateloupia imbricata* estudiados recolectados en los distintos meses del año, indicando si se trata de gametofitos femeninos (naranja), masculinos (gris), tetrasporofitos (verde) o desconocidos (azul).

### Distribución mundial de *Grateloupia imbricata*

*Grateloupia imbricata* se describió por primera vez en las costas de Japón (Pacífico), concretamente en la ciudad de Shimoda, en el puerto de Shizuoka, que es su localidad tipo (Guiry y Guiry 2022). Desde entonces, la distribución del alga ha aumentado en gran medida, introduciéndose en el océano Índico y en el Atlántico, dándose registros de la especie cada vez en más zonas del mundo. En el mapa (Figura 10) se puede observar la distribución actual de *Grateloupia imbricata* a nivel mundial. Después del primer registro en Japón (Holmes 1896), esta macroalga se encontró en regiones próximas, como Corea del Sur (Lee y Kang 1986), China (Xia 2004) y más recientemente en Taiwán (Suzuki y Lin 2017). En 2006 se detectó en las costas del Oeste de Australia (Huisman et al. 2008) y, posteriormente, se documentó para las islas Canarias, siendo el primer registro de esta especie en el océano Atlántico (García – Jiménez et al. 2008). También se ha citado *Grateloupia imbricata* en Azores (Ramalhosa et al. 2016) y en el litoral del Cantábrico (Montes et al. 2016).



Figura 10: Distribución mundial de *Grateloupia imbricata*. Localidades en las que se han realizado registros del alga desde el año 1936 hasta la actualidad; en orden cronológico: 1. Japón, 2. Corea del Sur, 3. China, 4. Oeste Australiano, 5. Islas Canarias, 6. Azores y 7. Cantábrico Peninsular.

### Distribución de *Grateloupia imbricata* en Canarias

Tal y como se describe en el apartado anterior, la primera vez que se citó *Grateloupia imbricata* las islas Canarias fue en 2008, aunque ya en ese momento se constató que la especie llevaba presente en Gran Canaria al menos desde 1990 (García – Jiménez et al. 2008). Sin embargo, en base al material estudiado, se ha podido determinar, que existen ejemplares de *Grateloupia imbricata* recolectados con anterioridad a esta fecha. Algunas *exsiccata* depositadas en TFC e identificadas como la especie próxima *Grateloupia turuturu* se corresponden con especímenes de *G. imbricata*. Además, según Sansón (com. Pers.) esta especie estaba presente también en Tenerife desde al menos 1990, pero en aquel momento fue identificada como una forma dicótoma de *Grateloupia doryphora*/*G. turuturu*. Así, la fecha de introducción de *Grateloupia imbricata* en las islas podría datar de al menos de 1983.

La distribución actual conocida de la especie en Canarias se extiende por las islas centrales y occidentales del archipiélago (Figura 11). En el caso de la Isla de la Palma, *G. imbricata* ha sido recolectada en las localidades de La Lajita, La Salemera, Costa de la Miranda y en El Varadero (Figura 12), concentrándose la introducción hasta el momento en la zona sureste de la isla. Sin embargo, en el caso de Tenerife (Figura 13) y Gran Canaria (Figura 14), los registros son mucho más abundantes, así como la distribución de estos puntos de registro es más

heterogénea; extendiéndose principalmente en la zona norte de las dos islas y por el oeste de Tenerife. En el caso particular de la isla de Tenerife, los registros se han producido en las localidades de El Socorro, La Ovejera, La Tejita, Puerto de la Cruz, Punta Brava, El Médano, Agua Dulce, Fonsalía, Punta Agache (Punta Prieta y Güimar) y en la Playa de San Juan. Así, la Isla de Tenerife, es la que cuenta con más registros del alga en comparación con las otras dos. En el caso de Gran Canaria, las recolecciones se concentran en la mitad norte de la isla, en localidades como Las Canteras, Agaete y El Agujero (Gáldar).

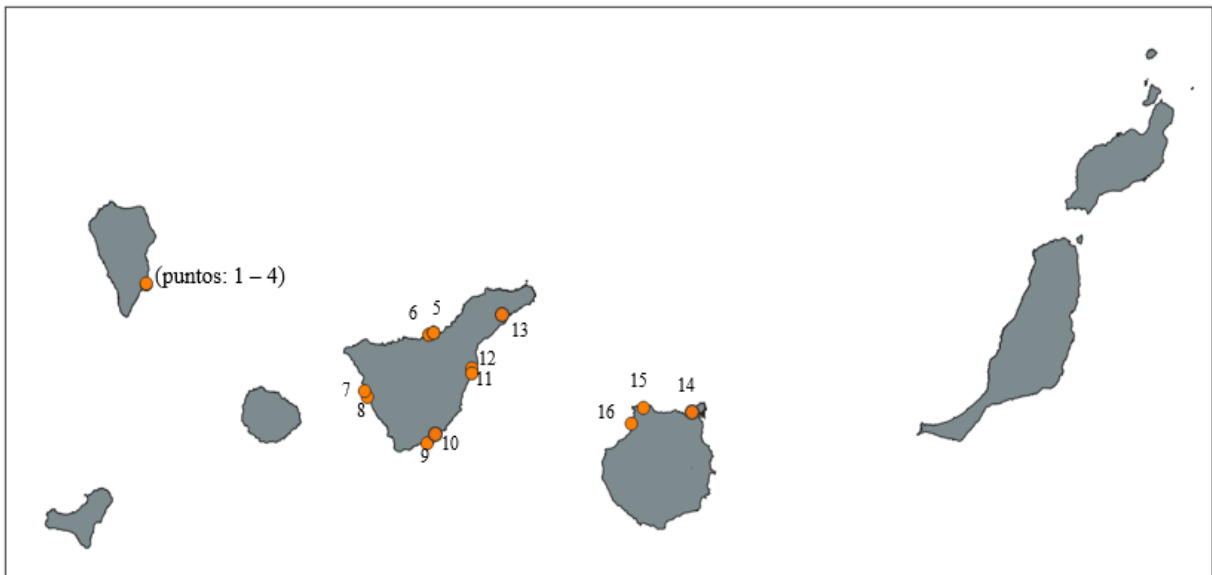


Figura 11: Distribución insular de *Grateloupia imbricata* en Canarias. Isla de la palma (puntos 1 – 4): 1. La Lajita, 2. La Salemera, 3. Costa de la Miranda, 4. El Varadero. Isla de Tenerife: 5. Puerto de la Cruz, 6. Punta Brava, 7. Fonsalía, 8. Agua Dulce, 9. La Tejita, 10. El Médano, 11. Punta Gache, 12. El Socorro, 13. La Ovejera. Isla de Gran Canaria: 14. Las Canteras, 15. El Agujero, 16. Agaete.

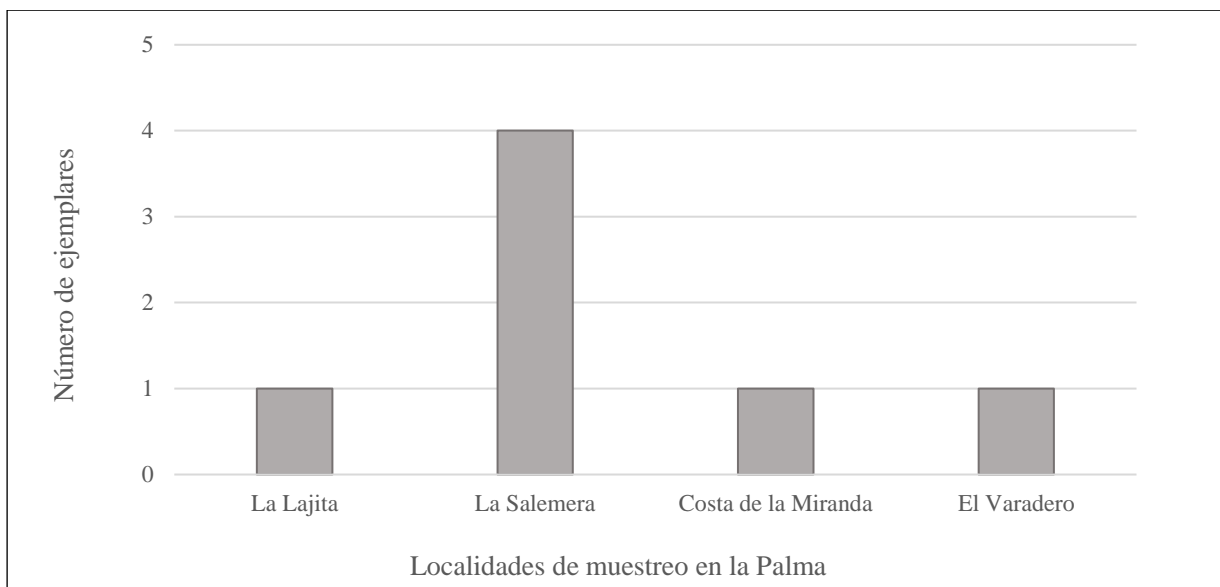


Figura 12: Localidades de la Isla de La Palma en las que se tomaron muestras del alga sometida a estudio. Todas ellas se encuentran concentradas en el mismo punto del mapa al este de la isla.



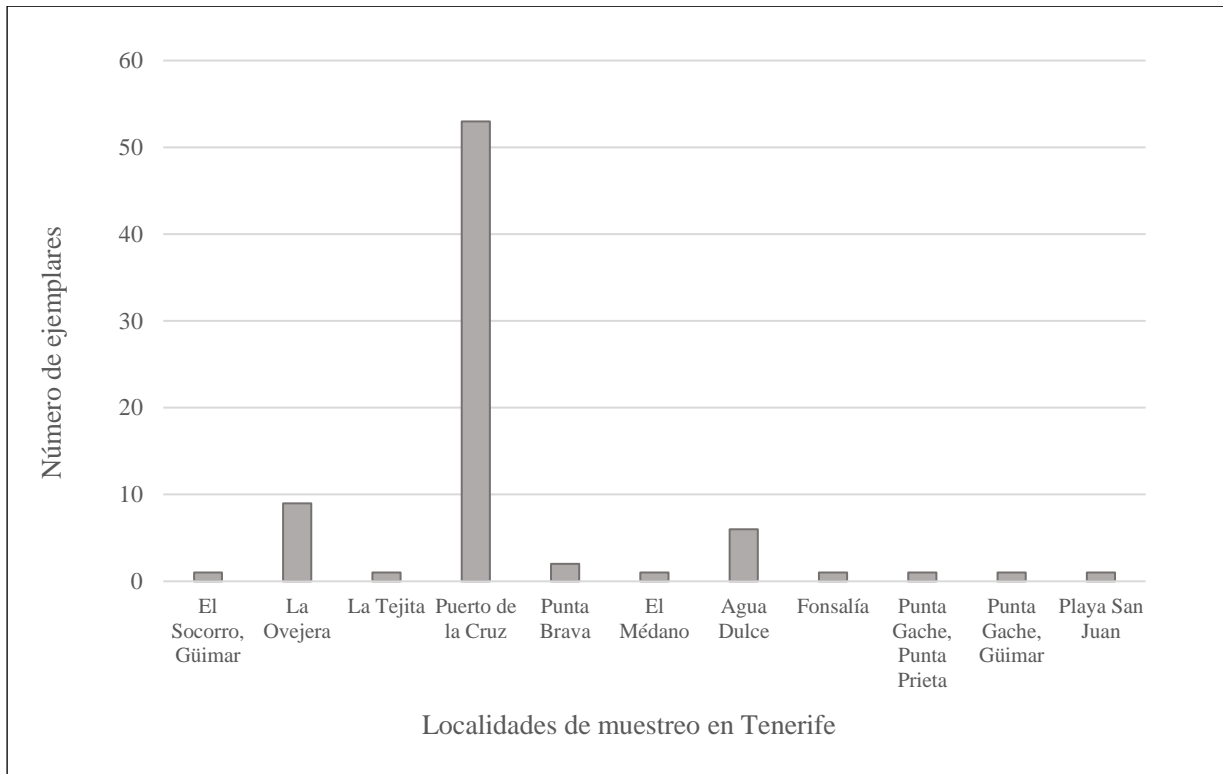


Figura 13: Localidades de la Isla de Tenerife en las que se tomaron muestras de *G. imbricata*: La localidad en la que se tomaron más muestras del alga fue en el Puerto de la Cruz, seguido de la Ovejera y Agua Dulce. El resto de las muestras tomadas, se encuentran repartidas homogéneamente en el resto de las localidades representadas en el gráfico.

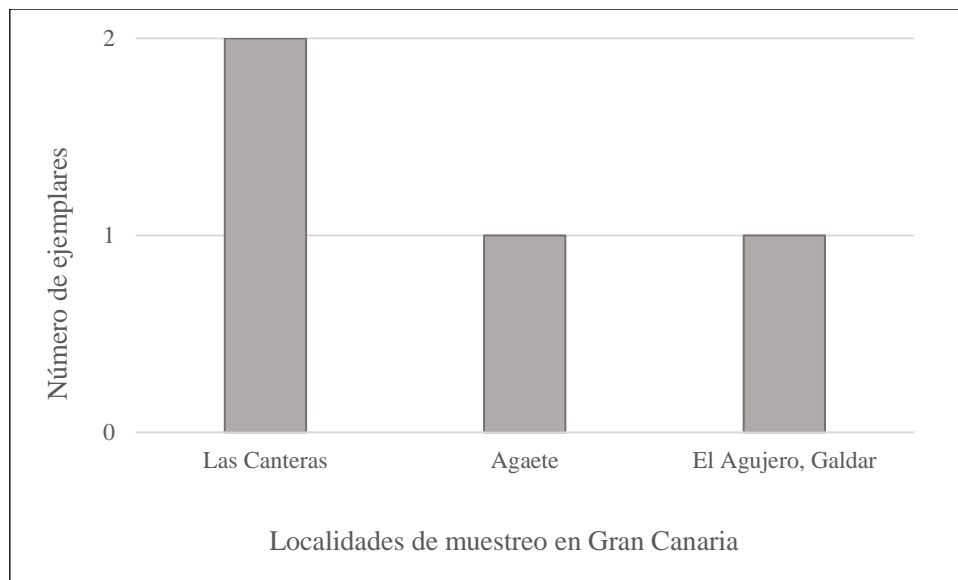


Figura 14: Localidades de Gran Canaria en las que se tomaron muestras de *G. imbricata*. La toma de muestras se concentra en tres localidades, entre las que destaca la localidad de “Las Canteras”, donde se muestrearon 2 individuos del alga.

## DISCUSIÓN

*Grateloupia imbricata* es una especie alóctona que se ha expandido a lo largo del archipiélago canario desde su llegada. Aunque fue citada por primera vez en el año 2008 haciendo referencia a material de 1990, la revisión del material conservado evidencia una introducción más temprana, anterior a 1983, el registro más antiguo del que hay constancia. Esta disparidad entre la fecha de introducción y la determinación correcta de la especie no es infrecuente, existiendo abundantes ejemplos de este suceso, como ha ocurrido con *Codium fragile* (introducido en el Atlántico poco antes de 1900, no siendo detectado hasta 1957 (Provan et al. 2005), *Grateloupia turuturu* (considerada como *G. doryphora* en el océano Atlántico hasta que los estudios moleculares de Gavio y Fredericq (2002) demostraron la correcta identificación) o *Dictyota cyanoloma* (especie originalmente descrita en el Mediterráneo y Macaronesia por Tronholm et al. (2010), que posteriormente fue encontrada en Australia, demostrándose que esas eran las poblaciones originales gracias a los estudios moleculares de Steen et al. (2017)).

Cuando aparecieron los primeros individuos de *G. imbricata* en las islas Canarias, esta especie tan solo era conocida de las costas occidentales de Asia, no existiendo poblaciones más allá de su rango de distribución natural y tratándose por tanto de una introducción primaria. Este es un caso excepcional, aunque no único, ya que la mayoría de las algas alóctonas presentes en Canarias han llegado de forma secundaria desde las costas europeas. Otra excepción similar es el caso de *Papenfussiella kuromo*, que de manera análoga a *G. imbricata* solo se conoce de su rango natural en las costas asiáticas, y en Macaronesia (Azores, Salvajes y Canarias) (Afonso-Carrillo et al. 2002). *G. imbricata* se ha encontrado posteriormente en las costas del oeste de Australia (Huisman et al. 2008), en Madeira (Ramalhosa et al. 2016) y en las costas de Cantabria (Montes et al. 2016), siempre en ambientes portuarios, por lo que el transporte marítimo parece la principal vía de dispersión de la especie.

La tanto el ciclo de vida como morfología de *Grateloupia imbricata* se mantienen tanto en las localidades de origen como en aquellas en las que se ha introducido. Esta morfología característica (láminas linear – lanceoladas, repetidamente dicótomo desde la base) permite diferenciar al alga de especies similares presentes en Canarias como *Grateloupia turuturu* o *Pachymeniopsis gargiuloi* (como *Grateloupia* sp. “*lanceolata*”; García-Jiménez et al. 2008), que presentan láminas lanceoladas por lo general enteras o poco ramificadas de forma dicótoma irregular en las porciones medias y terminales (Bárbara y Cremades 2004; Kim et al. 2014). Sin embargo, debido al desconocimiento inicial, muchas de las muestras observadas durante este

trabajo, fueron clasificadas como *G. turuturu*, considerada una especie con elevada plasticidad morfológica, siendo en realidad *G. imbricata*.

En Canarias, *G. imbricata* coloniza ambientes artificiales, aunque se encuentra también en entornos naturales alejados de los puertos principales. Aunque se ha expandido a distintas islas a lo largo de los años, no hay constancia de su presencia en El Hierro, La Gomera, Lanzarote y Fuerteventura. Es posible que sea la especie se encuentra más distribuida, aunque serían necesarios estudios más detallados para confirmarlo. En ningún caso su presencia es masiva, sino que se encuentra incorporada dentro de las comunidades que la albergan. A falta de estudios detallados que puedan determinar si *G. imbricata* posee la capacidad de afectar o desplazar a otras especies, los datos de campo parecen indicar que no posee un comportamiento invasor en las islas, aunque es recomendable mantener un seguimiento de sus poblaciones para detectar posibles cambios futuros en su comportamiento.

## CONCLUSIONES

1. *Grateloupia imbricata* es una especie introducida citada para las islas Canarias en 2008, pero la revisión exhaustiva del material disponible ha permitido establecer su llegada antes de 1983, cuando se recolectó por primera vez en Tenerife. En la actualidad se puede encontrar en La Palma, Tenerife y Gran Canaria, principalmente en las costas norte, en entornos expuestos o semi-expuestos al oleaje. No se puede descartar que esté presente en las restantes islas, siendo necesarios muestreos más amplios para comprobar su distribución en toda Canarias.

2. A nivel mundial, *G. imbricata* ha sido introducida repetidas veces en zonas alejadas de su rango natural de distribución (Japón, Corea y la costa oriental de China). Desde 2005 se encuentra en ambientes portuarios de Madeira (puerto de Funchal), desde 2006 en Australia (puerto de Perth) y desde 2014 en Cantabria (puerto de Gijón). En Canarias, donde la especie lleva más tiempo introducida, ha sido capaz de colonizar ambientes naturales del eulitoral y sublitoral somero.

3. Teniendo en cuenta su distribución actual, parece que el vector de transporte de esta especie es el transporte marítimo, estableciendo poblaciones de forma primaria en ambientes portuarios para posteriormente expandirse a entornos naturales adyacentes, ya por sus propios medios.

4. El estudio exhaustivo del material disponible ha permitido establecer un patrón de estacionalidad en la fenología de la especie para Canarias, con mayor abundancia de plantas fértiles en los meses de primavera. De todas formas, son necesarios estudios más continuos a lo largo de un ciclo anual para poder establecer de forma clara su estacionalidad a lo largo del año.

5. Por el momento *G. imbricata* no puede considerarse como una especie invasora en Canarias. Aunque su distribución ha aumentado progresivamente desde su introducción y parece mostrar un aumento de abundancia en nuestras costas, aún no se ha constatado que afecte a otras especies nativas ni tenga efectos negativos sobre los ecosistemas, requisito necesario para considerar una especie como invasora. Aun así, es recomendable el seguimiento de sus poblaciones para detectar posibles cambios futuros en su comportamiento.

## CONCLUSIONS

1. *Grateloupia imbricata* is a non-indigenous species, cited for the first time in the Canary Islands in 2008, but the exhaustive revision of available material has allowed to establish its arrival prior 1983, when it was collected for the first time in Tenerife. Nowadays it can be found in La Palma, Tenerife, and Gran Canaria, mainly in the northern coasts, at exposed and semi-exposed sites. Its presence in the remaining islands cannot be discarded, with extensive sampling being necessary to ascertain its distribution along the Canaries.
2. Worldwide, *G. imbricata* has been repeatedly introduced in areas far from its natural distribution range (Japan, Korea, and the oriental coasts of China). Since 2005 it is found in port environments at Madeira (Funchal port), since 2006 at Australia (Perth port) and since 2014 at Cantabria (Gijón port). In the Canaries, where the species has been introduced for a longer time, it has been able to colonize natural environments in the intertidal and shallow subtidal.
3. Considering its actual distribution, it seems that maritime traffic is the main transport vector of this species, establishing primary populations in port environments, with a following expansion into adjacent natural environments by its own means.
4. Exhaustive study of all available material has allowed to establish a seasonality in the phenology of the species in the Canaries, with higher abundance of fertile plants in the spring months. Anyway, continuous studies along an annual cycle are necessary to certainly establish its seasonality along the year.
5. For the time being, *G. imbricata* cannot be considered an invasive species in the Canaries. Though its distribution has expanded progressively since its introduction, and it seems to show an increase in its abundance in our coasts, its affection to other native species has not been proved, nor its negative effects on the ecosystems, a necessary requirement to consider a species as invasive. Nonetheless, monitoring of its populations is recommended to detect possible future changes in its behaviour.

## REFERENCIAS

- Afonso-Carrillo, J., Sansón, M., Reyes, J., & Rojas-González, B. (2002). Morfología y distribución de la rodófito alóctona *Neosiphonia harveyi*, y comentarios sobre otras algas marinas probablemente introducidas en las Islas Canarias. *Revista de la Academia Canaria de Ciencias - Folia Canariensis Academiae Scientiarum*, 14(3-4), 83-98.
- Aguilar-Rosas, L.E., Min Boo, S., Mi Kim, K. & Aguilar-Rosas, C.V. (2012). Primer registro de la especie japonesa *Grateloupia turuturu* (Halymeniaceae, Rhodophyta) en la costa del Pacífico mexicano. *Hidrobiologica*, 22(2), 189-194.
- Bárbara, I., & Cremades, J. (2004). *Grateloupia lanceola* versus *Grateloupia turuturu* (Gigartinales, Rhodophyta): en la Península Ibérica. *Anales del jardín botánico de Madrid*, 61(2), 103-118.
- Bolton, J.J., De Clerck, O., Francis, C.M., Siyanga-Tembo, F. & Anderson, R.J. (2016). Two newly discovered *Grateloupia* (Halymeniaceae, Rhodophyta) species on aquaculture rafts on the west coast of South Africa, including the widely introduced *Grateloupia turuturu*. *Phycologia*, 55(6), 659-664.
- Boudouresque, C.F. & Verlaque, M. (2002). Biological pollution in the Mediterranean Sea: invasive versus introduced macrophytes. *Marine Pollution Bulletin*, 44, 32-38.
- Boudouresque, C.F. & Verlaque, M. (2012). An overview of species introduction and invasion processes in marine and coastal lagoon habitats. *Cahiers de Biologie Marine*, 53, 309-317.
- de Azevedo, C.A.A., Cassano, V., Júnior, P.A. H., Batista, M.B. & de Oliveira, M.C. (2015). Detecting the non-native *Grateloupia turuturu* (Halymeniales, Rhodophyta) in southern Brazil. *Phycologia*, 54(5), 451-454.
- Freshwater, D.W. (2000). Rhodophyta. Red Algae. Version 24 March 2000 (under construction). <http://tolweb.org/Rhodophyta/2381/2000.03.24> in The Tree of Life Web Project.
- Garbary, D.J. & Gabrielson, P.W. (1990). Taxonomy and evolution. pp. 477-498. En K.M. Cole & R.G. Sheath (eds.). *Biology of the red algae*. Cambridge University Press, Cambridge.
- García-Jiménez, P.L., Geraldino, P.J., Ming Boo, S. & Robaina, R. (2008). Red alga *Grateloupia imbricata* (Halymeniaceae), a species introduced into the Canary Islands. *Phycological Research*, 56, 166-171.
- Gargiulo, G. M., Morabito, M. & Manghisi, A. (2013). A re-assessment of reproductive anatomy and postfertilization development in the systematics of *Grateloupia* (Halymeniales, Rhodophyta). *Cryptogamie, Algologie*, 34(1), 3-35.
- Gavio, B. & Fredericq, S. (2002). *Grateloupia turuturu* (Halymeniaceae, Rhodophyta) is the correct name of the non-native species in the Atlantic known as *Grateloupia doryphora*. *European Journal of Phycology*, 37(3), 349-359.
- Gobierno de Canarias (2022). Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias <http://www.biodiversidadcanarias.es/biota>; consultado 3 de junio de 2022
- Gracia, A., Medellin Mora, J., Gil Agudelo, D. & Puentes, G. (eds.) (2011). *Guía de las especies introducidas marinas y costeras de Colombia*. INVEMAR, Serie de Publicaciones Especiales No. 23. Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo sostenible. Bogotá, Colombia. 136 pp.
- Graham, L.E. & Wilcox, L.W. (2000). *Algae*. Prentice-Hall. Upper Saddle River, New Jersey. 640 pp.
- Guiry M.D. & Guiry, G.M. (2022). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; consultado 3 de junio de 2022.

- Holmes, E.M. (1896). New marine algae from Japan. *Journal of the Linnean Society of London, Botany 31*: 248-260, pls VII-XII.
- Hommersand M.H. & Fredericq, S. (1990). Sexual Reproduction and Cystocarp Development. pp. 305-45. En K.M. Cole & R.G. Sheath (eds). *Biology of the Red Algae*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Huisman, J.M., Jones, D.S., Wells, F.E. & Burton, T. (2008). Introduced marine biota in Western Australian waters. *Records of the Western Australian Museum 25*, 1-44.
- Kim, S. Y., Manghisi, A., Morabito, M., Yang, E. C., Yoon, H. S., Miller, K. A., & Boo, S. M. (2014). Genetic diversity and haplotype distribution of *Pachymeniopsis gargiuli* sp. nov. and *P. lanceolata* (Halymeniales, Rhodophyta) in Korea, with notes on their non-native distributions. *Journal of phycology*, 50(5), 885-896.
- Lee, I.K. & Kang, J.W. (1986). A check list of marine algae in Korea. *Korean Journal of Phycology*, 1(1), 311-325. [en coreano]
- Lüning, K. (1990). *Seaweeds: Their environment, biogeography, and ecophysiology*. Wiley. New York.
- Martínez B., Afonso-Carrillo J., Anadón R., Araújo R., Arenas F., Arrontes J., Bárbara I., Borja A., Díez I., Duarte L., Fernández C., García Tasende M., Gorostiaga J.M., Juanes J.A., Peteiro C., Puente A., Rico J.M., Sangil C., Sansón M., Tuya F. & Viejo R.M. (2015). Regresión de las algas marinas en la costa atlántica de la Península Ibérica y en las islas Canarias por efecto del cambio climático. *ALGAS, Boletín Informativo de la Sociedad Española de Ficología*, 49. 5-12.
- Mansilla, A. & Alveal, K. (2013). Generalidades sobre las macroalgas. pp. 347-359. En C. Werlinger (ed.). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos*, Tomo I. Universidad Rafael Landívar. Guatemala.
- Mendoza, M.L. (1999). Las macroalgas marinas bentónicas de la argentina. *Ciencia hoy*, 50(9), 40-49.
- Montes, M., Rico, J. M., García-Vázquez, E., y Borrell, Y. J. (2016). Morphological and molecular methods reveal the Asian alga *Grateloupia imbricata* (Halymeniaceae) occurs on Cantabrian Sea shores (Bay of Biscay). *Phycologia*, 55(4), 365-370.
- Morales-Vásquez, N., Cadena-Rodríguez, S. & López-Vivas, J.M. (2013). Especies invasoras. *Ciencia y Mar*, 19(51), 41-45.
- Müller, K.M., Lynch, M.D. & Sheath, R.G. (2010). Bangiophytes: from one class to six; where do we go from here?. pp. 241-259. In J. Seckbach & D.J. Chapman (eds.). *Red algae in the genomic age*. Springer. Dordrecht.
- Muñoz-Gómez, S.A., Mejía-Franco, F.G., Durnin, K., Colp, M., Grisdale, C.J., Archibald, J.M. & Slamovits, C.H. (2017). The new red algal subphylum Proteorhodophytina comprises the largest and most divergent plastid genomes known. *Current Biology*, 27(11), 1677-1684.
- Naciones Unidas (1992). *Convenio sobre la Biodiversidad Biológica*. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Rio de Janeiro, Brasil.
- Provan, J. I. M., Murphy, S., y Maggs, C. A. (2005). Tracking the invasive history of the green alga *Codium fragile* ssp. *tomentosoides*. *Molecular ecology*, 14(1), 189-194.
- Ragan, M.A., Bird, C.J., Rice, E.L., Gutell, R.R., Murphy, C.A. & Singh, R.K. (1994). A molecular phylogeny of the marine red algae (Rhodophyta) based on the nuclear small-subunit rRNA gene. *Proceedings of the Natural Academy of Sciences*, 91, 7276-7280.

- Ramalhosa, P., Debus, S. L., Kaufmann, M., y Lenz, M. (2016). A non-native macroalga is less attractive for herbivores but more susceptible to light limitation and grazing stress than a comparable native species. *Helgoland Marine Research*, 70(1), 1-11.
- Rodríguez-Prieto, C., Shabaka, S.H., Shams El-Din, N. & De Clerck, O. (2021). Morphological and molecular assessment of *Grateloupia* (Halymeniales, Rhodophyta) from Egypt revealed a new introduced species in the Mediterranean Sea, *Grateloupia gibbesii*. *Phycologia*, 60(1), 83-95.
- Steen, F., Aragay, J., Zuljevic, A., Verbruggen, H., Mancuso, F. P., Bunker, F., Vitales, D., Gómez-Garreta, A., y De Clerck, O. (2017). Tracing the introduction history of the brown seaweed *Dictyota cyanoloma* (Phaeophyceae, Dictyotales) in Europe. *European Journal of Phycology*, 52(1), 31-42.
- Suzuki, M. & Lin, S.-M. (2017). Systematic revision of the genus *Reinboldiella* (Ceramiaceae, Rhodophyta) from Taiwan based on comparative morphology and *rbcL* sequence analyses, including two new species of *Reinboldiella*. *European Journal of Phycology*, 52(3): 292-302.
- Tronholm, A., Steen, F., Tyberghein, L., Leliaert, F., Verbruggen, H., Antonia Ribera Siguan, M., y De Clerck, O. (2010). Species delimitation, taxonomy, and biogeography of *Dictyota* in Europe (Dictyotales, Phaeophyceae). *Journal of phycology*, 46(6), 1301-1321.
- Yoon, H.S., Zuccarello, G.C. & Bhattacharya, D. (2010). Evolutionary history and taxonomy of red algae. pp. 25-42. In J. Seckbach & D.J. Chapman (eds). *Red algae in the genomic age*. Springer. Dordrecht.
- Vallejos, S. (2014). *Algas. Diversidad vegetal*. Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura. Argentina, 49 pp.
- Woelkerling, W.J. (1990). An introduction. Pp. 1-6. In K.M. Cole & R.G. Sheath (eds.). *Biology of the red algae*. Cambridge University Press. Cambridge, UK.
- Xia, B.-M. (2004). *Flora algarum marinarum sinicarum Tomus II Rhodophyta No. III Gelidiales Cryptonemiales Hildenbrandiales*. pp. 1-203. Beijing: Science Press. [en chino]