



**Sección de Biología**  
Universidad de La Laguna

Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal

**Efecto de la radiación ultravioleta en las  
primeras etapas de desarrollo de macroalgas:  
el caso de *Gelidium canariense*  
(Gelidiales, Rhodophyta)**

---

Effect of ultraviolet radiation on the early stages of  
development of macroalgae: the case of *Gelidium*  
*canariense* (Gelidiales, Rhodophyta)

**Náyade Arencibia Suárez**

Tutora: Marta Sansón Acedo (ULL)

Cotutora: Sharay Orellana Vallverdú

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en Biología**

Julio 2022

**Marta Sansón Acedo**, Profesora Titular de Universidad, y **Sharay Orellana Vallverdú**, Investigadora posdoctoral, del Departamento de Botánica, Ecología y Fisiología Vegetal de la Universidad de La Laguna

HACEN CONSTAR:

Que la memoria presentada por la alumna del Grado de Biología **Náyade Arencibia Suárez**, titulada *Efecto de la radiación ultravioleta en las primeras etapas de desarrollo de macroalgas: el caso de Gelidium canariense* (Gelidiales, Rhodophyta), ha sido realizada bajo nuestra dirección, alcanzando todas las competencias, condiciones de calidad y rigor científico que se requieren para optar a su presentación y defensa como Trabajo de Fin de Grado, en el curso 2021-2022.

Y para que conste a los efectos oportunos, firmamos el presente certificado, en San Cristóbal de La Laguna, a 03 de julio de 2020.

**Marta Sansón Acedo**  
42068614G  
Firmado digitalmente por Marta Sansón Acedo 42068614G  
Fecha: 2020.07.03 08:18:44 +01'00'

Fdo. Dra. Marta Sansón

**ORELLANA VALLVERDU SHARAY**  
45727779F  
Firmado digitalmente por ORELLANA VALLVERDU SHARAY 45727779F  
Fecha: 2020.07.03 10:06:40 +01'00'

Fdo. Dra. Sharay Orellana

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN... ..</b>	<b>3</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	
3.1. <i>Especie de macroalga seleccionada.....</i>	6
3.2. <i>Zona de estudio.....</i>	10
3.3. <i>Recolección de muestras.....</i>	11
3.4. <i>Obtención de esporas en el laboratorio.....</i>	12
3.5. <i>Diseño del experimento.....</i>	12
3.6. <i>Seguimiento del experimento .....</i>	13
3.7. <i>Análisis de los datos.....</i>	13
<b>4. RESULTADOS</b>	
4.1. <i>Liberación de esporas de Gelidium canariense .....</i>	14
4.2. <i>Efecto de los tratamientos de radiación UVB en las primeras etapas de desarrollo de las esporas .....</i>	15
4.3. <i>Efecto de los tratamientos de UVB en el desarrollo de plántulas (T<sub>3</sub>)... ..</i>	16
4.4. <i>Tasa de mortalidad de las primeras etapas de desarrollo de Gelidium canariense.....</i>	17
<b>5. DISCUSIÓN... ..</b>	<b>17</b>
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>21</b>
<b>7. CONCLUSIONS.....</b>	<b>22</b>
<b>8. AGRADECIMIENTOS... ..</b>	<b>23</b>
<b>9. REFERENCIAS .....</b>	<b>24</b>

## RESUMEN

Las especies del género *Gelidium* (Gelidiales, Rhodophyta) tienen un importante valor ecológico en los ecosistemas marinos de las islas Canarias, siendo elementos formadores de hábitats para una elevada diversidad de organismos. Entre las especies que habitan en las islas Canarias destaca *Gelidium canariense*, una especie endémica protegida cuyas poblaciones se encuentran gravemente amenazadas. Diferentes parámetros ambientales y antropogénicos parecen ser responsables de la regresión de sus poblaciones. El propósito de este estudio ha sido evaluar el efecto de una de estas variables, la radiación ultravioleta (UVB), en el desarrollo de las tetrasporas de *Gelidium canariense*, por ser una de las etapas más sensible y menos estudiada en el ciclo de vida de estas macroalgas. Para ello se ha realizado un cultivo en laboratorio con ápices fértiles bajo tres condiciones de UVB, simulando la dosis actual y un incremento del 25% y 50%, respectivamente. Los resultados obtenidos han mostrado que una alta radiación UVB produce un crecimiento rápido en los primeros estadios de desarrollo, pero si se continúa con el tratamiento las esporas acabarán por degenerarse tras exponerse tanto tiempo a la acción del ultravioleta B. Por ello encontramos más estados finales (plántulas) en aquellos sometidos a menor UVB y control (PAR). Atendiendo a esto es necesario que se realicen estudios adicionales incluyendo otros parámetros ambientales con el objetivo de proponer protocolos de actuación para la protección y recuperación de sus poblaciones en los hábitats marinos expuestos al oleaje de las islas Canarias.

**Palabras clave:** especie amenazada, especie protegida, islas Canarias, macroalga endémica, Rhodophyta, tetrasporas, UVB.

## ABSTRACT

Species of the genus *Gelidium* (Gelidiales, Rhodophyta) have an important ecological value in the marine ecosystems of the Canary Islands, being habitat-forming elements for a high diversity of organisms. Among the species that inhabit the Canary Islands, *Gelidium canariense* stands out, a protected endemic species whose populations are seriously threatened. Several environmental and anthropogenic parameters appear to be responsible of populations regression. The purpose of this study was to evaluate the effect of one of these parameters, the ultraviolet radiation (UVB), on the development of *Gelidium canariense* tetraspores, as it is one of the most sensitive and least studied stages in the life cycle of these macroalgae. For this, a laboratory culture with fertile apices was carried out under three UVB conditions, simulating the current dose and an increase of 25% and 50%, respectively. The results obtained have shown that high UVB radiation produces rapid growth in the early stages of development, but if the treatment is continued, the spores will eventually degenerate after being exposed to UVB for so long. Therefore, we find more final stages (seedlings) in those subjected to lower UVB and control (PAR). In view of this, it is necessary to carry out additional studies including other environmental parameters with the aim of proposing action protocols for the protection and recovery of their populations in marine habitats exposed to waves in the Canary Islands.

**Key words:** Canary Islands, endemic macroalgae, protected species, Rhodophyta, tetraspores, threatened species, UVB.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las especies de macroalgas denominadas estructurantes, fundadoras de hábitats o ingenieras de los ecosistemas juegan un importante papel como productores primarios en los océanos (Tait y Schiel 2018), ofreciendo numerosos servicios ecosistémicos, como sustrato, refugio o alimento a muchos otros organismos marinos (Bertness *et al.* 1999, Benedetti-Cecchi *et al.* 2001, Steneck *et al.* 2002, Bruno *et al.* 2003), además de contribuir a la conservación de la biodiversidad (Martínez *et al.* 2015), la protección del litoral constituyendo arrecifes biogénicos (Mieszkowska *et al.* 2020), o la capacidad de secuestrar CO<sub>2</sub> (Raven y Falkowski 1999) reduciendo sus niveles críticos actuales. Las macroalgas marinas son organismos fotosintéticos, que constituyen la base en las redes tróficas, creciendo adheridos a diferentes tipos de sustratos, como arenas, lodos, rocas y otros sustratos vivos, caracterizando muchos paisajes litorales de islas y continentes (Lüning 1990, Tait y Schiel 2018). Por ello, son consideradas elementos clave en muchos ecosistemas marinos del planeta y se convierten en excelentes modelos para predecir lo que está ocurriendo y ocurrirá en escenarios futuros.

Diferentes factores ambientales están provocando grandes alteraciones en los océanos en las últimas décadas. Así, el aumento de la temperatura del agua del mar, el aumento de CO<sub>2</sub>, la mayor radiación solar, la acidificación, el cambio de las corrientes, la sedimentación, entre otros, han fomentado cambios en las características de los océanos (Eggert 2012, Harley *et al.* 2012). Estas alteraciones afectan directamente a la fisiología de las macroalgas, modifican su crecimiento, su reproducción, provocando desequilibrios en sus poblaciones y, como resultado de efectos en cascada, en los ecosistemas donde habitan (Pinnegar *et al.* 2000, O’Leary y McClanahan 2010, Harley *et al.* 2012). Muchas otras perturbaciones de carácter antropogénico, como la destrucción de los hábitats, la contaminación y la sobreexplotación de recursos, tienen también un alto impacto en los ecosistemas marinos y especialmente en aquellos dominados por macroalgas (Kersting 2016).

Las modificaciones ambientales afectan a todas las fases de la historia de vida de las macroalgas. Por una parte, condicionan el crecimiento vegetativo del talo y, por otra parte, influyen en sus fases de reproducción (formación y liberación de células reproductoras), dispersión y reclutamiento (fijación al sustrato y comienzo del crecimiento) (Buschmann *et al.* 2004, Sansón *et al.* 2013, Orellana 2019, Martínez 2019). Predecir las verdaderas respuestas a

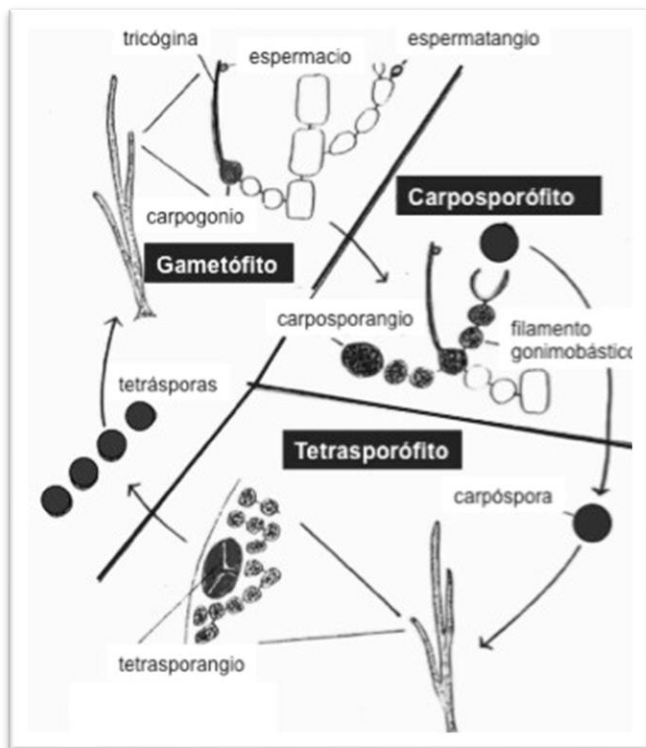
nivel individual en las diferentes macroalgas es un reto, ya que en sus ciclos de vida existen diversas etapas y transiciones en las que los cambios ambientales pueden influir de forma diferente (Schiel y Foster 2006, Harley *et al.* 2012). La gran sensibilidad que muestran las etapas iniciales del desarrollo de las macroalgas (esporas, cigotas) frente a los cambios en variables ambientales hace que su estudio sea esencial para valorar su grado de contribución en la regresión de las poblaciones (Thibaut *et al.* 2005, Mangialajo *et al.* 2008, Wernberg *et al.* 2010, Jueterbock *et al.* 2013, Martínez *et al.* 2015, Bermejo *et al.* 2016).

Entre las macroalgas, las algas rojas (Rhodophyta) es el grupo más numeroso en el fitobentos, con unas 7478 especies aceptadas en la actualidad (Guiry y Guiry 2022). Entre ellas, el orden Gelidiales destaca por incluir especies interesantes desde el punto de vista económico (como fuentes comerciales de agar y agarosa) (Santelices 1987, Armisen 1994, Filipin *et al.* 2016) y por su interés ecológico (Juanes y Puentes 1993, Mercado *et al.* 2001, Díez *et al.* 2012, Polifrone *et al.* 2012, Alfonso *et al.* 2019). Gelidiales es un orden relativamente pequeño, con unas 236 especies (Guiry y Guiry 2022), que presentan una combinación de características que la diferencia del resto de algas rojas siendo un orden bien definido, morfológica y filogenéticamente (Hommersand y Fredericq 1988).

En Canarias, Gelidiales está actualmente representado por 15 especies (Afonso-Carrillo y Sansón 1999, Afonso-Carrillo 2014). De ellas, 9 especies pertenecen a la familia Gelidiaceae, de las cuales destacan las especies estructurantes *Gelidium arbuscula* Bory de Saint-Vincent, *G. canariense* (Grunow) Seoane-Camba ex Haroun, Gil-Rodríguez, Díaz de Castro & Prud'homme y *Pterocladia capillacea* (S.G.Gmelin) Santelices & Hommersand por su protagonismo en los paisajes litorales de las islas (Mercado *et al.* 2001, Domínguez-Álvarez *et al.* 2011). *Gelidium canariense* presenta un interés especial por tratarse de una de las pocas macroalgas endémicas de las islas Canarias, cuyas poblaciones se encuentran gravemente amenazadas en la actualidad (Sansón *et al.* 2013, Alfonso *et al.* 2021).

*Gelidium canariense* comparte el ciclo de vida general exclusivo de las algas rojas. En este tipo de ciclo se alternan dos generaciones de vida libre, el tetrasporófito (diploide) y el/los gametófito/s (haploides) (**Figura 1**). Además, tras la fecundación, directamente sobre el gametófito femenino se forman los carposporófitos diploides (Hommersand y Fredericq 1988). Como resultado, liberan tetrasporas y carposporas, que son células reproductoras muy sensibles a los cambios ambientales y que son las responsables de originar nuevas plantas

maduras, por lo que evaluar el efecto de diferentes variables en el desarrollo de las esporas de esta especie puede dar luz sobre las causas del declive tan notable de sus poblaciones, ayudando a proponer medidas para su recuperación.



**Figura 1:** Ciclo de vida general de las algas rojas (Afonso-Carrillo y Sansón, elaboración propia).

## 2. OBJETIVOS

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo general de este estudio es analizar el efecto de una variable ambiental (la radiación ultravioleta, UVB) en las poblaciones de *Gelidium canariense*.

El conocimiento del ciclo de vida y de la fenología reproductora de *Gelidium canariense* en las islas Canarias nos ha permitido diseñar un experimento de laboratorio para valorar el efecto de la radiación UVB en las primeras etapas de desarrollo de esta especie. La selección de esta variable para estudiar su efecto en el desarrollo de las tetrásporas de esta macroalga se debe a observaciones previas en las poblaciones naturales (Sansón 2019, *com. pers.*). Esta especie crece exclusivamente en costas muy expuestas al oleaje orientadas al norte de las islas Canarias centrales y occidentales, coincidiendo con zonas de nubosidad media



anual relativamente elevada, donde la radiación UVB es menor, en comparación con la existente en costas situadas al sur, oeste y este de las islas. El propósito es evaluar si el retroceso observado en las poblaciones de *Gelidium canariense* se debe a problemas en el reclutamiento, debido a una mayor incidencia de radiación UVB sobre las tetrasporas al ir disminuyendo progresivamente la cobertura de las poblaciones (fragmentación).

Así, la hipótesis nula de nuestro estudio sería que el desarrollo de las tetrasporas y plántulas de *Gelidium canariense* es menor a elevada radiación UVB. Como hipótesis alternativa, el desarrollo de esporas y plántulas no es menor a elevada radiación UVB, pudiendo variar o no bajo diferentes niveles de este parámetro.

### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. Especie de macroalga seleccionada

*Gelidium canariense* es una especie endémica de las islas Canarias. Se distribuye principalmente por las costas expuestas al oleaje orientadas al Norte de las islas centrales y occidentales del archipiélago. No obstante, su presencia ha sido documentada en localidades situadas en el NW y E de La Palma, NW y E de La Gomera, NW y N de Tenerife, y NE y N de Gran Canaria (**Figura 2**).



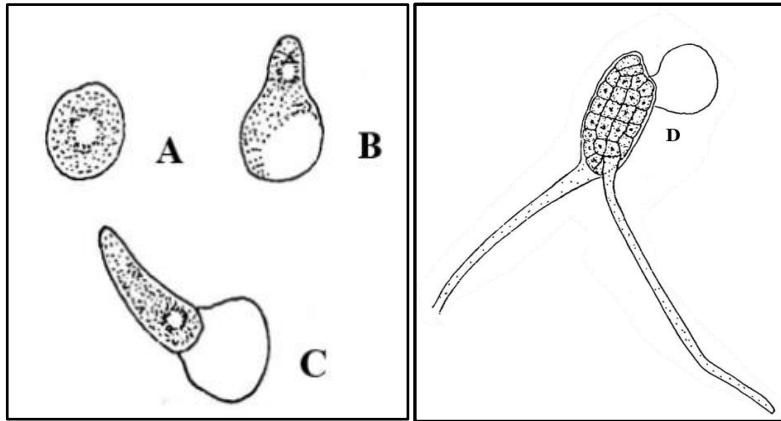
**Figura 2:** Distribución de *Gelidium canariense* en las islas Canarias. Mapa adaptado de Centinela (<https://www.biodiversidadcanarias.es/centinela/especie/E03247>).

*Gelidium canariense* se caracteriza por mostrar un hábito arborescente, de color negro-violáceo (**Figura 3**), con ápices de rosados a grisáceos, que se fija al sustrato mediante un sistema basal de ramas postradas cilíndricas, estoloníferas, de las que surgen varias ramas principales erectas. Estas ramas presentan hasta 4-8 órdenes de ramificación. Las ramas erectas

son cilíndricas hacia la base, pero se vuelven aplanadas hacia los ápices. La ramificación es alterna, dística o irregular, originando un contorno piramidal o subcorimboso. La estructura interna de las plantas es pseudoparenquimatosa uniaxial y su crecimiento es apical por una pequeña célula lenticular que se sitúa en una depresión terminal. Las células medulares y corticales se disponen de forma compacta y entre ellas se forman células rizoidales, denominadas rizinas, características del género. Esta especie exhibe tetrasporófitos y gametófitos dioicos isomórficos. Los tetrasporófitos forman soros de tetrasporangios en los extremos de las ramas. Estos soros son redondeados a elipsoidales y contienen tetrasporangios redondeados, divididos de forma cruciada a irregular. Los gametófitos masculinos forman espermatangios en soros elipsoidales blanquecinos. Los gametófitos femeninos forman carpogonios (gametangios) inconspicuos, que tras la fecundación dan lugar a cistocarpos globosos (carposporófitos, con pericarpo y ostiolo) (Børgesen 1930, Darias y Afonso-Carrillo 1986, Alfonso *et al.* 2017). Tanto las tetrasporas como las carposporas muestran un patrón de germinación denominado tipo-*Gelidium*, descrito por Chemin (1937), en el que se reconocen varias etapas o estadios de desarrollo (**Figura 4**).



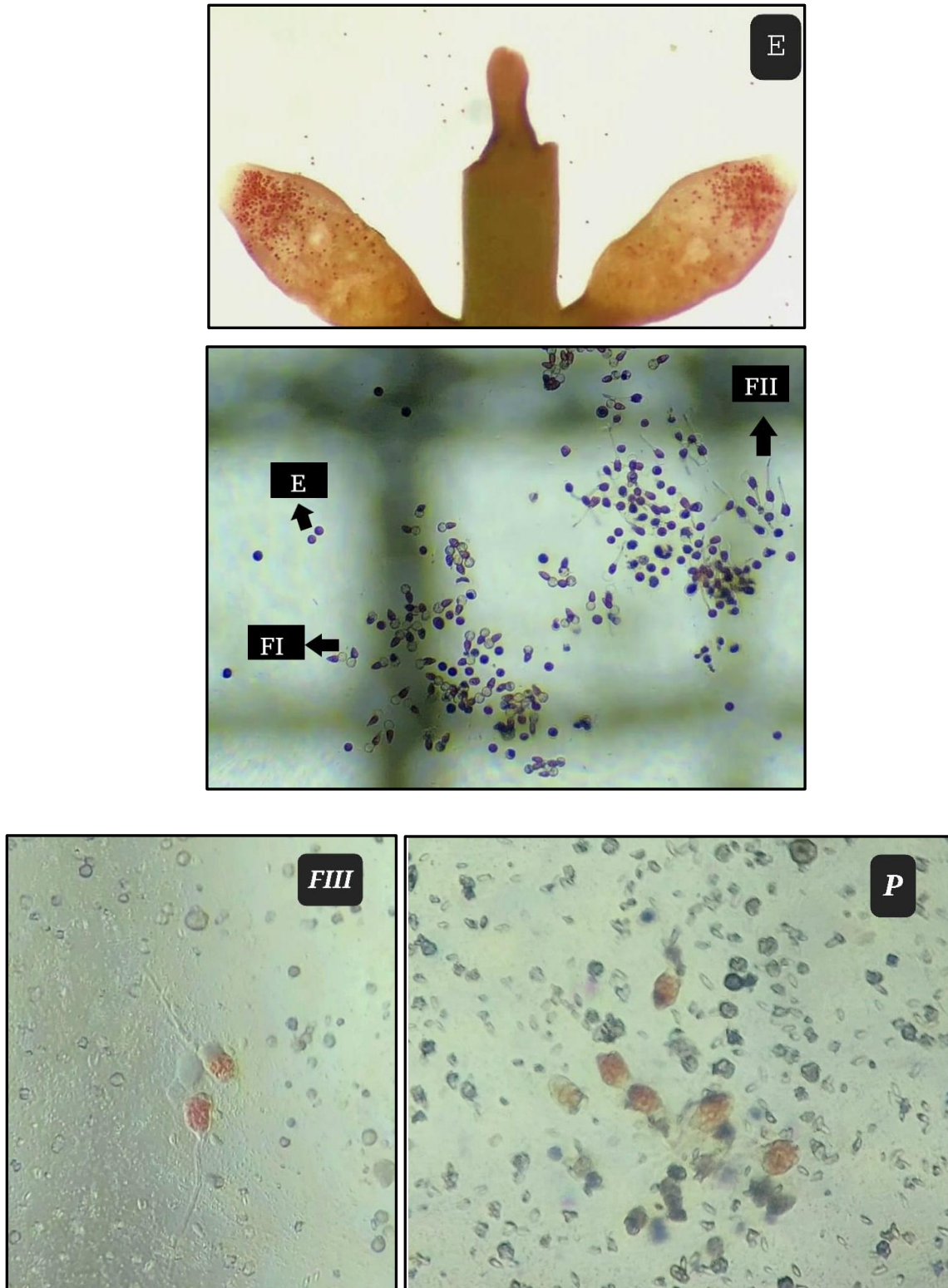
**Figura 3:** Hábito de *Gelidium canariense*. Escala = 2 cm.



**Figura 4:** Primeros estadios de desarrollo de las esporas de *Gelidium* (tipo-*Gelidium*). **A.** Espora. **B.** Fase I. **C.** Fase II. **D.** Plántula (adaptada de Chemin 1937).

Cabe destacar que para nuestro estudio se incluye un estadio intermedio (no representado en el esquema de Chemin 1937) entre la Fase II y el estado de plántula, el cual denominamos **Fase III**.

En todas las especies incluidas en Gelidiales, la germinación presenta un patrón común denominado tipo-*Gelidium* (Chemin 1937, Dixon 1973), que comienza tras la liberación de las tetrasporas de los soros, las cuales carecen de pared celular, en vez de esto poseen una capa de mucílago que les permite afianzarse a la placa, y con esto ya están preparadas para comenzar la germinación (**Figura 5, E**). Tras un tiempo comienza a formarse lo que se denomina como tubo germinativo (que en un principio al formarse no se encuentra recubierto por la pared celular), a donde se desplazará todo el contenido del citoplasma que se encuentra dentro de la tetraspora, dando lugar a un saliente; en este momento se irá formando una pared celular para envolverlo y separando cada vez más de la tetraspora (a partir de este estado se verá de color transparente al haber perdido todo su contenido) además irá creciendo en tamaño (Bouzon *et al.* 2005) (**Figura 5, FI**). A medida que continúa avanzando la germinación se diferencia a partir de la célula distal un rizoide el cual se elonga a gran velocidad para proporcionar una mayor sujeción (**Figura 5, FII**); mientras esto ocurre la célula pigmentada comienza a dividirse, formando primero una célula apical de crecimiento en las proximidades de la espora inicial (**Figura 5, FIII**) (Alfonso *et al.* 2018) y dando lugar progresivamente a plántulas (**Figura 5, P**).



**Figura 5:** Estadios del proceso de desarrollo de las tetrasporas en *G. canariense*. (**E**) Esporas; (**FI**) Fase I, formación de tubo germinativo; (**FII**) Fase II, desarrollo del primer rizoide; (**FIII**) Fase III, divisiones en el tubo germinativo; (**P**) Plántula, etapa final.

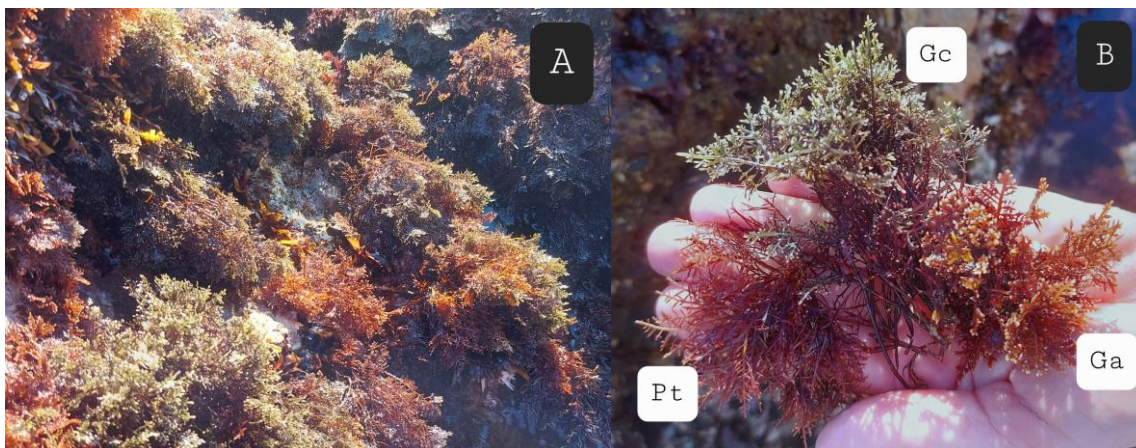
### 3.2. Zona de estudio

La recolección del material para este TFG se realizó en Punta Brava (**Figura 6, A**), en el municipio de Puerto de la Cruz (28°24'N, 16°34'W), Tenerife (islas Canarias). Se trata de una localidad expuesta al oleaje, orientada al norte de la isla, caracterizada por presentar una amplia plataforma rocosa litoral (**Figura 6, B**), donde se forman numerosos charcos durante los periodos de bajamar (Pinedo *et al.* 1992). Para la recolección del material, escogimos una zona rocosa accidentada donde la banda característica de *Gelidium canariense* estaba presente (**Figura 6, C**).



**Figura 6:** **A.** Mapa con la ubicación de la zona de estudio (Punta Brava, Puerto de la Cruz, Tenerife). **B.** Detalle de la plataforma rocosa donde se recolectaron las muestras. **C.** Hábitat de *Gelidium canariense*.

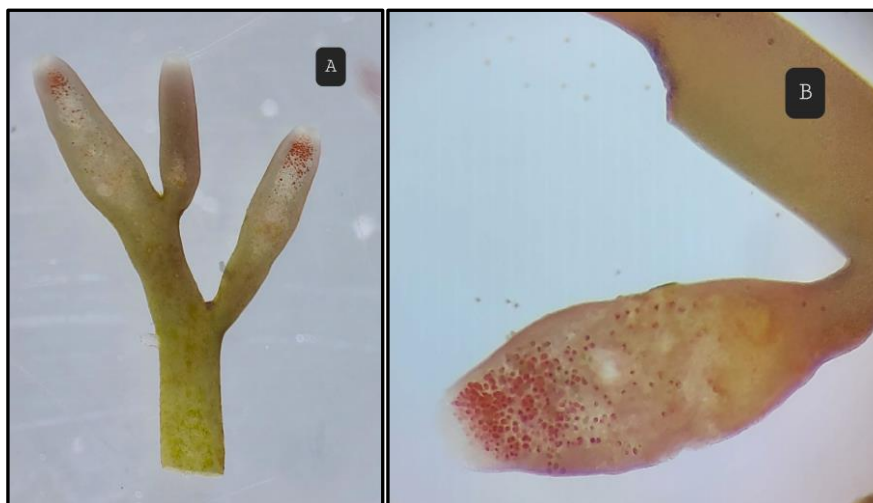
Según el esquema de zonación de Lewis (1964), *Gelidium canariense* se distribuye en el inicio del sublitoral, marcando su límite superior junto a otras macroalgas, como *Gongolaria abies-marina*, *Gelidium arbuscula* y *Pterocladia capillacea*, entre otras (**Figura 7**).



**Figura 7:** A. Inicio del sublitoral marcado por la banda de Gelidiales. B. Especies de Gelidiales que comparten la banda: **Pt.** *Pterocladia capillacea*; **Gc.** *Gelidium canariense*; **Ga.** *Gelidium arbuscula*.

### 3.3. *Recolección de muestras*

La recolección de ramas primarias fértiles de *Gelidium canariense*, con presencia de soros de tetrasporangios (**Figura 8**), se realizó en mayo de 2022 en la localidad descrita anteriormente, coincidiendo con el periodo reproductor de la especie. Al tratarse de una especie protegida, solo se seleccionaron y recolectaron ramas al azar entre los individuos de la banda, con el propósito de no dañar individuos completos. Tras la recolección, las ramas se introdujeron en bolsas con cierre hermético llenas de agua de mar y se guardaron en oscuridad en una nevera para su transporte al laboratorio.



**Figura 8:** **A.** Ápice fértil de *Gelidium canariense* a la lupa. **B.** Detalle de un soro con los esporangios en su interior antes de su expulsión.

#### **3.4. Obtención de esporas en el laboratorio**

Una vez en el laboratorio, las ramas fértiles recolectadas se limpiaron de epífitos y de sedimento con agua de mar filtrada, procedente del Instituto Oceanográfico de Canarias (IEO).

A continuación, se procedió a la separación de ramitas que presentaban soros de tetrasporangios, situadas en los ápices de las ramas primarias recolectadas. La separación se realizó bajo una lupa binocular Leica EZ4 (Leica Microsystem, Wetzlar, Alemania). Tras la separación, las ramitas fueron incluidas en placas de Petri de 5 cm de diámetro utilizando agua de mar filtrada como medio de crecimiento de las tetrasporas. Las placas fueron debidamente etiquetadas según el tratamiento al que serían sometidas.

#### **3.5. Diseño del experimento**

Para llevar a cabo el experimento, se eligió la temperatura media anual de la zona de estudio ( $19\pm 1^\circ\text{C}$ ), que coincidió con la temperatura ambiental del laboratorio utilizado, y un fotoperiodo de ciclos de 12:12 h (luz:oscuridad).

Exploramos el efecto de la radiación ultravioleta UVB sometiendo a las tetrasporas a PAR (radiación fotosintéticamente activa) de  $70 \mu\text{mol fotones m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en todos los tratamientos y añadiendo tres condiciones distintas de UVB: (1) baja intensidad (B), la cual corresponde a la dosis actual de UVB ( $986 \mu\text{W cm}^{-2} \text{día}^{-1}$ ), (2) media intensidad (M), con un incremento del 25% ( $1232 \mu\text{W cm}^{-2} \text{día}^{-1}$ ) y (3) alta intensidad (A), con un incremento del 50% ( $1479 \mu\text{W cm}^{-2} \text{día}^{-1}$ ).

<sup>2</sup> día<sup>-1</sup>). Para cada condición se utilizaron tres placas de Petri, además de una placa adicional para poder manipular las tetrasporas y obtener fotografías de los sucesivos estadios de desarrollo (control). Asimismo, se prepararon cuatro placas control (solo PAR sin tratamiento con UVB). En total, se examinaron 16 placas.

Para realizar el experimento con las distintas dosis de UVB, se utilizaron bombillas de UVB Reptile 100, 25W Exo-Terra ([www.exo-terra.com](http://www.exo-terra.com)), exponiendo las placas a la radiación UVB durante el tiempo necesario para alcanzar las dosis requeridas.

### **3.6. Seguimiento del experimento**

Cada 6-7 días, se revisaron las placas y se reemplazó el medio de cultivo (agua de mar filtrada), para evitar los posibles efectos de la limitación de nutrientes. El primer día de seguimiento, se retiraron las ramas colocadas en las placas dejando únicamente las tetrasporas liberadas hasta ese momento; éstas se habían fijado en el fondo de la placa y por tanto estaban preparadas para iniciar el ciclo de vida característico de *Gelidium*, descrito anteriormente. Todas las placas fueron estudiadas con la utilización de un microscopio Leica DM500 (Leica Microsystem, Wetzlar, Alemania). Sin embargo, para una mejor visualización de las divisiones de los estadios tempranos de desarrollo, se empleó un microscopio invertido Leica DMIL (Leica Microsystem, Wetzlar, Alemania).

Para la realización del conteo, se colocó un papel milimetrado transparente debajo de la placa, que sirvió de guía para delimitar la zona de conteo. Se contaron las tetrasporas incluidas en 6 cm<sup>2</sup> y los datos obtenidos se extrapolaron a la superficie total de la placa (20 cm<sup>2</sup>), obteniendo así la estimación total de cada estadio de desarrollo de las esporas.

### **3.7. Análisis de los datos**

Para el cálculo y el análisis del efecto de los tres tratamientos de UVB (B, M y A) en la liberación y fijación de las esporas se utilizó T<sub>1</sub> (tiempo inicial) correspondiente a tres días tras la colocación de los ápices fértiles (comienzo del experimento), se realizó un análisis ANOVA de 1-vía utilizando el UVB como factor fijo. Posteriormente, se realizó un análisis PERMANOVA con los datos obtenidos tras dos semanas de experimento (T<sub>2</sub>) con el objetivo de evaluar y analizar si existía efecto de los tratamientos de UVB en los primeros estadios de desarrollo de las esporas. Para la realización del análisis PERMANOVA, se utilizó el



porcentaje de esporas en cada estadio de desarrollo como variable respuesta y los tres tratamientos de UVB como factores. Este tiempo fue elegido ya que en él se podían diferenciar esporas en todos los estadios de desarrollo, independientemente del tratamiento de UVB.

Al detectarse plántulas en T<sub>5</sub> (cinco semanas tras el comienzo del experimento), se realizó un análisis ANOVA de 1-vía para comprobar si, en el desarrollo de estas, hubo efecto de los tratamientos.

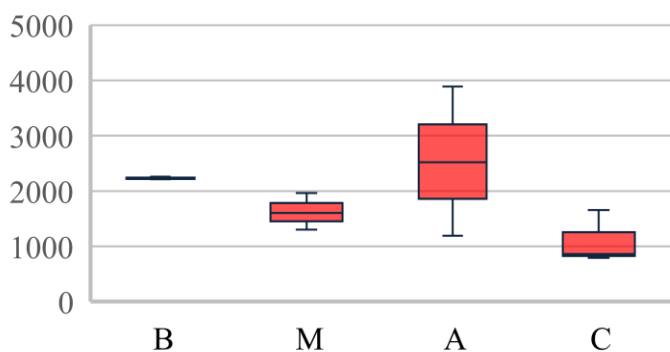
Por último, se calculó, a través del análisis de los datos en bruto (porcentaje total de esporas/plántulas), la tasa de mortalidad a lo largo del experimento.

Todos los análisis se realizaron con ayuda del software SPSS Statistics 24 (IBM, 2021), a excepción del análisis PERMANOVA que fue inferido por medio del software PRIMER-E v.6 + PERMANOVA<sup>+</sup> (www.primers-e.com; Clarke y Gorley, 2006).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Liberación de esporas de *Gelidium canariense*

La liberación de las tetrasporas a partir de los tetrasporangios situados en los soros se produjo al tercer día del experimento. Según los resultados obtenidos tras el primer conteo, en la primera semana (T<sub>1</sub>) se observó que la mayoría de las esporas expulsadas se encontraban en el tratamiento con alta intensidad, con un total de 6733 esporas. A baja intensidad se liberaron 6697 esporas, mientras que a media intensidad se obtuvo el menor valor, 4866 esporas. Por último, el tratamiento de control (sin UVB) mostró un total de 3307 esporas liberadas. Sin embargo, el análisis ANOVA de 1-vía muestra que estas diferencias no son significativas (*p*-valor: 0,177) (**Figura 9**).



**Figura 9:** Diagrama de cajas donde se recoge el número total de esporas de *Gelidium canariense* tras una semana de experimento (T<sub>1</sub>), bajo los tres tratamientos de UVB y control. (B) Baja intensidad, UVB: 986 μW cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>; (M) Media intensidad, con un incremento del 25% (UVB: 1232 μW cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>); (A) Alta intensidad, con un incremento del 50% (UVB: 1479 μW cm<sup>-2</sup> día<sup>-1</sup>); y (C) Control (sin UVB).

#### 4.2. Efecto de los tratamientos de radiación UVB en las primeras etapas de desarrollo de las esporas

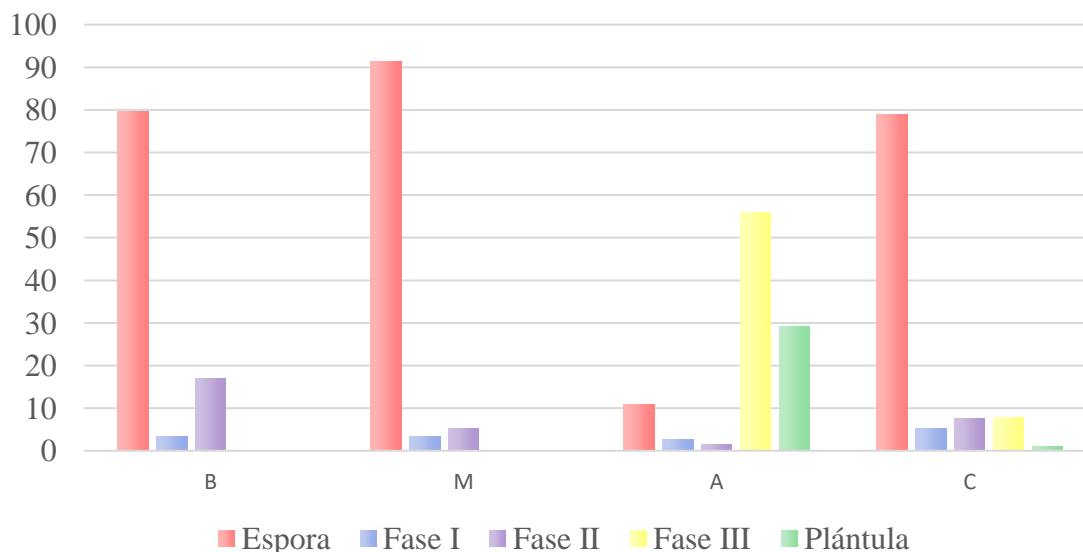
En cuanto al efecto de los tratamientos de UVB en el desarrollo de las esporas (estadios), el análisis PERMANOVA (**Tabla 1**) indica que hubo efecto de los diferentes tratamientos de UVB en el desarrollo de las esporas ( $p$ -valor=0.001) (**Figura 10**), observándose diferencias significativas entre los tratamientos de Baja Intensidad – Alta Intensidad ( $p$ -valor=0.021) y Media Intensidad – Alta intensidad ( $p$ -valor=0.02).

**Tabla 1:** Resultados del análisis PERMANOVA, utilizando como variable respuesta el porcentaje de esporas de *Gelidium canariense* encontrados en cada estadio tras dos semanas de experimento (T<sub>2</sub>).

<i>Gelidium canariense</i>				
a) Test principal				
Fuente de variación	df	MS	Pseudo-F	P(perm)
Tratamientos UVB	3	2566,8	68,787	<b>0,001</b>
Residual	8	373,15		
Total	11			

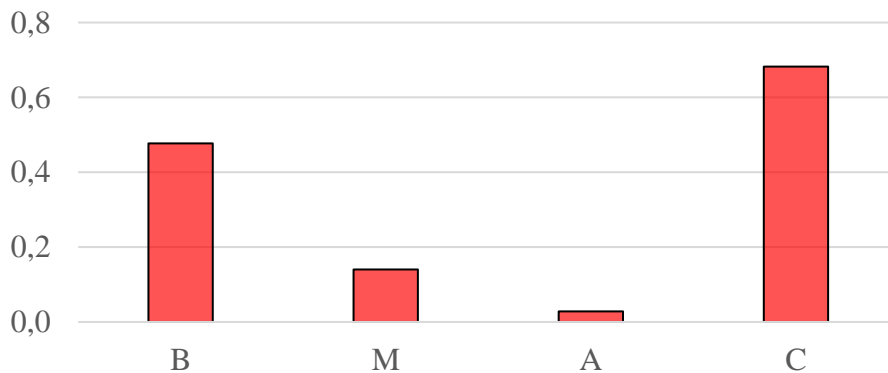
b) Comparaciones a posteriori		
Tratamientos UVB		
	t	P(perm)
<i>B, M</i>	17.903	0,130
<b><i>B, A</i></b>	29.741	<b>0,021</b>
<i>B, C</i>	16.475	0,113
<b><i>M, A</i></b>	29.591	<b>0,020</b>
<i>M, C</i>	16.875	0,123
<i>A, C</i>	22.071	0,058



**Figura 10:** Diagrama de barras del porcentaje de esporas de *Gelidium canariense* en cada estadio de desarrollo bajo los tratamientos de radiación UVB y control. (B) Baja intensidad, UVB:  $986 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ; (M) Media intensidad, con un incremento del 25% (UVB:  $1232 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ); (A) Alta intensidad, con un incremento del 50% (UVB:  $1479 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ); y (C) Control (sin UVB).

#### 4.3. Efecto de los tratamientos de UVB en el desarrollo de plántulas ( $T_5$ )

Aunque en la **Figura 11**, se observan diferencias en cuanto al porcentaje de plántulas que se han desarrollado en  $T_5$ , el análisis ANOVA 1-vía muestra que no hay efecto significativo entre los diferentes tratamientos de radiación UVB ( $p$ -valor = 0,085).



**Figura 11:** Diagramas de barras del porcentaje de esporas que han alcanzado el estadio de plántula en la quinta semana de experimento ( $T_5$ ), atendiendo a: (B) Baja intensidad, UVB:  $986 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ; (M) Media intensidad, con un incremento del 25% (UVB:  $1232 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ); (A) Alta intensidad, con un incremento del 50% (UVB:  $1479 \mu\text{W cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ); y (C) Control (sin UVB).

#### 4.4. Tasa de mortalidad de las primeras etapas de desarrollo de *Gelidium canariense*

En relación con la mortalidad de las fases tempranas de esta especie, se observó que ésta es muy alta a medida que van pasando las semanas, llegando a valores mínimos tras cinco semanas de experimento (**Tabla 2**). Según los resultados obtenidos, las condiciones de alta radiación UVB muestran el mayor porcentaje de mortalidad, pero este porcentaje es muy similar al del resto de tratamientos e incluso al control.

**Tabla 2:** Porcentaje de esporas y plántulas de *Gelidium canariense* que han sobrevivido en T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> con respecto al total de esporas liberadas al inicio del experimento (T<sub>1</sub>).

TRATAMIENTO	% ESPORAS	% ESPORAS	% ESPORAS	%
UVB	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	PLÁNTULAS T <sub>5</sub>
<b>B</b>	100,0	15,4	35,0	0,5
<b>B</b>	96,6	37,9	20,0	0,1
<b>B</b>	72,9	24,9	23,8	0,7
<b>M</b>	99,8	51,3	23,5	0,1
<b>M</b>	77,7	47,3	30,2	0,1
<b>M</b>	76,3	15,2	13,0	0,2
<b>A</b>	8,4	19,6	24,7	0,0
<b>A</b>	6,0	4,7	11,7	0,0
<b>A</b>	16,9	15,1	28,1	0,1
<b>C</b>	5,9	70,8	20,0	1,1
<b>C</b>	53,2	71,7	26,6	0,3
<b>C</b>	30,8	79,4	24,4	0,6

## 5. DISCUSIÓN

En este trabajo de fin de grado se ha estudiado por primera vez el efecto de la radiación ultravioleta B en las fases iniciales del ciclo de vida de la macroalga endémica amenazada *Gelidium canariense*. En particular, este estudio se ha centrado en las primeras etapas de desarrollo de las tetrasporas, desde su liberación hasta la formación de plántulas.

Actualmente estamos siendo testigos de cómo desaparecen las comunidades macroalgales debido principalmente a los cambios en la química del agua, a la acción humana sobre las especies que sirven para la explotación de los recursos y también a los factores ambientales, siendo la luz una de las variables más críticas. La radiación solar que incide en el fitobentos depende de varios factores (por ej. estado de la atmósfera, variaciones diarias, estacionales y latitudinales, características del hábitat). De esta manera, las mareas, el oleaje, la turbidez, el ángulo de incidencia solar, la profundidad, la densidad de poblaciones, el movimiento de los individuos en el agua y la nubosidad condicionan la cantidad y calidad de luz disponible para los organismos del fitobentos (Kirk 1983, Lobban y Harrison 1994). Todos estos elementos combinados van a repercutir en la respuesta germinativa de los primeros estadios de las especies, por lo general, de manera negativa impidiendo su correcta fijación al sustrato y en definitiva, para su capacidad de actuar como servicio ecosistémico (Borja *et al.* 2013).

Las poblaciones de *Gelidium canariense* en la isla de Tenerife se distribuyen por las costas orientadas al Norte ocupando el límite superior del sublitoral en localidades muy expuestas al oleaje, caracterizadas por presentar entre otros parámetros ambientales una mayor nubosidad y contenido de humedad que el resto de las localidades de la isla, principalmente por la presencia del mar de nubes que se forma como consecuencia del efecto de los vientos alisios (Marzol y Trujillo 2019). Estas condiciones, que coinciden con la distribución potencial de este rodófito, podrían estar indicando una limitación del crecimiento de esta especie en lugares con mayor irradiancia y por lo tanto también mayor radiación ultravioleta, mientras que la presencia de nubosidad produciría una atenuación de esta radiación (Wright 2010). A falta de datos concretos de radiación UVB en los sitios donde crece *Gelidium canariense*, la radiación global nos indica un valor mucho menor en las costas orientadas al Norte que en aquellas orientadas al SE, S y SW de la isla (<https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos>).

Aunque se sabe que en general la radiación UV condiciona la supervivencia y crecimiento de las macroalgas, no todas las fases del ciclo de vida de una especie son igual de sensibles a las variaciones de los parámetros ambientales (Buschmann *et al.* 2004, Navarro *et al.* 2010, Harley *et al.* 2012). Para las fases tempranas (diásporas), además de su capacidad fisiológica, el hábitat donde se fijan al liberarse repercute directamente en su desarrollo (Lobban y Harrison 1994, Schiel y Foster 2006). De esta manera, el reclutamiento puede verse

afectado negativamente por las condiciones ambientales donde se establecen, lo que impide el mantenimiento de las poblaciones a corto plazo. En este sentido, el notable declive que han sufrido las poblaciones de *Gelidium canariense* en las últimas décadas (Sansón *et al.* 2013, Alfonso *et al.* 2021) puede haber ocasionado precisamente una mayor exposición de las diásporas a las radiaciones UV al disminuir la cobertura y el tamaño de los individuos adultos.

Según los resultados que hemos obtenido en base a la liberación de esporas en *Gelidium canariense*, estas no se ven afectadas por los distintos tratamientos y ocurren independientes a su intensidad, ya que tras tres días de estudio todas las placas presentaban indicios de liberación, siendo la protagonista en mayor medida la pecera con el tratamiento de alta intensidad. Este patrón puede parecerse al ocurrido con otros experimentos en especies de *Cystoseira* sp. pudiendo estar relacionado con las estrategias para la fotoprotección que presenta este género en cuanto a poder soportar el estrés causado por la incidencia de la UVB; incluso puede que su liberación se viera favorecida por un buen manejo de las muestras y almacenamiento en oscuridad durante su transporte previo a la realización del experimento (Falace *et al.* 2018). Caso contrario que ocurre con *Chondracanthus chamissoi*, donde los tratamientos realizados con ultravioleta resultaron en diferencias significativas para cantidad de tetrasporas liberadas.

Si nos fijamos en los resultados el desarrollo de las distintas etapas de crecimiento (desde las esporas hasta las plántulas) durante la segunda semana de experimento nos muestran que las tetrasporas bajo radiación UVB presentan sus primeras transformaciones (formación del tubo germinativo) a los pocos días del comienzo del experimento, tiempo relativamente mayor al observado por Alfonso *et al.* (2018) con las tetrasporas de *Gelidium arbuscula* y *G. canariense* sin este tratamiento. Según el análisis estadístico con PERMANOVA existe efecto en la respuesta frente a los distintos tratamientos con UVB, estos difieren con los resultados obtenidos en otros trabajos (Scariot *et.al* 2012, Simioni *et al.* 2014) donde también se utilizaban especies de Gelidiales, indicando que la sensibilidad de respuesta a la radiación ultravioleta en los primeros estadios provocaba alteraciones en la morfología general de las esporas así como cambios en la diferenciación de la estructura del talo, afectando en consecuencia a su tasa de crecimiento; esto evidencia finalmente una mayor susceptibilidad en las etapas juveniles al UVB que las plantas adultas. Esto es evidente tras comparar los tratamientos entre sí donde observamos que, a diferencia de los tratamientos de Baja y Media

intensidad donde destacan los primeros estadios del ciclo (Esporas-Fase I- Fase II), en el caso de Alta intensidad se observan estadios de desarrollo más avanzados (Fase III - Plántula), es decir, en este caso se incrementa el desarrollo en cada una de las fases a mayor intensidad de UVB.

La existencia de plántulas tras la finalización del experimento (T5) y su previo análisis muestra como no existe acción de los tratamientos para el desarrollo de este último estadio; a pesar de ello cabe destacar que se degradaron casi por completo en Alta intensidad, este dato cobra sentido tras el estudio de la alta tasa de mortalidad en las fases tempranas del desarrollo, apreciable en todos los niveles incluso en el tratamiento de Control. Por otro lado, plántulas pigmentadas eran visibles en las muestras sometidas al Control. En el resto de los tratamientos se observó que la radiación UVB provocó despigmentación y menor crecimiento de plántulas, como ha sido observado en otras especies de macrófitos en los que se han realizado experiencias de laboratorio similares (Grobe y Murphy 1998, Roleda *et al.* 2007, Navarro *et al.* 2010).

En general, diferentes estudios realizados no solo con estadios tempranos de desarrollo sino también con individuos adultos, indican que la radiación UVB afecta negativamente en la morfología y estructura de las macroalgas, así como en su metabolismo (ej. *Gracilaria*, Schmidt *et al.* 2010; *Gelidium floridanum*, Schmidt *et al.* 2012a; *Hypnea musciformis*, Schmidt *et al.* 2012b). El experimento se interrumpió cuando todas las esporas alcanzaron estadio de plántula, por lo que no llegó a observarse la formación de ramas laterales erectas ni la formación de rizoides adicionales, estadios que de acuerdo con la bibliografía comienzan a presentar mayores afecciones por este tipo de radiación.

El declive drástico de las poblaciones de *Gelidium* en Canarias exige llegar a un mejor conocimiento de cómo actúan diferentes variables ambientales y estresores, como la radiación UV, en las primeras etapas de su desarrollo. Con esta idea en mente y atendiendo a los resultados obtenidos de crear programas de conservación y restauración de estas macroalgas endémicas amenazadas, por lo que este estudio pretende contribuir en este sentido.

## 6. CONCLUSIONES

- 1) Aunque no se demuestra que la radiación UVB afecte significativamente a la liberación de las tetrasporas de la macroalga *Gelidium canariense* (Gelidiales, Rhodophyta), este estudio si da luz sobre su efecto en las fases iniciales de desarrollo.
- 2) La liberación de las tetrasporas sometidas a los tratamientos de UVB seleccionados son liberadas al tercer día del experimento, siendo el proceso más lento de lo habitual.
- 3) El mayor número de esporas que se observaron al tercer día del experimento (T1) fueron aquellas bajo el tratamiento de alta intensidad (6733 esporas en las 3 placas) a pesar de ello no existen diferencias significativas si lo comparamos con el resto de tratamientos.
- 4) Tras dos semanas de experimento (T2) si existen diferencias entre los tratamientos para los diferentes estadios de desarrollo en las tetrasporas de *G. canariense* (Esporas, Fase I, Fase II, Fase III y Plántula). Siendo significativas las comparaciones *a posteriori* Alta-Media y Alta-Baja intensidad, respectivamente.
- 5) De nuevo aunque existan diferencias apreciables entre los porcentajes de plantulas encontrados tras cinco semanas de experimento (T5), el análisis ANOVA de 1-vía muestra que no hay efecto significativo entre los distintos tratamientos con UVB.
- 6) Tratar las tetrasporas con UVB provoca despigmentación en todos los estadios de desarrollo.
- 7) En cuanto a la mortalidad de las primeras fases de desarrollo en *G. canariense*, se observa que es muy elevada durante todo el transcurso del experimento y bajo los tratamientos de UVB. No obstante, la mortalidad es alta incluso en condiciones de Control, por lo que la radiación UVB no parece ser un factor especialmente responsable de la mortalidad en estas etapas tempranas.



## 7. CONCLUSIONS

- 1) Although UVB radiation is not shown to significantly affect the release of tetraspores from the macroalga *Gelidium canariense* (Gelidiales, Rhodophyta), this study does shed light on its effect in the early stages of development.
- 2) The release of the tetraspores subjected to the selected UVB treatments are released on the third day of the experiment, the process being slower than usual.
- 3) The highest number of spores observed on the third day of the experiment (T1) were those under the high intensity treatment (6733 spores on the 3 plates) although there are no significant differences compared to the other treatments.
- 4) After two weeks of experiment (T2) there are differences between treatments for the different stages of development of *Gelidium canariense* tetraspores (Spores, Phase I, Phase II, Phase III and Seedlings). The *a posteriori* comparisons High-Medium and High-Low intensity are significant, respectively.
- 5) Again, although there are appreciable differences between the percentages of seedlings found after five weeks of the experiment (T5), the 1-way ANOVA analysis shows that there is no significant effect between the different UVB treatments.
- 6) Treating tetraspores with UVB causes depigmentation at all stages of development.
- 7) Mortality of early developmental stages in *Gelidium canariense* is observed to be very high throughout the course of the experiment and under UVB treatments. However, mortality is high even under Control conditions, so UVB radiation does not seem to be a factor particularly responsible for mortality in these early stages.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en un primer momento, tanto a Marta como a Sharay, por guiarme con sus enseñanzas y comprensión durante el transcurso de este trabajo, haberme dado siempre el impulso que necesitaba y el tiempo prestado a pesar de todo.

También agradezco en especial al profesor Juan Cristo Luis (área Fisiología Vegetal) por los consejos y ayuda a la hora de afrontar el experimento.

Y finalmente a mi familia y amigos, por apoyarme y acompañarme todo este viaje.

Este trabajo forma parte del proyecto “ Conservación y restauración de las poblaciones de tres macroalgas marinas amenazadas en las Islas Canarias: *Cystoseira abies-marina*, *Gelidium arbuscula* y *G. canariense*” cofinanciado por la Fundación Biodiversidad (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico).

## 9. REFERENCIAS

- Afonso-Carrillo, J. & Sansón, M. 1999. Algas, hongos y fanerógamas marinas de las Islas Canarias. Clave analítica. Servicio de Publicaciones Universidad de La Laguna. 254 pp.
- Afonso-Carrillo, J. 2014. Lista actualizada de algas marinas de las islas Canarias. Informe de la Sociedad Española de Ficología. España. 64 pp.
- Alfonso, B., Hernández, J.C. & Sansón, M. 2018. Tetraspore germination of two vulnerable marine algae, *Gelidium canariense* and *G. arbusculum* (Rhodophyta, Gelidiales). *Botanica Marina* 61: 111-114.
- Alfonso, B., Sangil, C. & Sansón, M. 2019. Gelidiales (Rhodophyta) in the Canary Islands: previous studies and future perspectives. *Scientia Insularum* 2: 153-181.
- Alfonso, B., Hernández, J.C., Sangil, C., Martín, L., Expósito, F.J., Díaz, J.P. & Sansón, M. 2021. Fast climatic changes place an endemic Canary Island macroalga at extinction risk. *Regional Environmental Change* 21: 113-129.
- Armisen, R. 1994. Productos derivados del *Gelidium*: producción, estructura y aplicaciones. En: Juanes, J.A. & González, S. (eds), *Gelidium*: de los recursos a las aplicaciones. Diputación General de Cantabria. España. 27 pp.
- Benedetti-Cecchi, L., Pannacciulli, F., Bulleri, F., Moschella, P.S., Airoidi, L., Relini, G. & Cinelli, F. 2001. Predicting the consequences of anthropogenic disturbance: large-scale effects of loss of canopy algae on rocky shores. *Marine Ecology Progress Series* 214: 137-150.
- Bermejo, R., Vergara, J.J. & I. Hernández. 2016. Application and reassessment of the reduced species list index for macroalgae to assess the ecological status under the Water Framework Directive in the Atlantic coast of Southern Spain. *Ecological Indicators* 12: 46-57.
- Bertness, M.D., Leonard, G.H., Levine, J.M. & Bruno, J.F. 1999. Climate-driven interactions among rocky intertidal organisms caught between a rock and a hot place. *Oecologia* 120: 446-450.
- Børgesen, F. 1927. Marine algae from the Canary Islands especially from Teneriffe and Gran Canaria. III. Rhodophyceae. Part I. Bangiales and Nemalionales. *K. Dansk. Vidensk. Selsk. Biol. Meddel* 6: 1-97.
- Borja, A., Fontán, A., Muxika, I. 2013 Interactions between climatic variables and human pressures upon a macroalgae population: Implications for management. *Ocean & Coastal Management* 76: 85-95.
- Bouzon, Z.L., Ouriques, L.C., & Oliveira, E.C. 2005. Ultrastructure of tetraspore germination in the agar-producing seaweed *Gelidium floridanum* (Gelidiales, Rhodophyta). *Phycologia* 44: 409-415.
- Bruno, J.F., Stachowicz, J.J. & Bertness, M.D. 2003. Inclusion of facilitation into ecological theory. *Trends on Ecology & Evolution* 18: 119-125.
- Buschmann, A., Vásquez, J.A., Osorio, P., Reyes, E., Filún, L., Hernández-González, M.C. & Alonso Vega J.M. 2004. The effect of water movement, temperature and salinity on abundance and reproductive patterns of *Macrocyctis* spp. (Phaeophyta) at different latitudes in Chile. *Marine Biology* 145: 849-62.
- Castañeda, M., Arbaiza, S., Francisco, D., Castillo, Y., Paul, B., Orlando, A. 2018. Evaluación del fotoperiodo en el asentamiento de tetraesporas de *Chondracanthus chamissoi* sobre cuerdas de polipropileno en condiciones semi-controladas de laboratorio. *Anales Científicos* 79.
- Chemin, E. 1937. Le développement des spores chez les Rhodophycées. *Revue gén. Bot.* 49:205-234; 300-327; 353-374; 424-448; 478-536.
- Coelho, S. M., J. W. Rijstenbil and M. Brown (2000) Impacts of anthropogenic stresses on the early development stages of seaweeds. *J. Aquat. Ecosyst. Stress Recovery* 7, 317-333.
- Darias-Rodríguez, J.M. & Afonso-Carrillo, J. 1986. Reproducción y fenología de *Gelidium versicolor* (S. Gmel.) Lamouroux (Rhodophyta) en el Puerto de la Cruz (Tenerife). Libro de Resúmenes V Simposio Ibérico del Bentos Marino. Puerto de la Cruz. p. 85.
- Díez, I., Mugerza, N., Santolaria, A., Ganzedo, U. & Gorostiaga, J.M. 2012. Seaweed assemblage changes in the Eastern Cantabrian Sea and their potential relationship to climate change. *Estuarine and Coastal Shelf Science* 99: 108-120.
- Dixon, P.S. 1973. Biology of the Rhodophyta. Hafner Press, New York. 251 pp.
- Domínguez-Álvarez, S., Rico, J.M. & Gil-Rodríguez, M.C. 2011. Photosynthetic response and zonation of three species of Gelidiales from Tenerife, Canary Islands. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 68: 117-124.
- Eggert, A. 2012. Seaweed Responses to Temperature. In: Wiencke C. & Bischof K. (eds) *Seaweed Biology. Ecological Studies (Analysis and Synthesis)*. Springer, Berlin, Heidelberg. pp. 47-66.
- Falace A., Kaleb S., De La Fuente G., Asnaghi V. & Chiantore M. (2018). Ex situ

- cultivation protocol for *Cystoseira amentacea* var. *stricta* (Fucales, Phaeophyceae) from a restoration perspective. *PLoS one* 13: e0193011.
- Filipin, E.P., Bouzon, Z.L., Ouriques, L., Pereira, D.T., Braum, F., Schmidt, E.C. & Simioni, C. 2016. Evaluation of salinity effects on the release, adhesion and germination of the tetraspores of *Gelidium floridanum* (Rhodophyta, Florideophyceae). *Journal of Applied Phycology* 28: 2925-2938.
- Grobe, C. & Murphy, T. 1998. Solar ultraviolet-B radiation effects on growth and pigment composition of the intertidal alga *Ulva expansa* (Setch.) S. & G. (Chlorophyta). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 225: 39-51.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2022. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway en <http://www.algaebase.org>; consultado junio 2022.
- Harley, C.D.G., Anderson, K.M., Demes, K.W., Jorve, J.P., Kordas, R.L., Coyle, T.A. & Graham, M.H. 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48: 1064-1078.
- Hommersand, M.H. & Fredericq, S. 1988. An investigation of cystocarp development in *Gelidium pteridifolium* with a revised description of the Gelidiales (Rhodophyta). *Phycologia* 27: 254-272.
- José Rico & Michael Guiry (1997) Life history and reproduction of *Gelidium maggsiae* sp. nov. (Rhodophyta, Gelidiales) from Ireland, *European Journal of Phycology*, 32:3, 267-277.
- Juanes, J.A. & Puentes, A. 1993. Differential reattachment capacity of isomorphic life history phases of *Gelidium sesquipedale*. *Hydrobiologia* 260/261: 139-144.
- Jueterbock, A., Tyberghein, L., Verbruggen, H., Coyer, J.A., Olsen, J.L. & Hoarau, G. 2013. Climate change impact on seaweed meadow distribution in the North Atlantic rocky intertidal. *Ecology and Evolution* 3: 1356-1373.
- Kersting, D.K. 2016. Cambio climático en el medio marino español: impactos, vulnerabilidad y adaptación. Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. 166 pp.
- Kirk, J.T.O. 1983. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press. 416 pp.
- Lobban, C.S. & Harrison, P.J. 1994. Seaweed ecology and physiology. Cambridge University Press. 384 pp.
- Lüning, K. 1990. Seaweeds: Their environment, Biogeography and Ecophysiology. John Wiley & Sons-Interscience, New York. 544 pp.
- Mangialajo, L., Chiantore, M. & Cattaneo-Vietti, R. 2008. Loss of furoid algae along a gradient of urbanisation, and structure of benthic assemblages. *Marine Ecology Progress Series* 358: 63-74.
- Martínez, P. 2019. Efecto de la irradiancia sobre los primeros estadios de desarrollo de *Cystoseira foeniculacea* y *Cystoseira humilis* (Fucales, Phaeophyceae). Trabajo Fin de Máster. Universidad de La Laguna. 32 pp.
- 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* 49: 5-12.
- Mercado, J.M., Niell, F.X. & Gil-Rodríguez, M.C. 2001. Photosynthesis might be limited by light, not inorganic carbon availability, in three intertidal Gelidiales species. *New Phytologist* 149: 431-439.
- Mieszkowska, N., Kendall, M.A., Hawkins, S.J., Leaper, R., Williamson, P., Hardman-Mountford, N.J. & Southward, A.J. 2006. Changes in the range of some common rocky shore species in Britain – a response to climate change? *Hydrobiologia* 555: 241-251.
- Mieszkowska, N., Burrows, M.T. & Sugden, H. 2020. Impacts of climate change on intertidal habitats relevant to the coastal and marine environment around the UK. *MCCIP Sci. Rev.* 2020: 256–271.
- Navarro, N.P., Mansilla, A. & Plastino, E.M. 2010. *Iridaea cordata* (Gigartinales, Rhodophyta): responses to artificial UVB radiation. *Journal of Applied Phycology* 22: 385-394.
- O’Leary, J.K. & McClanahan, T.R. 2010. Trophic cascades result in large-scale coralline algae loss through differential grazer effects. *Ecology* 91: 3584-3597.
- Orellana, S. 2019. El género *Cystoseira* (Fucales, Phaeophyceae) en las islas Canarias: morfología, filogenia y diversidad genética. Tesis Doctoral. Universidad de La Laguna. 209 pp.
- Pinnegar, J.K., Wright, P.D., Maltby, K. & Garrett, A. 2020. The impact of climate change on fisheries, relevant to the coastal and marine environment around the UK. *MCCIP Sci. Rev.* 456-481.
- Polifrone, M., Gil-Rodríguez, M.C., Domínguez-Álvarez, S., Stroobant, M. & Viera-Rodríguez, M.A. 2012. Reproductive phenology of three species of Gelidiales (Rhodophyta) in two macroalgal communities

- from Tenerife (Atlantic Ocean, Canary Islands, Spain). *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 69: 247-252.
- Raven, J. & Falkowski, P.G. 1999. Oceanic sinks for atmospheric CO<sub>2</sub>. *Plant, Cell & Environment* 22: 741-755.
- Roleda, M.Y., Wiencke, C., Hanelt, D. & Bischof, K. 2007. Sensitivity of the early life stages of macroalgae from the Northern hemisphere to ultraviolet radiation. *Photochemistry and Photobiology* 83: 851-862.
- Sansón, M., Sangil, C., Orellana, S. & Afonso-Carrillo, J. 2013. Do the size shifts of marine macroalgae match the warming trends in the Canary Islands? Libro de Resúmenes, XIX Simposio de Botánica Criptogámica. p. 104.
- Santelices, B. 1987a. The wild harvest and culture of the economically important species of *Gelidium* in Chile. In: Doty, D.S., Caddy, J.F. & Santelices, B. (eds.) FAO Fisheries technical paper –281 Food and agriculture organization of the United Nations. Rome, Italy. p. 21.
- Scariot, L.Á., Rover, T., Zitta, C.S. et al. Effects of UV-B radiation on *Gelidium floridanum* (Rhodophyta, Gelidiales): germination of tetraspores and early sporeling development. *J Appl Phycol* 25, 537–544.
- Schiel, D.R. & Foster, M.S. 2006. The population biology of large brown seaweeds: Ecological consequences of multiphase life histories in dynamic coastal environments. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37: 343-372.
- Schmidt, E.C., dos Santos, R., Horta, P.A., Maraschin, M. & Bouzon, Z.L. 2010. Effects of UVB radiation on the agarophyte *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales): Changes in cell organization, growth and photosynthetic performance. *Micron* 41: 919-930.
- Schmidt, E.C., dos Santos, R., Faveri, C. de, Horta, P.A., de Paula Martins, R., Latini, A., Ramlov, F., Maraschin, M. & Bouzon, Z.L. 2012a. Response of the agarophyte *Gelidium floridanum* after in vitro exposure to ultraviolet radiation B: changes in ultrastructure, pigments, and antioxidant systems. *Journal of Applied Phycology* 24: 1341-1352.
- Schmidt, E.C., Pereira, B., dos Santos, R., Gouveia, C., Burle Costa, G., Faria, G.S.M., Scherner, F., Horta, P.A., de Paula Martins, R., Latini, A., Ramlov, F., Maraschin, M. & Bouzon, Z.L. 2012b. Responses of the macroalgae *Hypnea musciformis* after in vitro exposure to UV-B. *Aquatic Botany* 100: 8-17.
- Searles R.B. 1980. The strategy of the red algal life history. *The American Naturalist* 115: 113-120.
- Steneck, R.S., Graham, M.H., Bourque, B.J., Corbett, D., Erlandson, J.M., Estes, J.A. & Tegner, M.J. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation* 29: 436-459.
- Tait, L.W. & Schiel, D.R. 2018. Ecophysiology of layered macroalgal assemblages: Importance of subcanopy species biodiversity in buffering primary production. *Frontiers in Marine Science* 5: e00444.
- Thibaut, T., Pinedo, S., Torras, X. & Ballesteros, E. 2005. Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albères coast (France, North-western Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin* 50: 1472-1489.
- Wernberg, T., Thomsen, M.S., Tuya, F., Kendrick, G.A., Staehr, P.A. & Toohy, B.D. 2010. Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future. *Ecology Letters* 13: 685-694.