



Universidad  
de La Laguna

**UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA**

**Facultad de Ciencias**

**Sección de Biología**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO**



Facultad de Ciencias  
Sección de BIOLOGÍA

**Estudio del hidrocoral *Millepora alcicornis*  
Linnaeus, 1758, en la isla de Tenerife.**

**Assessment of the Hydracoral *Millepora*  
*alcicornis* Linnaeus, 1758, in Tenerife Island.**

**Alumna:** Eulalia Peraza González.

**Tutores:** Alberto Brito Hernández.

Adriana Rodríguez Hernández.

**Departamento de Biología Animal, Edafología y  
Geología. U. D. de Ciencias Marinas.**

**Curso 2016-2017**



Alberto Brito Hernández, catedrático del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna y Adriana Rodríguez Hernández, investigadora postdoctoral del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna.

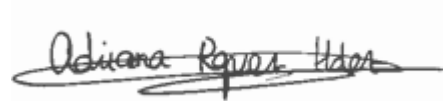
**CERTIFICAN:**

Que la memoria presentada por Doña Eulalia Peraza González, titulada “Estudio del hidrocoral *Millepora alcicornis* Linnaeus, 1758, en la isla de Tenerife”, ha sido realizada bajo nuestra dirección y consideramos que reúne todas las condiciones de calidad y rigor científico requeridas para optar a su presentación como Trabajo de Fin de Grado, del grado de Biología de la Universidad de La Laguna, curso 2016-2017.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firmamos el presente certificado en San Cristóbal de La Laguna, a 5 de junio de 2017.



Fdo: Dr. Alberto Brito Hernández



Fdo: Dra. Adriana Rodríguez Hernández

---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. Resumen/Abstract.....	1-2
2. Introducción.....	3-8
3. Objetivos.....	9
4. Material y métodos.....	9-11
4.1. Zona de estudio .....	9
4.2. Metodología .....	9-10
4.3. Temperatura superficial .....	10-11
5. Resultados.....	11-17
5.1. Superficie ocupada y número de colonias ....	11-14
5.2. Temperaturas superficiales .....	15-17
6. Discusión.....	17-20
7. Conclusiones/Conclusions .....	20-22
8. Agradecimientos.....	22
9. Bibliografía .....	25-27

## 1. Resumen

La aparición y el desarrollo de *Millepora alcicornis* en Canarias es un claro ejemplo del proceso de tropicalización de la biodiversidad marina. Tras llegar a nuestras costas, por sus propios medios de dispersión o introducida con el tráfico marítimo, algo que no está aún claro, ha logrado establecerse y expandirse en una localidad del sureste de Tenerife. Esto ha sido posible por el aumento de las temperaturas superficiales del mar y probablemente en relación directa con un intenso evento climático ocurrido en el verano de 2004. Tras el descubrimiento inicial de tres colonias en 2008, se ha llevado a cabo un monitoreo anual para estudiar el crecimiento de las mismas, poniéndose manifiesto que en 8 años este hidrocoral ha conseguido expandir su superficie hasta treinta veces. No obstante, en 2011 se registró un fenómeno de blanqueamiento en las colonias, que podría estar relacionado con cambios bruscos en las temperaturas superficiales de las aguas canarias, o con una disminución en la salinidad, debida en este caso a su ubicación geográfica y a las precipitaciones registradas en la zona en el año 2010. Futuros estudios son necesarios para seguir la expansión de *Millepora*, conocer las posibles interacciones que establezca con especies nativas y valorar las posibles repercusiones que pueda tener sobre el ecosistema litoral.

**Palabras clave:** *Millepora alcicornis*, crecimiento, tropicalización, blanqueamiento.

## Abstract

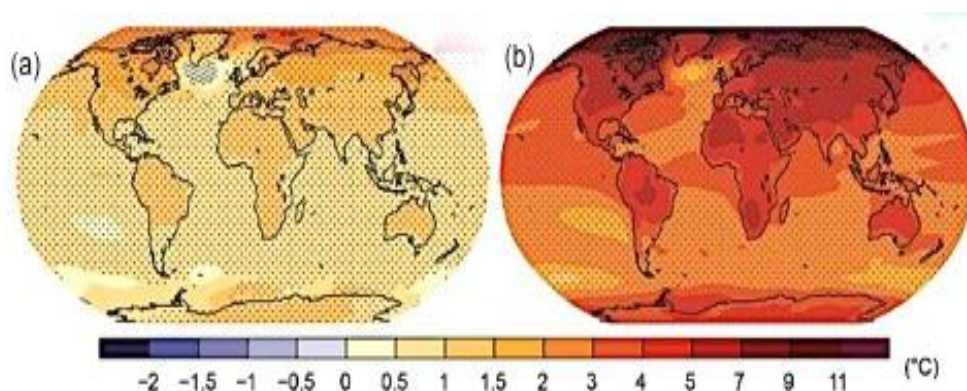
The occurrence of the hydrocoral *Millepora alcicornis* in Canary Island is a clear example of the tropicalization process in marine biodiversity. *Millepora alcicornis* reached our coasts by their own means of dispersion or was introduced with maritime traffic, something that is not clear yet, it has managed to establish and expand it in a southeastern locality of Tenerife Island. It has been possible by sea surface temperature increase and indirectly in relation with an extreme climatic event that took place in the summer of 2004. After initial discovery of three colonies in 2008, annual monitoring has been carried out to study growth, showing that this coral has expanded its surface up to thirty times in the last 8 years. However, in 2011 there was a bleaching phenomenon in the colonies, which could be related to abrupt changes in

the sea surface temperatures in Canary Islands or by a decrease in salinity, as consequence of intense precipitation registered in the zone in 2010. Future researches will be necessary to follow the extension of *Millepora* to assess the possible interaction that establish with native species and the possible repercussions that may have on the coastal ecosystem.

**Key words:** *Millepora alcicornis*, growth, tropicalization, bleaching.

## 1. Introducción

En las últimas décadas son numerosos los estudios que han abordado los efectos del cambio climático sobre diversos organismos (Gregg *et al.*, 2003; Gianguzza *et al.*, 2014; Turley *et al.*, 2013). Desde el inicio de la época industrial se ha producido un progresivo incremento de la concentración de anhídrido carbónico en la atmósfera que generado un aumento de la temperatura global (Figura 1A), hasta el punto que se plantea un incremento de ésta en los océanos para finales del siglo XXI entre 2-4.5 °C con respecto al presente (IPCC 2013) (Figura 1B). El cambio climático está afectando a las propiedades físicas y químicas de los océanos, y con ello a los ecosistemas marinos (Poloczanska *et al.*, 2016). El aumento de la temperatura afecta directamente a los seres marinos generando cambios que incluyen: reducción en los tamaños corporales, preferencias en hábitats y alimentación, modificación en la dinámica de las redes tróficas, cambios en los tiempos de generación y expansión de los límites de distribución (Fields *et al.*, 1993; Lubchenco *et al.*, 1993; Harley *et al.*, 2006; Hoegh-Guldberg *et al.*, 2010; Hyndes *et al.*, 2016).



**Figura 1. (A)** Cambios en la temperatura superficial desde 1986 a 2005. **(B)** Cambios previstos para final de siglo (Fuente: IPCC, 2013).

Las poblaciones naturales se enfrentan a cambios inminentes en el clima a los que tendrán que adaptarse o aclimatarse, o bien perecer. Centenares de especies han respondido a las recientes tendencias del calentamiento expandiendo sus rangos a latitudes más altas (Parmesan y Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003). Sus respuestas al cambio climático tendrán consecuencias generalizadas a nivel de especies y a nivel de las comunidades, y varios ecólogos han predicho cambios en la composición y

distribución de futuros ecosistemas (Fields *et al.*, 1993). Queda así reflejada la importancia de la temperatura como factor ambiental estrechamente vinculado con la biodiversidad marina (Tittensor *et al.*, 2010). Según Tuckett *et al.*, (2017), la temperatura es el motor principal en la biogeografía de las especies y produce patrones consistentes en su distribución y abundancias.

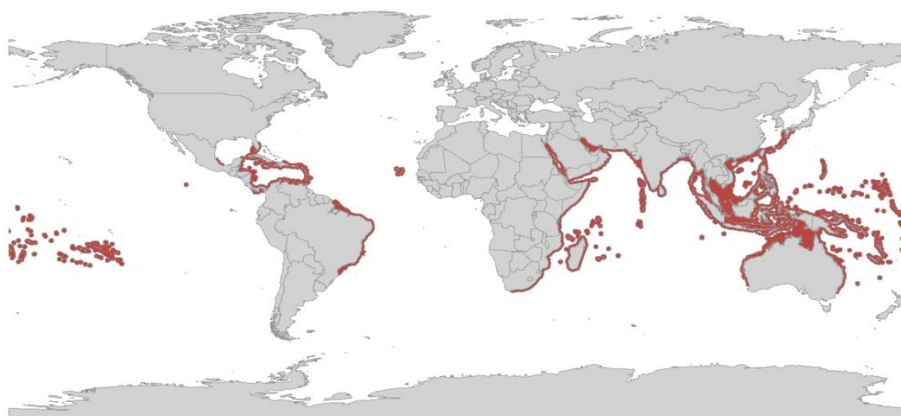
En Canarias desde mediados de la década de los noventa se han registrado más de una treintena de especies de origen tropical de nueva aparición (Brito, 2008). Evidencias claras del proceso de tropicalización de la fauna marina canaria han sido mostradas por diversos autores para diferentes grupos taxonómicos, desde los peces hasta los equinoideos, y guardan una clara relación con el incremento de la temperatura en las últimas décadas (Brito *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2010; Clemente *et al.*, 2010; Falcón *et al.*, 2015). Además de especies tropicales que han llegado por sus propios medios de dispersión y se han asentado favorecidas por un mar cada vez más cálido, la introducción mediante las actividades humanas (transporte de larvas o juveniles en el agua de lastre y de organismos incrustantes en los cascos de grandes barcos mercantes y, en menor medida, las actividades de relacionadas con la acuariofilia) han ido ganando peso (Brito *et al.*, 2005). Recientemente se ha incrementado el número de peces litorales tropicales no citados anteriormente, registrándose un total de 14 especies nuevas asociadas a las plataformas petrolíferas, procedentes de zonas como Brasil, El Caribe o el Golfo de Guinea, favorecidas por la lenta navegación de estos navíos (Falcón *et al.*, 2015).

En este sentido, el caso del hidrocoral *Millepora alcicornis* Linnaeus, 1758, conocido como coral de fuego, es muy particular, pues no está claro cuál fue su vía de llegada, si un proceso natural de dispersión o introducido por la navegación mediante medusas transportadas en el agua de lastre, o colonias incrustadas en el casco de un barco.

El género *Millepora* tiene una distribución circuntropical y vive en aguas costeras de hasta 40m de profundidad, formando parte de los arrecifes de coral como un auténtico elemento estructurante de fondos bentónicos duros iluminados; por tanto, se trata de un coral hermatípico (Brito *et al.*, 2010) que presenta zooxantelas en simbiosis. El área de distribución de *Millepora alcicornis* incluye el mar Caribe, el Golfo de



México, Florida, las costas de América Central y llega hasta el sur de Brasil. En el Atlántico oriental coloniza las islas de Cabo Verde, donde hasta el año 2008 tenía su límite de distribución más septentrional conocido (Figura 2). Clemente *et al.* (2010) lo citaron por primera vez para Canarias y recientemente se ha localizado también en Madeira (Peter Wirtz, com. pers). Su crecimiento se ve favorecido por la presencia de corrientes, así como de una alta iluminación, y son diversas las barreras biogeográficas que deben superar estos organismos para dispersarse a largas distancias, tal y como muestran en su trabajo Souza *et al.* (2017), y poder llegar a otras zonas en fase de medusa, aunque estas parecen no tener una vida muy larga (Lewis, 2006).



**Figura 2.** Distribución mundial del género *Millepora*. Fuente Wikipedia.

La morfología de *Millepora* es muy variable. La mayoría de las colonias probablemente comiencen como formas incrustantes y adoptan una estructura ramificada a medida que crecen. Las ramas cilíndricas generalmente crecen en un mismo plano y son de color crema, amarillento o marrón claro con puntas pálidas (ver Figura 3). Numerosos pólipos microscópicos surgen del esqueleto calcáreo y se conectan internamente por medio de un sistema de canales. Presenta tres tipos de pólipos con funciones especializadas: los gastrozoides, pequeños y anchos, que procesan y digieren los alimentos; los dactilozoides, con función de defensa, tienen tentáculos, semejantes a pelos, cubiertos de cnidoblastos que liberan cnidocitos para inmovilizar a la presa, que luego es dirigida hacia la boca de un gastrozoide adyacente, donde pasa la digestión; y los gonozoides, encargados de la reproducción sexual (Nomura, 1998; Lewis, 2006).



**Figura 3.** Detalle de una colonia de *Millepora alcicornis* con pólipos en las ramificaciones.

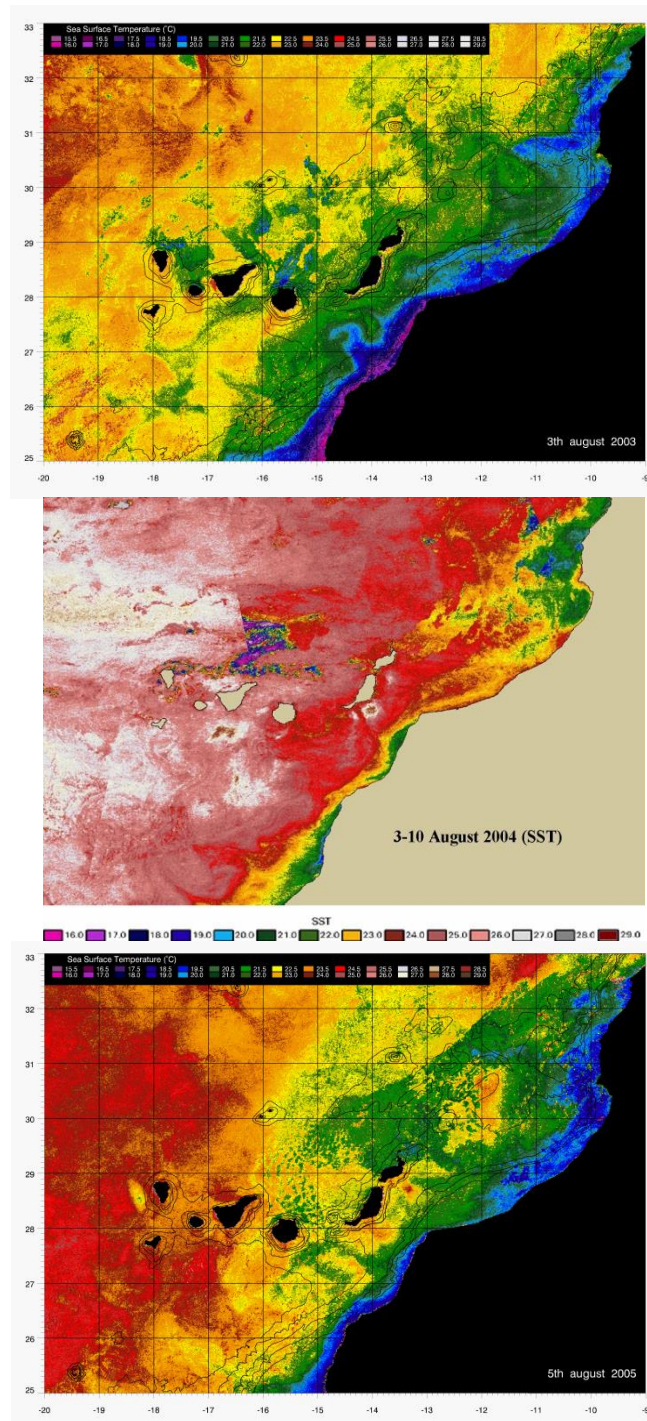
Su reproducción puede ser de forma asexual, mediante gemación y también a través del desprendimiento de fragmentos, que originan nuevos individuos genéticamente iguales a la colonia original; o sexualmente, proceso que consta de dos fases, pólipo y medusa. Las medusas son liberadas por los gonozoides y éstas producen gametos, que después de la fecundación darán lugar a una larva plánula quitinosa, de simetría radial y de muy corta vida (Nomura, 1998; Edmunds, 1999; Lewis, 2006).

Es muy importante la simbiosis existente entre este tipo de corales y las zooxantelas, que le proporcionan oxígeno y materia orgánica, cubriendo el 70-95% de sus necesidades. El resto es obtenido a través del plancton y materia orgánica disuelta (Lewis, 2006; Jones *et al.*, 1998). Es de destacar el fenómeno de blanqueamiento por el cual los corales pierden a sus algas simbiotes, haciendo que estos sean más susceptibles a enfermar y adquiriendo un color blanquecino (Cook *et al.*, 1990). Numerosos estudios abordan el efecto del cambio climático sobre los corales, ya que como consecuencia del calentamiento sufren este blanqueamiento (Warner *et al.*, 1996; Kushmaro *et al.*, 1996; Berkelmans *et al.*, 2006). Según estima la NOAA (la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos), con el cambio climático el blanqueamiento podría afectar a más de un tercio de los arrecifes de coral del mundo y eliminar a más de 12.000 km<sup>2</sup> de los mismos.

En cuanto a su ecología, se puede decir también que cierto número de especies de crustáceos y peces, aparentemente inmunes al veneno, se refugian entre las ramas de las especies de *Millepora* (Marsden, 1993). *Millepora alcicornis* tiene

pocos depredadores conocidos, tales como *Hermodice carunculata*, aunque se conoce que este poliqueto prefiere otros corales (Lewis, 2006; Martins *et al.*, 2009).

La presencia de *Millepora alcicornis* en Tenerife se detectó en 2008, visto por primera vez por un pescador submarino en la costa sureste de Tenerife, en la zona del Poris, y en concreto en un sector que se caracteriza por retener muchos residuos transportados por vientos y corrientes desde lugares situados más al norte. Este tipo de corales nunca antes había sido registrado en Canarias ni en estado fósil, y su distribución geográfica conocida hacía pensar que la procedencia de esta colonización era la población de las Islas de Cabo Verde, pero los estudios genéticos llevados a cabo revelaron que su procedencia era del Caribe (López *et al.*, 2015). Así, sólo cabe plantear, como hipótesis alternativas, un transporte rápido de agua proveniente del Caribe, que trajo medusas y pudo producirse durante un evento climático extremo ocurrido en julio-agosto de 2004, cuando una masa de agua con temperaturas de hasta 27<sup>o</sup> C invadió las Islas desde el oeste (Figura 4), o una introducción que tuvo como vector al transporte marítimo; tampoco se puede descartar que las colonias que produjeron las medusas originarias viajaran incrustadas en algún objeto flotante natural o artificial. Una vez asentadas las medusas y generadas las primeras colonias, cabe pensar que el ambiente cálido reinante en esos años podría permitir su desarrollo y favorecería su expansión (Clemente *et al.*, 2010; López *et al.*, 2015). Por ello, fue necesario plantear un monitoreo anual que permitiese seguir la evolución de esta especie capaz de modificar de forma importante las comunidades litorales someras de Canarias.



**Figura 4.** Imágenes de temperaturas superficiales del mar (SST) en el entorno próximo de Canarias generadas por los satélites AVHRR/NOAA y correspondientes a un mismo periodo de agosto de 2003, 2004 y 2005. Se observa una notable variación interanual, relacionada con la intensidad de la floramiento sahariano y el desarrollo de los filamentos asociados, y también el importante evento de calentamiento de 2004 (Fuente Brito, et al., 2010).

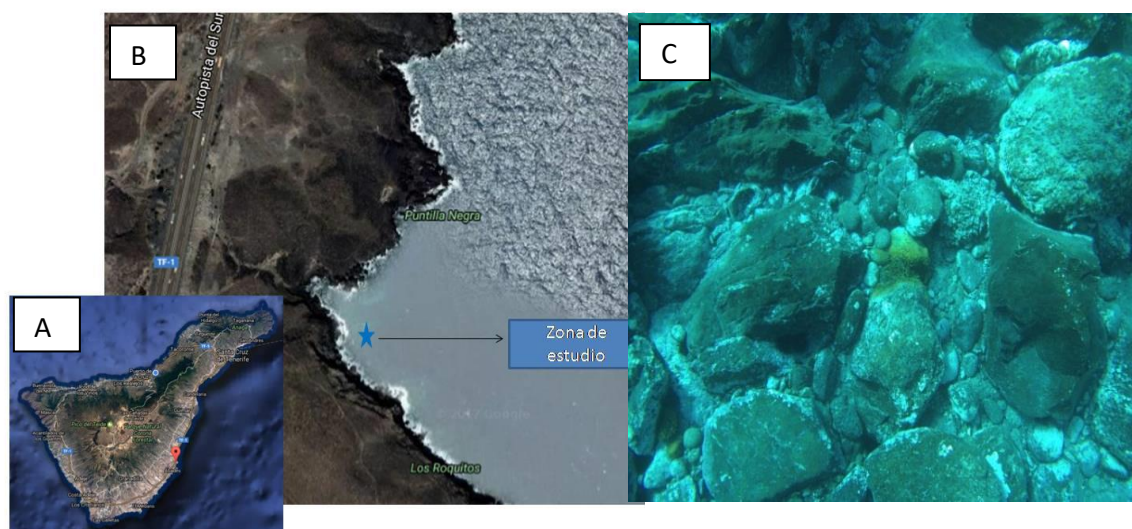
### 3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es analizar los datos del monitoreo anual del hidrocoral *Millepora alcicornis*, intentado relacionar la superficie ocupada y número de colonias con la temperatura superficial del mar durante los años de muestreo.

### 4. Material y métodos

#### 4.1. Zona de estudio

El lugar se encuentra en el Porís de Abona, en una cala denominada La Caleta, que presenta un área de retención dentro de la dinámica litoral de la costa sureste de Tenerife, con las siguientes coordenadas ( $28^{\circ} 10' 24.12''\text{N}$ ,  $16^{\circ} 25' 47.12''\text{W}$ ) (Figura 5A-B). Las colonias se encuentran a una profundidad comprendida entre 3-7m y el tipo de fondo es rocoso, dominado por algas calcáreas principalmente (Figura 5C).

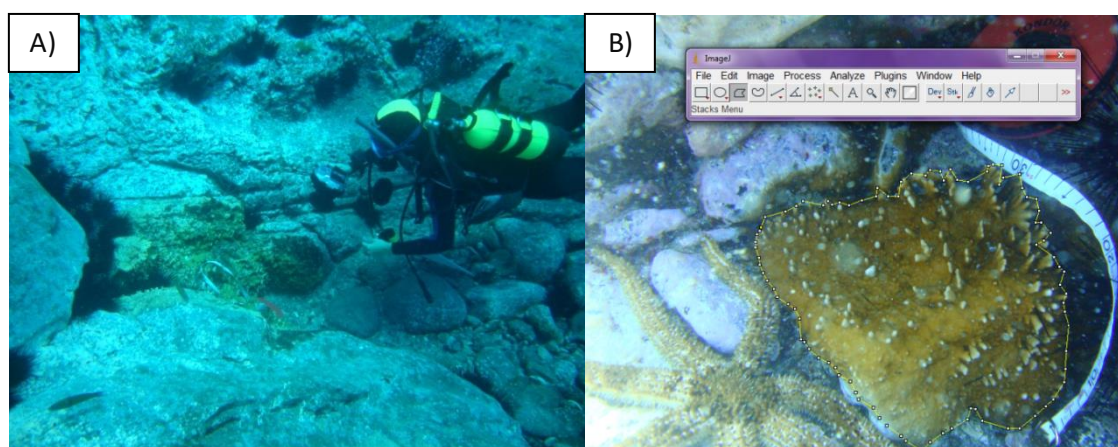


**Figura 5.** A) Situación geográfica de la zona de estudio, denominada como la Caleta, al sureste de Tenerife. B)Detalle de la cala donde se encuentra *Millepora alcicornis* C) Tipo de fondo rocoso con algas calcáreas donde se encuentran las colonias

#### 4.2. Metodología

Se analizaron los datos del seguimiento anual durante el periodo comprendido entre 2008 -2016, a excepción del año 2015 donde no se pudo realizar dicho muestreo; aquí es necesario aclarar que el muestreo del año 2014 fue incompleto. En cada uno de los muestreos se recorría la zona y alrededores con el objetivo de examinar las colonias

existentes y localizar posibles nuevas colonias. Todos los muestreos se realizaron con escafandra autónoma entre los meses de septiembre y diciembre. En cada una de las colonias detectadas se tomaron fotografías *in situ* con una cámara olympus pen PL-01 provista de carcasa submarina. Para la estimación del área ocupada por cada colonia se tomaron fotografías *in situ* con una referencia métrica (cinta métrica o calibrador) (Figura 6A y B), que permitió posteriormente calcular el área ocupada usando el programa de análisis de imagen ImageJ (<https://imagej.net/>).



**Figura 6.** A) Detalle de una buceadora muestreando una de las colonias de *Millepora alcicornis*. B) Detalle de una fotografía tomada *in situ* tratada con el programa image J, para la posterior estimación del área ocupada por la colonia.

Se calculó el área de cada una de las 3 primeras colonias registradas en el 2008 hasta el año 2016, para observar el posible avance o retroceso de cada una de éstas en los 8 años de muestreo. Con el resto de colonias se calculó el área total anual ocupada para el conjunto.

### 4.3. Temperatura superficial

Al no disponer de mediciones continuas en la zona, se recurrió al análisis de la serie de temperaturas superficiales de mar para Tenerife del reanálisis NCEP (Kalnay *et al.*, 1996). Los datos fueron generados por los satélites AVHRR/NOAA (<https://www.nodc.noaa.gov/SatelliteData/pathfinder/>), que trabaja con un escáner radiométrico que capta diferentes bandas de longitudes de onda de radiación, de manera que puede calcular la temperatura superficial de una masa de agua. Una vez obtenidos los datos de las temperaturas superficiales mensuales para cada año, se

realizó la media anual, y también se registraron las anomalías térmicas de verano e invierno, incluyendo los meses de enero-marzo como estación de invierno y los meses de agosto-octubre como verano. Los datos utilizados para calcular las anomalías térmicas de ambos periodos se tomaron desde el inicio del registro, en el año 1948, para así obtener unas anomalías más representativas a lo largo del tiempo.

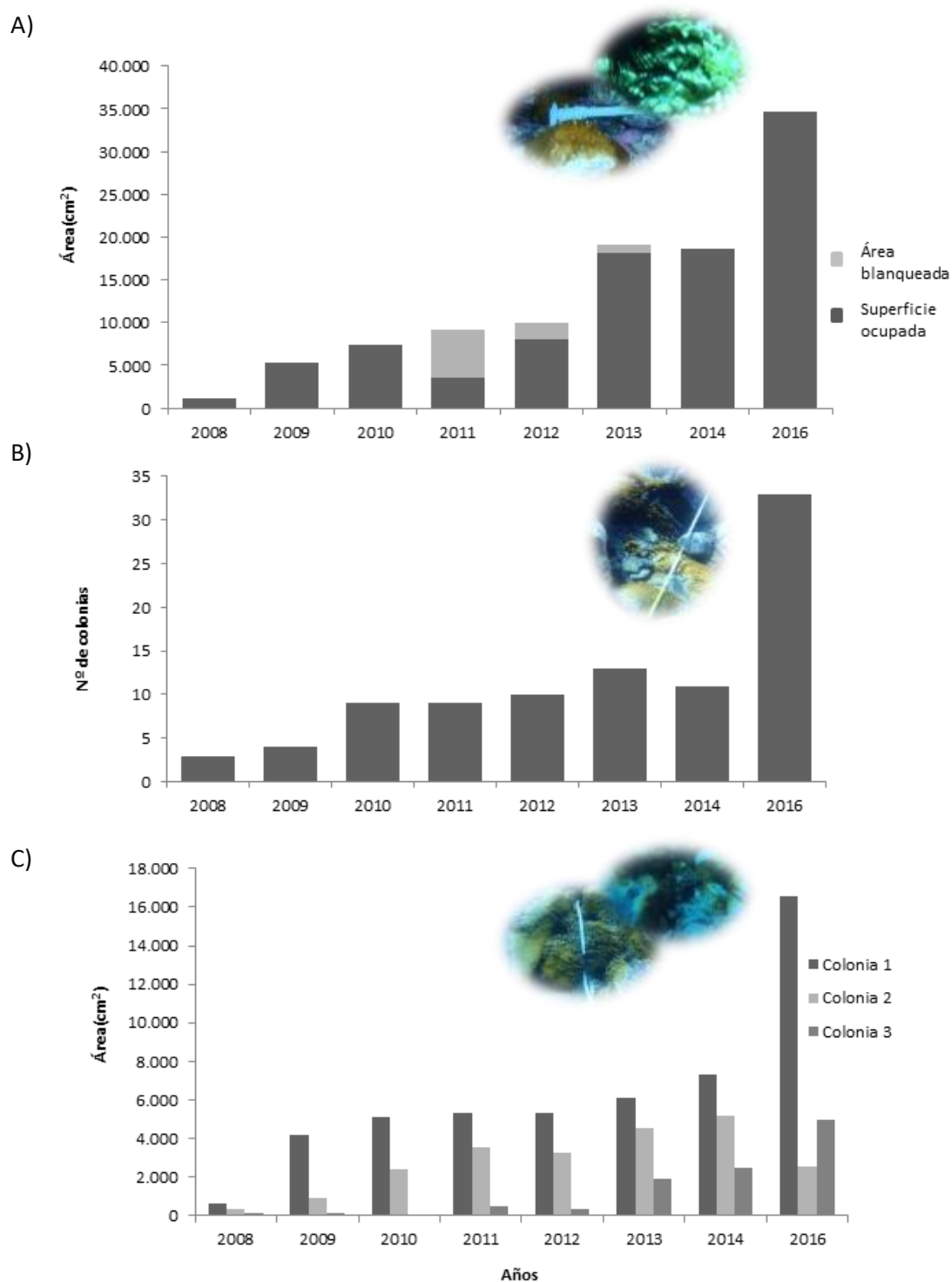
## 5. Resultados

### 5.1. Superficie ocupada y número de las colonias

Se observó un incremento a lo largo del tiempo en el área ocupada por *Millepora alcicornis* durante los años de muestreo, pasando de una superficie de 1.100 cm<sup>2</sup> en el año 2008 a una superficie de 34.704 cm<sup>2</sup> en 2016 (ver Figura 8A), lo que resulta en un crecimiento exponencial, pues en tan sólo 8 años las colonias han aumentado su superficie 30 veces. Sin embargo, se presentó una anomalía en el año 2011, en el que se produjo un blanqueamiento (Ver figura 7) que redujo la superficie viva fotosintética a 3.619 cm<sup>2</sup>. En los años siguientes se observó una rápida recuperación y en 2014 ya alcanzó 18.708 cm<sup>2</sup>, a pesar de que el muestreo fue incompleto –como ya se señaló-, y sin superficie blanqueada (ver Figura 8A).



Figura 7. Detalle del blanqueamiento sufrido por *Millepora alcicornis*.



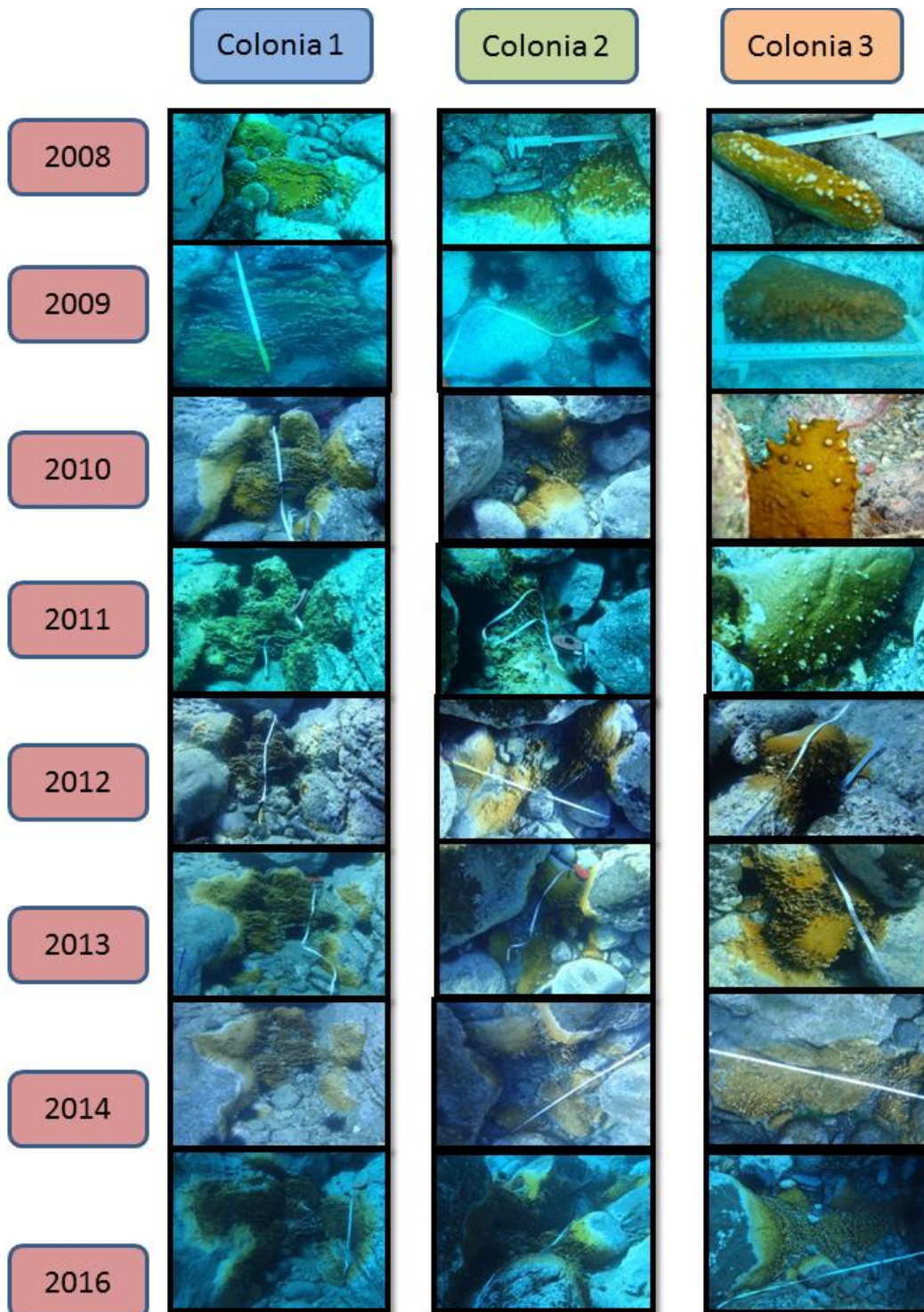
**Figura 8.** **A)** Superficie (cm<sup>2</sup>) anual ocupada por las colonias de *Millepora alcicornis* en cada uno de los años muestreados (barra gris) y en los años que se observó superficie blanqueada (2011, 2012, 2013) (apilada en gris claro). **B)** Número de colonias registradas por año. **C)** Superficie anual ocupada por cada una de las tres primeras colonias registradas en 2008, a lo largo de los años de estudio.

En cuanto al número de colonias, se registró también un incremento lo largo del tiempo (Figura 8B), salvando el caso ya mencionado del muestreo incompleto del



2014. Cuando se descubrió la presencia de *Millepora* en las costas de Tenerife, en el año 2008, había tan sólo 3 colonias y en 8 años este número aumentó hasta la cifra de 33 colonias, año 2016. La tendencia general ha sido a un aumento del número de colonias a lo largo de los años, excepto en el año 2011, donde se registró el mismo número que en 2010, 10 colonias, y en el año 2014, donde se registró un menor número que en el 2013, pasando de 13 a 11.

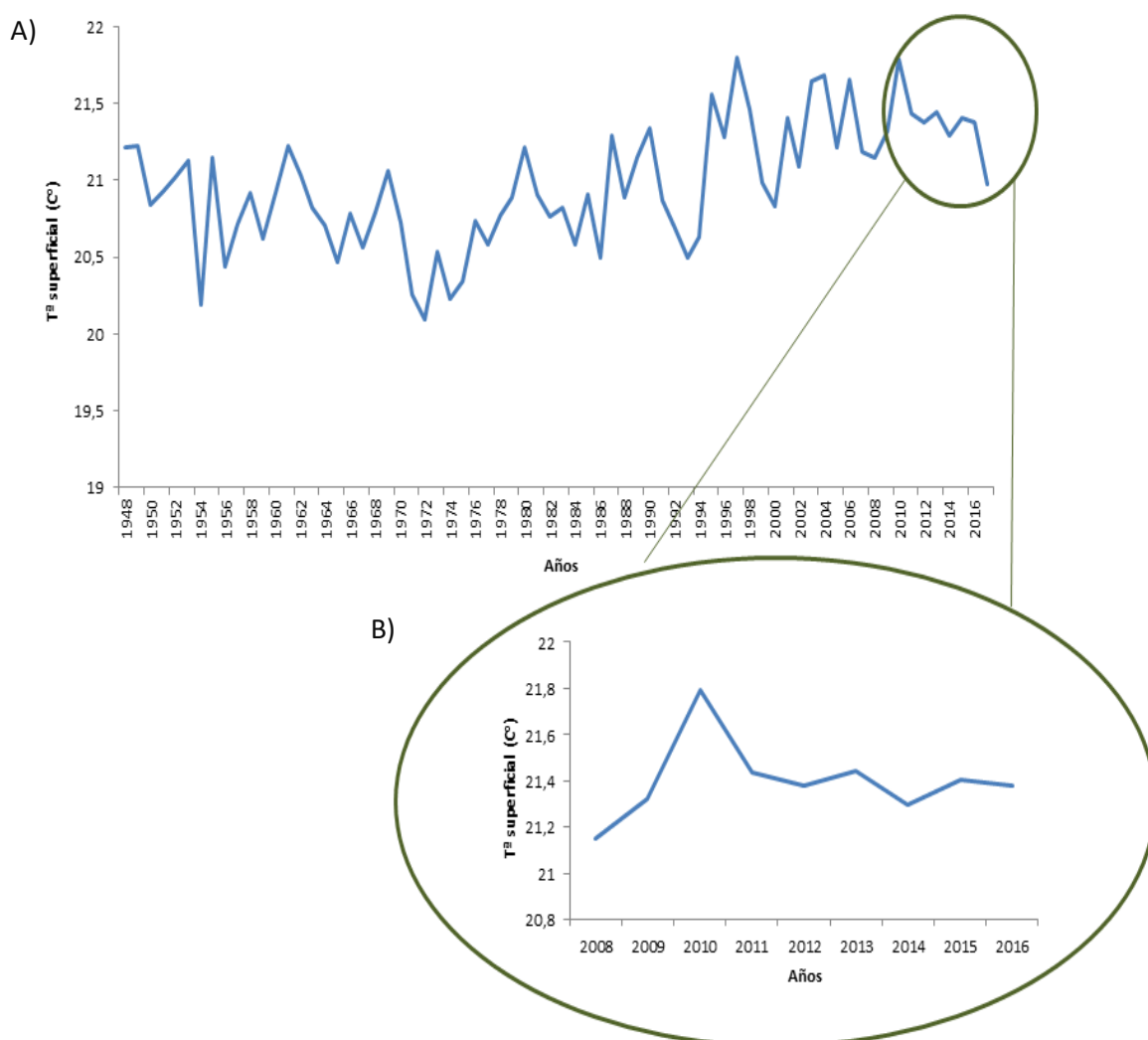
En cuanto al desarrollo de las tres primeras colonias registradas (Figura 8C), se puede decir que en general siguieron una dinámica de expansión, siendo la colonia 1 la que alcanzó una mayor superficie (16.565,022 cm<sup>2</sup>), seguida de la colonia 3 (4999,288 cm<sup>2</sup>) y, por último, la colonia 2 (2591,164 cm<sup>2</sup>) (Figura 9).



**Figura 9.** Imágenes que muestran el avance de cada una de las colonias registradas en 2008 (colonia 1, colonia 2 y colonia 3) a lo largo de los años de muestreo.

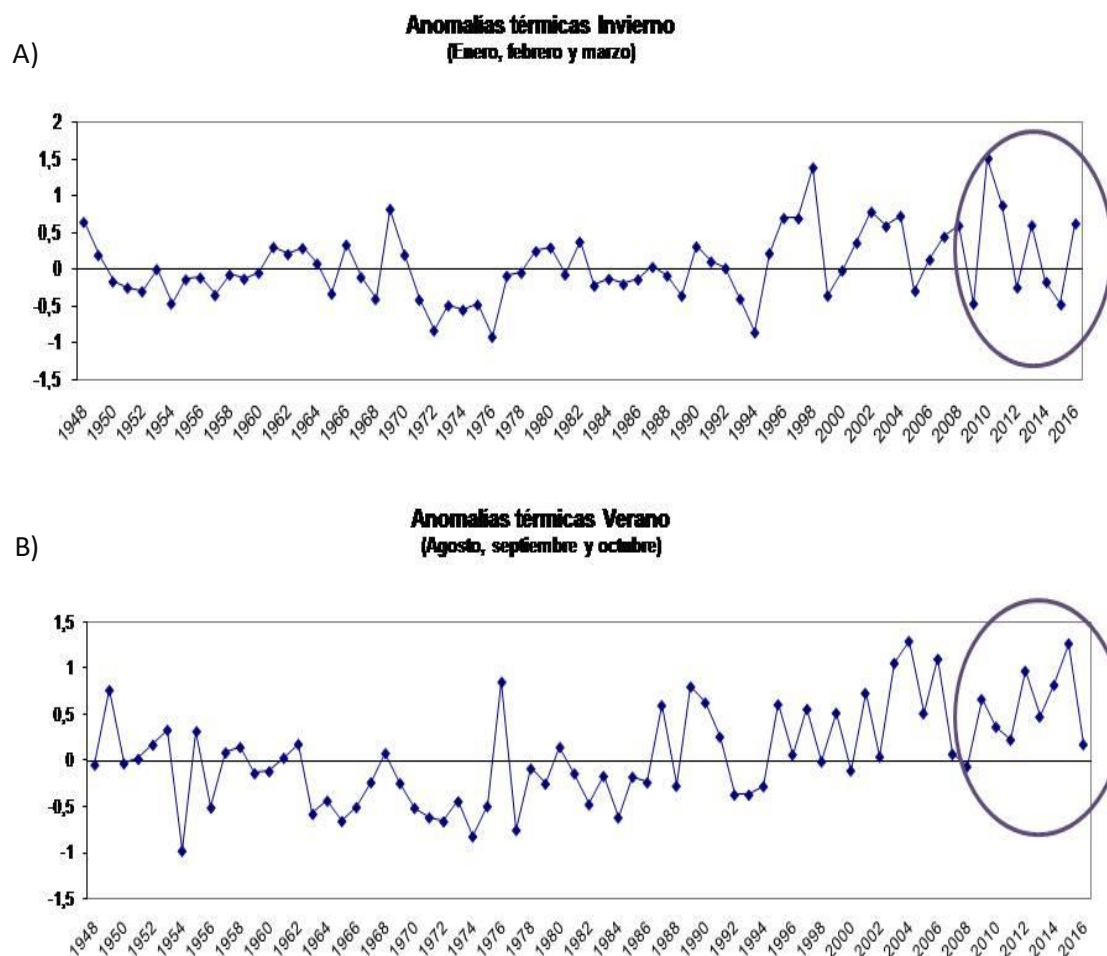
## 5.2. Temperaturas superficiales

Como se observa en la Figura 10A, ha habido un incremento notable de la temperatura superficial desde el año 1948 hasta la actualidad, registrándose picos máximos en los años 1997, 2004, 2016 y 2010, en los que se superaron los 21,5 °C de media anual. A partir del 2010 se observa una disminución pero que no alcanza valores inferiores a 21,2°C de media. Centrándonos ya en el periodo de estudio (2008-2016) (Figura 10B), las temperaturas varían a lo largo de los años de estudio, concretamente es en el año 2010 donde se registra un mayor pico, con una temperatura de 21,7925°C, luego parecen mantenerse más estables. Asimismo, hay que destacar las elevadas temperaturas medias del año 2004 (21,679 °C), año del evento climático intenso en verano, coincidiendo posiblemente con el asentamiento del coral.



**Figura 10. A)** Temperaturas medias superficiales de las aguas de Tenerife registradas entre los periodos 1948-2016. Con un círculo se detalla las temperaturas registradas en los años de estudio **B)** Detalle de la temperatura media superficial registrada en Tenerife durante los años 2008-2016.

Tras los cálculos pertinentes de las anomalías térmicas para invierno y verano (Figura 11), se observa que la periodicidad de los inviernos cálidos es mayor a partir del año 1995, donde en todos los años las anomalías registradas responden a inviernos más cálidos que los registrados anteriormente, exceptuando los inviernos de los años 1998, 2005, 2009, 2012, 2014 y 2015, en los que la temperatura media en los meses de invierno estuvo por debajo de la registrada en inviernos anteriores, alcanzando una diferencia de  $-0,5^{\circ}\text{C}$  con respecto al resto de años de ese periodo (Figura 11A). Si retrocedemos en el tiempo, desde 1948 hasta 1995, esta tendencia de tener inviernos fríos es común en la mayor parte de los años, siendo raro encontrar años con inviernos cálidos. Con respecto a los meses de verano sucede lo mismo, la tendencia es a tener con mayor periodicidad veranos más cálidos que los registrados durante estos 68 años, siendo marcada esta singularidad a partir del año 1995, donde todos los años entre 1995-2016 presentaron veranos con anomalías térmicas de más de  $0,5^{\circ}\text{C}$  (Figura 11B), exceptuando los años 2000 y 2008, que presentaron veranos no tan cálidos.



**Figura 11.** Anomalías de la temperatura superficial del mar canario respecto a la media del periodo 1948-2016 e **A)** invierno (enero-marzo) y **B)** verano (agosto-octubre); elaborado en base a los datos del reanálisis NCEP (Kalnay *et al.*, 1996). Con un círculo se destaca las temperaturas correspondientes a los años de estudio.

## 6. Discusión

Canarias no es una excepción al fenómeno de la tropicalización, especialmente por la situación de las islas en una zona subtropical y próximas al frente térmico y biogeográfico de Cabo Blanco. Más de una treintena de especies tropicales han sido registradas en el archipiélago durante los últimos veinte años (Brito *et al.*, 2005; Hernández *et al.*, 2010; Clemente *et al.*, 2010; Falcón *et al.*, 2015) El caso de *Millepora* es un claro ejemplo de dicho proceso. Como se señaló en la introducción, una de las hipótesis que pueden explicar la aparición de *Millepora* en Canarias puede ser la llegada de su fase medusa por medio de rápidos movimientos de masas de aguas de

las zonas tropicales más cercanas (Clemente *et al.*, 2010). Sin embargo, estudios genéticos han demostrado, que a pesar de las islas de Cabo Verde ser el lugar tropical más cercano al archipiélago canario, las colonias no proceden de allí, sino que proceden del Caribe (López *et al.*, 2015; Souza *et al.*, 2017). No obstante, no se pueden descartar todavía otras hipótesis como las mencionadas en el apartado de introducción, dadas las características reproductivas de estos hidrocorales cuyas medusas y larvas generalmente tienen periodos de vida cortos (Lewis, 2006). Lo que sí parece claro es que este coral de fuego ha encontrado en las aguas canarias actuales condiciones propicias para su desarrollo como lo demuestran los resultados obtenidos en este estudio. Las aguas superficiales canarias han incrementado notablemente su temperatura en las últimas décadas como muestran las gráficas de anomalías térmicas y, además, se han registrado al menos algunos eventos climáticos esporádicos intensos, como el ocurrido en el verano de 2004, cuando se registró la mayor penetración de masa de aguas cálidas en las Islas desde el oeste (Brito *et al.*, 2010; Clemente *et al.*, 2010), y del que se sospecha que pueda estar en el origen del asentamiento de este coral de fuego. Se cree que este aumento de temperaturas registrado, y particularmente los inviernos cálidos, pueden haber favorecido el incremento de superficie ocupada y número de colonias detectado.

Desde el año en que se encontró hasta ahora, el coral ha crecido exponencialmente llegando a tener una superficie de 34.704 cm<sup>2</sup>, lo que hace pensar que está totalmente adaptado a nuestro medio. La reproducción asexual por gemación ha hecho crecer claramente la superficie ocupada por las colonias y la fragmentación está facilitando su dispersión, sin descartar que pueda estar reproduciéndose también sexualmente. Su alta tasa de expansión o crecimiento supera las encontradas para esta especie por Lewis (1991, 2006). No obstante, en el año 2011 se registró el conocido fenómeno de blanqueamiento, pérdida de sus algas simbiotes, quedando el coral de color blanquecino, siendo más susceptibles a enfermar, ya que muchos estudios han demostrado su relación con el aumento de temperatura (Cook *et al.*, 1990; Lewis, 2006; Berkelmans *et al.*, 2006).

En nuestro caso, los muestreos fueron realizados entre los meses de septiembre-diciembre, y en este sentido conviene señalar que en el invierno de 2010 se registró un

incremento brusco de temperatura alcanzando los 21,7925 °C y coincidiendo con un periodo muy lluvioso. Así, es en el siguiente año cuando se observó dicho blanqueamiento reduciéndose la superficie a 3.619 cm<sup>2</sup>. En años posteriores la temperatura invernal se estabilizó y la pluviometría fue claramente inferior, observándose una total recuperación en el año 2014, cuando ya no hay evidencias de blanqueamiento. Se trató de un blanqueamiento reversible, con pérdida de zooxantelas pero sin la muerte de los pólipos. Todavía no nos queda claro si el blanqueamiento fue producido por el cambio brusco de las temperaturas, causándole estrés al coral, pues hay trabajos que también muestran episodios de blanqueamiento relacionados con estrés (Banaszak *et al.*, 2003). La hipótesis de las temperaturas elevadas no parece consistente, pues *Millepora alcicornis* tolera rangos de temperatura entre 21-32°C (Brezo-Martínez, com.pers). Otros estudios ponen de manifiesto que este blanqueamiento puede ser debido a una disminución de nutrientes en el agua o una intensa radiación ultravioleta (Glynn, 1996). Otros trabajos apuntan a una disminución de la salinidad, como es el caso de experimentos realizados por Brezo-Martínez y colaboradores (datos no publicados) que muestran que esta especie es muy sensible a cambios de salinidad bruscos. El año 2010, como ya se señaló, se caracterizó por ser particularmente lluvioso en la isla de Tenerife, registrándose 576,6236 mm<sup>3</sup> anuales. En la zona de Arico se registraron 454,7857 mm<sup>3</sup> (Ver tabla 1).

Precipitaciones medias estacionales en Arico(mm <sup>3</sup> )	Año 2010	Año 2011
Precipitación media Invierno	257,6857	77,0857
Precipitación media primavera	28,2714	39,6714
Precipitación media verano	21,7285	2,2571
Precipitación media otoño	189,9142	20,4429
Precipitaciones medias anuales(mm <sup>3</sup> )		
Precipitación media anual Arico	454,7857	139,4571
Precipitación media anual Tenerife	576,6236	386,0027

**Tabla 1.** Tabla con los datos de las precipitaciones medias estacionales en Arico (Invierno: Noviembre, Diciembre y Enero; Primavera: Febrero, Marzo y Abril; Verano: Mayo, Junio y Julio; Otoño: Agosto, Septiembre y Octubre). Asimismo, se presenta una media de las precipitaciones anuales para la isla de Tenerife y el municipio de Arico. Datos obtenidos de una publicación del Museo de las Ciencias Naturales de Tenerife. (Santana-Pérez, 2011).

Debido a la situación donde se encuentra *Millepora alcicornis*, justo en la boca del Barranco de Las Aguas, es muy probable que el blanqueamiento pueda haberse debido al exceso de precipitaciones registradas en el 2010, que llegaron al mar provocando un cambio brusco en la salinidad en esa zona somera.

La superficie ocupada en el año 2014 no mantiene la misma dinámica de crecimiento que sigue en el resto de años, posiblemente porque en este año los muestreos fueron incompletos. En general se puede decir que el crecimiento de las colonias es exponencial, pues en tan sólo 8 años se pasa de 3 colonias a 33 colonias y que este crecimiento en superficie ocupada va ligado de la temperatura, con la llegada de inviernos y veranos cada vez más cálidos. Cabe señalar que el crecimiento puede verse favorecido por el elevado hidrodinamismo en la zona y la disponibilidad de luz, tal y como se registra en otros estudios (Kaandorp, 1999; Boschma, 1948; Lewis, 1989).

Futuros estudios son necesarios para seguir la expansión de *Millepora alcicornis* en Tenerife, así como en otras zonas subtropicales (Madeira), a fin de conocer las posibles interacciones que pueden estar sucediendo con especies características de estos ecosistemas. También es de alta importancia determinar de forma manipulativa cómo los efectos, tanto directos como indirectos, del cambio climático pueden afectar a su distribución y ecología.

## **7. Conclusiones/Conclusions**

1. Este estudio pone de manifiesto el rápido crecimiento de *Millepora alcicornis* en los 8 años de estudio, relacionado con el aumento de temperatura que se está dando en las islas en las últimas décadas. Su alto grado de expansión en este periodo hace que esta especie se haya adaptado notablemente a las características de los ecosistemas marinos canarios, con lo cual puede llegar a formar una comunidad coralina en futuros años si las condiciones ambientales le siguen favoreciendo, como cabe esperar ante los futuros escenarios de cambio climático previstos.

2. Los datos de temperatura superficiales acompañan a la velocidad de expansión que está teniendo *Millepora alcicornis* en Tenerife. La frecuencia de inviernos cada vez más



cálidos y veranos también más calurosos favorecen la extensión de esta especie de coral en nuestra latitud, siendo necesario seguir monitorizando los parámetros físico-químicos del agua en los años venideros, si es posible *in situ*.

3. Los efectos de blanqueamientos ocurridos entre los años 2011-2013 son una clara respuesta de fenómenos locales que están sucediendo y que están provocando un estrés que como consecuencia originó este tipo de blanqueamiento, hasta ahora reversible, pudiendo ser una respuesta clara de la vulnerabilidad de este hidrocoral a cambios bruscos de temperatura, de salinidad o incluso de nutrientes. Se hace necesario realizar un estudio en profundidad para determinar las posibles repercusiones que puedan estar teniendo estos parámetros físico-químicos en *Millepora alcicornis* y en las especies acompañantes, que en algún momento pueden verse beneficiadas ante este blanqueamiento y predominar ante este hidrocoral.

4. Como consecuencia de la rápida extensión que ha presentado esta especie de coral en estos 8 años de estudios y los eventos de blanqueamiento registrados, es indispensable realizar experimentos manipulativos, tanto en el campo como en el laboratorio, que nos permitan conocer las respuestas directas o indirectas de este coral ante los diferentes escenarios de cambio climático previstos

## Conclusions

1. This study shows the rapid growth of *Millepora alcicornis* in 8 years of study, related to an increase of temperature that took place in the Islands in the last decades. Its high degree of expansion for this period has made this species remarkably adaptable to the characteristics of the Canary ecosystems, which can form a coral reef in future years if environmental conditions continue to favor it, as expected before future climate change scenarios.

2. Surface temperature data attend the high growth showed by *Millepora alcicornis* in Tenerife Island. The arrival of hot winters and hot summers furthered the extension of this species of coral in our latitude and future monitoring studies *in situ* of physical and chemical parameters in the next years must be considered, if it is possible.

3. Bleaching effects that took place in 2011-2013 are a clear response of local phenomenon's that are causing stress on the corals, until now reversible. This bleaching shows the vulnerability of these organisms to temperature, salinity or nutrients changes. It is necessary to assess the consequences of these chemical and physical parameters changes on *Millepora alcicornis* and on the target species, which may benefit from this bleaching and predominate against this hydrocoral.

4. As result of the high growth rates and bleaching events registered in *Millepora alcicornis* in 8 years of study, future research through manipulative experiments (in field and laboratory conditions) is necessary. This will help to understand the direct and indirect response of *Millepora alcicornis* against climate change.

## **8. Agradecimientos**

Querría expresar mi reconocimiento y agradecimiento a todas aquellas personas que, gracias a su colaboración, han contribuido a la realización de este Trabajo Fin de Grado:

En primer lugar, mi sincero agradecimiento al Dr. Alberto Brito, tutor de este proyecto, por su acogimiento y consejo. Un agradecimiento especial a mi tutora de trabajo de fin de grado, la Dra. Adriana Rodríguez, por su dedicación, esfuerzo y paciencia. Gracias a ambos por su tiempo, consejo y correcciones, con los que he podido llevar a cabo este trabajo satisfactoriamente.

También agradecer a la Dra. Sabrina Clemente por facilitarnos datos de las temperaturas superficiales, así como a Cataisa López, por cedernos sus datos de los muestreos correspondientes al año 2014.

## 9. Bibliografía

- Banaszak, A. T., Ayala-Schiaffino, B. N., Rodríguez, A., Enríquez, S. e Iglesias-Prieto, R. 2003. Response of *Millepora alcicornis* (*Milleporina: Milleporidae*) to two bleaching events at Puerto Morelos reef, Mexican Caribbean. *Biología tropical* 51: 57-66.
- Berkelmans, R. y van Oppen, M. 2006. The role of *zooxanthellae* in the thermal tolerance of corals: a 'nugget of hope' for coral reefs in an era of climate change. The Royal Society. Doi: 10.1098/rspb.2006.3567.
- Boschma, H. 1948. The species problem in *Millepora*. *Zool. Verh. Leiden* 1:1-115.
- Brito, A. 2008. Influencia del calentamiento global sobre la biodiversidad marina de las islas Canarias, p. 141-161. En Afonso-Carrillo (Ed.) *Naturaleza amenazada por los cambios en el clima*. Actas III Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias.
- Brito, A., Falcón, J. M. y Herrera, R. 2005. Sobre la tropicalización reciente de la ictiofauna litoral de las islas Canarias y su relación con cambios ambientales y actividades antrópicas. *Vieraea* 33:515-525.
- Brito, A., Rodríguez, A., Monterroso, Ó., González, A. J., Clemente, S., *et al.* 2010. Sobre la presencia de hidrocorales del género *Millepora* (hydrozoa: *Milleporidae*) en el Atlántico oriental subtropical (islas Canarias) y su relación con eventos climáticos. *Rev. Acad. Canar. Cienc.* 21: 35-44.
- Clemente, S., Rodríguez, A., Brito, A., Ramos, A., Monterroso, Ó., *et al.* 2010. On the occurrence of the hydrocoral *Millepora* (Hydrozoa: *Milleporidae*) in the subtropical eastern Atlantic (Canary Islands): is the colonization related to climatic events? *Coral Reef* 30: 237-240.
- Cook, C., Logan, A., Ward, J., Luckhurst, B. y Berg, C. J. 1990. Elevated temperatures and bleaching on a high latitude coral reef: the 1988 Bermuda event. *Coral Reef* 9:45-49.
- De Souza, J., Nunes, F., Zilberberg, C., Sánchez, J., Migotto, A., *et al.* 2017. Contrasting patterns of connectivity among endemic and widespread fire coral species (*Millepora spp.*) in the tropical Southwestern Atlantic. *Coral Reef*. Doi 10.1007/s00338-017-1562-0.
- Edmunds, P. J. 1999. The role of colony morphology and substratum inclination in the success of *Millepora alcicornis* on shallow coral reefs. *Coral Reefs* 18: 133-140.
- Falcón, J. M., Herrera, R., Ayza, O. y Brito, A. 2015. New species of tropical littoral fish found in Canarian waters. Oil platforms as a central introduction vector. *Rev. Acad. Canar. Cienc.* 27: 67-82.
- Fields, P. A., Graham, J. B., Rosenblatt, R. y Somero, G. N. 1993. Effects of expected global climate change on marine faunas. *Trends Ecol. Evol.* 8:361-367.
- Gianguzza, P., Visconti, G., Gianguzza, F., Sarà, G. y Dupont, S. 2014. Temperatures modulates the response of thermophile sea urchin *Arbacia lixula* early life stages to CO<sub>2</sub>-driven acidification. *Mar. environ. Res.* 93:70-77.

- Glynn, P. W. 1996. Coral reef bleaching: facts, hypotheses and implications. *Global Change Biol.* 2: 495-509.
- Gregg, W., Conkright, M. E., Ginoux, P., O'Reilly, J. E. y Casey N.W. 2003. The impact of climate change on the world's marine production and climate: Global decadal changes. *Geophys Res. Lett.* Doi: 10.1029/2003GL016889
- Harley, C. D., Hughes, A. R., Hultgren, K. M., Miner, B. J., Sorte, C. J., *et al.* 2006. The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecol. Lett.* 9: 228-241.
- Hernández, J. C., Clemente, S., Girard, D., Pérez-Ruzafa, A. y Brito, A. 2010. Effect of temperature on settlement and post settlement survival in a barrens-forming sea urchin. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 413: 69–80.
- Hoegh-Guldberg, O. y Bruno, J. 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science* 328: 1523-1528.
- Hyndes, G.A., Heck, K.L., Vergés, A., Harvey, E.S., Kendrick, G.A., *et al.* 2016. Accelerating tropicalization and the transformation of temperate seagrass Meadows. *BioScience* 66 (11): 938-948.
- IPCC 2013. Climate change 2013: the physical science basis, p. 255–316. En: Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. y Midgley, P. M. (Eds.), Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jones, R. J., Hoegh-Gulberg, O., Larkum, A. y Schreiber, U. 1998. Temperature-induced bleaching of corals begins with impairment of the CO<sub>2</sub> fixation mechanism in *zooxanthellae*. *Plant, Cell and Environmental*. Doi: 10.1046/j.1365-3040.1998.00345.x.
- Kaandorp, J. A. 1999. Morphological analysis of growth forms of branching marine sessile organisms along environmental gradients. *Marine Biology* 134: 295-306.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., *et al.* 1996. The NCEP/NCAR reanalysis 40-years. *Proyect. Bull. Amer. Meteor. Soc.* 77: 437-471.
- Kushmaro, A., Loya Y., Fine, M. y Rosenberg, E. 1996. Bacterial infection and coral bleaching. *Nature*. Doi:10.1038/380396a0.
- Lewis, J. B. 1989. The ecology of *Millepora*. *Coral Reefs* 8:99–107.
- Lewis, J. B. 1991. Banding, age and growth in the calcareous hydrozoan *Millepora complanata* Lamark. *Coral Reefs* 9:209-214.
- Lewis, J. B. 2006. Biology and Ecology of the Hydrocoral *Millepora*. *Coral Reefs*. 50:1–55.
- López, C., Clemente, S., Almeida, C., Hernández, J. C., Brito, A., *et al.* 2015. Erratum to: A genetic approach to the origin of *Millepora* sp. in the eastern Atlantic. *Coral Reefs* 34:631-638.

- Lubchenco, J., Navarrete, S. A., Tissot, B. N. y Castilla, J. C. 1993. Possible ecological responses to global climate change: nearshore benthic biota of Northeastern Pacific coastal ecosystems, p. 147-166. En: Mooney, H. A., Fuentes, E. R. y Kronberg, B. I. (eds.) Earth System Responses to Global Climate Change: Contrasts between North and South America. Academic Press, San Diego.
- Marsden, J. R. 1993. Factors influencing the abundance of the seven-spined morphotype of *Spirobranchus polyserus* (*Schmarda*), (*Serpulidae*), on upright blades of the hydrozoan coral *Millepora complanata*. *Marine Biology* 115: 123–132.
- Martins, T., Matthews-Cascon, H. y Franklin-Juno, W. 2009. *Millepora alcicornis* (Cnidaria: Hydrozoa) as substrate for benthic fauna. *Braz. J. Oceanogr.* Doi:10.1590/S1679-87592009000200009.
- Nomura, J. 1998. Sexual Reproduction of *Millepora intricate* and *Millepora tenella* (Hydrozoa: *Milleporidae*) (Doctoral dissertation, MSc Thesis, Ryukyus University).
- Parmesan, C. y Yohe, G. 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37-42.
- Poloczanska, E. S., Burrows, M. T., Brown, C. J., García, J., Halpern, B. S., *et al.* 2016. Responses of Marine Organisms to Climate Change across oceans. *Front. Mar. Sci.* 3:62. Doi: 10.3389/fmars.2016.0006.
- Root, T. L., Price J. T. y Hall K. R. 2003. Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature* 421: 57-60.
- Santa-Pérez, L. 2011. Precipitaciones acumuladas estacionales y anuales en Tenerife. Presentación sucinta de las precipitaciones en el siglo XXI. Museo de la Naturaleza y el Hombre.
- Tittensor, D. P., Mora, C., Jetz, W., Lotze, H. K., Ricard, D. *et al.* 2010. Global patterns and predictors of marine biodiversity across taxa. *Nature* 466: 1098-1101.
- Tuckett, C. A., de Bettignies, T., Fromont, J. y Wernberge, T. 2017. Expansion of corals on temperate reefs: direct and indirect effects marine heatwaves. *Coral Reef.* Doi:10.1007/s00338-017-1586-5.
- Turley, C., Keizer, T., Williamson, P., Gattuso, J. P., Ziveri, P., *et al.* 2013. Hot, Sour and Breathless- Ocean under stress. Plymouth Marine Laboratory, UK Ocean Acidification in a Changing Climate project, Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego.
- Warner, M. E., Fitt, W. K. y Schminf, G. W. 1996. The effects of elevated temperature on the photosynthetic efficiency of zooxanthellae in hospite from four different species of reef coral: a novel approach. *Plant, Cell and Environment* 19:291-299.

Páginas web:

NOAA: <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>

ImageJ: (<https://imagej.net/>).

Wikipedia: (<https://wiki2.org/es/Millepora>)

