

Variación estacional del crecimiento de dos especies del género *Palythoa* (Anthozoa, Hexacorallia), potencialmente indicadoras de cambio climático en Tenerife.

Seasonal variation of the growth of two species of the genus *Palythoa* (Anthozoa, Hexacorallia), potentially indicative of climate change in Tenerife.

Trabajo de Fin de Grado

MICHELLE BARRETO BAILET

Tutorizado por Sabrina Clemente Martín y Cataixa López Batista.

Grado en Biología. Junio 2017

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| Resumen | 3 |
| Abstract | 4 |
| Introducción | 6 |
| Cambio climático y su influencia en el medio marino..... | 6 |
| Tropicalización y meridionalización en Canarias | 8 |
| Organismos del bentos y su potencial como bioindicadores | 10 |
| Especies de estudio..... | 11 |
| Objetivo. | 14 |
| Material y métodos | 16 |
| Localidades de estudio | 16 |
| Parámetros ambientales..... | 16 |
| Metodología..... | 17 |
| Análisis de los datos..... | 18 |
| Resultados | 20 |
| Parámetros ambientales..... | 20 |
| Crecimiento <i>Palythoa canariensis</i> | 21 |
| Crecimiento de <i>Palythoa caribaeorum</i> | 24 |
| Discusión..... | 27 |
| Crecimiento de colonias <i>Palythoa canariensis</i> | 27 |
| Crecimiento de colonias <i>Palythoa caribaeorum</i> | 28 |
| El género <i>Palythoa</i> como bioindicador del cambio climático. | 29 |
| Conclusiones..... | 33 |
| Conclusions..... | 34 |
| Bibliografía..... | 36 |

Resumen

El calentamiento de los océanos asociado al cambio climático provoca importantes alteraciones en la biota marina. En este trabajo se establece el punto inicial de un programa de seguimiento a largo plazo de dos especies de zoantídeos, *Palythoa canariensis* y *P. caribaeorum*, en el intermareal de Tenerife. Se pretende evaluar las variaciones en el crecimiento de estas especies de aptencias tropicales en relación a las oscilaciones térmicas y su potencial como especies bioindicadoras de cambio climático en Canarias. Para ello, se realizó un seguimiento del crecimiento de colonias de ambas especies en diferentes localidades de Tenerife, atendiendo a factores como su orientación en la isla, la estación del año y los regímenes de temperaturas. *P. canariensis* presentó un patrón de crecimiento estacional diferente entre localidades de estudio, siendo más variable en la vertiente norte, de aguas más frías. *P. caribaeorum* no registró una estacionalidad en el crecimiento, probablemente porque su localización en las aguas más cálidas de la isla determina que el crecimiento no se vea limitado por la temperatura. Se hace necesario corroborar los patrones observados con un marco temporal de seguimiento más amplio, a fin de concluir sobre la idoneidad de las especies como indicadores de cambio climático.

Abstract

The current increase of ocean temperatures due to the effects of climate change is responsible for a global tropicalization process of the marine biota. This study sets a baseline for a long-term monitoring program of two species of soft corals, *Palythoa canariensis* and *P. caribaeorum*, in intertidal platforms of Tenerife. We aim to evaluate variations in growth patterns of these species of tropical affinities, their relation to the temperature fluctuations and their potential as indicator species of climate change processes in the Canary Islands. In order to do so, the growth of colonies of both species was monitored in different localities of Tenerife, taking into account factors such as its orientation on the island, the season and temperature regimes. *P. canariensis* showed seasonal growth patterns that differed among study sites, showing a higher variability in the northern coast, characterized by colder waters. *P. caribaeorum* did not show substantial changes in growth among seasons, probably because its location in the warmer waters of the island determines that growth is not limited by temperature. Future longer-term studies are necessary to corroborate the observed patterns and conclude about the suitability of these species as indicators of climate change in the Canary Islands.



Introducción

Cambio climático y su influencia en el medio marino

El clima es uno de los factores ambientales más decisivos para la vida en la Tierra y a lo largo de la historia ha ido experimentado importantes fluctuaciones, entre las que podemos distinguir periodos glaciales e interglaciares, que han determinado la especiación y distribución de los organismos que actuales. Sin embargo, desde finales del siglo XX se está registrando un calentamiento exponencial de la superficie terrestre, en el cual la temperatura media ha aumentado hasta alcanzar los valores más altos registrados en los últimos 130.000 años (Benavides & León, 2007). A este proceso, ocasionado por el incremento de los gases de efecto invernadero generados por actividades humanas y en especial por el dióxido de carbono de carbono (CO_2), se le conoce como cambio climático global.

De acuerdo con la Convención Marco sobre Cambio Climático (CMCC), el cambio climático se entiende como un cambio en el clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables. Debido al progresivo aumento de las temperaturas, los años 2015, 2016 y 2017 se encuentran entre los tres períodos más cálidos registrados hasta la fecha (Fig. 1).

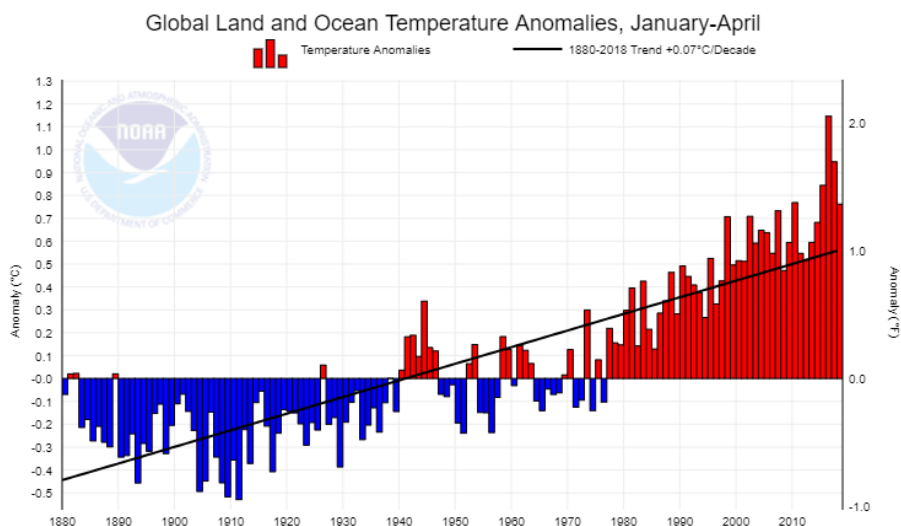


Figura 1. Anomalías de temperatura ambiental y oceánica desde 1880 hasta abril de 2018, considerando una *anomalía de temperatura* como una desviación de un valor de referencia o promedio a largo plazo. Una anomalía positiva indica que la temperatura observada fue más cálida que el valor de referencia, mientras que una anomalía negativa indica que la temperatura observada fue más baja que el valor de referencia. Fuente: NOAA, Administración nacional Oceánica y Atmosférica del Departamento de Comercio de Estados Unidos.

Además del calentamiento del aire, el cambio climático produce un aumento en la temperatura de las aguas de los océanos. El Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), en sus informes sobre los efectos y la tendencia del cambio climático, espera un aumento de la temperatura de la superficie oceánica (SST) que variará entre 0,3°C, en el caso de mantener constantes las concentraciones actuales de gases de efecto invernadero, y de más de 2°C en el peor de los escenarios de emisión de gases simulado desde el año 2000 hasta el 2100, pudiendo llegar a un aumento de unos 4°C en el año 2300 (IPCC, 2014).

Otra de las grandes alteraciones que producen los procesos de cambio climático en los océanos se relaciona con la capacidad de los mismos para captar CO₂. Aproximadamente un cuarto del CO₂ antropogénico liberado a la atmósfera cada año es absorbido por el agua de mar mitigando, en parte, los efectos nocivos del cambio climático, pero no sin consecuencias para los sistemas marinos. El CO₂ absorbido desencadena importantes cambios en la química del carbono del agua de mar causando una disminución del pH y en los niveles de saturación del carbonato (Fig. 2), que, junto al progresivo aumento de la temperatura oceánica, ha desencadenado una gran preocupación por la salud biológica, ecológica y biogeoquímica de los océanos del mundo (Lovejoy, 2008; Rau et al., 2012). El CO₂ se disuelve en el agua, ocasionando una disminución del pH (Fig. 2), ocasionando una disminución de los aniones CO₃⁻² que dificulta el proceso de calcificación de los esqueletos de organismos calcáreos como corales, moluscos, equinodermos, etc.

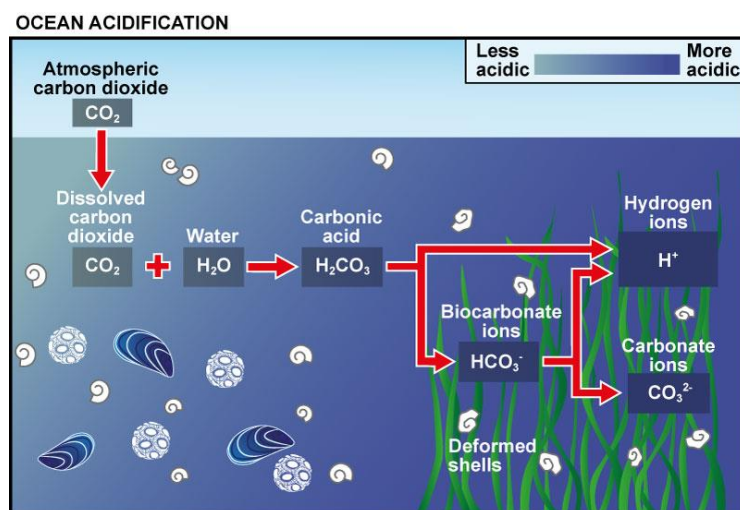


Figura 2. Esquema del ciclo del carbono en el agua de mar en condiciones de incremento de CO₂ atmosférico. Cuando el CO₂ se disuelve en el agua de mar, se forma ácido carbónico (H₂CO₃), que se disocia en bicarbonato (HCO₃⁻) y H⁺, produciendo una disminución del pH. Los H⁺ pueden reaccionar con el anión carbonato (CO₃⁻²) del medio, para formar más HCO₃⁻, de forma que la disminución de CO₃⁻² dificulta el proceso de calcificación de los esqueletos de organismos calcáreos. Fuente: UK Ocean Acidification Research Programme.

Los efectos del cambio climático en los organismos marinos son numerosos. El aumento de la temperatura oceánica se considera el factor de cambio climático más determinante, ya que altera la distribución de los organismos al modificar los procesos fisiológicos de tolerancia que les permiten sobrevivir y adaptarse a un rango de temperatura determinado (Harley et al., 2006). De esta forma, ciertas especies marinas son capaces de dispersarse más allá de su límite normal de distribución, afectando a la estabilidad de las poblaciones nativas (Fine et al., 2005) e incluso a la estructura y función de los ecosistemas (Lodge et al., 1994; Simberloff & Stiling, 1996). Por otra parte, especies que se encuentran en su límite de tolerancia térmica tienden a enrarecerse e incluso desaparecer. Dado que muchos eventos anuales de la vida de las especies se desencadenan como consecuencia de cambios en la temperatura, su aumento supondrá alteraciones significativas de dichos sucesos poblacionales tales como migraciones, floración, puesta de huevos, etc. Asimismo, se esperan cambios en la morfología y comportamiento de los individuos, por lo que es de suponer que las frecuencias génicas de aquellos individuos que se vieran favorecidos o perjudicados por dicho cambios ambientales podrían verse modificadas (Root et al., 2003).

Un ejemplo claro de las repercusiones fisiológicas del calentamiento del agua lo constituyen diversas especies de corales que viven en simbiosis con microalgas dinoflageladas, conocidas como zooxantelas, que les suministran la mayor parte de la energía mediante su actividad fotosintética (Costa et al., 2013). Esta relación simbiótica se desestabiliza en situaciones estresantes, como pueden ser aumentos de temperatura por encima de los límites de tolerancia. En estas condiciones, las zooxantelas son expulsadas del tejido coralino dejando al huésped sin su principal fuente de energía, lo que se conoce como blanqueamiento del coral (Parry et al., 2007; Glynn, 1996). La frecuencia y severidad de los procesos de blanqueamiento, se han incrementado notablemente en las últimas décadas con fuertes evidencias de que sus causas son consecuencias de los cambios climáticos globales (IPCC, 2001; Carricart-Ganivet et al., 2012).

Tropicalización y meridionalización en Canarias

La biodiversidad marina de las islas Canarias se está viendo afectada actualmente por un notable proceso de tropicalización (Brito et al., 2005; Sangil et al., 2010; Riera et al., 2015; González et al., 2017) que se relaciona directamente con el incremento de la temperatura del

mar en la región, con aumentos de hasta 1°C en las últimas décadas. Las consecuencias biológicas de este calentamiento han propiciado la aparición de diversas especies de origen tropical (Brito et al., 2005, 2017), que llegan a Canarias mayoritariamente por sus propios medios de dispersión (Brito et al. 2005), aunque otras han sido introducidas a través del tráfico marítimo (Brito et al., 2011; Clemente et al., 2011; Falcón, 2015; Pajuelo et al., 2016).

La aparición de nuevas especies tropicales se ha manifestado más intensamente en las islas occidentales, en relación con el gradiente de incremento de temperaturas del mar existente de este a oeste del archipiélago, que puede llegar a superar los 2°C (Barton et al., 1998). Además, se constata un desplazamiento gradual de aquellas especies nativas de aptitudes tropicales, cuyas poblaciones se han visto favorecidas con el progresivo calentamiento, en dirección hacia las islas orientales (Brito et al., 2005). Paralelamente, el porcentaje de especies septentrionales en Canarias, es decir, con afinidades templadas, ha disminuido notablemente en los últimos años (Brito et al., 2005). Para nombrar estos procesos de llegada de especies foráneas de origen tropical a aguas más frías y el aumento de poblaciones de especies nativas termófilas se acuñan los términos tropicalización y meridionalización, respectivamente (Brito et al., 2005). Existen numerosos ejemplos de la aparición de organismos nuevos pertenecientes a distintos grupos taxonómicos como resultado del aumento de las temperaturas en el entorno de Canarias, incluyendo especies de peces (Brito et al., 2005), algas (Sangil et al., 2010) e invertebrados tales como corales (Clemente et al., 2011). Entre las especies nativas de afinidades termófilas que han sufrido importantes aumentos poblacionales cabe citar al equinoideo *Diadema africanum* (Clemente et al., 2010; Hernández et al., 2010).

Además del gradiente térmico este-oeste existente en el Archipiélago, en los procesos de tropicalización y/o meridionalización influye la importante heterogeneidad térmica existente en cada isla, en relación con los procesos oceanográficos mesoescalares generados en el entorno insular por los vientos alisios y la corriente fría de Canarias en su recorrido por la costa continental (Barton et al., 1998). La perturbación del flujo oceánico por una isla, llamado “efecto masa de islas” (Doty & Oguri, 1956), deja estelas de agua caliente a sotavento, especialmente durante el verano, cuando la intensidad de los vientos alisios es mayor (Van Camp et al., 1991; Arístegui et al., 1994). Así, se genera una clara diferencia entre las vertientes norte-noreste, más frías, y sur-suroeste, más cálidas, en las islas centrales y occidentales (Fig. 3).

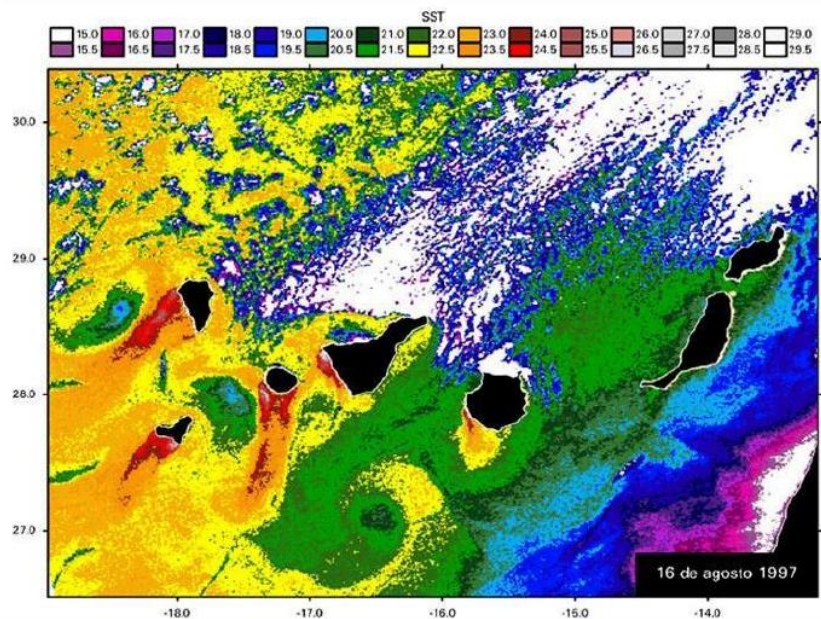


Figura 3. Imagen de las temperaturas superficiales del mar (SST) en la región de Canarias generadas por los satélites AVHRR/NOAA. Se observan tanto las diferencias térmicas entre las islas orientales y occidentales debido a la influencia del afloramiento africano, como las existentes entre el norte-noreste y sur-suroeste de cada isla (en especial en las occidentales), debido a los procesos oceanográficos generados por el efecto masa de isla (imagen cedida por A. Ramos de la ULPGC)

Organismos del bentos y su potencial como bioindicadores

Los bioindicadores son organismos, o comunidades de organismos, que responden al estrés ambiental y que pueden ayudar a evaluar y/o predecir los efectos de las modificaciones ambientales de una manera útil y simplificada (Randall, 1967; Gerhardt, 2002). A diferencia de los indicadores físicos, que son más útiles en el momento de un impacto, los biológicos son, por lo general, observables durante tiempos más largos e informan sobre tendencias o eventos que no pueden observarse directamente (OECD 2003). Además, los indicadores biológicos manifiestan relaciones aditivas o sinérgicas que se dan cuando coinciden diversos impactos en un mismo ecosistema, o incluso impactos crónicos de baja intensidad que no suelen ser detectables mediante medidas físicas o químicas (Ginsburg, 1994).

La selección del indicador depende de los objetivos planteados, pero, en general, las especies bioindicadoras deben ser abundantes, fáciles de identificar, de escasa movilidad y, si es posible, de ciclo biológico conocido (Gerhardt, 2002). En el caso del ambiente marino, los organismos bentónicos, al ser en su mayoría especies sedentarias que están presentes en abundancia en varias áreas, de gran durabilidad temporal y amplia distribución, son ideales como bioindicadores. Entre ellos, los corales zooxantelados son organismos potencialmente

ideales como centinelas de los efectos del cambio climático (Mumby et al., 2014), debido a su carácter sésil, su larga vida y su alta sensibilidad a los cambios ambientales.

Especies de estudio

Los corales son animales del filo Cnidaria que generalmente forman colonias de cientos o miles de individuos, llamados pólipos, que pueden alcanzar grandes dimensiones en localizaciones concretas. Los zoantídeos (clase Anthozoa, orden Zoantharia), conocidos como corales blandos, son organismos exclusivamente marinos caracterizados por presentar dos filas de tentáculos y un sifonoglifo en su zona ventral, siendo generalmente coloniales con pólipos unidos por un tejido común (cenénquima) (Fujii & Reimer, 2011). Poseen un alto grado de variación interespecífica e intraespecífica en cuanto a la forma y tamaño de los pólipos y las colonias (Burnett et al., 1997; Reimer et al., 2004), en ocasiones relacionadas con los factores medioambientales (Ong et al., 2013). Se trata de especies bentónicas comunes en los arrecifes de coral y en las costas rocosas intermareales de todo el mundo, especialmente en aguas tropicales y subtropicales (Ryland & Lancaster, 2003). En condiciones óptimas, algunas especies de zoantídeos son capaces de formar densas colonias que desplazan a otros invertebrados (Suchanek & Green, 1981; Rabelo et al., 2015) y algas (González-Delgado et al., 2018) al competir por el espacio. Su éxito en la colonización de sustratos consolidados se debe a sus adaptaciones morfológicas, fisiológicas y de comportamiento frente al estrés (Karlson, 1983; Karlson et al., 1996), siendo especies muy tolerantes a una alta variabilidad ambiental (Sebens, 1982; Sorokin, 1991; Kemp et al., 2006). Además, la mayoría de las especies de zoantídeos hospedan zooxantelas en sus tejidos gastrodérmicos, generalmente dinoflagelados simbióticos pertenecientes al género *Symbiodinium* (Steen & Muscatine, 1984; Kemp et al., 2006), lo que los hace sensibles a los cambios de temperatura ambiental (Glynn, 1996; Parry et al., 2007).

Muchas de las especies de zoantídeos que habitan en las islas Canarias tienen su límite de distribución norte en el Archipiélago, lo que indica su clara sensibilidad a las oscilaciones de temperatura en esta región (González-Delgado et al., 2018), como es el caso de *Palythoa caribaeorum*. El género *Palythoa*, perteneciente a la familia Sphenopidae (Suborden Brachycnemina), es un taxón común en los ambientes bentónicos y de gran influencia sobre otros elementos de la comunidad por su crecimiento tapizante que limita la disponibilidad de

espacio (Suchanek & Green, 1981; González-Delgado et al., 2018). *P. canariensis* y *P. caribaeorum* son las dos especies del género más comunes en Canarias. La primera abunda en zonas rocosas del mesolitoral aunque con menor frecuencia podemos encontrar colonias aisladas en el submareal somero hasta los 10 metros de profundidad (Simón Otegui, 2015). Por su parte, *P. caribaeorum* aparece también en zonas intermareales pero es más frecuentemente en fondos submareales pocos profundos, entre 2-10 metros de profundidad, llegando a formar grandes extensiones en ambientes con baja exposición al oleaje y alta luminosidad (Sebens, 1982; Leão, 1996; Acosta et al., 2001). La amplia distribución y alta cobertura de *P. caribaeorum* es probablemente el resultado de varios factores tales como la plasticidad de la colonia (Karlson, 1983; Costa et al., 2011), su capacidad de adaptación fisiológica (Sebens, 1982), la mezcla de estrategias de reproducción sexual y asexual (Fadlallah et al., 1984; Acosta et al., 2001), su crecimiento rápido (Suchanek & Green, 1981; Rabelo et al., 2015), una fuerte habilidad competitiva (Bastidas & Bone, 1996), y mecanismos antidepredación (Sebens, 1982), además de una alta tolerancia a la variabilidad ambiental (Cooke & Zeeman, 1976; Sebens, 1982; Sorokin, 1991; Rotjan et al., 2006).

Considerando las características biológicas inherentes generales de los zoantídeos y en concreto de las especies objeto de este trabajo, junto con el actual aumento en la temperatura del mar se espera una expansión de las poblaciones de dichas especies si continúa la tendencia actual de calentamiento oceánico (Reimer et al., 2008; Reimer et al., 2016). Esta hipótesis está respaldada por datos observacionales recientes de estas especies en las islas Canarias (Simón Otegui, 2015; López et al. en prep.). De hecho, a pesar de que los estudios previos sobre estos organismos son escasos, durante las últimas décadas solo se habían descrito algunas colonias dispersas de *P. canariensis* en todo el Archipiélago (López Pérez, 2014; Brito et al., 2017), mientras que estudios más recientes demuestran que se trata de organismos cada vez más comunes en Canarias, tanto en el intermareal como en hábitats submareales poco profundos (Simón Otegui, 2015).



Objetivo

Objetivo.

Este estudio tiene como objetivo evaluar el potencial de *Palythoa canariensis* y *P. caribaeorum* como especies bioindicadoras de cambio climático en Canarias, y establecer el punto inicial de un programa de seguimiento a largo plazo de colonias de ambas especies en plataformas intermareales de la isla de Tenerife. Debido a que la biota marina del Archipiélago ya se ha visto afectada por procesos de tropicalización y meridionalización como consecuencia directa del aumento de la temperatura oceánica, se hace necesaria la evaluación de la evolución de dichos procesos en los ecosistemas mediante el seguimiento de especies indicadoras. Con este fin, estudiamos los patrones estacionales en el crecimiento de dichas especies y su relación con los cambios estacionales de temperatura, teniendo en cuenta el efecto de la heterogeneidad térmica existente dentro de la isla de Tenerife.



**Material
y métodos**

Material y métodos

Localidades de estudio

Las localidades elegidas para el estudio del crecimiento *in situ* de las colonias de zoantídeos *Palythoa canariensis* y *P. caribaeorum*, fueron rasas intermareales de sustrato rocoso situadas en diferentes vertientes de la isla de Tenerife: Los Silos y La Punta del Hidalgo al norte, el Médano en el sureste, y Playa San Juan y Alcalá en el suroeste (Fig. 4). La distribución de las localidades de estudio recoge en gran medida la heterogeneidad térmica oceánica de la isla, generada por procesos oceanográficos mesoescalares del entorno insular. Concretamente en el caso de Tenerife y debido a la forma triangular de la isla, encontramos una zona netamente más cálida al oeste, mientras que el norte suele ser más frío, presentando la cara oriental una situación intermedia (Fig. 3).

Las localidades de estudio no solo fueron seleccionadas atendiendo a la heterogeneidad térmica de la isla de Tenerife, sino también según el grado de ocurrencia de cada una de las especies. Para el seguimiento de *P. canariensis*, las localidades de estudio se situaron en La Punta del Hidalgo, Los Silos y Playa San Juan (Fig. 4), donde se seleccionaron cuatro colonias en cada una de ellas. En el caso de *P. caribaeorum* se estudiaron todas las colonias de la zona intermareal de Tenerife registradas hasta la fecha, siete en Playa San Juan, una en Alcalá y una en El Médano (Fig. 4).

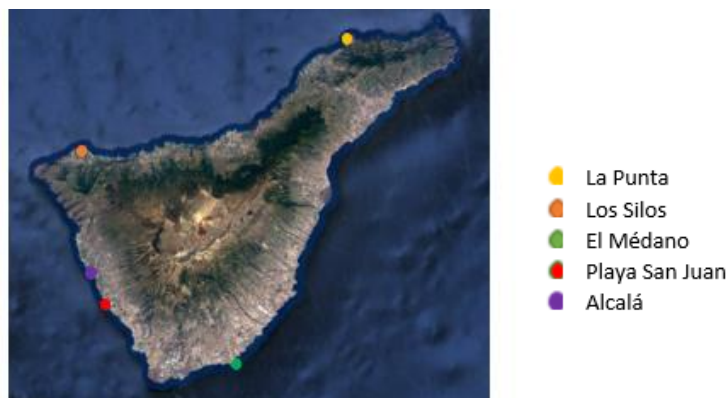


Figura 4. Localidades de estudio en la isla de Tenerife (Canarias, España).

Parámetros ambientales

Debido a que las colonias de estudio se encuentran en la franja intermareal, y por tanto influenciadas tanto por la temperatura oceánica como por la ambiental, se recopilaron datos

MATERIAL Y MÉTODOS

de temperatura ambiental y SST a escala local, siempre que fue posible. Las temperaturas ambientales para el 2017, año de estudio, se obtuvieron de los datos de las estaciones más próximas en la base de datos de la AEMET (OpenData), calculando las medias estacionales. Los datos de SST para el período de estudio, se obtuvieron del reanálisis del “National Centre for Environmental Prediction / National Centre for Atmospheric Research” (NCEP / NCAR) para la isla de Tenerife (Kalnay et al., 1996).

Metodología

Para la realización de este trabajo fin de grado se adoptó un protocolo de seguimiento a largo plazo de especies indicadoras de los procesos de cambio climático, entre las que se encuentran *Palythoa canariensis* y *P. caribaeorum*, llevado a cabo en la actualidad por el grupo de investigación BIOECOMAC de la U.D. de Biología Marina, en el marco del proyecto de investigación INDICATROP (Efectos del cambio climático sobre los ecosistemas marinos litorales de Canarias: indicadores de tropicalización, Fundación CajaCanarias). Este protocolo consistió en el seguimiento de colonias fijas de *P. canariensis* y *P. caribaeorum* en distintas localidades de la isla de Tenerife, que se visitaron durante la bajamar una vez en cada estación en el transcurso de un año: durante los meses de febrero (invierno), mayo (primavera), agosto (verano) y noviembre (otoño). En el presente trabajo se incluyen los resultados parciales de dicho programa de seguimiento para el año 2017 habiendo participado, además, activamente en las labores de muestreo del último periodo.

En cada localidad de estudio, se procedió a la búsqueda e identificación de cada una de las colonias de seguimiento para realizar un registro de sus dimensiones mediante método fotográfico con escala métrica (Fig. 5). Debido a las diferencias morfológicas entre ambas especies estudiadas, la variable analizada a fin de estimar el crecimiento estacional fue diferente en cada caso. En las colonias de *P. canariensis* se procedió a hacer un recuento del número de pólipos ya que en muchos casos éstos se encuentran distanciados los unos de los otros, solamente conectados por un fino cenénquima (Fig. 5). Sin embargo, *P. caribaeorum* forma colonias que ocupan extensiones incrustadas en el sustrato donde, en muchos casos, es imposible diferenciar un pólipo de otros adyacentes debido al gran grosor del cenénquima. En este caso, se optó por medir el área de la colonia mediante el programa ImageJ v 1.50b. De igual forma, la medida del área en colonias de *P. canariensis* no resulta representativa, debido

MATERIAL Y MÉTODOS

a la frecuente asociación de los pólipos con especímenes de otras especies y a la dificultad que supone la medición del área que ocupan pólipos individuales.



Figura 5. Método fotográfico empleado para el seguimiento de las colonias de *Palythoa caribaeorum* y *P. canariensis*. A la izquierda, medición del área de una colonia de *P. caribaeorum* (línea amarilla: contorno de la colonia dibujado con el programa ImageJ para el cálculo del área de la colonia). A la derecha, conteo de pólipos de una colonia de *P. canariensis*.

Análisis de los datos

Para el análisis de los datos de las colonias de antozoos se procedió a calcular el incremento o decremento estacional del número de pólipos en *Palythoa canariensis* y del área de *P. caribaeorum*. Las diferencias en las variables de crecimiento de las colonias así obtenidas para cada una de las dos especies estudiadas, se analizaron mediante ANOVAs ejecutados por permutaciones (Anderson, 2001), utilizando la distancia euclídea de los datos y 999 permutaciones.

Para el análisis de la diferencia en número de pólipos en las colonias de *P. canariensis*, se utilizó un modelo de dos vías, con los factores “estación del año” (3 niveles de variación) como factor fijo y el factor “localidad” (3 niveles de variación) como aleatorio. En el caso del análisis de la diferencia en área de las colonias de *P. caribaeorum*, al ser éstas más escasas en el intermareal de Tenerife y localizadas sólo en el entorno de Alcalá-Playa San Juan (salvo una única colonia en el Médano), el diseño empleado fue de 1 vía, analizando únicamente las diferencias en función del factor “estación del año” (3 niveles de variación), considerado como fijo.

Los términos significativos en los modelos se analizaron, cuando fue necesario, con comparaciones *a posteriori* dos a dos ejecutadas por permutaciones (Anderson, 2005). Cuando no se obtuvieron suficientes permutaciones para una prueba válida, los p-valores se corrigieron con el método de Monte Carlo (Anderson & Robinson, 2003). Todos estos análisis se realizaron con el programa estadístico PRIMER 7 & PERMANOVA +.



Resultados

Resultados

Parámetros ambientales

Los datos de temperatura media, máxima y mínima ambiental para cada una de las localidades de estudio fueron obtenidos a través de la estación AEMET (OpenData) que se encontraba más cerca (Tabla 1). Como cabría esperar, las temperaturas mínimas se corresponden a los meses de invierno y las máximas a los de verano en cada una de las localidades, con independencia de la vertiente en la que se encuentren (Tabla 1). Las mayores temperaturas medias se encontraron en las localidades situadas en la vertiente sur de la isla siendo la máxima registrada en verano en Alcalá (29,46°C) (Tabla 1). De las dos localidades situadas al norte de Tenerife, la Punta del Hidalgo fue la que presentó una temperatura media más baja en invierno (10,60°C) (Tabla 1). Por otro lado, observamos que los meses correspondientes a otoño son los que registraron una mayor fluctuación en cuanto a la temperatura para todas las localidades de estudio.

Tabla 1. Valores de temperatura media, máxima y mínima (\pm DE) en cada una de las localidades de estudio (según la estación de referencia de la AEMET) por estación del año 2017. Fuente: OpenData (AEMET).

| Localidad | Estación de la AEMET | | Invierno | Primavera | Verano | Otoño |
|-------------------|----------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| Los Silos | Puerto de la Cruz | Temperatura media (°C) | 18,96 \pm 0,28 | 22,20 \pm 1,01 | 24,13 \pm 0,28 | 21,86 \pm 2,45 |
| | | Temperatura mínima (°C) | 15,63 \pm 0,35 | 19,13 \pm 1,36 | 21,50 \pm 0,40 | 18,70 \pm 2,52 |
| | | Temperatura máxima (°C) | 22,26 \pm 0,30 | 25,23 \pm 0,61 | 27,03 \pm 0,60 | 25,00 \pm 2,35 |
| El Médano | | Temperatura media (°C) | 19,23 \pm 0,77 | 22,73 \pm 1,30 | 25,43 \pm 0,90 | 22,53 \pm 2,70 |
| Playa San Juan | Aeropuerto sur | Temperatura mínima (°C) | 15,16 \pm 0,61 | 18,83 \pm 1,45 | 21,36 \pm 0,75 | 18,80 \pm 2,25 |
| Alcalá | | Temperatura máxima (°C) | 23,30 \pm 0,95 | 26,63 \pm 1,16 | 29,46 \pm 1,02 | 26,20 \pm 3,25 |
| Punta del Hidalgo | Aeropuerto norte | Temperatura media (°C) | 13,83 \pm 1,10 | 18,23 \pm 1,53 | 21,66 \pm 1,58 | 17,80 \pm 3,40 |
| | | Temperatura mínima (°C) | 10,60 \pm 0,50 | 14,13 \pm 1,66 | 17,33 \pm 0,83 | 14,36 \pm 2,65 |
| | | Temperatura máxima (°C) | 16,96 \pm 1,76 | 22,30 \pm 1,51 | 25,93 \pm 2,40 | 21,23 \pm 4,16 |

RESULTADOS

La SST durante el año 2017 para la isla de Tenerife osciló entre un mínimo de 19,64°C durante el mes de marzo y un máximo de 24,41°C en octubre, aunque las medias por estaciones reflejan los valores medios mínimos de SST durante el invierno, seguido de temperaturas bastante similares en primavera, hasta alcanzar los máximos valores en otoño (Tabla 2).

Tabla 2. Valores de temperatura superficial del mar (SST, media \pm DE) para la isla de Tenerife en las diferentes estaciones del año 2017

| 2017 | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|------|------------------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------------------|-------|-------|-------|
| SST | 20,41 | 19,78 | 19,64 | 20,41 | 21,90 | 22,48 | 23,03 | 24,05 | 24,35 | 24,41 | 23,67 | 22,24 |
| | Invierno | | Primavera | | | Verano | | | Otoño | | | |
| SST | 20,09 \pm 1,05 | | 20,65 \pm 1,15 | | | 23,19 \pm 0,79 | | | 23,44 \pm 1,103 | | | |

Crecimiento *Palythoa canariensis*

Las colonias de *Palythoa canariensis* que se muestrearon estacionalmente en las localidades de La Punta del Hidalgo, Los Silos y Playa San Juan, tenían un número de pólipos que osciló entre 12 y 661 al inicio del seguimiento en invierno de 2017. La colonia de mayor tamaño se localizó en La Punta del Hidalgo, mientras que la más pequeña fue registrada en la localidad de Los Silos. En el último muestreo, las colonias que mostraron mayor y menor número de pólipos se localizaron en las mismas localidades que al comienzo, con 15 y 808 pólipos.

El tamaño medio de las colonias de *P. canariensis*, medido con el número de pólipos por colonia, mostró un patrón de variación temporal diferente para cada una de las localidades estudiadas (Fig. 6). Los ejemplares de La Punta del Hidalgo presentaron su mínimo tamaño en invierno, creciendo de forma considerable en primavera hasta llegar al verano, y comenzando a decaer en los meses de otoño. Este patrón fue similar en las colonias de Los Silos, aunque en este caso se alcanzaron tamaños ligeramente mayores en otoño, presentando una situación intermedia entre La Punta del Hidalgo y Playa San Juan, donde ocurrió totalmente lo contrario. En la localidad de Playa San Juan, en la vertiente más cálida de la isla, el crecimiento de las colonias decayó durante los meses de primavera y verano comenzando a aumentar progresivamente de tamaño en otoño.

RESULTADOS

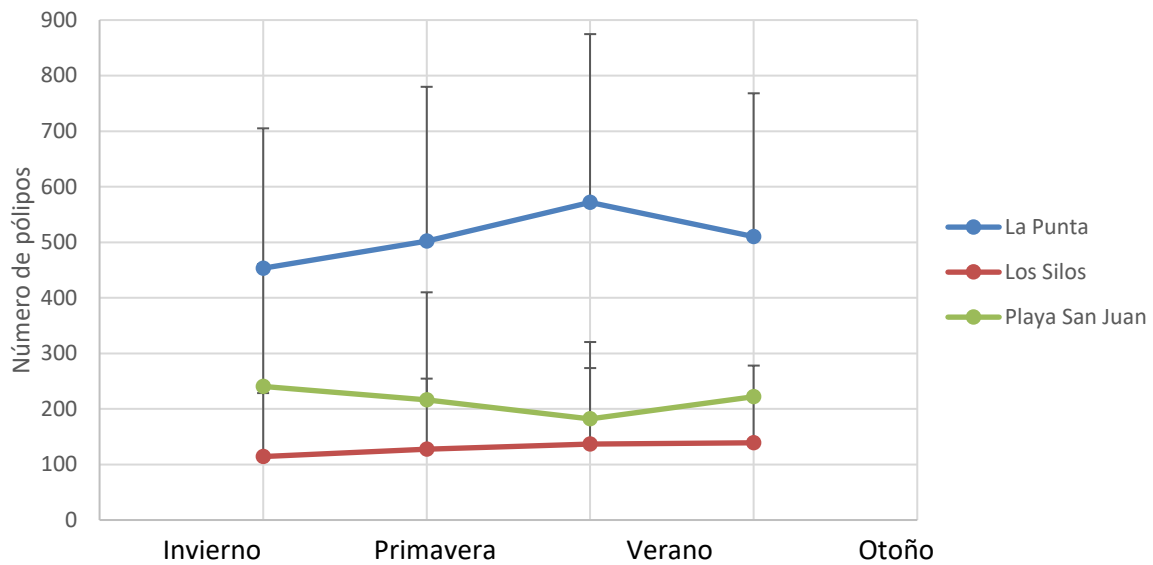


Figura 6. Variación estacional del número de pólipos de las colonias de *P. canariensis* (media \pm DE) en cada una de las localidades de estudio en el periodo de invierno a otoño de 2017.

El resultado del ANOVA por permutaciones realizado para evaluar la variación estacional del crecimiento de las colonias de *P. canariensis* en las distintas localidades de estudio, puso de manifiesto diferencias significativas en la interacción de los factores “Estación x Localidad” (Tabla 3). Esto demuestra que el crecimiento de *P. canariensis* se ve afectado tanto por la estación del año como por la localidad en la que se encuentren, variando entre las distintas estaciones de forma diferente según la localidad de estudio considerada. Para conocer entre qué combinaciones de los distintos niveles de ambos factores considerados se dieron estas diferencias significativas, se realizaron los análisis *a posteriori* dos a dos para la interacción “Estación x Localidad” (Tabla 4). Únicamente se observaron que las diferencias fueron significativas en el crecimiento estacional de las colonias en la Punta del Hidalgo (Tabla 4). En los muestreos realizados en primavera y verano se registraron los máximos incrementos en número de pólipos de las colonias estudiadas que fueron, en ambos casos, significativamente mayores que el valor registrado en otoño (Tabla 4, Fig. 7). En el resto de localidades las diferencias entre las estaciones estudiadas no fueron significativas (Tabla 4, Fig. 7).

RESULTADOS

Tabla 3. Resultados del ANOVA de 2 vías ejecutado por permutaciones, que analiza la variación del crecimiento de colonias de *Palythoa canariensis* según la estación del año y las localidades consideradas.

| Fuente de variación | gl | SC | MC | Pseudo-F | p (perm) |
|----------------------|----|----------|----------|----------|----------|
| Estación | 2 | 5622,90 | 2811,40 | 0,18 | 0,863 |
| Localidad | 2 | 1695,40 | 847,69 | 0,41 | 0,674 |
| Estación x Localidad | 4 | 62002,00 | 15500,00 | 7,55 | 0,001 |
| Residual | 27 | 55443,00 | 2053,40 | | |
| Total | 35 | 1,25 E5 | | | |

Tabla 4. Resultados de los análisis *a posteriori* dos a dos de la interacción significativa de los factores "Estación x Localidad" obtenida del ANOVA del crecimiento de colonias del zoantídeo *Palythoa canariensis*.

| | Estaciones | t | P(perm) |
|----------------|----------------------|------|---------|
| La Punta | Otoño vs. Primavera | 2,99 | 0,022 |
| | Otoño vs. Verano | 3,19 | 0,018 |
| | Primavera vs. Verano | 0,21 | 0,835 |
| Los Silos | Otoño vs. Primavera | 0,83 | 0,444 |
| | Otoño vs. Verano | 0,80 | 0,451 |
| | Primavera vs. Verano | 0,25 | 0,814 |
| Playa San Juan | Otoño vs. Primavera | 2,13 | 0,076 |
| | Otoño vs. Verano | 1,94 | 0,096 |
| | Primavera vs. Verano | 0,40 | 0,689 |



Figura 7. Variación estacional del número de pólipos (media \pm DE) de las colonias de *Palythoa canariensis* analizadas durante el año 2017 por localidades de estudio.

RESULTADOS

Crecimiento de *Palythoa caribaeorum*

Las colonias de *Palythoa caribaeorum* que se muestrearon estacionalmente en las localidades de Alcalá y Playa San Juan tenían unas dimensiones que oscilaron entre 28,76 y 1981,75 cm² al inicio del seguimiento en invierno de 2017. Tanto las colonias de mayor como de menor tamaño fueron registradas en la localidad de Playa San Juan, donde existe la mayor población de *P. caribaeorum* en la franja intermareal de Tenerife hasta la fecha. La única colonia de *P. caribaeorum* registrada en la localidad de Alcalá midió 207,83 cm², mientras que la del intermareal del Médano registró 232,34 cm² al inicio del estudio. En el último muestreo, las colonias que mostraron mayor y menor área se localizaron en las mismas localidades que al comienzo, con 12,90 y 2310,30 cm².

Al estudiar el patrón de variación del área media de las colonias por localidades, se observó que el máximo incremento tuvo lugar en otoño en la localidad de Playa San Juan, mientras que la única colonia de *P. caribaeorum* localizada en Alcalá registró su tamaño mínimo en invierno, creciendo ligeramente en primavera y manteniéndose constante el resto de las estaciones (Fig. 8). La colonia de El Médano sólo pudo medirse en dos de las cuatro estaciones analizadas, debido al mal estado de la mar y su situación en el intermareal inferior. En este caso su área osciló entre los 232,34 cm² registrados en invierno y los 196,56 cm² en verano.

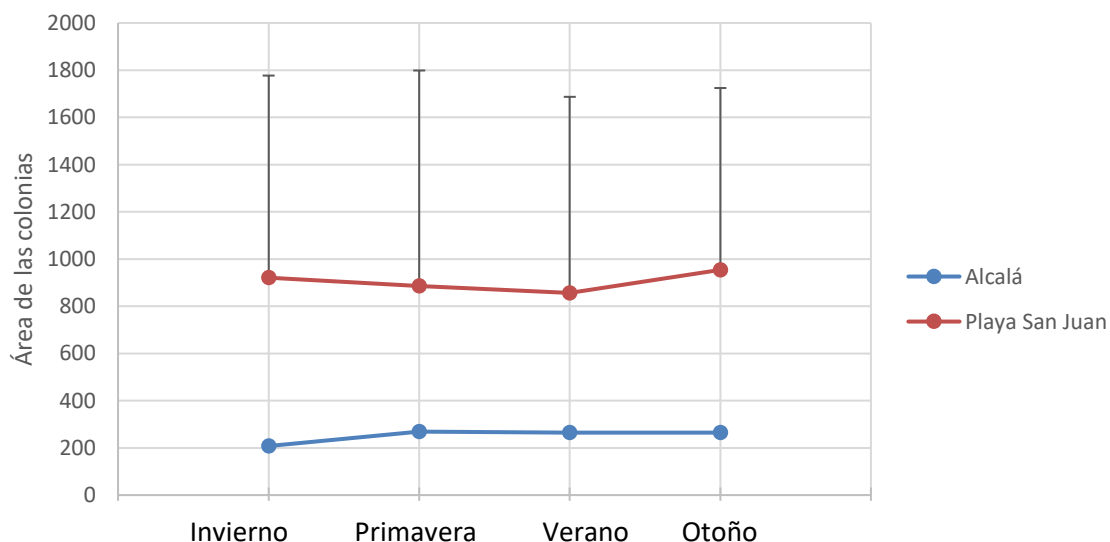


Figura 8. Variación estacional del área de las colonias de *Palythoa caribaeorum* (media \pm DE) en cada una de las localidades de estudio en el periodo de invierno a otoño de 2017.

RESULTADOS

La existencia de una única colonia *P. caribaeorum* en el intermareal de Alcalá, no permitió realizar análisis estadísticos para estimar las diferencias en crecimiento entre distintas localidades de estudio. Sin embargo, el ANOVA por permutaciones realizado para el análisis de la variación estacional de todas las colonias estudiadas en su conjunto, mostró que no existen diferencias significativas en el incremento del área experimentado por las mismas respecto a las estaciones del año consideradas (Tabla 5, Fig. 9).

Tabla 5. Resultados del ANOVA de 1 vía ejecutado por permutaciones, que analiza la variación del crecimiento de colonias del zoantídeo *Palythoa caribaeorum* según la estación del año considerada.

| Fuente de variación | gl | SC | MC | Pseudo-F | p (perm) |
|---------------------|----|----------|----------|----------|----------|
| Estación | 2 | 48943,00 | 24471,00 | 1,61 | 0,270 |
| Residual | 5 | 2,28 E5 | 15229,00 | | |
| Total | 7 | 2,77 E5 | | | |

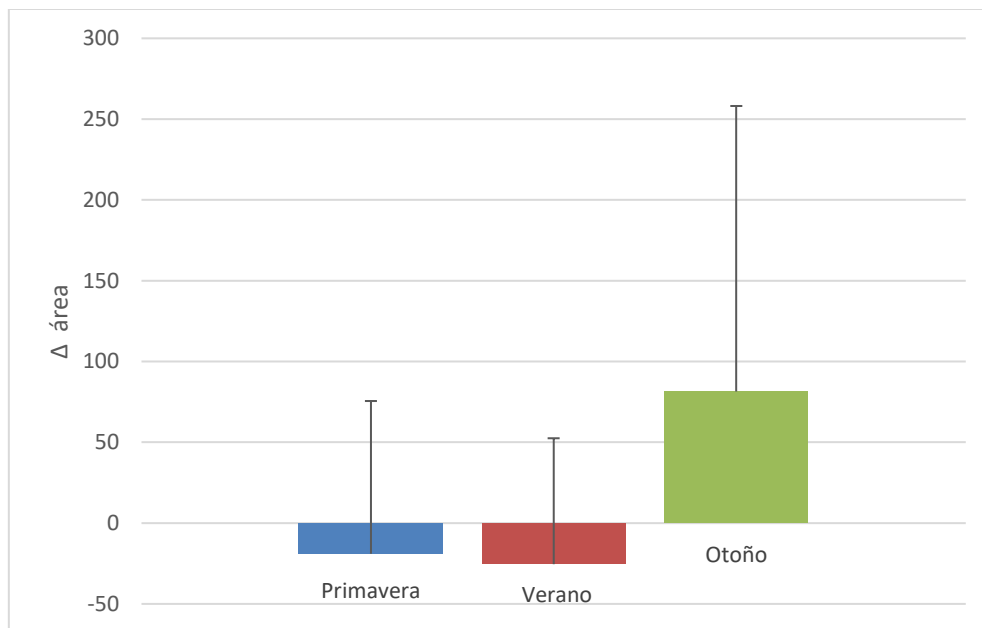


Figura 9. Variación estacional del área (media ± DE) de las colonias de *Palythoa caribaeorum* analizadas durante las diferentes estaciones del año 2017.



Discusión

Discusión

A pesar de que el presente estudio se ha realizado en una escala temporal corta, se observaron algunos cambios en el patrón de crecimiento de colonias del género *Palythoa* probablemente en relación con las oscilaciones térmicas a las que se ven sometidas estos organismos en el intermareal, influidos tanto por la temperatura ambiental cuando se encuentran en emersión, como por la temperatura superficial del mar.

Crecimiento de colonias *Palythoa canariensis*

Los resultados obtenidos demostraron que las colonias de *Palythoa canariensis* presentaron un patrón de crecimiento estacional diferente para cada localidad de estudio. En las dos localidades muestreadas en la vertiente norte de Tenerife, Los Silos y La Punta del Hidalgo, el menor tamaño medio de las colonias se registró durante el mes de febrero, mientras que los máximos incrementos en número de pólipos ocurrieron en primavera, extendiéndose hasta la época del verano, siendo este incremento significativo solo en el caso de La Punta del Hidalgo. Este incremento en el tamaño de las colonias puede relacionarse con el aumento de temperatura media registrada entre los meses de febrero (19,78°C) y mayo, con temperaturas ya cercanas a los 22°C, que se corresponden con los meses muestreados en las estaciones de invierno y primavera respectivamente. Además, el incremento en nutrientes en el agua de mar típico de finales de invierno (De León, 1973; Braun, 1980), que origina el subsecuente pico primaveral de producción planctónica y bentónica, puede estar influenciando a los dinoflagelados simbiotes y éstos, a su vez, el crecimiento de las colonias de *P. canariensis*. Nuestros resultados señalan que el crecimiento de las colonias comenzó a decaer de nuevo durante los muestreos de otoño (noviembre), especialmente en la localidad de La Punta del Hidalgo, justo cuando la SST desciende bruscamente a niveles de $\approx 23^{\circ}\text{C}$ tras su máximo estival en octubre ($>24^{\circ}\text{C}$). Este patrón de disminución en el crecimiento de las colonias con la caída de temperatura en invierno también ha sido observado en diversas especies del género *Zoanthus* en Japón (Ono et al., 2002).

Por otra parte, los ejemplares situados en Playa San Juan, al suroeste de la isla de Tenerife donde la SST es más alta que en la vertiente norte (Barton, 1998), registraron una ligera disminución en el tamaño de las colonias entre primavera y verano. Aunque estos

DISCUSIÓN

cambios no resultaron significativos, la disminución en el tamaño de las colonias puede estar relacionada con la competición por el espacio entre zoantídeos y diversas especies de macroalgas que proliferan en primavera-verano, como ya ha sido observado en otras especies del mismo género (Bastidas & Bones, 1996).

Crecimiento de colonias *Palythoa caribaeorum*

Palythoa caribaeorum es una especie que se encuentra con mayor frecuencia en zonas submareales y su distribución intermareal conocida en la isla de Tenerife se restringe, hasta el momento, a las colonias presentadas en este estudio. Se encuentran principalmente en el entorno de Playa San Juan-Alcalá y una única colonia en El Médano (López et al. datos no publicados). En ocasiones, y sobre todo en las islas de El Hierro y La Palma donde la temperatura del mar es la más alta con respecto al resto del archipiélago, consigue tapizar grandes extensiones en el submareal (Martín-García et al., 2013) que podrían causar alteraciones en la estructura y composición de todo el ecosistema (González-Delgado et al. 2018). Sin embargo, el programa de seguimiento de colonias de esta especie puesto en marcha desde el año 2015, ha podido constatar cómo *P. caribaeorum* es cada vez más frecuente en zonas del intermareal de Tenerife. Así, se ha registrado que el número de colonias de la especie en la localidad de Playa San Juan, en la costa SO de la isla de Tenerife, ha aumentado de 4 a 7 desde el 2016. La única colonia registrada fuera del SO de Tenerife se encontró en El Médano, en el sureste de la isla, también localizada por primera vez en el transcurso de dicho programa de seguimiento. Sin embargo, *P. caribaeorum* no ha sido aún encontrada en la franja intermareal de la zona norte de la isla de Tenerife, más fría que el resto de vertientes, a pesar de los exhaustivos muestreos realizados (López et al. en preparación).

Los resultados del presente estudio muestran que los cambios de temperatura anuales no influyeron significativamente en el crecimiento experimentado por *P. caribaeorum*, probablemente porque su localización en las aguas más cálidas de la isla hace que no experimenten los mínimos de tolerancia térmica que afectan al crecimiento de la especie, ya que la caída de temperatura en invierno no es tan pronunciada como en la zona norte. En general, los datos recopilados de *P. caribaeorum* están en concordancia con los resultados

DISCUSIÓN

obtenidos por otros autores en el género *Palythoa* (Bastidas & Bones, 1996) en los que las colonias tendieron a disminuir ligeramente en tamaño después del pico primaveral de producción bentónica.

En las especies del género *Palythoa* existen dos procesos generales de colonización de nuevo sustrato (Acosta et al., 2001) siendo el más común el de la fisión de las colonias. Ocurre cuando existe una grieta que poco a poco avanza a través del individuo, atravesando grupos de pólipos que siguen conectados por un cenénquima que va haciéndose cada vez más delgado hasta que finalmente se dividen en dos. En el caso de *P. caribaeorum* se cree que el modo de crecer y dispersarse es mayoritariamente por dicha fisión de colonias y, por tanto, es lógico que no podamos apreciar un crecimiento mediado por cambios estacionales. En general, las colonias originales no tienden a aumentar su tamaño, sino que producen colonias hijas que colonizarán nuevas áreas, tal y como se ha ido observando en el transcurso del programa de seguimiento. Sin embargo, es de resaltar que, a excepción de una de las colonias de Playa San Juan, todas presentaron un área ligeramente mayor a finales de año respecto a cuando se muestrearon al comienzo, indicando que, en cierta medida, sí se están expandiendo aunque a tasas muy bajas. Teniendo en cuenta que dicho crecimiento no fue significativo y que los cambios estacionales no influyeron en el crecimiento de las colonias, parece lógico pensar que el seguimiento en *P. caribaeorum* debería llevarse a cabo de forma anual y prestando mayor atención a la posible aparición de nuevas colonias a lo largo del tiempo. Sin duda este enfoque cobra mayor relevancia en los seguimientos de las comunidades intermareales de las zonas frías de la vertiente norte de la isla de Tenerife, donde una futura ocurrencia de nuevas colonias de *P. caribaeorum* sería un buen reflejo de procesos locales de calentamiento del agua.

El género *Palythoa* como bioindicador del cambio climático.

La elección de indicadores biológicos que nos permitan llevar a cabo un seguimiento de las variaciones ambientales no es una tarea fácil. Por un lado, la idoneidad de un buen bioindicador depende de los objetivos planteados y de la región en donde nos encontremos, pero, además, deberían ser organismos abundantes, fáciles de identificar, de escasa movilidad y, si es posible, de ciclo biológico conocido (Gerhardt, 2002). Las dos especies del género

DISCUSIÓN

Palythoa que habitan en las islas Canarias cumplen muchas de estas características y, aunque los estudios sobre su biología son aún escasos en el archipiélago, en este estudio damos una primera aproximación sobre la potencial utilización de estas especies como bioindicadoras de cambio climático.

Palythoa canariensis y *P. caribaeorum* son organismos sésiles, de alta longevidad y con una distribución actual amplia en Canarias (López et al., en prep.). Son especies zooxanteladas, de forma que los simbiosomas les proporcionan la mayor parte de la energía necesaria para llevar a cabo sus funciones metabólicas (Costa et al., 2013). Dada la sensibilidad de la relación simbiótica entre los dinoflagelados y los corales ante los cambios en temperatura, la viabilidad de las poblaciones de estas especies puede verse afectada por el actual aumento de temperatura como consecuencia del cambio climático. Sin embargo, hay que tener en cuenta la complejidad de las interacciones abióticas y bióticas que se dan en el medio marino, ya que las variaciones en el crecimiento de los ejemplares pueden deberse a una conjunción de factores que actúan simultáneamente sobre las poblaciones. En este sentido, nuestros resultados apuntan a una posible influencia de las variaciones tanto de los regímenes de temperatura como de los picos de productividad que pueden estar favoreciendo la actividad fotosintética de los simbiosomas. Estudios previos ya han demostrado que el crecimiento de las colonias de zoantídeos se ve favorecido por el enriquecimiento de nutrientes y por el aumento de la concentración de materia orgánica (Huang et al., 2011). Por tanto, un incremento en el tamaño de las colonias puede ser ocasionado por un aumento en la concentración de nutrientes y no debido, al menos exclusivamente, a aumentos de temperatura debidos al cambio climático. Además, en otras regiones se ha observado que la competencia por el espacio con otras especies de zoantídeos u otros organismos incrustantes del sustrato, tales como corales duros, puede afectar a la distribución y a la persistencia de estas especies (Sebens, 1982). Sin embargo, en Canarias no existe una comunidad coralina sólida que pueda limitar el crecimiento de los zoantídeos y únicamente las comunidades de macroalgas podrían ocasionar algún detrimento a las colonias por competencia directa por el sustrato o, incluso, por sobrecrecimiento. A lo largo del año de estudio no hemos visto una regresión considerable en las colonias, ni siquiera durante el máximo de productividad bentónica en Canarias en primavera, lo que demuestra que estas especies tienen pocos competidores en las islas.

DISCUSIÓN

En general, los depredadores conocidos de los zoantideos son escasos e incluyen mayoritariamente varias especies de peces (ej. peces mariposa *Chaetodon* spp. Randall, 1967; Mebs, 1998), gusanos de fuego del género *Hermodice* (Ott & Lewis, 1972) y pequeños crustáceos (Mebs, 1998). El potencial anti-depredador de los zoantideos reside, además de la presencia de nematocistos urticantes como en la mayoría de los cnidarios, en la producción de una potente toxina de una alta complejidad conocida como palitoxina (Mebs, 1998; Roca, 2014). La inexistencia de un gran número de depredadores adaptados a estas defensas químicas de los zoantideos facilita el estudio de las especies como bioindicadores, ya que limita el número de factores que influyen en su crecimiento y dispersión. Se requieren estudios adicionales que analicen la concentración de nutrientes en las localidades de estudio, así como las principales interacciones interespecíficas, para afianzar la utilización de *P. canariensis* y *P. caribaeorum* como especies indicadoras de cambio climático en Canarias.

A pesar de todas las limitaciones anteriores, el presente estudio permite establecer un punto inicial en el seguimiento del tamaño de las colonias de *P. canariensis* y *P. caribaeorum*, con vistas a interpretar posibles tendencias futuras en un contexto de cambio climático. De igual forma, y teniendo en cuenta la escasa abundancia de *P. caribaeorum* en el intermareal de la isla de Tenerife, se establece el estado actual de distribución de las colonias de esta especie, de utilidad para interpretar cualquier avance de sus poblaciones en relación a los cambios esperados en las temperaturas. En este sentido, es de especial relevancia para futuros estudios en esta línea de investigación desarrollar métodos que permitan el registro *in situ* de las temperaturas, para poder valorar con mayor exactitud el efecto de las variaciones locales de temperatura sobre el crecimiento de estas especies. Finalmente, se necesita un marco temporal más amplio para corroborar los patrones observados en este trabajo y evaluar de forma definitiva la idoneidad de las especies evaluadas como indicadores de cambio climático.



Conclusiones

Conclusiones

1. *Palythoa canariensis* presentó un patrón de crecimiento estacional diferente entre las localidades estudiadas en la isla de Tenerife, siendo más variable en la vertiente norte, de aguas más frías.
2. Los mayores incrementos en número de pólipos de las colonias de *P. canariensis* se obtuvieron al norte de Tenerife, en especial en La Punta del Hidalgo, durante el periodo de aumento primaveral de la temperatura del mar, reflejando las apetencias de la especie por aguas más cálidas. Además, el incremento en nutrientes típico de finales de invierno puede haber influenciado a los dinoflagelados simbioses, incrementando y su aporte fotosintético a las colonias.
3. *Palythoa caribaeorum* no presentó una estacionalidad marcada en el crecimiento de sus colonias, probablemente porque su localización en la vertiente suroeste de Tenerife, con las aguas más cálidas de la isla, determina que el crecimiento no se vea limitado.
4. Teniendo en cuenta la estabilidad observada en el crecimiento de las colonias de *P. caribaeorum*, así como su distribución restringida en el intermareal de Tenerife (vertientes suroeste y sureste), el registro de cualquier avance de sus poblaciones, en especial hacia zonas del norte de la isla, puede ser de utilidad para interpretar los procesos de cambio climático, más que los cambios temporales en el tamaño de las colonias.
5. La tasa de crecimiento de *P. canariensis* y la distribución de colonias de *P. caribaeorum* en plataformas del intermareal de Tenerife podrían verse favorecidos en un escenario futuro de incremento de las temperaturas por los procesos de cambio climático, alterando el funcionamiento de los ecosistemas locales.
6. Las características biológicas y ecológicas de *P. canariensis* y *P. caribaeorum*, incluidos sus patrones de crecimiento, sus distribuciones, la escasez de depredadores y sus defensas químicas, junto a su sensibilidad a los cambios de temperatura, las convierten en perfectas candidatas como bioindicadoras de los procesos de cambio climático. Sin embargo, se necesita un marco temporal más amplio para evaluar de forma definitiva su idoneidad, a fin de confirmar y esclarecer los patrones de crecimiento registrados en este estudio preliminar.

Conclusions

1. *Palythoa canariensis* showed contrasting seasonal growth patterns among study sites of Tenerife island, being more variable on the northern coast, characterized by colder waters.
2. The greatest increases in the number of polyps of colonies of *P. canariensis* were recorded on the northern coast of Tenerife, especially in La Punta del Hidalgo site, during the increase in sea temperature in spring, showing the species' affinities for warmer waters. Moreover, the increase in nutrients supply typical of late winter may have influenced symbiotic dinoflagellates, increasing their photosynthetic contribution to the colonies.
3. *Palythoa caribaeorum* did not show a marked seasonality in the growth pattern of the colonies, probably because its location in the warmer waters off the southwestern coast of Tenerife, determined that growth was not limited.
4. Considering the observed stability in the growth pattern of colonies of *P. caribaeorum*, as well as their restricted distribution in the intertidal of Tenerife (southwestern and southeastern coasts), the record of any population increases, especially towards northern areas of the island, can be useful to better understand climate change processes, rather than using seasonal changes in colonies sizes
5. The growth rate of *P. canariensis* and the distribution of colonies of *P. caribaeorum* in intertidal platforms of Tenerife could be favored in a future scenario of increased sea water temperatures due to climate change processes, altering the functioning of local ecosystems.
6. The biological and ecological inherent features of *P. canariensis* and *P. caribaeorum*, including their growth patterns, their distributions, the scarcity of predators and their chemical defenses, together with their sensitivity to temperature changes, make them suitable candidates as indicators species of climate change processes. However, longer studies are needed to conclude about their suitability, and clarify the growth patterns recorded in this preliminary study.



Bibliografía

- Acosta, A., Sammarco, P. W., & Duarte, L. F. (2001). Asexual reproduction in a zoanthid by fragmentation: The role of exogenous factors. *Bulletin of Marine Science*, *68*(3), 363–381.
- Anderson, M. J. (2001). Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *58*(3), 626–639. <https://doi.org/10.1139/f01-004>
- Anderson, M. J. (2005). PERMANOVA Permutational multivariate analysis of variance. *Austral Ecology*, 1–24. <https://doi.org/10.1139/cjfas-58-3-626>
- Anderson, M. J., & Robinson, J. (2003). Generalised discriminant analysis based on distances. *Australian and New Zealand Journal of Statistics*, *45*, 301–318. <https://doi.org/10.1111/1467-842X.00285>
- Arístegui, J., Sangrá, P., Hernández-León, S., Cantón, M., Hernández-Guerra, A. et al. (1994). Island-induced eddies in the Canary islands. *Deep-Sea Research Part I*, *41*(10), 1509–1525. [https://doi.org/10.1016/0967-0637\(94\)90058-2](https://doi.org/10.1016/0967-0637(94)90058-2)
- Barton, E. D., Aristegui, J., Tett, P., Canton, M., García-Braun, J. et al. (1998). The transition zone of the Canary Current upwelling region. *Progress in Oceanography*, *41*(4), 455–504. [https://doi.org/10.1016/S0079-6611\(98\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S0079-6611(98)00023-8)
- Bastidas, C., & Bone, D. (1996). Competitive strategies between *Palythoa caribaeorum* and *Zoanthus sociatus* (Cnidaria: Anthozoa) at a reef flat environment in Venezuela. *Bulletin of Marine Science*, *59*(3), 543–555.
- Benavides Ballesteros, H. O., & León Aristizabal, G. E. (2007). Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático. *Ideam*, 1–102. <https://doi.org/IDEAM-METEO/008-2007>
- Braun, J.J. 1980. Estudios de producción en aguas de las Islas Canarias. 1. Hidrografía, nutrientes y producción primaria. *Bol. Int. Esp. Oceanogr.*, *5* (285): 149-154.
- Brito, A., Falcón, J. M., & 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*, 515–526.
- Brito, A., Clemente, S., & Herrera, R. (2011). On the occurrence of the African hind, *Cephalopholis taeniops*, in the Canary Islands (eastern subtropical Atlantic): Introduction of large-sized demersal littoral fishes in ballast water of oil platforms? *Biological Invasions*, *13*(10), 2185–2189. <https://doi.org/10.1007/s10530-011-0049-0>
- Brito, A., López, C., Ocaña, Ó., Herrera, R., Moro, L. et al. (2017). Colonización y expansión en Canarias de dos corales potencialmente invasores introducidos por las plataformas petrolíferas. *Vieraea*, *45*(October), 65–82. <https://doi.org/0210-945X>
- Burnett, W. J., Benzie, J. A. H., Beardmore, J. A., & Ryland, J. S. (1997). Zoanths (Anthozoa, Hexacorallia) from the Great Barrier Reef and Torres Strait, Australia: Systematics, evolution and a key to species. *Coral Reefs*, *16*(1), 55–68. <https://doi.org/10.1007/s003380050060>
- Carricart-Ganivet, J. P., Cabanillas-Terán, N., Cruz-Ortega, I., & Blanchon, P. (2012). Sensitivity of calcification to thermal stress varies among genera of massive reef-building corals. *PLOS ONE*, *7*(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0032859>
- Clemente, S., Hernández, J. C., Rodríguez, A., & Brito, A. (2010). Identifying keystone predators and the importance of preserving functional diversity in sublittoral rocky-bottom areas. *Marine Ecology Progress Series*, *413*, 55–67. <https://doi.org/10.3354/meps08700>
- Clemente, S., Rodríguez, A., Brito, A., Ramos, A., Monterroso, Ó. et al. (2011). On the occurrence of the hydrocoral *Millepora* (Hydrozoa: Milleporidae) in the subtropical eastern Atlantic (Canary Islands): Is the colonization related to climatic events? *Coral Reefs*, *30*(1), 237–240. <https://doi.org/10.1007/s00338-010-0681-7>
- Cooke, J., & Zeeman, E. C. (1976). A clock and wavefront model for control of the number of repeated structures during animal morphogenesis. *Journal of Theoretical Biology*, *58*(2), 455–476. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(76\)80131-2](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(76)80131-2)
- Costa, D. L., Gomes, P. B., Santos, A. M., Valença, N. S., Vieira, N. A. et al. (2011). Morphological plasticity in the reef zoanthid *Palythoa caribaeorum* as an adaptive strategy. In *Annales Zoologici Fennici* (Vol. 48, No. 6, pp. 349-358). Finnish Zoological and Botanical Publishing.
- Costa, C. F. C., Sassi, R., Lira, K. G., La Jeunesse, T. C., & Fitt, W. K. (2013). Seasonal changes in zooxanthellae harbored by zoanths (Cnidaria, Zoanthidea) from coastal reefs in northeastern Brazil. *Panamjas*, *8*(4), 253–264.
- De León, A. R. y J. G. Braun. (1973). Ciclo anual de la producción preeciliar y su relación con los nutrientes en aguas

BIBLIOGRAFIA

- Canarias. Bol. In.sf. Esp. Oceanogr., 167; 1-24.
- Doty, M. S., & Oguri, M. (1956). The island mass effect. *ICES Journal of Marine Science*, 22(1), 33-37.
- Fadlallah, Y. H., Karlson, R. H., & Sebens, K. P. (1984). A comparative study of sexual reproduction in three species of Panamanian zoanths (Coelenterata: Anthozoa). *Bulletin of Marine Science*, 35(1), 80-89.
- Fine, P. V. A., Daly, D. C., Muñoz, G. V., Mesones, I., & Cameron, K. M. (2005). The Contribution of Edaphic Heterogeneity To the Evolution and Diversity of Burseraceae Trees in the Western Amazon. *Evolution*, 59(7), 1464. <https://doi.org/10.1554/04-745>
- Fujii, T., & Reimer, J. D. (2011). Phylogeny of the highly divergent zoanthid family Microzoanthidae (Anthozoa, Hexacorallia) from the Pacific. *Zoologica Scripta*, 40(4), 418-431. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6409.2011.00479>.
- Gerhardt. 2002. IRONMENTAL MONITORING – Vol. I – Bioindicator Species and Their Use in Biomonitoring – A.Gerhardt©Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) BIOINDICATOR SPECIES AND THEIR USE IN BIOMONITORING
- Ginsburg, R. N. (1994). Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History. In *Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs: Health, Hazards and History* (p. 420 pp.).
- Glynn, P. W. (1996). Coral reef bleaching: Facts, hypotheses and implications. *Global Change Biology*, 2(6), 495-509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.1996.tb00063.x>
- González, J. A., Triay-Portella, R., Escribano, A., & Cuesta, J. A. (2017). Northernmost record of the pantropical portunid crab in the eastern Atlantic (Canary Islands): natural range extension or human-mediated introduction? *Scientia Marina*, 81(1), 81. <https://doi.org/10.3989/scimar.04551.17B>
- González-Delgado, S., López, C., Brito, A., y Clemente, S. (2018). Efectos de la comunidad marina de dos zoántidos coloniales en hábitats intermareales de las Islas Canarias. *Estudios Regionales en Ciencias Marinas*.
- Harley, C. D. G., Hughes, A. R., Hultgren, K. M., Miner, B. G., Sorte, C. J. B. et al. (2006). The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecology Letters*, 9(2), 228-241. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00871.x>
- Hernández, J. C., Clemente, S., Girard, D., Pérez-Ruzafa, Á., & Brito, A. (2010). Effect of temperature on settlement and postsettlement survival in a barrens-forming sea urchin. *Marine Ecology Progress Series*, 413, 69-80. <https://doi.org/10.3354/meps08684>
- Huang, Y. C. A., Hsieh, H. J., Huang, S. C., Meng, P. J., Chen, Y. S. et al. (2011). Nutrient enrichment caused by marine cage culture and its influence on subtropical coral communities in turbid waters. *Marine Ecology Progress Series*, 423, 83-93. <https://doi.org/10.3354/meps08944>
- IPCC. (2001). *Climate change 2001: synthesis report*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA (Vol. 40). <https://doi.org/10.5860/CHOICE.40-4660>
- IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. In: Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds) IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Karlson, R. H. (1983). Disturbance and monopolization of a spatial resource by *Zoanthus sociatus* (Coelenterata, Anthozoa). *Bulletin of Marine Science*, 33(1), 118-131.
- Karlson, R. H., Hughes, T. P., & Karlson, S. R. (1996). Density-dependent dynamics of soft coral aggregations: The significance of clonal growth and form. *Ecology*, 77(5), 1592-1599. <https://doi.org/10.2307/2265554>
- Kemp, D. W., Cook, C. B., LaJeunesse, T. C., & Brooks, W. R. (2006). A comparison of the thermal bleaching responses of the zoanthid *Palythoa caribaeorum* from three geographically different regions in south Florida. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 335(2), 266-276. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.03.017>
- Leão Zman. (1996). The coral reefs of Bahia: morphology, distribution and the major environmental impacts. *An Acad Bras Cienc* 68: 439-452.
- Lodge, D. M., Kershner, M. W., Aloï, J. E., & Covich, A. P. (1994). Effects of an omnivorous crayfish (*Orconectes rusticus*) on a freshwater littoral food web. *Ecology*, 75(5), 1265-1281. <https://doi.org/10.2307/1937452>
- Lovejoy, T. (2008). Climate change and biodiversity. *Review of Science and Technology*, 27(2), 1-8. <https://doi.org/10.1098/rspb.2012.1890>
- Martín García, L., Sangil, C., Concepción Francisco, C., y Barquín Diez, J. (2013). Cartografía de las comunidades bentónicas de los fondos litorales de la isla de La Palma. Edita: Consorcio Insular de la Reserva Mundial de la Biosfera La Palma La Palma, Islas Canarias, España
- Mebis, D. (1998). Occurrence and sequestration of toxins in food chains. In *Toxicon* (Vol. 36, pp. 1519-1522). [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(98\)00143-3](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(98)00143-3)

BIBLIOGRAFIA

- Mumby, P. J., Flower, J., Chollett, I., Box, S. J., Bozec, Y.M., et al. (2014). Cambio climático y su efecto sobre los arrecifes coralinos del Caribe. In *Hacia la Resiliencia del Arrecife Cambio climático y su efecto sobre los arrecifes coralinos del Caribe* (pp. 53–63).
- Ong, C. W., Reimer, J. D., & Todd, P. A. (2013). Morphologically plastic responses to shading in the zoanthids *Zoanthus sansibaricus* and *Palythoa tuberculosa*. *Marine Biology*. <https://doi.org/10.1007/s00227-012-2158-4>
- Ono, S., Reimer, J. D., & Tsukahara, J. (2002). Seasonal changes in *Zoanthus* spp. in the infra-littoral zone at Taisho Lava Field, Sakurajima, Kagoshima, Japan. *South Pacific Study*, 22(2), 42.
- Ott, B., & Lewis, J. B. (1972). The importance of the gastropod *Coralliophila abbreviata* (Lamarck) and the polychaete *Hermodice carunculata* (Pallas) as coral reef predators. *Canadian Journal of Zoology*, 50, 1651–1656. <https://doi.org/10.1139/z72-217>
- Pajuelo, J. G., González, J. A., Triay-Portella, R., Martín, J. A., Ruiz-Díaz, R. et al. (2016). Introduction of non-native marine fish species to the Canary Islands waters through oil platforms as vectors. *Journal of Marine Systems*, 163, 23–30. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2016.06.008>
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J., & Hanson, C. E. (2007). IPCC, 2007: Summary for Policymakers. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution Of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (April 2007), 7–22. <https://doi.org/10.2134/jeq2008.0015br>
- Rabelo, E. F., Soares, M. de O., Bezerra, L. E. A., & Matthews-Cascon, H. (2015). Distribution pattern of zoanthids (Cnidaria: Zoantharia) on a tropical reef. *Marine Biology Research*, 11(6), 584–592. <https://doi.org/10.1080/17451000.2014.962542>
- Randall, J. E. (1967). Food habits of reef fishes of the West Indies. *Stud Trop Oceanogr*, 5, 665–847.
- Rau, G. H., McLeod, E. L., & Hoegh-Guldberg, O. (2012). The need for new ocean conservation strategies in a high-carbon dioxide world. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/nclimate1555>
- Reimer, J. D., Ono, S., Fujiwara, Y., Takishita, K., & Tsukahara, J. (2004). Reconsidering *Zoanthus* spp. diversity: molecular evidence of conspecificity within four previously presumed species. *Zoological Science*, 21(5), 517–525. [https://doi.org/Doi 10.2108/Zsj.21.517](https://doi.org/Doi%2010.2108/Zsj.21.517)
- Reimer, J. D., Ono, S., Sinniger, F., & Tsukahara, J. (2008). Distribution of zooxanthellate zoanthid species (Zoantharia: Anthozoa: Hexacorallia) in southern Japan limited by cold temperatures. *Galaxea, Journal of Coral Reef Studies*, 10(2), 57–67. <https://doi.org/10.3755/galaxea.10.57>
- Reimer, J. D., Kim, S., Arai, S., Keshavmurthy, S., & Choi, K. (2016). First records of zooxanthellate *Zoanthus* (Anthozoa: Hexacorallia: Zoantharia) from Korea and Japan (East) Sea. *Marine Biodiversity*, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1007/s12526-016-0567-1>
- Riera, F., Trong, T. T., Sinnapah, S., & Hue, O. (2014). Physical and perceptual cooling with beverages to increase cycle performance in a tropical climate. *PLoS ONE*, 9(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0103718>
- Riera, R., Sangil, C., & Sansón, M. (2015). Long-term herbarium data reveal the decline of a temperate-water algae at its southern range. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 165, 159–165. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.05.008>
- Roca, R. Efecto de palitoxina y dimetilcelecoxib sobre la proteína calcio-atpasa de retículo sarco/endoplásmico Tesis doctoral 2014.
- Root, T., Price, J., Hall, K., & Schneider, S. (2003). Fingerprints of global warming on wild animals and plants. *Nature*, 421(6918), 57–60. <https://doi.org/10.1038/nature01309.1>
- Rotjan, R. D., Dimond, J. L., Thornhill, D. J., Leichter, J. J., Helmuth, B. et al. (2006). Chronic parrotfish grazing impedes coral recovery after bleaching. *Coral Reefs*, 25(3), 361–368. <https://doi.org/10.1007/s00338-006-0120-y>
- Ryland, J. S., & Lancaster, J. E. (2003). Revision of methods for separating species of *Protopalythoa* (Hexacorallia:Zoanthidea) in the tropical West Pacific. *Invertebrate Systematics*, 17(3), 407–428. <https://doi.org/10.1071/IS02008>
- Sangil, C., Sansón, M., Afonso-Carrillo, J., & Martín-García, L. (2010). Extensive off-shore meadows of *Penicillus capitatus* (Udoteaceae, Chlorophyta) in the Canary Islands (eastern Atlantic Ocean). *Botanica Marina*, 53(2), 183–187. <https://doi.org/10.1515/BOT.2010.015>
- Sebens, K. P. (1982). Intertidal distribution of zoanthids on the Caribbean coast of Panamá: effects of predation and desiccation. *Bulletin of Marine Science*, 32(1), 316–335.
- Simberloff, D., & Stiling, P. (1996). How risky is biological control? *Ecology*, 77(7), 1965–1974. <https://doi.org/10.2307/2265693>

BIBLIOGRAFIA

- Simón Otegui, D. (2015). Datos para el estudio del proceso de tropicalización en Canarias: evaluación de las poblaciones de antozoos indicadores en las principales plataformas intermareales de Tenerife.
- Sorokin, Y. I. (1991). Parameters of productivity and metabolism of coral reef ecosystems off central Vietnam. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 33(3), 259–280. [https://doi.org/10.1016/0272-7714\(91\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0272-7714(91)90056-H)
- Steen, R. G., & Muscatine, L. (1984). Daily budgets of photosynthetically fixed carbon in symbiotic zoanths. *The Biological Bulletin*, 167(2), 477-487.
- Suchanek, T. H., & Green, D. J. (1981). Interspecific competition between *Palythoa caribaeorum* and other sessile invertebrates on St. Croix reefs, U.S. Virgin Islands. In *Proceedings of the 4th International Coral Reef Symposium* (Vol. 2, pp. 679–684).
- Van Camp, L., Nykjaer, L., Mittelstaedt, E., & Schlittenhardt, P. (1991). Upwelling and boundary circulation off Northwest Africa as depicted by infrared and visible satellite observations. *Progress in Oceanography*. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(91\)90012-B](https://doi.org/10.1016/0079-6611(91)90012-B)