

Estudio de las relaciones entre *Dactylopius coccus* y *Dactylopius opuntiae*, y su relación con especies del género *Opuntia* en Canarias en la actualidad y su proyección en el futuro.

Study of the relationships between *Dactylopius coccus* and *Dactylopius opuntiae*, and their relationship with species of the genus *Opuntia* in the Canary Islands currently and their projection in the future.

Trabajo de Fin de Grado

PABLO FRANCISCO ÁLVAREZ PÉREZ

Tutorizado por Francisco José Ferrer Ferrer

Grado en Biología. Junio 2024

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	2
1.- Introducción.....	3
1.2.- Objetivos.....	7
2.-Área de estudio.....	7
3.-Material y métodos.....	8
3.1.- Obtención de datos.....	8
3.2.- Modelización del Nicho Ambiental.....	8
3.3.- Modelización del Nicho Ecológico.....	9
3.4.- Diseño de los indicadores de Comensalismo y Parasitismo.....	9
3.5.- Diseño de los indicadores de Competencia.....	10
4.- Resultados y discusión.....	10
4.1.- Obtención y depuración de datos.....	10
4.2.- Modelos de distribución potencial de especies.....	11
4.3.- Modelos de distribución potencial de especies usando una variable biótica a partir del nicho ecológico.....	16
4.4.- Interacciones con Opuntia: Comensalismo y Parasitismo.....	18
4.5.- Interacciones de competencia entre <i>D. coccus</i> y <i>D. opuntiae</i>	20
5.- Conclusiones.....	22
5.1.- Conclusions.....	23
6.- Bibliografía.....	24

Resumen

El cambio climático afecta directamente a la biodiversidad, especialmente en islas, donde las especies endémicas son más vulnerables. En este caso, hemos estudiado el género *Opuntia* y el Género *Dactylopius*, siendo ambos de carácter introducido, elaborando modelos de nicho ambiental y ecológico, obteniendo la distribución potencial de estas especies en el presente y en 2070 bajo el escenario SSP5-8.5 del IPCC. Se analizaron variables climáticas, la variable biótica de la presencia de opuntia, la interacción entre *Dactylopius* y las *Opuntia* y la interacción entre ambas cochinillas.

Los resultados indican una expansión significativa de las especies de *Opuntia* y *Dactylopius coccus*, mientras que *Dactylopius opuntiae* muestra una distribución más limitada. También se evaluaron las relaciones de comensalismo y parasitismo, y ambas especies están fuertemente relacionadas con *Opuntia*, aunque se debilita para *D. opuntiae* en el futuro. Los modelos sugieren que, bajo el cambio climático, las cochinillas continuarán expandiéndose, afectando a las especies nativas y la estructura de los ecosistemas insulares, aunque *D. coccus* es y será más competitiva que su homóloga.

Abstract

Climate change directly affects biodiversity, especially on islands, where endemic species are more vulnerable. In this case, we studied the genera *Opuntia* and *Dactylopius*, both of which are introduced species. We developed environmental and ecological niche models to get the potential distribution of these species in the present and 2070 under the IPCC SSP5-8.5 scenario. We analyzed climatic variables, the biotic variable of *Opuntia* presence, the interactions between *Dactylopius* and *Opuntia*, and between both cochineals.

The results denote a significant expansion of *Opuntia* and *Dactylopius coccus species*, while *Dactylopius opuntiae* shows a more limited distribution. We also estimated the connections of commensalism and parasitism, and both species are explosively related to *Opuntia*, although this relationship weakens for *D. opuntiae* in the future. The models suggest that, under climate change, cochineals will continue to expand, affecting native species and the structure of island ecosystems, although *D. coccus* is and will be more competitive than its counterpart.

1.- Introducción

El Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC, 2022), con la publicación del sexto informe de Evaluación, apunta a las emisiones de CO₂ con origen antropogénico como un factor determinante en el calentamiento global. Desde la revolución industrial, estas emisiones han aumentado drásticamente, siendo las últimas décadas las que registran los datos más alarmantes (Figura 1). Dichas emisiones proceden de modelos de producción y consumo no sostenibles de energía, tierra y recursos. La relación entre el cambio climático y las diferentes alteraciones en el medio, tanto físicas como biológicas, considera que la biodiversidad, el clima, la sociedad y los ecosistemas no son elementos aislados, formando un sistema que depende de todos ellos (IPCC, 2022). En la Figura 1 se observa como el escenario SSP5-8.5 representa un gran aumento tanto en la temperatura del aire como en la emisión de CO₂ atmosférico hasta 2100, alcanzando un aumento de 5°C y 130 GtCO₂/yr respectivamente.

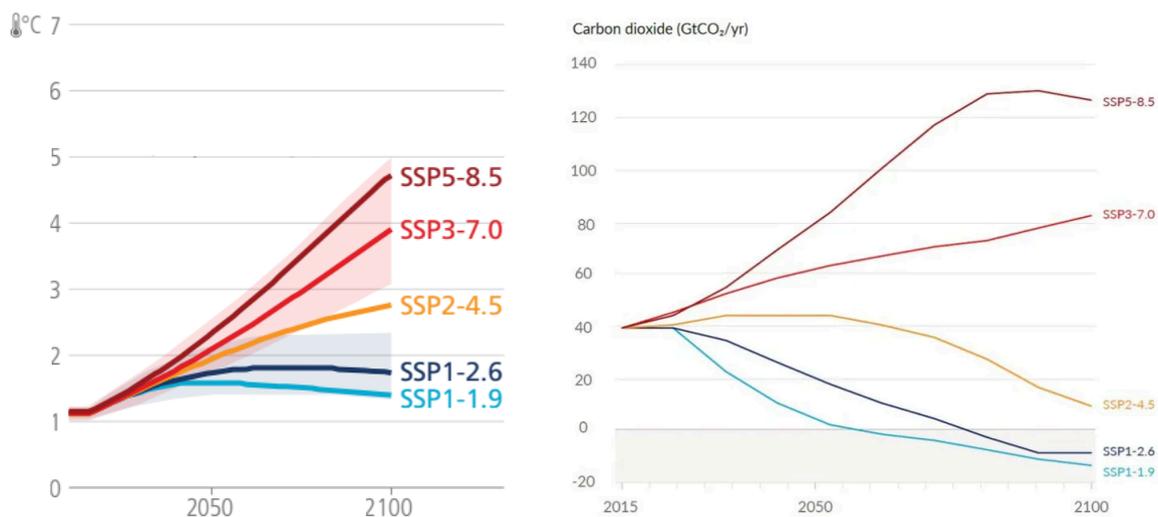


Figura 1: A la izquierda se representa el aumento de la temperatura del aire en cada escenario entre los años 2000 y 2100. A la derecha la emisión de dióxido de carbono atmosférico en partes por millón entre 2000 y 2100 para distintos escenarios.

Varios estudios han analizado cómo el cambio climático está impactando el patrimonio natural de España. Uno de los hallazgos más significativos es la forma en que el cambio climático influye en la biodiversidad, conduciendo a cambios en los niveles de crecimiento de las plantas e incluso modificando parámetros fenológicos como la rotación, la floración y la caída de las hojas (Felicísimo, 2011). Acerca del cambio climático global, es importante recordar que las islas se ven altamente afectadas por esta crisis, a pesar de representar menos del 8% de la superficie terrestre (Sayre et al., 2019), pero más del 60% de los eventos de

extinción registrados involucran especies endémicas de estas regiones insulares (Tershy et al., 2015; Whitaker et al., 2017). Este efecto desproporcionado se remonta al aislamiento de las masas de tierra, lo que facilita que sólo unas pocas especies prosperen en estas áreas. Dichas especies son muy sensibles a cualquier cambio en su entorno y fácilmente propensas a la extinción; mucho más que sus primos continentales (Reaser et al., 2007). En particular, las especies exóticas invasoras representan una gran amenaza para las poblaciones nativas de las islas al degradar aún más sus ecosistemas, que ya están en dificultades, a través de la competencia, lo que a veces incluso conduce al reemplazo completo de las especies nativas (González Rodríguez et al., 2010).

Históricamente, la cochinilla de la tunera (*Dactylopius coccus*) ha tenido gran relevancia en Canarias por su gran contenido de carmín y lo que suponía para la economía local en el Siglo XIX (E. Rodrigo, M. Catalá-Oltra y M. Granero, 2010; Cranston, Peter & Gullan, Penny & Williams, Douglas, 2014).

Según análisis filogenéticos tiene origen en sudamérica, pero en época precolombina habría sido transportada hasta norteamérica a través del océano (Rodríguez, L. F., Méndez, M. A., & Niemeyer, H. M., 2001). Esto podría deberse a la baja capacidad de dispersión del género *Dactylopius*, que debido a la biología sésil de las hembras adultas, depende de las etapas ninfales gracias a largos filamentos de cera que utilizan para depositarse al azar en áreas circundantes (Foxcroft, L.C. and J.H. Hoffmann, 2000).

Dactylopius opuntiae, que comparte esta característica, se encuentra rodeada de filamentos céreos rizados, donde se almacenan los pequeños huevos de forma dispersa; en cambio, *D. coccus* produce menor cantidad de cera, y aunque los huevos de ambas especies sean rojos y brillantes, en este caso son más grandes y forman una cadena (E. Rodrigo, M. Catalá-Oltra y M. Granero, 2010).

Como representación del género *Opuntiae* en Canarias se han seleccionado tres de las más predominantes: *Opuntia dillenii*, *Opuntia maxima*, *Opuntia tomentosa*.

Cabe destacar que cualquier especie del género *Opuntia* está sometida al procedimiento previsto en el Real Decreto 570/2020, de 16 de junio (Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias, 2021), dado su carácter de Introducido Seguro Invasor.

Su origen sería Centroamérica y el Caribe, aunque se han introducido y naturalizado de forma cosmopolita como ornamental, destacando América, la cuenca mediterránea, Asia central,

Sudáfrica, Nueva Zelanda y Australia (García Gallo et al., 2009; PIER, 2021). En las islas se establecieron durante el Siglo XIX en las áreas de horticultura, agricultura y jardinería vía escape; y en el caso de *O. dillenii*, los frutos se han usado por sus propiedades hipoglucemiantes. En cuanto a su distribución en el archipiélago, ocupan grandes extensiones en la franja litoral, fundamentalmente en el Tabaibal-Cardonal, gracias a las temperaturas suaves, el ambiente seco y alta exposición solar, donde alteran las estructuras de las comunidades climáticas a nivel hidrológico, de dinámica de nutrientes y minerales, la disponibilidad de luz, cambios de salinidad y, por consiguiente, a las especies endémicas (García Gallo et al., 2009).

En referencia a *D. coccus*, se pueden llegar a producir zonas secas y pudriciones en Opuntia, aunque generalmente no se colapsan los cladodios; siendo la acción de un agente externo introducido por esta cochinilla como responsable de la aparición esporádica de zonas necróticas (E. Rodrigo, M. Catalá-Oltra y M. Granero, 2010).

Con respecto a *D. opuntiae*, los resultados apuntan a una mayor rapidez en aparecer daños, y una virulencia mucho mayor, llevando al colapso total en la gran mayoría de los casos, afectando al crecimiento poblacional y siendo mucho más eficaz actuando de control biológico sobre Opuntia (Hosking, J. R., Sullivan, P. R., & Welsby, S. M. 1994). Debido a esta característica, surgen varias estrategias según se necesite. Es común el uso de *D. opuntiae* como plaga invasora en lugares donde Opuntia se ha extendido sin control, Sudáfrica es un ejemplo (Rule, N. F., Hoffmann, J. P., 2018). En otros contextos como el de Marruecos, dónde el género Opuntia representa un papel esencial para el ecosistema, protegiendo de la desertificación y de la pérdida de biodiversidad, causa daños enormes a nivel biológico y económico (Aalaoui, M. E., Mokrini, F., Dababat, A. A., Lahlali, R., & Sbaghi, M., 2022). Sin embargo, puede controlarse gracias a cultivos de cactáceas resistentes a esta plaga; químicos, como piretroides, organofosforados y aceites minerales; depredadores, tales como Chamaemyiidae, Coccinellidae, Pyralidae y Syrphidae; y, por último, lluvias de alta intensidad dificultan la propagación al arrancar las ninfas de los cladodios (Bouharroud, R., Amarraque, A., & Qessaoui, R., 2016).

El nicho según Hutchinson es el espacio donde se representan los cambios generados por ciertas variables, sean dadas por condiciones ambientales o recursos que afectan al rendimiento de las especies en un determinado momento (Hutchinson G.E., 1957). Dichas variables deben poseer información útil, ausencia de problemas de colinealidad y un bajo

coeficiente de correlación con el resto. El nicho ambiental hace referencia a un modelo de nicho en el que solo se consideran variables climáticas, mientras que el nicho ecológico también contempla variables bióticas. Con dichos modelos de nicho se elaboran mapas de distribución potenciales, que indican las áreas donde se supera el umbral que determina la presencia de la especie. Aplicando este modelo con variables extraídas de un escenario climático concreto, se pueden establecer mapas de distribución potencial en el futuro.

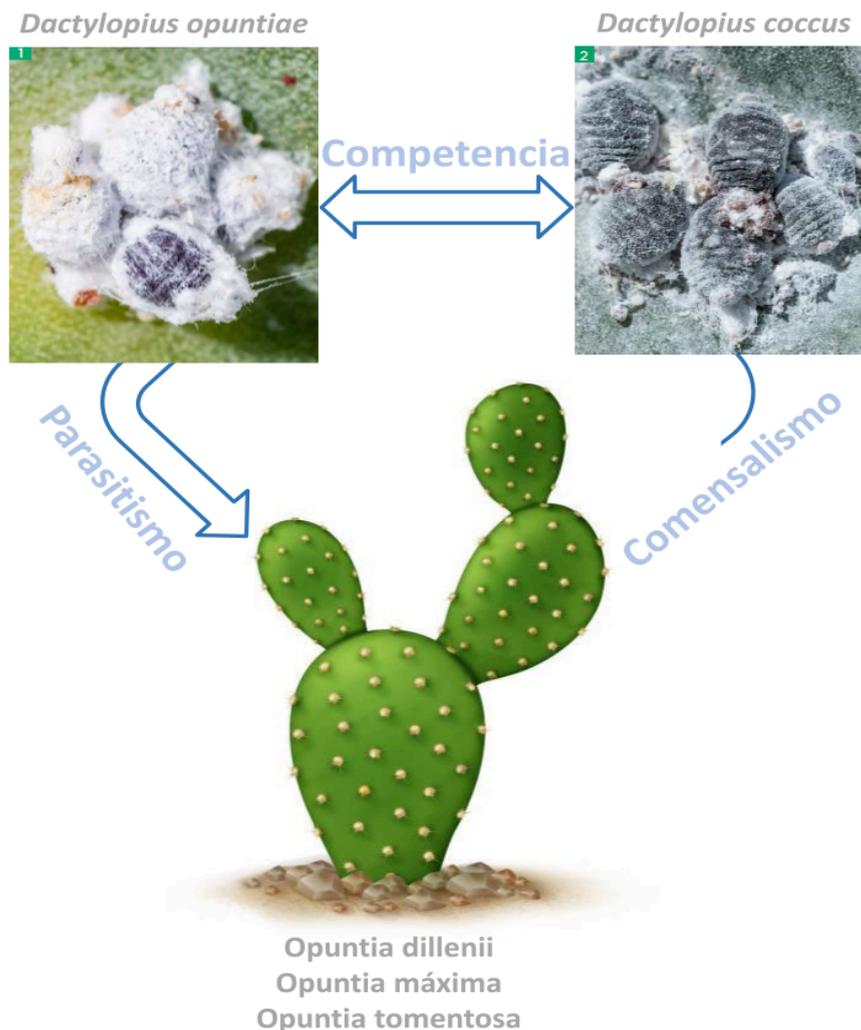


Figura 2: Esquema del estudio realizado.

En este trabajo de Fin de Grado se ha estudiado a las especies invasoras introducidas de cochinilla *Dactylopius opuntiae* y *Dactylopius coccus*, y el género *Opuntia*; *Opuntia dillenii*, *Opuntia tomentosa* y *Opuntia maxima*, tanto la distribución potencial en el presente, como su proyección en el futuro en el escenario SSP5-8.5, analizando las interacciones de dependencia hacia *Opuntia*, la relación de comensalismo y parasitismo que establecen *D.*

coccus y *D. opuntiae* hacia *Opuntiae* respectivamente, y la competencia entre *Dactylopius* (Figura 2).

1.2.- Objetivos

En base a lo anteriormente expuesto, se ha propuesto como objetivo general del presente trabajo analizar el efecto del cambio climático sobre la distribución de dos especies invasoras de cochinilla: *D. opuntiae* y *D. coccus*, que compiten por un recurso común, las especies del género *Opuntiae* de las que se alimentan: *O. dilenii*, *O. tomentosa* y *O. maxima*. *D. opuntiae* establece una relación de comensalismo con las especies del género *Opuntiae*, mientras que *D. coccus* establece una relación de parasitismo con dicho género (Figura 2).

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Elaboración de modelos de nicho ambiental de las especies a estudiar.
- Proyección de los modelos de nicho ambiental sobre el espacio geográfico en el presente y en un escenario de futuro (SSP5-8.5 año 2070).
- Elaboración de modelos de nicho ecológico de las dos especies de cochinilla.
- Proyección de los modelos de nicho ecológico sobre el espacio geográfico en el presente y en un escenario de futuro (SSP5-8.5 año 2070).
- Determinar el umbral de presencia de ambas especies.
- Elaboración de un indicador del efecto de Parasitismo y Comensalismo de las especies del género *Dactylopius* sobre las especies del género *Opuntia* en la actualidad y en un escenario futuro de cambio climático.
- Elaboración de un indicador de competencia entre las especies del género *Dactylopius* en la actualidad y en un escenario futuro de cambio climático.

2.-Área de estudio

El archipiélago canario se sitúa en la zona subtropical frente a la costa de África, se caracteriza por su cercanía al continente africano, que establece un gradiente térmico entre las islas por su cercanía a este. También existe un gradiente altitudinal, conforme más elevada sea una isla mayor será la probabilidad de que se forme un “mar de nubes” por el encuentro a cierta altura de los vientos Alisios del NE y los vientos del NW (aire de subsidencia), que se

sitúa en torno a los 1500 m sobre el nivel del mar en las laderas de barlovento cuando se supera el nivel de condensación. Esto crea unas condiciones climáticas muy diferentes de las laderas de sotavento, presentando mayores niveles de nubosidad y humedad relativa, que aumenta la diversidad de ambientes climáticos. En verano, cuando predomina el Alisio, aumenta la frecuencia del mar de nubes, mientras que en invierno alcanza mayores alturas. La verticalidad de las islas más occidentales genera un gradiente inverso de temperatura por alturas, siendo la zona bajo este ‘mar de nubes’ donde es más evidente este descenso de la temperatura a medida que aumenta la altitud (Ferrer, F.J., Cabrera, P.G., García, A. & Nicolás, J.P., 1996).

3.-Material y métodos

3.1.- Obtención de datos

Los datos bioclimáticos han sido descargados de la base de datos WorldClim 1.4. Para los datos del presente, han sido utilizados los datos disponibles para el periodo 1970-2000, provenientes de datos climáticos reales y seleccionado aquellos que tienen una escala de aproximadamente 1 km² (30 segundos de arco) (Fick y Hijmans, 2017) (Figura 3).

Los datos del escenario de futuro SSP-8.5 se han obtenido promediando los 17 modelos climáticos globales (GCM) de las proyecciones climáticas del CMIP5, que se utilizaron en el informe de la Quinta Evaluación del IPCC.

Se estima la correlación entre pares de variables bioclimáticas del presente utilizando la librería usdm en el lenguaje de programación R v.4.1.2. (Naimi et al., 2014), obteniendo el factor de inflación de la varianza (VIF) para cada par de variables. Se consideran variables no correlacionadas entre sí aquellas que tienen un coeficiente de correlación $\leq 0,8$ con el resto de variables.

3.2.- Modelización del Nicho Ambiental

Los modelos de nicho ambiental de las especies se han realizado por Maxent 3.4.2., usando el algoritmo de máxima entropía y haciendo 10 réplicas por especie, para obtener un promedio lo más preciso posible. Se elaboran dos modelos únicamente con las capas bioclimáticas, el primero usando datos referentes a la actualidad, mientras el segundo hace una proyección para el 2070 con los datos de un escenario SSP5-8.5 AR5 del IPCC (IPCC, 2014). A partir de

estos modelos de nicho se elaboran los modelos de distribución potencial de cada especie, tanto para el presente como para las proyecciones en 2070 en el escenario SSP5-8.5.

3.3.- Modelización del Nicho Ecológico

El modelo de nicho ecológico se crea incluyendo los modelos de distribución potencial de opuntia como factor biótico usando QGIS 3.16.16., generando un modelo de distribución potencial para cada especie de cochinilla en el presente y su proyección para el 2070 en el escenario SSP5-8.5 usando variables climáticas y la variable biótica.

3.4.- Diseño de los indicadores de Comensalismo y Parasitismo

Para estudiar las relaciones de comensalismo y parasitismo de *D. coccus* y *D. opuntiae* es necesario hacer una conversión en los mapas de distribución potencial partiendo de representarse variables continuas, hasta representarse como variables discretas debido al uso de un umbral de presencia y la superposición de los modelos de nicho climático y nicho ecológico (Figura 3).

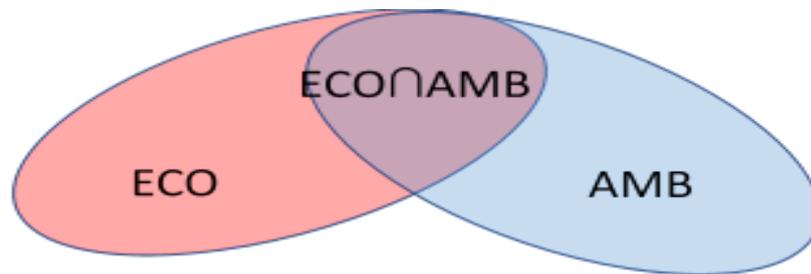


Figura 3: Modelo para determinar la intensidad entre la variable ecológica (*Opuntia*), y ambas especies de *Dactylopius* a partir de las áreas de distribución potencial.

$$Int = (ECO \cap AMB + ECO - AMB) / (ECO \cap AMB + ECO + AMB)$$

Int.: Intensidad de la interacción de parasitismo o comensalismo.

ECO: Área de distribución potencial de la especie en base a su nicho ambiental.

AMB: Área de distribución potencial de la especie en base a su nicho ecológico.

Si la intensidad es -1 la interacción es muy débil.

Si la intensidad es 1 la interacción es muy fuerte.

3.5.- Diseño de los indicadores de Competencia

En el diseño experimental de la relación de competencia entre ambas *Dactylopius* se utilizan sus modelos de distribución potencial referente al nicho ambiental superpuestos, tanto en el presente como su proyección para el 2070 en el escenario SSP5-8.5 (Figura 4).

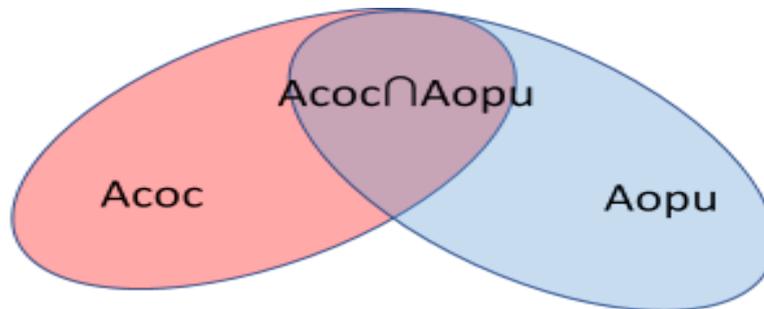


Figura 4: Competencia entre dos especies estimada a partir de sus respectivas áreas de distribución potencial

$$acoc,opu = (Acoc - Aopu) / (Acoc \cap Aopu + Acoc + Aopu)$$

acoc,opu: Índice de competencia

Acoc: Área de distribución potencial de *D. coccus*

Aopu: Área de distribución potencial de *D. opuntiae*

Si el índice de competencia tiene signo + la especie *D. coccus* es más competitiva que *D. opuntiae* y viceversa

4.- Resultados y discusión

4.1.- Obtención y depuración de datos

Los datos exportados desde Biocan (Banco del Inventario Natural de Canarias), los puntos de ocurrencia de cada especie son depurados, descartando aquellos puntos que caen en zonas erróneas como el mar, o bien, aquellos con poca fiabilidad o información útil.

De las 19 variables incluidas, no se ha usado la variable 14 por carecer de información significativa, además de desechar 14 de las 18 restantes por problemas de colinealidad. Las variables restantes:

Variabes	VIF
Bio02	1.677113
Bio03	3.574014
Bio05	4.354340
Bio15	1.547286

Tabla 1: Se representan las variables y sus respectivos VIF o Factor de la Inflación de la Varianza, un índice que mide cuánto aumenta la varianza (el cuadrado de la desviación estándar de la estimación) de un coeficiente de regresión estimado debido a la colinealidad.

En cuanto a la correlación entre variables, la mínima correlación ocurre entre las variables 15 y 02: -0.09927012, y la máxima correlación entre las variables 05 y 03: 0.7617141, siendo menor a 0,8 y válidas ambas.

4.2.- Modelos de distribución potencial de especies

El nicho ambiental se refiere al conjunto de variables bioclimáticas que repercuten directa o indirectamente en las especies a estudiar. En este caso se ha elaborado con las cinco especies anteriormente descritas.

Model parameters	Dact_opu	Dact_coc	Opun_dill	Opun_max	Opun_tom
# Training samples	101	37	110	347	18
# Test samples	11	4	12	39	2
# Background points	9892	9892	9892	9892	9892
Regularized training gain	1,74	1,09	1,01	0,67	0,68
Training AUC	0,92	0,89	0,87	0,82	0,87
AUC Standard Deviation	0,039	0,061	0,046	0,030	0,064
Entropy	7,5	8,1	8,2	8,5	8,5
Equate entropy of thresholded and original distributions					
Logistic threshold	0,13	0,18	0,18	0,18	0,18
Predicted Area (fraction)	0,18	0,34	0,37	0,51	0,51

Tabla 2: Tabla generada por Maxent tras la depuración de los datos del nicho ambiental.

En la figura 5 destacamos el ‘Training AUC’ cuyo umbral se establece en 0’75 para determinar si una variable es apta para un modelo de predicción ambiental. Ninguna de las cinco especies tiene un AUC inferior al umbral establecido, por lo que son válidas para el

modelo. En cuanto al umbral o ‘Logistic threshold’, todas las especies tienen un umbral de 0,18 excepto *D. opuntiae*, cuyo umbral baja hasta 0,13.

Variables contribution (%)	Dact_opu	Dact_coc	Opun_dill	Opun_max	Opun_tom
BIO2	78,42	70,38	3,36	25,48	40,84
BIO3	17,15	1,62	11,86	23,03	0,30
BIO5	0,40	1,69	74,35	2,56	0,44
BIO15	4,03	26,32	10,43	48,92	58,42

BIO2 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly
 BIO3 = Isothermality (BIO2/BIO7) (×100)
 BIO5 = Max Temperature of Warmest Month
 BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)

Tabla 3: Tabla generada por Maxent que contiene la contribución de las variables a cada especie: *Dact_opu* (*D. opuntiae*), *Dact_coc* (*D. coccus*), *Opun_dill* (*O. dillenii*), *Opun_max* (*O. maxima*), *Opun_tom* (*O. tomentosa*)

En la Tabla 3 se indican las cuatro variables escogidas para este modelo y su contribución a cada especie. La temperatura máxima del mes más cálido, la variable BIO5, es importante para la distribución de *D. opuntiae*. En el caso de *D. coccus* es BIO2, que corresponde a rango diurno medio la de mayor contribución. *O. dillenii* depende en gran medida de BIO5. El coeficiente de variación de la estacionalidad de las precipitaciones, BIO15, es relevante para *O. maxima* y *O. tomentosa*, la cual además es influenciada considerablemente por BIO2

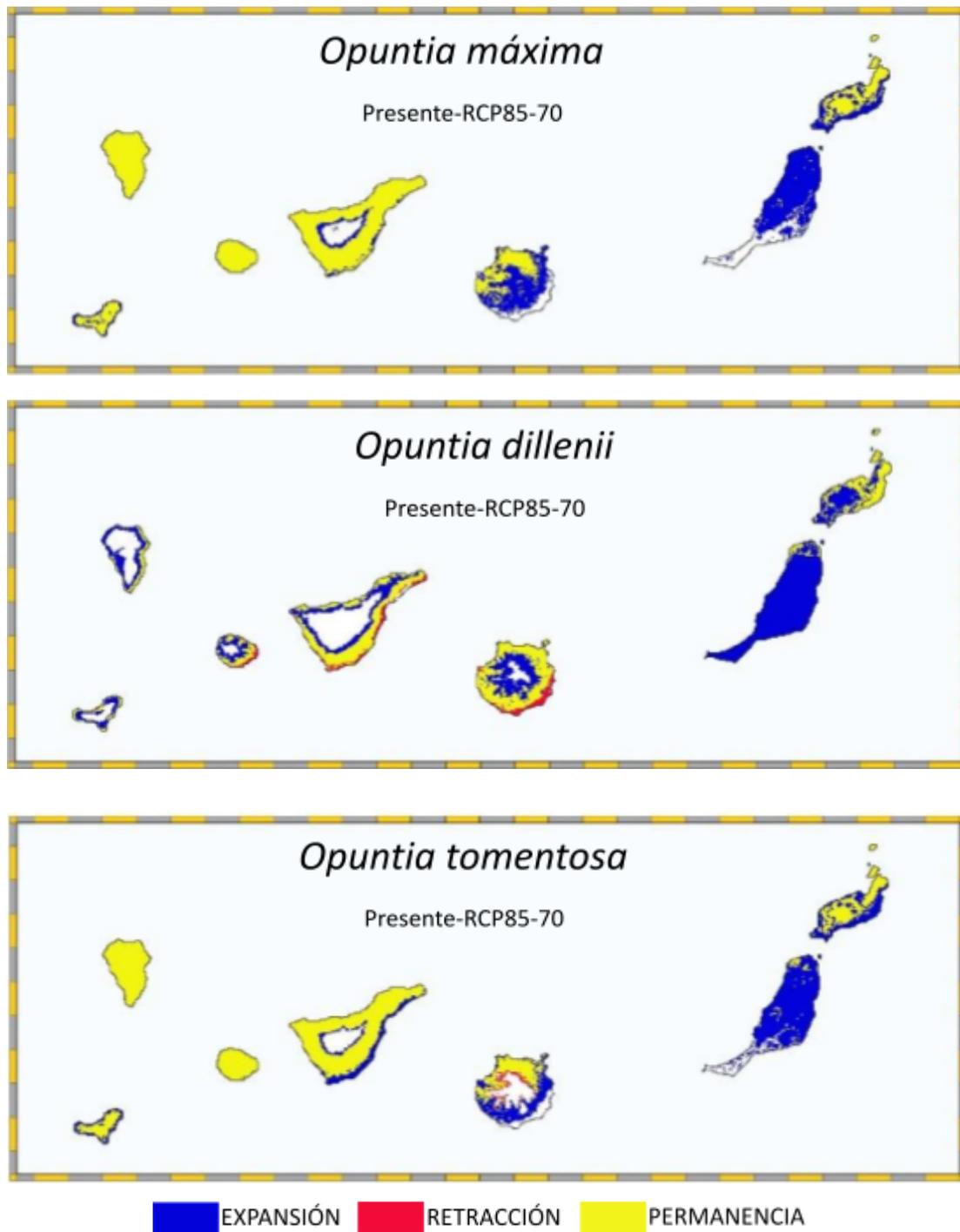


Figura 5: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual de cada especie de *Opuntia* y su proyección en el año 2070 según una RCP-8.5 teniendo en cuenta en el Modelo de Nicho sólo variables climáticas.

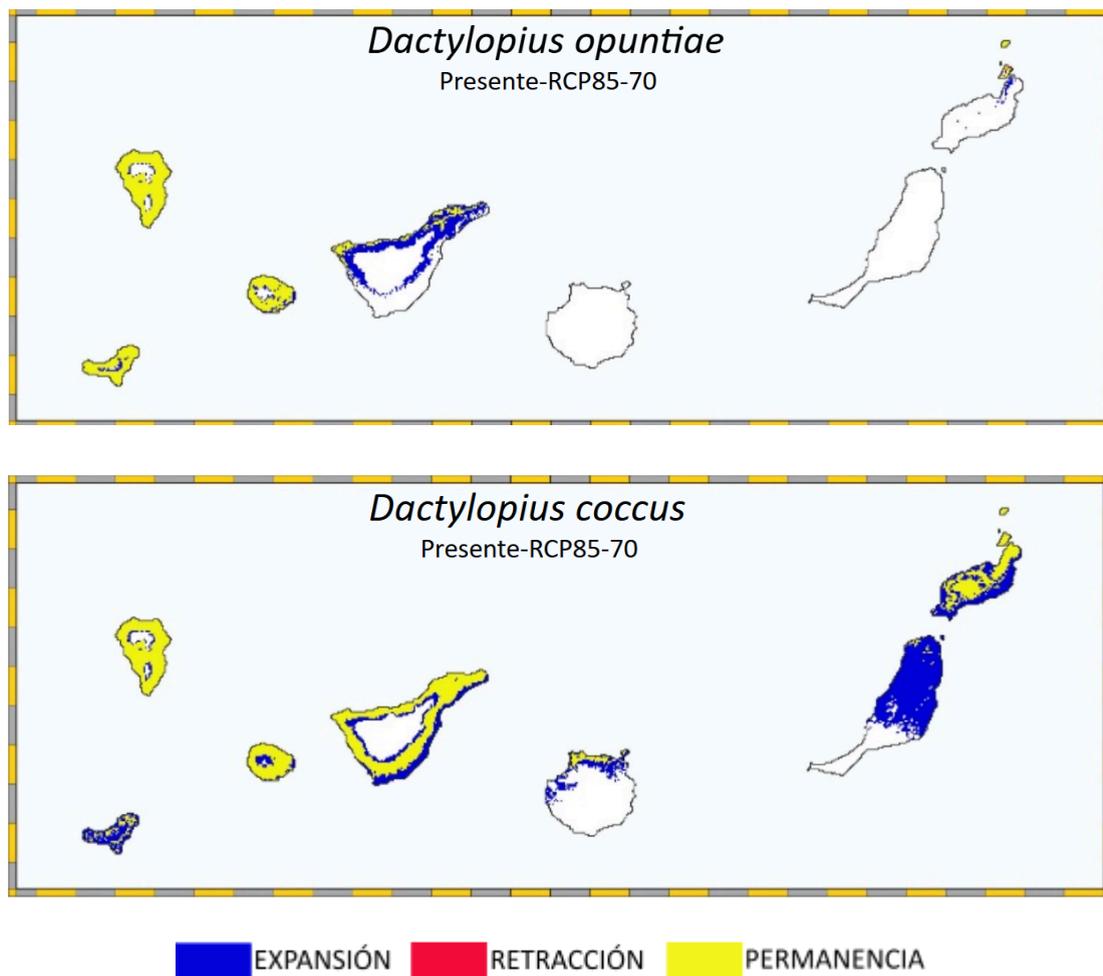


Figura 6: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual de cada especie de *Dactylopius* y su proyección en el año 2070 según una RCP-8.5 teniendo en cuenta en el Modelo de Nicho sólo variables climáticas.

Isla	Area Distr. Potencial (Ha)	Presente → RCP85-2070				
		Dacty_opu	Dact_coc	Opun_dil	Opun_máx	Opun_tom
Hierro	EXPANSIÓN	2.905	20.872	11.773	8.562	10.856
	RETRACCIÓN			229		
	PERMANENCIA	25.840	8.409	8.333		
La Palma	EXPANSIÓN	3.485	5.380	24.853		
	RETRACCIÓN			152		
	PERMANENCIA	59.709	58.800	11.522	92.473	90.179
Gomera	EXPANSIÓN	5.791	6.095	14.170		229
	RETRACCIÓN			4.192		
	PERMANENCIA	27.808	30.323	13.715	88.499	36.646
Tenerife	EXPANSIÓN	65.816	49.308	44.247	21.687	34.479
	RETRACCIÓN			13.089		
	PERMANENCIA	18.154	94.892	74.321	160.398	147.302
Gran Canaria	EXPANSIÓN		23.631	50.963	80.967	51.602
	RETRACCIÓN			13.979		10.221
	PERMANENCIA		8.913	79.884		46.125
Fuerteventura	EXPANSIÓN		115.464	161.918	124.514	137.771
	RETRACCIÓN					
	PERMANENCIA		2.121	6.591	1.138	6.140
Lanzarote	EXPANSIÓN	3.167	41.468	40.184	37.317	39.504
	RETRACCIÓN	452				
	PERMANENCIA	2.711	44.082	45.064	47.932	46.046
Todas las Islas	EXPANSIÓN	81.165	262.218	348.108	273.048	274.440
	RETRACCIÓN	452	0	31.640	0	10.221
	PERMANENCIA	134.221	247.539	239.429	390.440	372.439

Tabla 4: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual por especies y las proyecciones en el año 2070 según una RCP-8.5 teniendo en cuenta en el Modelo de Nicho sólo variables ambientales.

En la actualidad, las especies de Opuntia y *D. coccus* se distribuyen ampliamente en el archipiélago, destacando las islas occidentales, donde ocupan una gran extensión, excepto *O. dillenii*, que se extiende mayormente en áreas de Tenerife, Gran Canaria y Lanzarote. En el caso de *D. opuntiae*, ocupa la mayor parte de la superficie de La Palma, La Gomera y El Hierro (Figura 7 y Figura 8).

En cuanto a la comparativa entre el presente y la proyección en 2070, las cinco especies sufren una gran expansión, y en casos como *D. coccus* y *O. dillenii* el área en expansión es mayor que la que permanece desde el presente, aunque esta última presenta una considerable retracción de área (31600ha). *Opuntia tomentosa* sufre pérdida de área (10200ha), aunque menos relevante. En general ocupan una porción de área similar, excepto por *D. opuntiae* que tiene menor presencia hoy y en 2070 (Tabla 4).

Cabe destacar que *D. opuntiae* no se encuentra en Fuerteventura ni en Lanzarote tanto en la actualidad como en la proyección. Tanto *D. coccus* como *O. maxima* no presentan retracción en ninguna isla, mientras que *O. dillenii* es la que más se retrae y la que más se expande.

Algunas especies han aparecido en la proyección en islas en las que no están presentes actualmente, como *O. maxima* y *O. tomentosa* en El Hierro y *O. maxima* en Gran Canaria.

4.3.- Modelos de distribución potencial de especies usando una variable biótica a partir del nicho ecológico

Modelos de distribución potencial de ambas especies de *Dactylopius* y la comparativa con la proyección en el 2070 teniendo en cuenta variables climáticas y bióticas, siendo estas últimas las distribuciones potenciales de las tres especies de *Opuntia* para establecer si su relación de *Dactylopius* es fuerte para estas especies.

Model Parameters	Dact_opu	Dact_coc
#Training samples	101	37
#Test samples	11	4
#Background points	9892	9892
Regularized training gain	1,78	1,12
Training AUC	0,92	0,89
AUC Standard Deviation	0,038	0,062
Entropy	7,4	8,1
Equate entropy of thresholded and original distributions		
Logistic threshold	0,12	0,18
Predicted Area (fraction)	0,17	0,33

Variables contribution (%)	Dact_opu	Dact_coc
BIO2	57,17	36,17
BIO3	5,95	0,24
BIO5	1,58	4,76
BIO15	1,06	0,66
OPUNTIA	34,24	58,18

Tabla 5 y 6: Tablas generada por Maxent tras la depuración de los datos del nicho ambiental. A la izquierda los parámetros y umbrales del modelo. A la derecha la contribución de las variables por especie de *Dactylopius*.

En la Tabla 5 los AUC de ambas especies son superiores al umbral de 0'7 establecido para saber si son válidas en el modelo. En cuanto a los umbrales logísticos, ambas especies superan el umbral estándar 0'5, confirmando la viabilidad de dichos modelos.

En cuanto a la contribución de cada variable (Tabla 6), para *D. opuntiae* la que más contribuye es BIO2 (Rango diurno medio), aunque *Opuntia* también posee cierta importancia; por otro lado, para *D. coccus*, *Opuntia* es la variable más importante, seguida de BIO2 que aporta similar a *Opuntia* en *D. opuntiae*.

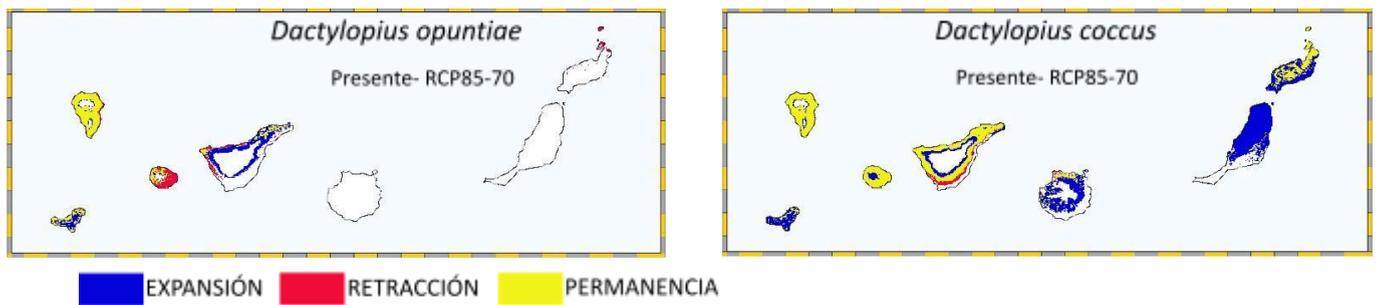


Figura 7: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual de cada especie y su proyección en el año 2070 según una RCP-8.5 teniendo en cuenta en el Modelo de Nicho variables climáticas y la variable biótica de la presencia de Opuntia.

ISLA	Area Distr. Potencial (Ha)	Presente → RCP85-2070	
		Dact_opu	Dact_coc
Hierro	Expansión	12.998	23.013
	Retracción	459	
	Permanencia	14.295	6.268
La Palma	Expansión	3.864	5.304
	Retracción	3.486	
	Permanencia	55.692	58.269
Gomera	Expansión	1.752	5.104
	Retracción	21.335	
	Permanencia	10.131	31.771
Tenerife	Expansión	55.414	33.079
	Retracción	10.798	15.381
	Permanencia	11.542	84.007
Gran Canaria	Expansión		66.228
	Retracción		2.057
	Permanencia		12.578
Fuerte ventura	Expansión		115.686
	Retracción		
	Permanencia		
Lanzarote	Expansión	151	45.171
	Retracción	4.596	
	Permanencia		40.531
Todas las Islas	Expansión	74.179	293.585
	Retracción	40.673	17.439
	Permanencia	91.660	233.423

Tabla 7: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual y su proyección en el año 2070 de Dactylopius según una RCP-8.5 teniendo en cuenta en el Modelo de Nicho tanto variables ambientales como bióticas

En todo el archipiélago *D. opuntiae* está presente en 91000 ha, mientras que *Dactylopius coccus* en más del doble, unas 233000 ha; teniendo en cuenta el modelo para 2070 la extensión de *Dactylopius opuntiae* sería de unas 125000 ha, aunque *Dactylopius coccus* llegaría hasta las 509000 ha, por lo que se determina que en el presente está mucho más extendida y en el futuro la diferencia será mayor entre ambas teniendo en cuenta que las tres especies de Opuntia son una importante variable del modelo (Tabla 7 y Figura 7).

En las islas occidentales, ambas especies tienen una evolución similar, excepto por *D. opuntiae* en La Gomera que sufre una importante retracción, extendiéndose por sus costas y medianías. En las islas orientales, en cambio, la presencia de *D. opuntiae* es anecdótica, prácticamente desapareciendo de Lanzarote, mientras que *D. coccus* se expande enormemente en la vertiente norte de Gran Canaria y Fuerteventura, y en el resto de Lanzarote.

4.4.- Interacciones con Opuntia: Comensalismo y Parasitismo

En este modelo, que a su vez es comparativo del ambiental y ecológico, podemos ver la importancia de la interacción de estas especies de cochinilla con tres especies de Opuntia, tanto en la actualidad como en la proyección para 2070.

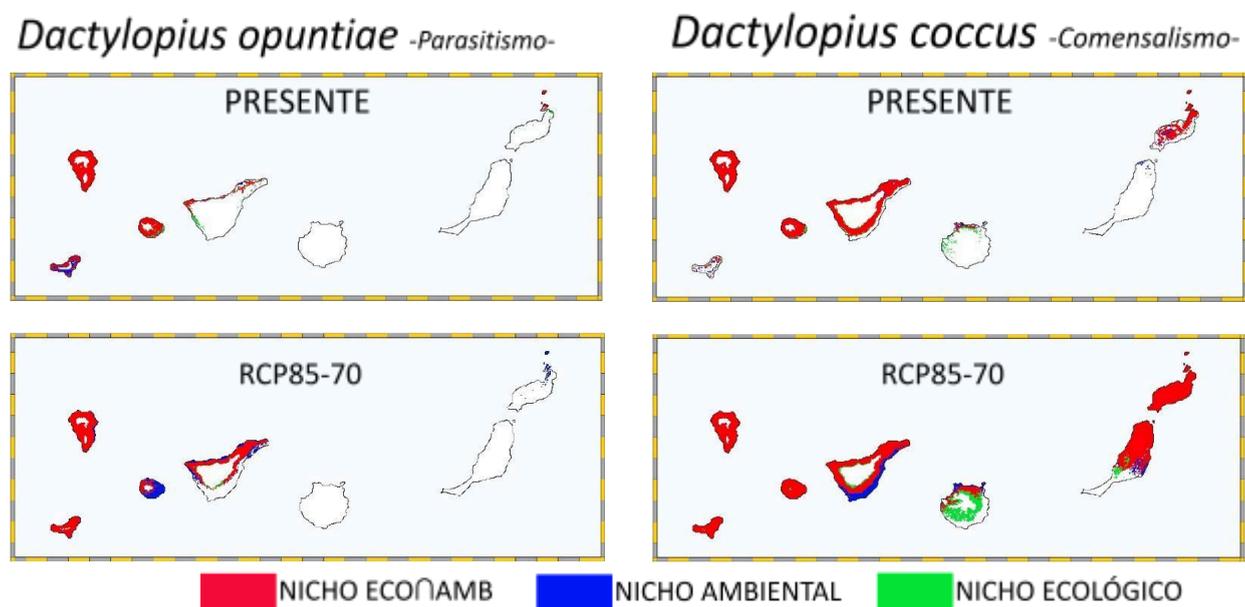


Figura 8: Mapas de Distribución Potencial de *D. opuntiae* y *D. coccus*, tanto en la actualidad como en la proyección para 2070 con RCP 8.5, incluyendo los mapas de distribución potencial tanto con variables climáticas como con variables abióticas y la distribución de Opuntia como biótica.

ISLA	Area Distribución Potencial (Ha)	<i>Dactylopius coccus</i>		<i>Dactylopius opuntiae</i>	
		Presente	RCP85-70	Presente	RCP85-70
Hierro	Nicho ECO∩Nicho AMB	14.753	27.292	5.121	29.280
	Nicho ECO			1.146	
	Nicho AMB	11.086	1.453	3.287	
	Parst / Comen	0,14	0,90	0,31	1,00
La Palma	Nicho ECO∩Nicho AMB	59.178	59.481	58.269	63.573
	Nicho ECO		76		
	Nicho AMB	531	3.713	531	606
	Parst / Comen	0,98	0,88	0,98	0,98
Gomera	Nicho ECO∩Nicho AMB	27.808	11.883	30.018	36.418
	Nicho ECO	3.658		1.753	457
	Nicho AMB		21.716	305	
	Parst / Comen	1,00	-0,29	0,98	1,00
Tenerife	Nicho ECO∩Nicho AMB	15.952	62.237	93.450	107.651
	Nicho ECO	6.388	4.719	5.939	9.435
	Nicho AMB	2.202	21.733	1.443	36.549
	Parst / Comen	0,82	0,51	0,97	0,52
Gran Canaria	Nicho ECO∩Nicho AMB			5.942	24.164
	Nicho ECO			8.846	54.643
	Nicho AMB			3.123	8.380
	Parst / Comen			0,65	0,81
Fuerteventura	Nicho ECO∩Nicho AMB				107.549
	Nicho ECO				8.137
	Nicho AMB			2.121	10.037
	Parst / Comen			-1,00	0,84
Lanzarote	Nicho ECO∩Nicho AMB	3.163	151	39.474	85.249
	Nicho ECO	1.433		755	
	Nicho AMB		5.727	4.457	
	Parst / Comen	1,00	-0,95	0,80	1,00
Todas las Islas	Nicho ECO∩Nicho AMB	120.854	161.044	232.274	453.883
	Nicho ECO	11.479	4.795	18.438	72.672
	Nicho AMB	13.819	54.342	15.267	55.572
	Parst / Comen	0,81	0,51	0,89	0,81

Tabla 8: Diferencia entre el Modelo de Distribución Potencial Actual y su proyección en el año 2070 de *Dactylopius* según una RCP-8.5 teniendo en cuenta la distribución del nicho ambiental y ecológico, incluyendo el indicador de Parasitismo/Comensalismo (Figura 3).

En *D. Opuntiae* en la actualidad, existe una interacción fuerte de parasitismo en La Palma, La Gomera, Tenerife y Lanzarote, mientras que en 2070 esta fuerte interacción aparece en El Hierro y La Palma, con menor intensidad en Tenerife, en La Gomera es débil y en Lanzarote muy débil (Tabla 8 y figura 8).

En *D. coccus* en el presente existe una intensa interacción con el comensalismo en La Palma, La Gomera, Tenerife; un poco más débil en Lanzarote y Gran Canaria; parcialmente fuerte en El Hierro; muy débil en Fuerteventura. En 2070 la relación entre esta cochinilla es muy fuerte en El Hierro, La Palma, La Gomera, Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote, mientras que se debilita en Tenerife.

Contrastando el indicador de comensalismo/parasitismo de ambas especies de *Dactylopius*, podemos decir que la relación entre ellas y *Opuntia* es bastante fuerte en la actualidad, siendo ligeramente mayor en *D. coccus*. Según el modelo para 2070 se debilitaría considerablemente en *D. opuntiae*, mientras que en la otra cochinilla sería levemente más débil que en la actualidad.

4.5.- Interacciones de competencia entre *D. coccus* y *D. opuntiae*

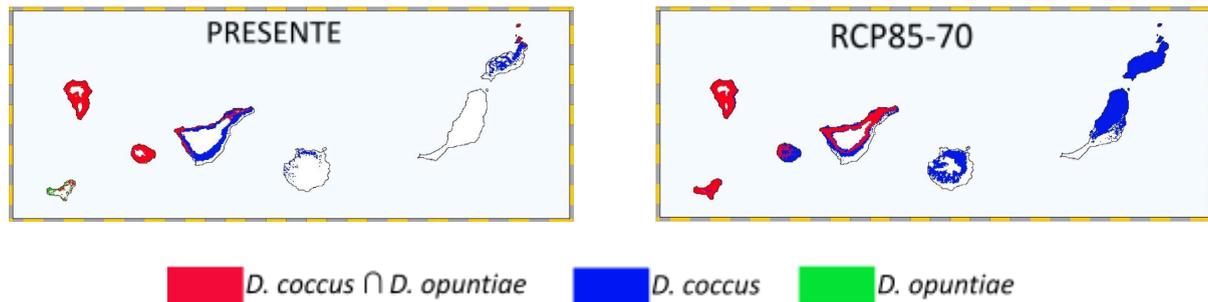


Figura 9: Mapa de distribución potencial de *D. opuntiae* y *D. coccus* en la actualidad y en la proyección para 2070 en el escenario SSP5-8.5.

ISLA	Area Distribución Potencial (Ha)	Presente	RCP85-70
Hierro	Dact_coc ∩ Dact_opu	6.191	27.292
	Dact_coc	76	1.988
	Dact_opu	8.562	
	Competencia	-0,57	0,07
La Palma	Dact_coc ∩ Dact_opu	58.269	59.481
	Dact_coc		4.092
	Dact_opu	909	76
	Competencia	-0,02	0,06
Gomera	Dact_coc ∩ Dact_opu	31.314	11.883
	Dact_coc	457	24.992
	Dact_opu	152	
	Competencia	0,01	0,68
Tenerife	Dact_coc ∩ Dact_opu	21.505	66.956
	Dact_coc	77.883	50.131
	Dact_opu	835	
	Competencia	0,77	0,43
Gran Canaria	Dact_coc ∩ Dact_opu		
	Dact_coc	14.636	78.806
	Dact_opu		
	Competencia	1,00	1,00
Fuerteventura	Dact_coc ∩ Dact_opu		
	Dact_coc		115.686
	Dact_opu		
	Competencia		1,00
Lanzarote	Dact_coc ∩ Dact_opu	4.596	151
	Dact_coc	35.784	85.098
	Dact_opu		
	Competencia	0,89	1,00
Todas las Islas	Dact_coc ∩ Dact_opu	121.874	165.763
	Dact_coc	128.837	360.793
	Dact_opu	10.458	76
	Competencia	0,45	0,68

Tabla 9: Área en Ha que ocupa cada especie y su grado de competencia (Figura 4) en el presente y en la proyección para 2070 en el escenario SSP5-8.5.

En el archipiélago, en el presente y en la proyección para 2070, predomina *D. coccus* frente a *D. opuntiae*, ocupando más extensión en las islas por sí misma, que la que ocupan ambas simultáneamente (Tabla 9 y Figura 9).

En el presente, *D. coccus* es mucho más competitiva en Gran Canaria, Lanzarote y Tenerife; mientras que en La Gomera y La Palma ambas especies tienen una competencia similar; El Hierro es la única en la que *D. opuntiae* es considerablemente más competitiva que su homóloga.

En la proyección para 2070 *D. coccus* domina sobre la otra cochinilla en Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote; es bastante competitiva en La Gomera y Tenerife; y es ligeramente más competitiva en El Hierro y La Palma.

El grado de competencia, y por tanto, la competitividad de *D. coccus* es bastante mayor que la de *D. opuntiae* en el presente, y en el futuro se prevé que aumente considerablemente. Por lo que determinamos que *D. coccus* es y será más competitivo que *D. opuntiae* en las Islas Canarias.

5.- Conclusiones

- Los modelos de nicho ambiental permiten obtener la distribución potencial de ambas especies tanto en el presente como en el escenario de cambio climático SSP5-8.5 para el año 2070. Los resultados indican que ambas especies de *Dactylopius* expanden su área de distribución bajo el escenario de cambio climático proyectado.
- Al añadir la variable biótica de la distribución potencial de *Opuntia* para el nicho ecológico, se observa una modificación significativa en la distribución potencial de *Dactylopius*, por lo que las interacciones ecológicas juegan un papel crucial en la distribución.
- Las proyecciones para el año 2070 con un escenario SSP5-8.5 indican una gran expansión en la distribución de ambas especies de *Dactylopius*, destacando a *D. coccus*. Esta tendencia sugiere que el cambio climático favorece la expansión y permanencia de estas cochinillas en nuevas zonas del archipiélago.
- Las relaciones de parasitismo y comensalismo entre *Dactylopius* y *Opuntia* son bastante fuertes. *D. opuntiae* muestra una fuerte interacción de parasitismo en varias islas actualmente, pero se proyecta una disminución de esta interacción en el futuro, especialmente en Tenerife y Lanzarote. *D. coccus* tiene mayor competitividad sobre *D. opuntiae* tanto en la distribución actual como en la proyección futura. *D. opuntiae* podría experimentar una limitación en su expansión debido a la competencia y cambios climáticos proyectados.
- El cambio climático tendrá un impacto significativo en la distribución de las especies de *Dactylopius* en las Islas Canarias. *D. coccus* muestra una mayor capacidad de adaptación y expansión frente a *D. opuntiae*, que además podría estar relacionado de forma directa o indirecta con la expansión del género *Opuntia* en el archipiélago, ya

que la especie parásita (*D. opuntiae*) sería menos competitiva que la comensalista (*D. coccus*).

5.1.- Conclusions

- Environmental niche models allow us to get the estimation of the potential distribution of both species in the present and in SSP5-8.5 climate change scenario for the year 2070. The results say that both species of *Dactylopius* expand their distribution area under the projected climate change scenario.
- By adding the biotic variable of the potential distribution of *Opuntia* to the ecological niche, there is a significant modification in the potential distribution of *Dactylopius*, indicating that ecological interactions play a crucial role in distribution.
- Projections for the year 2070 under the SSP5-8.5 scenario indicate a large expansion in the distribution of both *Dactylopius* species, particularly *D. coccus*. This trend suggests that climate change favors the expansion and permanence of these cochineals in new areas of the archipelago.
- The relationships of parasitism and commensalism between *Dactylopius* and *Opuntia* are quite strong. *D. opuntiae* currently shows a strong parasitic interaction on several islands, but a decrease in this interaction is projected for the future, especially in Tenerife and Lanzarote. *D. coccus* is more competitive than *D. opuntiae* in both the current distribution and future projection. *D. opuntiae* might experience a limitation in its expansion due to competition and projected climate changes.
- Climate change will have a significant impact on the distribution of *Dactylopius* species in the Canary Islands. *D. coccus* shows a greater capacity for adaptation and expansion compared to *D. opuntiae*, which may also be directly or indirectly related to the expansion of the *Opuntia* genus in the archipelago, as the parasitic species (*D. opuntiae*) would be less competitive than the commensal species (*D. coccus*).

6.- Bibliografía

- Aalaoui, M. E., Mokrini, F., Dababat, A. A., Lahlali, R., & Sbaghi, M. (2022). Moroccan entomopathogenic nematodes as potential biocontrol agents against *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae). *Scientific Reports*, 12(1).
- BDBC, 2021. Gobierno de Canarias. Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias (<http://biodiversidadcanarias.es/biota>)
- Bernie R. Tershy, Kuo-Wei Shen, Kelly M. Newton, Nick D. Holmes, Donald A. Croll (2015). The Importance of Islands for the Protection of Biological and Linguistic Diversity, *BioScience*, Volume 65, 592–597.
- Bouharroud, R., Amarraque, A., & Qessaoui, R. (2016). First report of the *Opuntia cochineal* scale *Dactylopius opuntiae* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Morocco. *Eppo Bulletin*, 46(2), 308-310.
- Cranston, Peter & Gullan, Penny & Williams, Douglas. (2014). A dyeing business? Canary cochineal insects. 38. 202-207.
- del-Arco, M. J., Rodríguez-Delgado, O., Acebes, J. R., García-Gallo, A., Pérez-de-Paz, P. L., González-Mancebo, J. M., & Garzón-Machado, V. (2009). Bioclimatology and climatophilous vegetation of Gomera (Canary Islands). In *Annales botanici fennici* (Vol. 46, No. 3, pp. 161-191).
- E. Rodrigo, M. Catalá-Oltra y M. Granero (2010) 'Estudio comparativo de la morfología y biología de *Dactylopius coccus* Costa y *D. opuntiae* (Cockerell) (Hemiptera: Dactylopiidae), dos especies presentes en la Comunidad Valenciana', *Bol. San. Veg. Plagas*, 36, pp. 23–35.
- Felicísimo, Angel & Muñoz, Jesús & Villalba Alonso, Carlos & Mateo, Rubén. (2011). Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático de la biodiversidad española. I. Flora y vegetación.
- Ferrer, F., Cabrera, P. G., García, A., & de Nicolás, J. P. (1996). Metodología sobre cartografía bioclimática. Valladares Bethencourt, P., Dorta, P., Marzol Jaén, MV (coords.), *Clima y agua: gestión de un recurso climático*, 363-378.
- Foxcroft, L. C., & Hoffmann, J. H. (2000). Dispersal of *Dactylopius opuntiae* Cockerell (Homoptera: Dactylopiidae), a biological control agent of *Opuntia stricta* (Haworth.) Haworth.(Cactaceae) in the Kruger National Park. *Koedoe*, 43(2), 1-5.
- Herrera, R. G., Puyol, D. G., Martin, E. H., Presa, L. G., & Rodríguez, P. R. (2001). Influence of the North Atlantic Oscillation on the Canary Islands Precipitation. *Journal of Climate*, 14(19), 3889-3903.
- Hosking, J. R., Sullivan, P. R., & Welsby, S. M. (1994). Biological control of *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. var. *stricta* using *Dactylopius opuntiae* (Cockerell) in an area of New South Wales, Australia, where *Cactoblastis cactorum* (Berg) is not a successful biological control agent. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 48(3), 241–255.
- Hutchinson, G.E. (1957) Concluding Remarks. *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 415-427.
- IPCC, 2022: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press.
- Reaser, Abigail & Prevatt, Frances & Petscher, Yaacov & Proctor, Briley. (2007). The Learning/Study Strategies of College Students with ADHD. *Psychology in the Schools*. 44. 627 - 638.
- Rodríguez, L. F., Méndez, M. A., & Niemeyer, H. M. (2001). Direction of dispersion of cochineal (*Dactylopius coccus* Costa) within the Americas. *Antiquity*, 75(287) 73-77.
- Roger Sayre, Deniz Karagulle, Charlie Frye, Timothy Boucher, Nicholas H. Wolff, Sean Breyer, Dawn Wright, Madeline Martin, Kevin Butler, Keith Van Graafeiland, Jerry Touval, Leonardo Sotomayor, Jennifer McGowan, Edward T. Game, Hugh Possingham (2019). An assessment of the representation of ecosystems in global protected areas using new maps of World Climate Regions and World Ecosystems, *Global Ecology and Conservation*, Volume 21.

Rule, N. F., & Hoffmann, J. (2018). The performance of Dactylopius opuntiae as a biological control agent on two invasive Opuntia cactus species in South Africa. Biological control, 119, 7-11.