Sección de Biología
Universidad de La Laguna

Análisis de la distribución potencial de especies representativas de Canarias y su proyección en diferentes escenarios de cambio climático.

Analysis of the potential distribution of representative species of the Canary Islands and their projection in different scenarios of climate change.

Trabajo de Fin de Grado

Mario Brouwer Segura

Tutorizado por Francisco José Ferrer Ferrer

Grado en Biología a septiembre de 2019

Índice

Índice 2

Resumen 3

Abstract 3

1. Introducción 4

2. Material y métodos 7

   2.1. Área de estudio 7

   2.2. Obtención y tratamiento de los datos de ocurrencia y capas ambientales. 7

   2.3. Algoritmo de modelado de entropía máxima 8

3. Resultados 9

   3.1. Resultados del modelado 9

   3.2. Distribución actual y potencial futura 11

4. Discusión 15

5. Conclusión 16

Agradecimientos 16

Bibliografía 17

Resumen

La evaluación de impactos del cambio climático se ha convertido en nuestros tiempos en una necesidad para el reconocimiento de posibles escenarios futuros, en los que se pueden ver en juego la integridad de hábitats, zonas de importancia ecológica o la persistencia de especies vegetales como nos incumbe en nuestro estudio La utilización de herramientas de modelado de nichos ecológicos juega un importante papel en la previsión y construcción de estos escenarios y lo que su transformación conlleva, lamentablemente no son muy abundantes, sobre todo para las especies más raras y que se estudien menos, donde casi son inexistentes. En este estudio se pretende valorar si los datos de ocurrencia facilitados por el Banco de datos de biodiversidad de canarias (BDBC) y las capas de las variables bioclimáticas de WorldClim permiten elaborar modelos de distribución potencial de especies con la suficiente capacidad predictiva como para permitir valorar la variación del impacto del cambio climático sobre la distribución de dichas especies del archipiélago canario**.** El algoritmo de modelado del nicho utilizado fue MaxEnt (Método de máxima entropía), con esta herramienta se obtuvieron los nichos potenciales para 14 especies de plantas vasculares representativas de distintos pisos bioclimáticos y con importancia en las islas canarias. El escenario escogido fue GISS-E2-R y para el modelo climático se tomó en cuenta una trayectoria de concentración de gases de efecto invernadero de RCP 4.5 (Ruta de concentración representativa). Se obtuvieron modelos con capacidad predictiva significativa con la que se evaluaron los impactos del cambio climático en las especies en nuestras islas.

Abstract

Nowadays, the study of climate change´s impact has become a necessity to acknowledge the possible scenarios from the future. In these scenarios, researchers will monitor habitats´integrity, areas of ecological importance or vegetal species´persistence; subjects of our research. The use of specialized apps for ecological niche modelling plays an important role for forecast and structure of these scenarios and the meaning of scenarios´ development. In this study, it will be assessed if data of species´ presence which are found in Atlantis 3.0 database are appropriate for modelling development. In order to assess the data it was used the maximum entropy method (MaxEnt) (Phillips, Dudik, & Schapire, 2019) to model the potential niche focus on 14 important plants in Canary Islands, such *as Pinus canariensis, Phoenix canariensis, Euphorbia canariensis*

and some invasive species *as Pennisetum canariensis* among other species, these species are used for the climatic model GISS-E2-R's climatic scene of 2070 with a RCP 4.5 (Representative Concentration Pathway). The achieved models had predictive capability that was used to assess the impacts of climate change on the species of Canary Islands.

1. Introducción

Las proyecciones de los escenarios de cambio climático en el futuro ponen de manifiesto alteraciones en la distribución de las especies, se espera que haya alteraciones en el área geográfica de las especies y se traduzca en una pérdida de biodiversidad en los ecosistemas forestales en el futuro (Corvalán, 2005).

Para entender cómo estos cambios pueden afectar a los ecosistemas canarios es necesario disponer de datos espacialmente explícitos sobre la presencia de las especies en las islas, como las que nos ofrece el BDBC (Gobierno de Canarias, 2019) y de capas que representen de modo continuo la variación espacial de variables bioclimáticas, como las facilitadas por la base de datos WorldClim (Fick, 2017; Elith, 2006; Anderson, 2004; Wilson, 2011; Thorn, 2009). El gobierno de Canarias ofrece con su BDBC un registro oficial taxonómico de la biota del archipiélago canario. Que incluye en él el listado y la distribución conocida de especies silvestres de plantas, hongos, animales y demás organismos vivos que de modo regular habitan o se reproducen en el Archipiélago y sus aguas (Gobierno de Canarias, 2019). El pilar del BDBC es el rigor de la información, ofreciendo información avalada por documentos (públicos o inéditos) y por la supervisión de estos por parte de especialistas.

Se han seleccionado 14 especies representativas de distintos pisos bioclimáticos, entre las que se recogen endemismos, invasoras, distintos tipos de niveles de protección y que tenga una amplia representación en las islas, ya que por la naturaleza de los datos que vamos a utilizar, exige que los modelos tengan una extensión archipelágica (Willis, 2002). Estas características han sido recogidas en la tabla 1, que incluye además las abreviaturas que se utilizan.

Tabla 1. Características de las especies de plantas escogidas para el trabajo.

												Nivel de protección	
Especie	Abreviatura	H	P	G	T	C	F	L	Endémico	Origen	Hábitat	F00191	D00736
Bystropogon origanifolius	*By. can*	X	X	X	X	X			End-CA	NS	Lavas históricas y recientes	AIII	
Canarina canariensis	*Ca. can*	X	X	X	X	X			End-CA	NS	Laurisilva termófila	AII	
Erica canariensis	*Er. Can*	X	X	X	X	X	X	X	No-End	NS	Laurisilva termófila	AIII	
Euphorbia lamarckii	*Eu. can*	X	X	X	X				End-CA	NS	Bosque termófilo		Apéndice II
Euphorbia canariensis	*Eu. lam*	X	X	X	X	X	X		End-CA	NS	Tabaibal-cardonal	AII	Apéndice II
Habenaria tridactylites	*Ha. tri*	X	X	X	X	X		X	End-CA	NS	Escarpes rocosos	AII	Apéndice II
Juniperus turbinata ssp. canariensis	*Ju. can*	X	X	X	X	X			No-End	NS	Bosque termófilo	AII	
Ixanthus viscosus	*Ix. vis*	X	X	X	X	X			End-CA	NS	Monteverde arbóreo	AII	
Morella faya	*Mo. fay*	X	X	X	X	X	X	X	No-End	NS	Monteverde arbóreo	AIII	
Opuntia maxima	*Op. max*	X	X	X	X	X	X	X	No-End	ISI	Zonas de cultivo		Apéndice II
Pennisetum setaceum	*Pe. set*	X	X	X	X	X	X	X	No-End	ISI	Herbazales y matorral ruderal nitrófilo		
Phoenix canariensis	*Ph. can*	X	X	X	X	X	X	X	End-CA	NS	Bosque termófilo	AII	
Pinus canariensis	*Pi. can*	X	X	X	X	X			End-CA	NS	Lavas históricas y recientes	AIII	
Viburnum rugosum	*Vi. Rug*	X	X	X	X	X			End-CA	NS	Laurisilva termófila	AIII	

No-End, No endémico; End-CA, Endémico de Canarias; NS, Nativo seguro; ISI, Introducido seguro invasor

F00191: Orden de 20 de febrero de 1991, sobre protección de especies de la flora vascular silvestre de la comunidad autónoma de Canarias. (Anexo I, II y III)

D00736: Instrumento de adhesión de España al Convenio sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de fauna y flora silvestres, hecho en Washington el 3 de Marzo de 1973.(CITES)

Para la obtención de las bases de datos cartográfica relativas a la información bioclimática actual y en diferentes escenarios del futuro se utilizó WorldClim, que nos ofrece un conjunto de capas climáticas globales con una resolución espacial de aproximadamente 1 km^2. Entre el conjunto de datos se incluyen 19 variables bioclimáticas derivadas de datos de temperatura y precipitación (Tabla 2).

Tabla 2. Variables bioclimáticas facilitadas por WorldClim.

Código	**Tipo de variable**
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Rango Diurno Medio (Promedio mensual (temperatura max - temperatura min))
BIO3	Isotermalidad (BIO2 / BIO7) (× 100)
BIO4	Estacionalidad de temperatura (desviación estándar × 100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de precipitación (Coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del barrio más seco
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido
BIO19	Precipitación del barrio más frío

Los datos climáticos actuales fueron extraídos de datos recogidos mensualmente entre los años 1970 a 2000 (Hijmans, 2005). Para los datos futuros se utilizaron los datos del Proyecto de Intercomparación Modelo Acoplado 5 (CMIP5) reducidos, en el marco del Programa Mundial de Investigación Climática (WCRP), el Grupo de Trabajo sobre Modelado Acoplado (WGCM) estableció el CMIP como un protocolo experimental estándar para estudiar la producción de modelos acoplados de circulación general atmósfera-océano (AOGCM). CMIP proporciona una infraestructura basada en la comunidad en apoyo del diagnóstico del modelo climático, validación, intercomparación, documentación y acceso a datos. Entre todos los escenarios que nos ofrece este proyecto nos decantamos por el escenario GISS-E2-R, este utiliza el código atmosférico ModelE en una cuadrícula lat-lon, con 40 capas en la vertical, una parte superior del modelo a 0,1 milibares y que se encuentra acoplado al modelo del océano Russell (1 x 1,25 l32) (Fick, 2017).

En cuanto a la selección de la RCP se eligió la RCP 4.5, esta ruta representa un escenario en las que la fuerza radiativa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero se estabiliza en 4,5 vatios por metro cuadrado, (aproximadamente 600 ppm de CO2) en el año 2100 sin llegar a superar este valor (Figura 1). Las características que definen este escenario están recogidas en (Moss, 2008, 2010). RCP 4.5 se basa en el escenario de estabilización de nivel 3, recogido en (Clarke, 2007). Con detalles sobre los supuestos de control de la contaminación y el CO_2 en (Smith, 2006), e incorporando modelos actualizados del uso de la tierra y carbono terrestre como se indica en (Wise, 2009 a,b; Thomson, 2011).

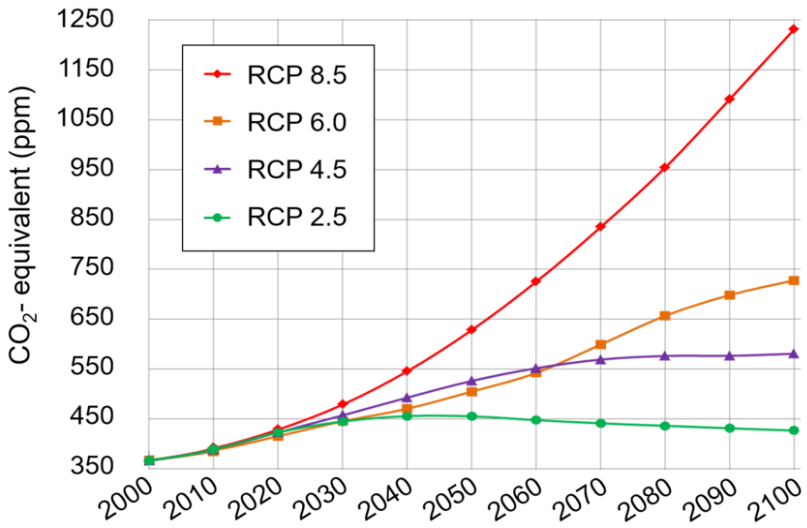

Figura 1 RCP's del quinto informe de evaluación del panel internacional sobre cambio climático

2. Material y métodos

2.1. Área de estudio

El área de estudio seleccionada se encuentra en el marco de las islas canarias, España (29º.41’ N, 27º.63’ S, -18º.16’ O, -13º.33’ E, ocupa un área rectangular de 751.306 hectáreas). La isla más cercana a territorio es la situada más al este, Fuerteventura, a unos 100 km de África, se trata de islas volcánicas activas, siendo la erupción más reciente la del Hierro, en 2011 (submarina). El rango de elevación de las islas es variable, desde islas muy bajas que no alcanzan los 1000 msm a islas muy altas que superan los 3000 msm.

2.2. Obtención y tratamiento de los datos de ocurrencia y capas ambientales.

Para la obtención de los datos de presencia de las especies se consultó el BDBC, esta base de datos nos ofrece varias precisiones, de las cuales solo se tomaron los puntos de precisión 1, la resolución de estos puntos es de 500 metros.

Para la selección de las especies del estudio se tuvieron en cuenta que respetaran alguno de estos criterios: que presentaran alguna figura de protección, que fueran especies endémicas o invasoras, que se representaran todos los pisos posibles de las islas y que al menos estuvieran presentes en 4 islas para que se respetara la escala y se adaptara a la utilización de las variables bioclimáticas a nivel archipelágico. (J Willis, 2002).

Los datos que nos ofrece WorldClim tienen una resolución de 30s (1 km), estos datos no coinciden con los datos de presencia ofrecidos por el BDBC, por ello tuvieron que ser tratados con QGis (Qgis Development Team, 2019) y transformados a una resolución de 500m, lo mismo que con los datos del clima futuro.

El algoritmo de MaxEnt requiere que los datos proporcionados no estén correlacionados entre sí. Por ello, se realizó sobre las 19 variables bioclimáticas una matriz de correlación con R Studio (Team R, 2015), esto nos permite eliminar la información redundante, quedándonos con las correspondientes a un umbral menor a 0.9, teniendo así en cuenta la multicolinealidad (Elith, 2011; Khanum, 2013). Se obtuvo que las variables Bio 1, 2, 3, 4, 7, 12, 15 y 17 eran las que menos información repetida ofrecían de entre las 19 (Tabla 3)

Tabla 3 Correlación de Pearson entre pares de variables

	Bio 01	Bio 02	Bio 03	Bio 04	Bio 05	Bio 06	Bio 07	Bio 08	Bio 09	Bio 10	Bio 11	Bio 12	Bio 13	Bio 14	Bio 15	Bio 16	Bio 17	Bio 18	Bio 19
Bio 01	1																		
Bio 02	0,17	1																	
Bio 03	0,85	0,39	1																
Bio 04	-0,80	0,27	-0,77	1															
Bio 05	0,92	0,51	0,80	-0,52	1														
Bio 06	0,94	-0,15	0,77	-0,93	0,74	1													
Bio 07	-0,43	0,76	-0,30	0,83	-0,04	-0,70	1												
Bio 08	0,96	0,00	0,84	-0,89	0,81	0,97	-0,59	1											
Bio 09	0,96	0,33	0,77	-0,61	0,97	0,83	-0,21	0,87	1										
Bio 10	0,98	0,32	0,80	-0,65	0,97	0,86	-0,24	0,89	0,99	1									
Bio 11	0,99	0,10	0,86	-0,86	0,87	0,97	-0,52	0,98	0,93	0,95	1								
Bio 12	-0,83	-0,35	-0,67	0,51	-0,88	-0,70	0,11	-0,74	-0,87	-0,87	-0,79	1							
Bio 13	-0,80	-0,43	-0,65	0,44	-0,88	-0,64	0,02	-0,68	-0,86	-0,85	-0,75	0,99	1						
Bio 14	-0,49	0,09	-0,39	0,47	-0,41	-0,54	0,37	-0,52	-0,47	-0,46	-0,51	0,48	0,35	1					
Bio 15	0,46	-0,10	0,36	-0,45	0,39	0,52	-0,36	0,51	0,43	0,42	0,48	-0,52	-0,38	-0,87	1				
Bio 16	-0,82	-0,39	-0,67	0,48	-0,88	-0,68	0,07	-0,72	-0,87	-0,87	-0,78	1,00	1,00	0,41	-0,44	1			
Bio 17	-0,63	0,02	-0,47	0,50	-0,57	-0,64	0,34	-0,63	-0,64	-0,62	-0,63	0,64	0,53	0,94	-0,87	0,58	1		
Bio 18	-0,59	-0,24	-0,43	0,32	-0,64	-0,50	0,06	-0,51	-0,65	-0,64	-0,56	0,69	0,65	0,58	-0,56	0,66	0,68	1	
Bio 19	-0,90	-0,23	-0,74	0,66	-0,87	-0,81	0,29	-0,84	-0,89	-0,90	-0,88	0,97	0,94	0,54	-0,55	0,96	0,68	0,67	1

2.3. Algoritmo de modelado de entropía máxima

Aunque no existe un algoritmo mejor que otro, escogimos MaxEnt (Steven J, 2019). Este usa datos de solo presencia, que son los que ofrece el BDBC, y de “background” para predecir la distribución basándose en el principio de la maxima entropía (Elith, 2006). Además, tiene el añadido de ser un software gratuito y haber demostrado ser potente y obtener buenos resultados en otros estudios de esta índole (Rebelo, 2010; García, 2013; Marcer, 2013; palomera, 2012).

Para nuestro modelo se reservó un 30% del conjunto de datos de presencia para la validación del modelo, se mantuvieron los demás parámetros de MaxEnt por defecto. Para evaluar el modelo el propio MaxEnt nos ofrece como pruebas: El test Jacknife que analiza que variables reducen la capacidad de predicción del modelo. Y como estadístico: el AUC (área bajo la curva ROC), que se obtiene de la curva ROC (curva característica de funcionamiento del receptor) (Phillips, 2006). Lo que representa el AUC es el rendimiento del modelo, este va de 0 a 1, indicando 1 un rendimiento perfecto y 0.5 un rendimiento igual al azar (Fielding, 1997). Un valor de AUC igual o mayor a 0.75 indica que las predicciones basadas en el modelo de distribución son lo suficientemente precisas para su uso en planes de conservación y otras aplicaciones en las que se necesite la estimación de la distribución de una especie.

Para la clasificación de estos valores se reagruparon en dos clases de hábitats potenciales, presencia o ausencia, dependiendo del umbral que nos ofrece MaxEnt para

cada especie. Una vez escogidos los umbrales se usó QGIS. como herramienta para el análisis de los resultados de MaxEnt y el cálculo del área en el presente y futuro para cada especie que servirá como herramienta para su comparación.

3. Resultados

3.1. Resultados del modelado

Para valorar la capacidad predictiva del modelo se ha elegido como prueba el área bajo la curva operacional (AUC), este un estadístico da una sola medida de evaluación del poder predictivo para todo el rango de posibles umbrales de presencia de cada especie. Se obtuvieron resultados satisfactorios, con valores de AUC superiores a 0,75, pasando del 0,5 el cual sería un modelo aleatorio. Se observa que para las especies con el menor número de muestras se alcanzan los mayores valores de AUC siendo un caso muy notorio el de *Ixanthus viscosus*, de AUC=0.9843 con 46 con puntos de ocurrencia, *Habenaria tridactylites* con un AUC=0.9507 con 25 puntos; *Canarina canariensis*, de AUC=0.96 con 67 puntos; o *Viburnum rigidum*, de AUC=0.95 con 226 puntos de ocurrencia. El valor de desviación estándar asociado a éstas es relativamente bajo (siendo el mayor el de *Canarina canariensis*: 0.0262) lo cual es algo normal teniendo en cuenta el bajo número de puntos de ocurrencia. Por otro lado, examinando las especies con la mayor cantidad de puntos de ocurrencia. *Phoenix canariensis* con 3523 puntos y con un valor de AUC de 0,79, también tenemos a *Pennisetum setaceum* con 1265 puntos de ocurrencia y un AUC de 0,88, estas especies presentan valores de desviación estándar mucho menores (0.0085 en *Phoenix canariensis*).

Tras verificar que los modelos tienen buen poder predictivo se procedió a la selección de los umbrales de presencia para cada una de las especies (tabla 4), para el conjunto de las especies se escogió el umbral de igualdad de entrenamiento de sensibilidad y especificidad. Excepto para *Euphorbia canariensis* y *Pennisetum setaceum*, en las que se eligió Igualdad de entropía de distribuciones trilladas y originales. Para todos los umbrales de presencia se rechaza la hipótesis nula. Las que mayor p-valor se relacionan con las que menor número de puntos de ocurrencia tiene (*Canarina canariensis, Habenaria tridactylites e Ixanthus viscosus*), pero aun así son todas significativas sobre la hipótesis nula de que los puntos de prueba se predicen no mejor que al azar.

Tabla 4 Selección de los criterios de selección de umbral.

Especie	UC	UL	Descripción	AFP	REO	RTO	P-valor
By. can	12.625	0.165	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.144	0.144	0.115	2,92E-24
Ca. can	17.026	0.182	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.111	0.104	0.125	1,47E-03
Er. arb	19.039	0.316	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.173	0.173	0.118	3,75E-51
Eu. can	20.356	0.287	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.170	0.170	0.220	5,94E-33
Eu. lam	21.794	0.393	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.184	0.184	0.232	8,22E-27
Ha. tri	33.876	0.468	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.104	0.120	0.333	3,01E-02
Ix. vis	18.039	0.179	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.044	0.043	0.167	9,04E-04
Ju. can	20.245	0.325	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.170	0.170	0.167	1,35E-23
My. fay	18.175	0.308	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.126	0.127	0.119	2,00E-49
Op. max	24.094	0.406	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.202	0.203	0.240	4,65E-20
Ph. can	3.694	0.139	Equiparación de entropía de distribuciones trilladas y originales	0.557	0.027	0.028	9,42E-59
Pi. can	21.799	0.357	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.185	0.185	0.315	4,13E-38
Pe. set	8.622	0.169	Equiparación de entropía de distribuciones trilladas y originales	0.388	0.077	0.085	5,05E-35
Vi. rig	13.637	0.191	Igualdad de entrenamiento sensibilidad y especificidad	0.136	0.133	0.115	3,23E-26

UC, Umbral cumulativo; UL, Umbral logístico; AFP, Área fraccional predicha; REO, Radio entredamineto de omisión; RTE, Radio test de omision

Se realizaron test de Jacknife para evaluar la importancia de las variables en el nicho de cada una de las especies, con solo la variable y sin la variable. La prueba consta de dos fases, una primera en la que se elaboran modelos con cada una de las variables por separado para ver que variable tiene una mayor ganancia por sí misma (Tabla 5). Esta será la que aporta más información útil al modelo de nicho de la especie cuando se usa aisladamente, se han marcado en negrita las que más ganancia aportan al modelo por sí mismas, siendo la más repetida (8 veces) la Bio 12 (precipitación anual), aunque también es remarcable que en las especies del Monteverde tiene más ganancia por sí misma la Bio 1 (Temperatura media anual). Y una segunda fase donde se elaboran modelos omitiendo una sola variable en cada modelo. En este caso la que reduzca más la ganancia del modelo cuando es omitida será la variable que contiene más información sobre la distribución de la especie que no está retenida en otras variables (Tabla 6). En este caso se marcó en negrita la variable que mas reducía la ganancia del modelo cuando era omitida, se repite un resultado similar, siendo la Bio 12 la que más se repite (6 veces) y volviendo a ser la Bio 1 la más importante para la predicción de las especies del monte verde, sumándose además ahora una especie invasora, *Pennisetum setaceum.*

Tabla 5 Test Jacknife solo con la variable.

AUC Solo con	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio7	Bio12	Bio15	Bio17
By. can	0,854	0,816	0,858	0,805	0,641	**0,883**	0,730	0,746
Ca. can	0,867	0,675	0,704	0,600	0,772	0,827	0,825	**0,881**
Er. arb	**0,835**	0,745	0,712	0,674	0,638	0,827	0,767	0,773
Eu. can	0,711	0,709	0,723	0,666	0,613	**0,809**	0,711	0,683
Eu. lam	0,706	0,709	0,633	0,651	0,728	**0,799**	0,690	0,600
Ha. tri	0,786	0,810	0,630	0,503	0,764	**0,845**	0,770	0,758
Ix. vis	**0,921**	0,833	0,868	0,796	0,800	0,878	0,855	0,860
Ju. can	0,743	0,666	0,721	0,676	0,585	**0,798**	0,699	0,706
My. fay	**0,855**	0,765	0,728	0,693	0,665	0,829	0,780	0,783
Op. max	0,774	0,673	0,642	0,596	0,635	**0,789**	0,686	0,650
Ph. can	0,705	0,628	0,645	0,594	0,631	**0,753**	0,651	0,626
Pi. can	0,802	0,642	0,764	**0,816**	0,685	0,815	0,788	0,758
Pe. set	0,698	0,697	0,710	0,614	0,688	**0,746**	0,661	0,650
Vi. rig	**0,890**	0,723	0,746	0,729	0,715	0,868	0,806	0,830

Tabla 6 Test Jacknife omitiendo la variable.

AUC Sin	Bio1	Bio2	Bio3	Bio4	Bio7	Bio12	Bio15	Bio17
By. can	0,935	0,937	0,936	0,935	0,937	**0,929**	0,937	0,932
Ca. can	0,948	0,948	0,948	0,946	0,947	0,942	0,946	**0,941**
Er. arb	**0,889**	0,906	0,908	0,905	0,907	0,906	0,907	0,907
Eu. can	0,896	0,898	0,901	0,900	0,900	0,889	**0,878**	0,895
Eu. lam	0,890	0,890	0,890	0,890	0,891	**0,855**	0,887	0,890
Ha. tri	0,913	0,918	0,920	0,918	0,921	**0,895**	0,916	0,912
Ix. vis	**0,975**	0,980	**0,975**	0,980	0,979	0,979	0,979	0,979
Ju. can	0,904	0,908	0,912	0,912	0,912	**0,859**	0,901	0,910
My. fay	**0,917**	0,936	0,938	0,936	0,938	0,933	0,937	0,935
Op. max	0,853	0,852	0,852	0,850	0,851	**0,839**	0,849	0,852
Ph. can	0,788	0,789	0,789	0,790	0,788	**0,770**	0,789	0,789
Pi. can	0,886	0,888	0,887	0,887	0,887	0,883	**0,879**	0,885
Pe. set	**0,862**	0,869	0,872	0,875	0,872	0,863	0,869	0,874
Vi. rig	**0,933**	0,944	0,945	0,944	0,944	0,943	0,944	0,942

3.2. Distribución actual y potencial futura

Nos hemos centrado en la valoración de la diferencia entre las áreas de cada momento en hectáreas Para conocer la evolución del conjunto de especies con respecto al cambio del clima, en las tablas se pueden observar las diferencias entre los dos momentos (Tabla 7).

Tabla 7 Relaciones entre el área y el presente y el futuro (2070)

		LNZ	FTV	GC	TNF	GOM	LP	H
Er. arb	ACTUAL	700	0	550	48361	17093	44775	11060
	70	0	0	19264	29559	0	16831	4719
By. org	ACTUAL	0	0	876	38731	7897	51117	4194
	70	0	0	0	58735	11370	50867	7789
Ca. can	ACTUAL	0	0	17663	39811	3849	11463	0
	70	0	0	0	50291	0	0	0
Ha. tri	ACTUAL	0	0	0	13552	21017	17955	12433
	70	0	0	0	0	0	0	0
Eu. can	ACTUAL	1625	575	48783	55689	3349	524	10486
	70	1301	50	119359	133106	32963	34712	17726
Eu. lam	ACTUAL	0	0	0	84411	0	29642	11010
	70	0	0	0	113726	35037	43776	8414
Op. max	ACTUAL	0	0	0	81819	22566	33612	2197
	70	0	0	3678	58808	21766	36958	9862
Ix. vis	ACTUAL	0	0	100	11429	5923	9240	1373
	70	0	0	0	1175	0	0	0
Ju. can	ACTUAL	2026	100	32222	72155	20267	250	17002
	70	100	0	95017	31207	16894	924	14305
Mi. fay	ACTUAL	0	0	0	34608	16369	33637	8588
	70	0	0	3302	26334	0	1898	2122
Vi. rig	ACTUAL	0	0	7105	28328	10871	28543	7540
	70	0	0	0	18706	649	1998	0
Pi. can	ACTUAL	0	0	17737	67188	5398	30665	7914
	70	0	0	5054	74638	16069	42877	8414
Ph. can	ACTUAL	6202	3502	126865	132680	37036	48945	26838
	70	1025	0	110478	103899	34662	47798	29185
Pe. set	ACTUAL	2026	1476	77955	91522	27140	43776	22244
	70	6477	34219	173597	156286	36087	56137	26014

Área en hectáreas. LNZ, Lanzarote; FTV, Fuerteventura; GC, Gran Canaria; TNF, Tenerife; GOM, Gomera; LP, La Palma; H, Hierro

El resultado para los hábitats potenciales actuales de nuestras especies coincide en gran parte con la ocupación de la vegetación existente que nos ofrece el BDBC. Existen algunas excepciones, en el caso de *Erica arborea* existe población en Lanzarote y Fuerteventura según el BDBC y el modelo no predice una distribución potencial. Lo mismo le ocurre a *Opuntia maxima*. Con *Habenaria tridactylites* hay presencia en Lanzarote, pero no presenta distribución en nuestro modelo. *Morella faya* una de las plantas prototipo del Monteverde presenta datos de presencia en todas las islas, pero para nuestro modelo no presenta una distribución potencial suficiente, quedando fuera de las islas de Gran Canaria, Fuerteventura y Lanzarote. Sin embargo, *Viburnum rigidum*, otra especie del Monteverde canario sí que coincide en cuanto a su distribución actual y el modelo de distribución. De manera contrapuesta tenemos a *Juniperus canariensis*, esta especie según nuestro modelo tiene el potencial para distribuirse por todas las islas del

archipiélago canario, pero no se recogen datos en las islas de Fuerteventura y Lanzarote. *Euphorbia lamarckii*, presenta una distribución potencial en Gran Canaria, pero el BDBC no presenta puntos de presencia en la isla. Para el resto de las especies no nombradas se corresponden la distribución obtenida del BDBC y las distribuciones potenciales resultantes del modelado.

Para una mejor evaluación de los resultados se separará por pisos bioclimático, se utilizará la clasificación bioclimática de los pisos que sigue Rivas-Martínez (Rivas-Martínez, 1995, 1997, 2008). En esta clasificación se establecen cinco grandes macrobioclimas: tropical, mediterráneo, templado, boreal y polar. Nuestro archipiélago presenta el mediterráneo, cuya principal característica es la existencia de un período seco de unos dos meses después del solsticio de verano (Del arco Aguilar, 2008).

Comenzamos por el piso Inframediterráneo, se trata del piso más seco podríamos decir que esta característica hará que este incremente de forma notable su distribución. *Euphorbia canariensis* y *Euphorbia lamarckii*, son especies de los climas más cálidos y áridos del inframediterráneo, los cuales se esperarían en un escenario de cambio climático donde aumentarían las temperaturas y variarían las precipitaciones, en el caso de *Euphorbia canariensis* se adapta a estas predicciones pasando de un área 121.031 ha a 339.216 ha, un comportamiento similar registraría *Euphorbia lamarckii*, de 125.062 ha a 200.953 ha. Esta primera se adapta mejor al aumento de altura que la segunda, un caso excepcional en el que no existían nichos para *Euphorbia lamarckii* y con las previsiones para el futuro sí existiría. Lamentablemente estos avances se verían frenados por la expansión urbana e industrial de las zonas bajas de las islas.

En el piso inframediterráneo seco y el termomediterráneo, característico por su actual situación peligro debido principalmente por efectos antropogénicos, las predicciones para este piso son buenas, se adaptarían de forma positiva excepto en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, estos territorios son nichos potenciales del bosque termoscleróphilo, aunque comparte nicho con el pinar, pudiendo llegar a provocar una ligera disminución del área potencial de este bosque. El área de presencia para *Juniperus canariensis* pasaría de 144.021 ha a 158.446 ha, es característico el caso de Gran Canaria donde debió de ser una especie muy abundante en el pasado, pero hoy en día es muy escasa. Es una de las especies más importantes del bosque termoscleróphilo, pero en esta está actualmente casi sin existencia debido al paso del ser humano por sus nichos, todavía tiene una segunda oportunidad con el escenario de cambio climático de repoblar sus

nichos potenciales. En el caso de los palmerales pasará de 328.068 ha a 327.047 ha, manteniéndose estable en todas las islas excepto en Fuerteventura en la que podrían llegar a desaparecer sus nichos potenciales.

La laurisilva, bosque exclusivo y típico de las zonas orientadas hacia los alisios donde se forman mares de nubes en las islas macaronésicas y de gran importancia en los ecosistemas canarios, cabría esperar la disminución de su área debido a sus requerimientos de climas cálidos, aunque siempre le ampararía el mar de nubes, que actualmente permite el mantenimiento de este bosque, desaparecido en las otras regiones donde existía (Mairal, 2019). Analizando el modelo se prevé una reducción o reajuste, la laurisilva más termófila se podría ajustar mejor a estos escenarios, sin embargo, cabría esperar una reducción de las especies más mesófilas. En nuestro modelo entraban especies como *Viburnum rigidum* pasará de 82.385 ha a 21.353 ha, perdiendo mucho terreno y si tenemos en cuenta el poco espacio del que dispone para crecer pude provocar graves problemas para la vegetación del piso, *Canarina canariensis* otra planta autóctona que crece en el Monteverde pasará de 72.785 ha a 50.290 ha, corroborando la anterior.

El pinar, representado en canarias por *Pinus canariensis* considerado según ley del Gobierno de Canarias, símbolo natural de la isla de La Palma, en esta formación escogimos a la especie más representativa, *Pinus canariensis* que pasará a registrar un área mayor, de 204.921 ha a 214.388 ha, se mantendrá bastante en el conjunto de las islas, menos en Gran Canaria donde caerá a una cifra crítica de 5.000 ha, amenazado por el avance del bosque termoscleróphilo. También se analizó la distribución de *Bystropogon origanifolius*, el poleo de pinar, que obtiene unos resultares similares a los del pinar de 102.814 ha a 128.761 ha, respaldando el mantenimiento de los pinares en las islas canarias.

Como especies importantes de la vegetación se analizaron también especies invasoras. Se eligieron *Pennisetum setaceum* y *Opuntia maxima*, estas especies registraron un comportamiento diferente, *Opuntia maxima* está ya arraigada en la cultura canaria llegándose a tener cultivos de esta para la recolección de la cochinilla y de su fruto, llegando a pasar por autóctona para muchas personas, sin embargo, *Pennisetum setaceum* es una especie invasora incorporada hace poco a las islas y está registrando un avance alarmante, la aparición de mayores ambientes cálidos y secos apoyará su expansión, obteniendo una evolución de 266.138 ha a 488.818 ha, traduciéndose en un peligro para la vegetación de las islas, por si no fuera suficiente se recogerá un

crecimiento en todas las islas, por otro lado tenemos que *Opuntia maxima* se mantendrá de 140.193 ha a 131.072 ha, puede hacer referencia a que la especie lleve ya mucho tiempo en las islas y ya haya creado su nicho y adaptado a él.

4. Discusión

Muchas áreas potenciales de algunas de las plantas se ven amenazadas por factores antropogénicos, este factor de riesgo se ha demostrado a nivel global y puede conllevar a la posible pérdida de la población, con todos los desastres que esto puede provocar (Midgley, 2003). El modelado de poblaciones en peligro podría prevenir y promover la creación de áreas de protección futuras, adaptándose a los posibles escenarios y adquiriendo el conocimiento sobre la posible evolución de estas poblaciones. Otra forma de poder conservar las poblaciones vegetales en riesgo actual podría ser compensando con la introducción de plantaciones para repoblar las zonas en riesgo y repoblar zonas en las que se podría distribuir o se distribuirá gracias al poder predictivo de estos modelos.

Es este estudio se busca el análisis y validación de los datos a los que se tiene acceso a través del BDBC, es una prioridad establecer mecanismos de acceso abierto a colecciones locales y regionales para incrementar el número de registros.

Se ha propuesto que las especies conservan su nicho ecológico en tiempos evolutivos, lo que supone una lenta adaptación a los hábitats nuevos (Peterson, 1999). Si esta tesis es correcta, se sugiere que las especies no pueden mantener poblaciones viables en áreas transformadas, esto sería catastrófico para poblaciones como las de la laurisilva. Por tanto, los grupos taxonómicos que mostraron esta tendencia requieren de una alta prioridad de conservación.

Tras la eliminación de las variables correlacionadas y su análisis en las tablas de la prueba del Jacknife, MaxEnt nos demostró que las variables que más influenciaban eran la temperatura media anual (Bio 1) y la precipitación anual (Bio 12). El escenario de cambio climático propuesto promoverá el aumento de las temperaturas y la creación de ambientes más secos debido a la bajada de las precipitaciones, lo que se traduce en cambios que ponen en peligro a algunas de las poblaciones de nuestro archipiélago y la proliferación de otras especies con mayor capacidad de adaptación como algunas especies invasoras. Es de destacar que gracias a nuestra localización y geografía somos capaces de albergar la laurisilva la cual se vería muy afectada por lo escenarios donde aumenten las

temperaturas, como se pudo observar con los resultados del test, llegando a poder perder el rango óptimo para su presencia.

5. Conclusión

Afirmamos y concluimos que, tanto MaxEnt como los bancos de datos presentes, son herramientas utiles y versatiles en la lucha contra el cambio climatico. Sirviendo como criterio para la gestión ambiental en nuestro archipielago.

Nuestro modelado basado en MaxEnt y realizado con los datos a los que tenemos acceso en el BDBC obtuvo resultados potentes, capaces de predecir distribuciones potenciales futuras y de ser utilizados en planes de conservación, respaldados por los altísimos resultados del estadístico AUC, siendo todos significativos. Incluyendo a demás, que las áreas que se predijeron coinciden en gran medida con las que ocupan en el presente.

Por otro lado, pese a la generalidad de los datos bioclimáticos y la escala mundial que nos ofrece WorldClim se obtuvo un modelado útil y capaz de predecir distribuciones en nuestras islas. Tanto que con los resultados de nuestro modelo en la mano podemos ver, que existe la posibilidad de que en nuestro escenario de cambio climático la distribución fututa de algunas especies peligra llegando a la posibilidad de la pérdida total de estas. O aún peor la proliferación de nuevas especies invasoras como el rabo de gato.

La creación y evaluación de estos modelos es un área de la ecología en auge, estos son útiles para predecir futuros escenarios peligrosos para un área con alguna importancia o alguna especie y tener capacidad de prever y ser capaces de actuar con antelación (Nori, 2011), para conocer las distribuciones potenciales de especies (Raxworthy, 2003) y para la conservación (Londoño-Murcia, 2011). En un futuro si se trabajan en estos datos y se mejora el modelaje de nichos no dudo de que puedan ser de vital importancia la implantación de planes, proyectos que usen como bases este tipo de análisis en las islas (Pearson, 2003).

Agradecimientos

Muchas gracias a mi familia, por apoyarme en este viaje lleno de altibajos, a todos los amigos que me llevo de esta experiencia magnifica y corta de la universidad, a la

residencia universitaria por no solo darme un hogar si no por sentirme como en casa y a mi tutor por el apoyo y el aprendizaje que me ha prestado.

Bibliografía

Anderson, R. P., Martínez-Meyer, E. (2004). Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (Heteromys) of Ecuador. *Biological Conservation*, *116*(2), 167-179.

Clarke L, Edmonds J, Krey V, Richels R, Rose S, Tavoni M (2009) International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 International Scenarios. Energy Economics 31(2): S64-S81.

Collevatti, R. G., De Oliveira, G., Lima-Ribeiro, M., Nabout, J. C., Rangel, T. F., & Alexandre F, J. (2013). Drawbacks to palaeodistribution modelling: the case of South American seasonally dry forests. *Journal of Biography, 40*, 345-358.

Corvalán, C., Hales, S., McMichael, A., Butler, C., McMichael, A., Assessment, M. E., World Health Organization, Sarukhán, J., Millennium Ecosystem Assessment (Program)., Millennium Ecosystem Assessment (Program), & World Health Organization. (2005). *Ecosystems and Human Well-being*. World Health Organization.

Elith, J., H. Graham, C., P. Anderson, R., Dudík, M., Ferrier, S., Guisan, A., et al. (2006). *Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 29(2), 129–151.*

Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2010). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, *17*(1), 43-57.

Fick, S., & Hijmans, R. (2017). Worldclim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International Journal of Climatology.

Fielding, A. H., & Bell, J. F. (1997). A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(1), 38–49.

Garcia, K., Lasco, R., Ines, A., Lyon, B., & Pulhin, F. (2013). Predicting geographic distribution and habitat suitability due to climate change of selected threatened forest tree species in the Philippines. *Applied Geography*, *44*, 12-22.

Gobierno de Canarias. Banco de Datos de Biodiversidad de Canarias (http//:www.biodiversidadcanarias.es\biota) [21/07/2019]. "Los datos extraídos del BDBC corresponden a citas posteriores a 1969, niveles de precisión 1 y 2, nivel de confianza seguro y distribución en celdas UTM de 500"

González-Reimers, C., Machado Carrillo, A., Sansón, M., del Arco Aguilar, M., Brito, A. (2008). *Naturaleza amenazada por los cambios en el clima* (Primera ed.). Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias.

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *25*(15), 1965-1978.

J Willis, K., & J Whittaker, R. (2002). Species Diversity — Scale Matters. *SCIENCE, 295*, 1245-1248.

Khanum, R., Mumtaz, A. S., & Kumar, S. (2013). Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica*, *49*, 23-31.

Khanum, R., Mumtaz, A. S., & Kumar, S. (2013b). Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling. *Acta Oecologica*, *49*, 23-31.

Londoño-Murcia, M. C., & Sánchez-Corder, V. (2011). Distribución y conservación de especies amenazadas en Mesoamérica, Chocó y Andes tropicales. *Revista Mexicana de Biodiversidad 82*, 926-950.

Mairal, M. (2019). Una historia de dos bosques: el ocaso de la vegetación subtropical Afro-Macaronésica. Conservación Vegetal, (23).

Marcer, A., Sáez, L., Molowny-Horas, R., Pons, X., & Pino, J. (2013). Using species distribution modelling to disentangle realised versus potential distributions for rare species conservation. *Biological Conservation*, *166*, 221-230.

Midgley, G.F., Hannah, L., Millar, D., Thuiller, W., Booth, A., 2003. Developing regional and species-level assessments of climate change impacts on biodiversity in the Cape Floristic Region. Biological Conservation 112, 87-97

Moss R, et al. (2008) Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, 132 pp.

Moss R, et al. (2010) The next generation of scenarios for climate change research and assessment. Nature 463:747-756.

Newbold, T. (2010). Applications and limitations of museum data for conservation and ecology, with particular attention to species distribution models. Progress in Physical Geography: Earth and Environment, 34(1), 3–22.

Nori, J., Urbina, C., Loyola, R., Lescano, J., & Leynaud, G. (2011). Climate change and American Bullfrog Invasion: What could we expect in south America?

Peterson, A. T., J. Soberon y V. Sanchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. Science 285:1265-1265.

Peterson, D. B., Peterson, D. B., & Murray, G. C. (2006). Ethics and assistive technology service provision. *Disability and Rehabilitation: Assistive Technology*, *1*(1-2), 59-67.

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3-4), 231-259.

Phillips, S. J., Dudik, M., & Schapire, R. E. (2019). Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). Obtenido de http://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent

Qgis Development Team. (2019). QGIS Geographic Information sistem System. Open

source Geospatial Foundation project. Obtenido de http://qgis.osgeo.org

Raxworthy, C. J., Martinez-Meyer, E., Horning, N., Ronald A, N., Gregory E, S., et al.(2003). Predicting distributions of known and unknown reptile species in Madagascar. *Nature 23*, 837–841.

Rebelo, H., & Jones, G. (2010). Ground validation of presence-only modelling with rare species: a case study on barbastellesBarbastella barbastellus(Chiroptera: Vespertilionidae). *Journal of Applied Ecology*, *47*(2), 410-420.

RIVAS-MARTÍNEZ, S. & S. RIVAS SÁENZ (2008). Centro de Investigaciones fitosociológicas, CIF. www.globalbioclimatics.org

RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1995). Clasificación bioclimática de la Tierra. Folia Botanica Matritensis 16: 1-29 (1995).

RIVAS-MARTÍNEZ, S. (1997). Syntaxonomical synopsis of the North American natural potential vegetation communities I. Itinera Geobotanica 10: 5-148 (Bioclimatic classification system of the World: 10-11).

Sardà-Palomera, F., Brotons, L., Villero, D., Sierdsema, H., Newson, S. E., Jiguet, F. (2012). Mapping from heterogeneous biodiversity monitoring data sources. *Biodiversity and Conservation*, *21*(11), 2927-2948.

Smith SJ, Wigley TML (2006) Multi-Gas Forcing Stabilization with the MiniCAM. Energy Journal SI3:373-391.

Team, R. (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston, MA. Obtenido de http://www.rstudio.com

Thomson, A. M., Calvin, K. V., Smith, S. J., Kyle, G. P., Volke, A., Patel, P., … Edmonds, J. A. (2011). RCP4.5: a pathway for stabilization of radiative forcing by 2100. Climatic Change, 109(1-2), 77–94.

Thorn, J. S., Nijman, V., Smith, D., & Nekaris, K. A. I. (2009). Ecological niche modelling as a technique for assessing threats and setting conservation priorities for Asian slow lorises (Primates:Nycticebus). *Diversity and Distributions*, *15*(2), 289-298.

Wilson, C. D., Roberts, D., & Reid, N. (2011). Applying species distribution modelling to identify areas of high conservation value for endangered species: A case study using Margaritifera margaritifera (L.). *Biological Conservation*, *144*(2), 821-829.

Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Sands R, Smith SJ, Janetos A, Edmonds J (2009a) The Implications of Limiting CO2 Concentrations for Agriculture, Land-use Change Emissions, and Bioenergy. Technical Report. [PNNL-17943].

Wise M, Calvin K, Thomson A, Clarke L, Sands R, Smith SJ, Janetos A, Edmonds J (2009b) Implications of Limiting CO2 Concentrations for Land Use and Energy. Science 324:1183- 1186

Yang, X.-Q., Kushwaha, S. P. S., Saran, S., Xu, J., Roy, P. S. (2013). Maxent modeling for predicting the potential distribution of medicinal plant, Justicia adhatoda L. in Lesser Himalayan foothills. *Ecological Engineering*, *51*, 83-87.