

UNIVERSIDAD DEL MAR

campus Puerto Ángel



Reconstrucción del Nicho Ecológico de la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*) durante el Holoceno

TESIS

Que para obtener el Título Profesional de
Licenciada en Biología Marina

Presenta

Jovana Pérez Padilla

Director

M.A.I.A. Eduardo Juventino Ramírez Chávez

Ciudad Universitaria, Puerto Ángel, Oaxaca, México, 2019.

Resumen

El Holoceno es la época más reciente de la historia, se caracteriza por haber ocurrido justo después del último máximo glacial (UMG) y comprende los últimos 10 mil años, El género considerado más primitivo de las focas actuales es el género *Monachus*, al cual perteneció la foca monje del Caribe (*Monachus tropicalis*), actualmente extinta. Tenía la apariencia típica de una foca de pelaje color rojizo y se distribuía exclusivamente en el Caribe, Golfo de México, y en las Antillas. La mayoría de los estudios que modelan el nicho ecológico de las especies en su mayoría están enfocados a especies terrestres, de ahí la importancia de estudiar el nicho ecológico de especies marinas que existieron en periodos pasados, que ayuden explicar la idoneidad de las variables que favorecen la selección del mismo. En el presente estudio se modeló el nicho ecológico de la foca monje del Caribe utilizando el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt), empleando variables paleoambientales y registros fósiles respectivos al Holoceno. El valor de idoneidad más alto fue de 0.97, donde la foca monje del Caribe demostró mayor afinidad por las zonas cercanas a la costa, este valor fue muy cercano a 1 lo que indica que el modelo se ajustó correctamente, lo que podría explicarse teniendo en cuenta la biología de la especie. El modelado de nicho ecológico combinado con el modelado de escenarios paleoambientales tiene mucho que ofrecer a los diversos aspectos de la biología, ya sea en ámbitos de biogeografía y paleoecología, por mencionar algunas.

Palabras clave: Holoceno, *Monachus tropicalis*, MaxEnt, extinta.

Summary

The Holocene is the most recent epoch in history; which includes the last 10,000 years, the Holocene is characterized by having occurred just after the last glacial maximum (LGM). The genus considered most primitive of the current seals is the genus *Monachus*, to which the monk seal of the Caribbean (*Monachus tropicalis*) belongs. *M. tropicalis* is currently extinct; it had the typical appearance of a reddish fur seal and was distributed exclusively in the Caribbean, Gulf of Mexico, and in the Antilles. Most of the studies that are done to model the ecological niche of the

species are mostly focused on terrestrial species, hence the importance of generating studies that allow the presentation of the ecological niche of marine species in past periods, which helps to explain the suitability of the variables that favor niche selection. In the present study, the ecological niche of the Caribbean monk seal was modeled using the Maximum Entropy algorithm (MaxEnt), using paleoenvironmental variables and the respective fossil record of the Holocene. The highest suitability value was 0.97, where the Caribbean monk seal showed greater affinity for the areas nearest to the coast, this value was very close to 1 which indicates that the model was adjusted correctly, this could be explained taking into account the biology of the species. While there has been an increase in the number of modeling studies, there are not enough studies that are based on marine species and much less on extinct marine species. The ecological niche modeling combined with the modeling of paleoenvironmental scenarios has much to offer the various aspects of biology, whether in the fields of biogeography and paleoecology, to name a few.

Keywords: Holocene, *Monachus tropicalis*, MaxEnt, extinct.

Dedicatoria

A mi familia y seres queridos.

Agradecimientos

A cada uno de los profesores que han compartido conmigo sus conocimientos, ya que, gracias a cada uno de ellos nació la inspiración para estudiar esta carrera.

A la Universidad del Mar, por brindarme la oportunidad de aprender en ella y al Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica por el uso de sus instalaciones.

A mi Director de Tesis, por todo su apoyo y paciencia durante las revisiones, cada uno de mis revisores, por cada una de sus valiosas aportaciones y sus acertados comentarios para la realización de esta tesis, quienes incluso en la distancia me guiaron para la culminación de este proyecto.

A mis padres por su apoyo y amor incondicional, por todas las enseñanzas de vida, por sus consejos y sabiduría; los amo. Mami, muchas gracias por no dejarme rendirme, por responder cada llamada de auxilio, por no dejarme caer. Papi, muchas gracias por tu apoyo, por tus mimos, por todas esas pláticas, por cada “ya falta menos que al principio” cada vez que lo necesité. A mi hermano, Leo, quien siempre me ha inspirado a ser una mejor persona y superarme, te amo Brody.

A mi familia en general por todas las parras y buenos deseos.

A mis amigas, Viri, Ilse, Jazz, Perla, Iwett, Jenny, Yunuhen, Dan; quienes siempre me apoyaron y dieron ánimos para seguir adelante.

A Moana, mi perrita, por todas esas caminatas, que terminaban siendo inspiración para alcanzar mis metas, por no dejarme seguir durmiendo hasta tarde, por llegar a mi vida.

Y, por último, pero no por ello menos importante, a mi novio Chris, quien ha estado a mi lado durante todo este proceso llamado “tesis”, por oírme y apoyarme siempre, por prestarme su hombro para llorar de frustración, por hacerme reír, por motivarme a cumplir mis metas, por todos esos chocolates, por consentirme tanto, pero también por no dejarme conformarme, por impulsarme a ser una mejor versión de mí, por todo tu amor, paciencia y comprensión, ¡te amo!

Índice

1. Introducción	1
1.1 <i>Holoceno</i>	1
1.1.1 <i>Holoceno en el Golfo de México y Caribe</i>	4
1.2 <i>Historia natural del género Monachus</i>	6
1.2.1 <i>Foca monje del Caribe (Monachus tropicalis)</i>	8
1.2.2 <i>Distribución de M. tropicalis</i>	9
1.2.3 <i>Extinción de M. tropicalis</i>	10
1.3 <i>Reconstrucción del Nicho Ecológico</i>	12
1.3.1 <i>Concepto de Reconstrucción</i>	12
1.3.2 <i>Concepto de Nicho ecológico</i>	12
1.3.3 <i>La dualidad de Hutchinson</i>	13
1.3.4 <i>Modelación de nicho ecológico</i>	15
1.3.5 <i>Diagrama BAM</i>	16
2. Antecedentes	20
3. Justificación	24
4. Pregunta de investigación	25
5. Hipótesis	25
6. Objetivos	25
6.1 <i>Objetivo general</i>	25
6.2 <i>Objetivos particulares</i>	25
7. Método	26
7.1 <i>Registros paleobiológicos</i>	26
7.1.1 <i>Fuente de información</i>	26
7.1.2 <i>Control de calidad</i>	26

7.2 Parámetros Oceanográficos del Pasado	27
7.2.1 Fuente de información	27
7.3 Correlación de variables.....	27
7.3.1 Correlación lineal (Pearson).....	28
7.3.2 Correlación espacial (Índice de Moran).....	29
7.4 Modelado	30
7.4.1 Formato de salida	31
7.5 Evaluación del modelo	32
7.5.1 Característica Operativa del Receptor (ROC)	33
7.5.2 Estadístico Bootstrap	34
7.5.3 Estadístico Jackknife.....	34
7.5.4 Random seed	35
7.6 Mapa binario	36
7.7 Determinación del área accesible (M)	38
7.8 Análisis de componentes principales.....	39
7.9 Nicho realizado y Nicho fundamental	39
8. Resultados	40
8.1.1 Registros paleobiológicos	40
8.1.2 Parámetros Oceanográficos del Pasado.....	40
8.2 Caracterización espacio-temporal del nicho ecológico de la foca monje del Caribe durante el Holoceno.....	43
8.3 Identificación de variables correspondientes al nicho ecológico de <i>M. tropicalis</i> durante el Holoceno	44
8.4 Evaluación del modelo del nicho ecológico de <i>M. tropicalis</i>	45
8.6 Reconstrucción del Nicho Fundamental y Realizado de <i>M. tropicalis</i> durante el Holoceno.	48

9. Discusión	52
10. Conclusiones	56
11. Referencias	58
11. Anexos	66

Índice de figuras

Figura 1 Gráfico de la variación de la temperatura de la Tierra	3
Figura 2 Profundidades y edades de indicadores del nivel del mar a través del mar Caribe y Océano Atlántico.....	5
Figura 3 Filogenia del grupo Monachus.....	6
Figura 4 Áreas de distribución del género Monachus	7
Figura 5 Fotografía de un ejemplar de foca monje del Caribe	8
Figura 6 Interpretación de la foca monje del Caribe	9
Figura 7 Distribución de <i>M. tropicalis</i> , según registros fósiles.....	10
Figura 8 Evolución del concepto de Nicho, principales autores	13
Figura 9 Representación del concepto de nicho fundamental y nicho realizado	14
Figura 10 Representación del espacio Ecológico (E), y del espacio Geográfico (G)	15
Figura 11 Diagrama BAM.	17
Figura 12 Proceso para la modelación del nicho ecológico	32
Figura 13 Control de calidad de los registros paleobiológicos	40
Figura 14 Modelado del nicho ecológico para la foca monje del Caribe durante el Holoceno.....	44
Figura 15 Resultados de la prueba de Jakknife.....	45
Figura 16 Gráfico de omisión y comisión.....	46
Figura 17 Gráfico AUC	47
Figura 18 Mapa binario de la distribución de la foca monje del Caribe durante el Holoceno.....	48
Figura 19 Proporción de la varianza explicada por el método de componentes principales.....	49
Figura 20 Modelo del Nicho ecológico de <i>M. tropicalis</i> durante el Holoceno con NicheAnalyst.	50
Figura 21 Nicho fundamental y realizado de <i>M. tropicalis</i>	51

Índice de tablas

Tabla 1 División de Eras Geológicas en Periodos y Épocas.....	2
Tabla 2 Diferencias entre variables scenopoéticas y bionómicas..	19
Tabla 3 Umbral acumulativo.....	37
Tabla 4 Valores para generar el mapa binario.....	37
Tabla 5 Variables paleoambientales con clave.....	41
Tabla 6 Valores de R^2 del análisis de correlación de Pearson	42
Tabla 7 Valores de correlación espacial (índice de Moran)	43
Tabla 8 Cargas de los componentes del análisis de componentes principales..	50