

NICHO ECOLÓGICO DE *Mazama temama* EN EL CENTRO DE VERACRUZ, MÉXICO: IMPLICACIONES PARA SU MANEJO

ECOLOGICAL NICHE OF *Mazama temama* IN CENTRAL VERACRUZ, MÉXICO: IMPLICATIONS FOR ITS MANAGEMENT

Serna-Lagunes, R.¹; López-Mata, L.²; Cervantes-Serna, L.J.³; Gallegos-Sánchez, J.¹; Cortez-Romero, C.⁴; Zalazar-Marcial, E.⁵; Sánchez-Páez, R.⁵; Olgún, C. A.⁵; Salazar-Ortiz, J.^{*5}

¹Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad y ²Posgrado de Botánica, Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, Carr. México-Texcoco Km. 36.5, Texcoco, Estado de México. ³Facultad de Biología, *Campus* Peñuela, Universidad Veracruzana; ⁴Colegio de Postgraduados, *Campus* San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Col. Centro, Salinas de Hidalgo, San Luis Potosí. ⁵Colegio de Postgraduados, *Campus* Córdoba. Km. 348 Carr. Fed. Córdoba-Veracruz. Amatlán de Los Reyes, Veracruz. C.P. 94946.

***Autor responsable:** salazar@colpos.mx.

RESUMEN

El temazate (*Mazama temama*), es un cérvido con uso cinegético histórico no controlado en México. Debido a esta situación y a indicadores demográficos, la IUCN y la NOM-059-SEMARNAT-2010 lo ubican en Peligro y Amenazada (respectivamente). En el estudio de poblaciones es importante conocer la distribución del nicho ecológico de la especie para identificar las condiciones ambientales idóneas para su desarrollo, que deberán incluirse en el diseño de programas de manejo. Para contribuir a esto, se elaboró un modelo de nicho ecológico de *M. temama* para el centro de Veracruz, México, mediante coordenadas geográficas de localidades con antecedentes históricos de caza con el software libre MaxEnt, evaluando 19 variables ambientales y una topográfica, obtenidas de la base de datos WorldClim. Se generó un mapa de distribución del nicho ecológico potencial para el temazate en la zona centro de Veracruz, y se reportan las variables de mayor importancia del nicho para la especie, además de mostrar su evidencia cuantitativa en vida libre y cautiverio mediante cámaras trampa y fotografía directa, con lo cual se corrobora su presencia en la zona. Las implicaciones de este estudio direccionan el planteamiento de estudios demográficos, declaración de zonas de veda, el establecimiento de UMAs para gestión integral del temazate.

Palabras clave: Venado, red brocket, máxima entropía, centro de Veracruz, MaxEnt.

ABSTRACT

Temazate (*Mazama temama*), is a deer with uncontrolled historical hunting use in México. Due to this situation and to demographic factors, the International Union for the Conservation of Nature and the NOM-059-SEMARNAT-2010 place it into the categories of "In Danger" and "Threatened", respectively. In the study of populations it is important to understand the ecological niche of the species in order to know the ideal environmental conditions that should be considered for the

design of management programs. An ecological niche model for *M. temama* was elaborated for central Veracruz, México, through geographical coordinates of localities with historical hunting background, with the free software MaxEnt, evaluating 19 environmental variables and one topographic, obtained from WorldClim Database. An

historical distribution map was obtained, as well as another one of the predicted for temazate; the variables of highest importance of the addition to showing their quantitative evidence in free

ecological niche distribution species niche are reported, in living and captivity, through trail



cameras and direct photography, with which its presence in the zones is corroborated. The implications of this study direct the suggestion of demographic studies, the declaration of closed season zones, and the establishment of UMAs for management and conservation of temazate.

Keywords: deer, red brocket, maximum entropy, central Veracruz, MaxEnt.

INTRODUCCIÓN

Filogenéticamente, diez son las especies que pertenecen al género *Mazama* (Merino y Viera, 2010), siendo el *M. americana* el de mayor rango de distribución, en contraste con las restantes nueve especies que suelen ser endémicas de un país o habitan en más de dos países (Weber y González, 2003). De acuerdo con la revisión taxonómica del grupo *Mazama* spp., basada en datos citogenéticos (Groves y Grubb, 1987), se reconoce que *M. temama* Erxleben, 1777 es la especie que se distribuye en México (Barbanti et al., 2008), y que el territorio mexicano reúne condiciones ambientales adecuadas para persistencia indefinida de *M. americana* (Ceballos et al., 2010). Sin embargo, para *M. temama* en particular para Veracruz, se desconoce la información de los patrones de distribución histórica, potencial y de las condiciones ambientales asociadas con dichos patrones.

La modelación del nicho ecológico tiene distintas aplicaciones (Mateo et al., 2011); una de ellas es la elaboración de mapas de distribución real y potencial de la biodiversidad. En cérvidos, la aplicación del nicho ecológico aporta información valiosa en la toma de decisiones de manejo de las poblaciones y su hábitat (Bolívar, 2009), para su conservación y gestión a través de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA; Yáñez-Arenas et al., 2012; Escalante y Martínez-Meyer, 2013). *M. temama* es un cérvido de amplio interés cinegético, tanto en cacería legalizada y subsistencia (Guerra et al., 2010); es importante en términos ecológicos al formar parte de la cadena alimenticia de felinos (Ávila-Nájera et al., 2011), pero resulta sorprendente la falta de conocimiento en aspectos biológicos (Mandujano, 2004), y principalmente de su biogeografía regional. La bioinformática, como una disciplina de apoyo para el manejo de la biodiversidad, facilita el procedimiento para elaborar el nicho ecológico, generando un diagnóstico rápido, económico y eficiente de la biogeografía

de una o varias especies de interés (Graham et al., 2004). Es relevante mencionar que este reporte es la primera aproximación del nicho ecológico del temazate en el centro de Veracruz. Usando registros de presencia conocida y aplicando el algoritmo de Máxima Entropía (MaxEnt), mediante el cual se predice la idoneidad del ambiente para la distribución del temazate (Elith y Leathwick, 2009), se elaboró un modelo de nicho ecológico potencial de *M. temama*, con el fin de identificar patrones ambientales que condicionan su distribución en el centro de Veracruz, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Georreferenciación

Se preparó un cuestionario con preguntas abiertas aplicado a ocho cazadores que cumplieron los siguientes criterios: a) Mayores de 60 años de edad (por considerar que tienen información histórica); b) Especializados en la cacería de temazate (ya sea con perros entrenados; a la búsqueda por senderos; o atracción con cebo); y c) Al menos han cazado un temazate. Con el cuestionario se obtuvo la localidad donde se cazó el temazate; haciendo una pregunta adicional, se obtuvo la información de la localidad donde algún colega realizó la cacería del mismo (Chávez et al., 2013). Se identificó la localidad reportada por los cazadores y esta fue recorrida; donde se observó la mayor densidad arbórea (considerando que el hábitat del temazate es preferentemente en zonas boscosas y densas; Gallina, 2005), se instalaron cámaras trampa y se tomó la georreferencia (que fueron utilizadas como ocurrencias para elaborar el modelo), la cual fue graficada (López-Collado, 2013), para verificar su correspondencia dentro del territorio político de Veracruz. Se aplicaron 19 capas de información climática de temperatura y precipitación, más una topográfica (modelo digital de elevación) descargadas de <http://www.worldclim.org/> (Hijmans et al., 2005). De estas se hizo un recorte, exclusivamente para Veracruz.

Elaboración del modelo de nicho ecológico

Veinticinco ocurrencias de temazate fueron obtenidas a través de la encuesta realizada a los cazadores; de éstas, se corroboró la presencia en campo de ejemplares *in vivo* que mantienen en cautiverio y tres ejemplares identificados con cámara trampa en uno de los municipios bajo estudio (Figura 1). Como porcentaje aleatorio de prueba se usó el 70% de los registros de ocurrencia equivalente a 18 presencias, y el restante 30% (7 presencias) para evaluar y validar el modelo. Dado que en estas



Figura 1. A-B: Hembra y cría de temazate *Mazama temama* en encierro rústico. C-E: Temazates foto-trampeados en Cerro Acon-tecatl, Zongolica, Veracruz.

dos evaluaciones se determinó que el tamaño de muestra no afectó la predicción del modelo (Figura 2), por tal motivo se utilizó el 100% de los registros

Se aplicó el algoritmo de Máxima Entropía configurado en el software MaxEnt para analizar las condiciones ambientales donde convergen las ocurrencias del temazate (Phillips *et al.*, 2008). El algoritmo utiliza los datos de ocurrencia y ajusta la distribución de probabilidad (maximizando la incertidumbre: entropía) de la(s) ocurrencia(s) de la especie y donde convergen las condiciones ambientales presentes en esa(s) ocurrencia(s), generando un modelo de predicción (Phillips *et al.*, 2004; 2006). La calidad del modelo se evaluó con los valores > 0.9 del área bajo la curva (AUC), que caracteriza el desempeño del modelo. El resultado es una salida gráfica que muestra la capacidad de discrimina-

ción de una presencia (sensitividad) *versus* la capacidad de discriminación de una ausencia (especificidad) (Phillips *et al.*, 2004). Finalmente, se seleccionó la prueba de Jackknife para calcular la importancia relativa de cada variable al modelo, las cuales evidencian los requerimientos ecológicos asociados al área de distribución potencial del temazate (Sokal y Rohlf, 1995; Phillips *et al.*, 2006). El modelo obtenido incluye la probabilidad relativa de la distribución del temazate en el espacio geográfico definido (centro de Veracruz), con valores probabilísticos que indican que la verosimilitud en un pixel representa las condiciones ambientales adecuadas para el nicho del temazate.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La predicción del modelo se evaluó por valores del AUC próximos a 1, indicando un buen ajuste del modelo, mientras que valores cer-

canos a 0.5 indican que no puede discriminar entre datos reales y datos aleatorios (Parolo *et al.*, 2008). En este sentido, los tres modelos: el de control (100%) como los dos de evaluación (70% y 30%), dieron valores del AUC superiores al 0.9 (Figura 2), indicando distribuciones con alto poder predictivo. Es decir, la habilidad del modelo para clasificar las presencias fue consistente en la predicción del nicho ecológico. Los valores del AUC están próximos entre modelo control y los de evaluación (Figura 2), indicando que ambas muestras fueron extraídas verosimilmente de la población y son representativas de la misma, no existiendo ambigüedad en la predicción modelo de nicho ecológico del temazate, considerado como robusto, ya que es escasamente sensible a cambios de la composición muestral (Fielding y Bell, 2007). En términos biológicos, la capacidad del modelo obtenido

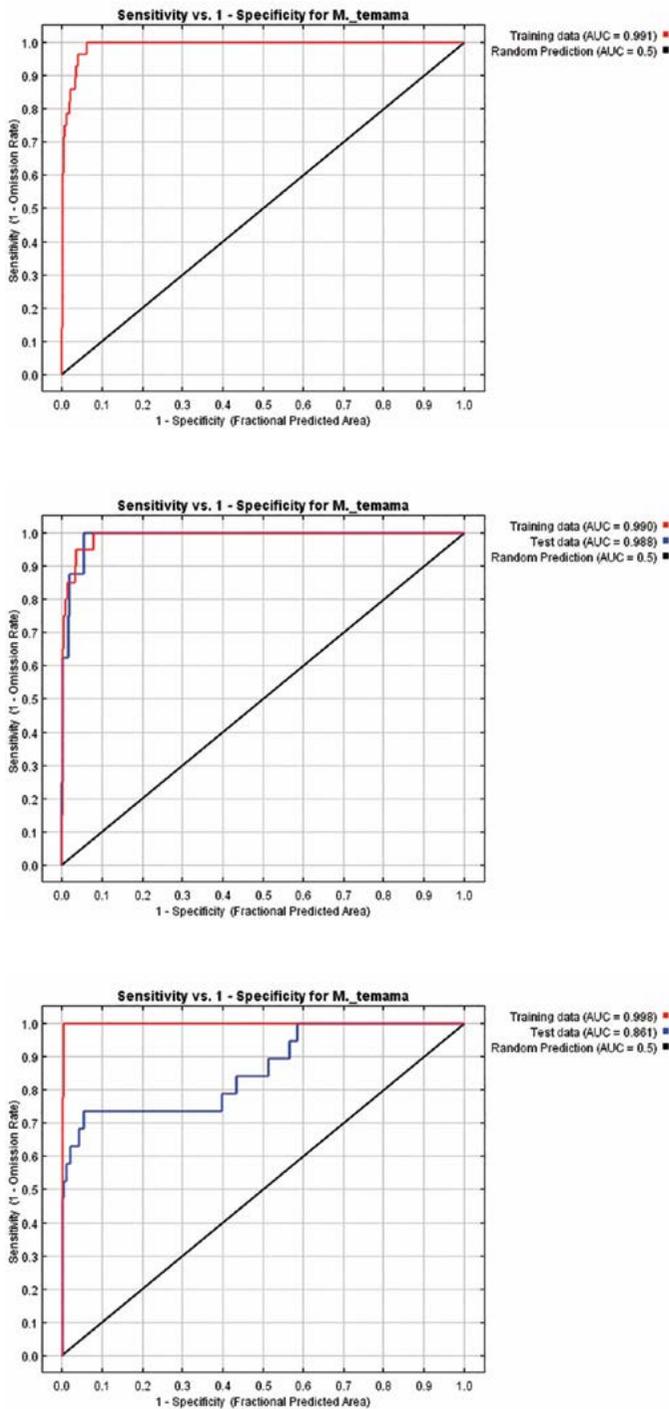


Figura 2. Capacidad de discriminación de sensibilidad versus especificidad del área predicha del AUC del nicho ecológico del temazate. A, B y C son valores del AUC con el 100%, 70% y 30% de los datos de ocurrencia, respectivamente.

refleja confiabilidad en la distribución del temazate, proporcionando información útil para diseñar estrategias de conservación, como por ejemplo, el decreto de áreas protegidas (Vaughan y Ormerod, 2005), zonas declaradas de veda o el establecimiento de predios priva-

dos de conservación o UMAs. Los resultados de datos de prueba ($p=0.5$), indicaron que el modelo obtenido es mejor que un modelo aleatorio, ya que las curvas se localizan al extremo superior izquierdo (Figura 2), e indican que no hay ningún error de omisión (100% de sensibilidad) y ningún error de comisión (100% de especificidad) (Cruz-Cárdenas *et al.*, 2014).

Tres variables de precipitación en orden de importancia porcentual (Bio14; Bio16; Bio15) explicaron el modelo de nicho ecológico del temazate (Cuadro 1). Es decir, la suma de los porcentajes de aportación de las tres variables en su conjunto, explica el 70% del nicho ecológico, las cuales representan los requerimientos ambientales del área de distribución potencial propia de la especie. Una explicación ecológica de este fenómeno, es que el temazate tiene preferencia por habitar zonas húmedas, donde existe mayor precipitación, lo cual coincide con áreas de vegetación densa y bosques tropicales, independientemente de la altitud donde se encuentren estos ecosistemas; esto es consistente con lo reportado sobre su comportamiento y hábitat (Gallina, 2005). La prueba de Jackknife (Figura 3), indicó las variables que aportan mayor información al modelo, cuando son utilizadas de forma aislada. Esta prueba corroboró que las variables Bio12, Bio13, Bio14, Bio16, Bio17, Bio7 y Bio2 superan el 0.8 de valores del AUC del nicho, lo que sugiere que el temazate tiene preferencia por zonas con mayor precipitación y temperaturas promedio.

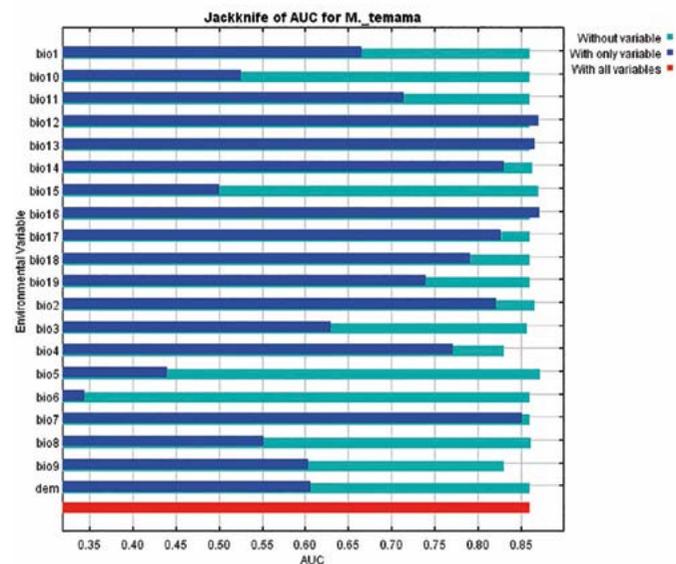


Figura 3. Prueba de Jackknife que muestra la importancia relativa de cada variable, expresado en valores de ganancia, cuando la variable es usada de forma aislada en el modelo.

Cuadro 1. Importancia relativa de variables climáticas y topográficas en el modelo de nicho ecológico del temazate (*Mazama temama*).

Variables climáticas				Variables topográficas							
Temperatura	Importancia por prueba			Precipitación	Importancia por prueba			Geográfica	Importancia por prueba		
	30%	70%	100%		30%	70%	100%		30%	70%	100%
Bio1	1.2	2.9	2.5	Bio12	1.2	0	0	MDE20	3.2	6.1	6
Bio2	2.2	22.4*	1.5	Bio13	1.2	0	0.2				
Bio3	0	4	0.4	Bio14	29.2*	1.5	28.5*				
Bio4	5.6	3.4	6.3	Bio15	17.8*	6.8*	18.8*				
Bio5	0	2.2	0	Bio16	29.9*	38.3*	24.1*				
Bio6	1.8	0	0.8	Bio17	1.2	0	0				
Bio7	0.1	0	2	Bio18	0.1	0	0				
Bio8	0.3	0.2	0	Bio19	1.9	3.5	1.3				
Bio9	3.3	4.4*	6.7								
Bio10	0	0	0								
Bio11	0	4.4*	0								

Bio1: Temperatura promedio anual (°C); Bio2: Oscilación diurna de la temperatura (°C); Bio3: Isotermalidad (°C); Bio4: Estacionalidad de la temperatura (°C); Bio5: Temperatura máxima promedio del periodo más cálido (°C); Bio6: Temperatura mínima promedio del periodo más frío (°C); Bio7: Oscilación anual de la temperatura (°C); Bio8: Temperatura promedio del trimestre más lluvioso (°C); Bio9: Temperatura promedio del trimestre más seco (°C); Bio10: Temperatura promedio del trimestre más cálido (°C); Bio11: Temperatura promedio del trimestre más frío (°C); Bio12: Precipitación anual (mm); Bio13: Precipitación del periodo más lluvioso (mm); Bio14: Precipitación del periodo más seco (mm); Bio15: Estacionalidad de la precipitación (mm); Bio16: Precipitación del trimestre más lluvioso (mm); Bio17: Precipitación del trimestre más seco (mm); Bio18: Precipitación del trimestre más cálido (mm); Bio19: Precipitación del trimestre más frío (mm); MDE20: Modelo digital de elevación; *La suma de porcentajes por fila es mayor al 70%, lo que indica que el conjunto de estas variables son importantes para el nicho ecológico del temazate.

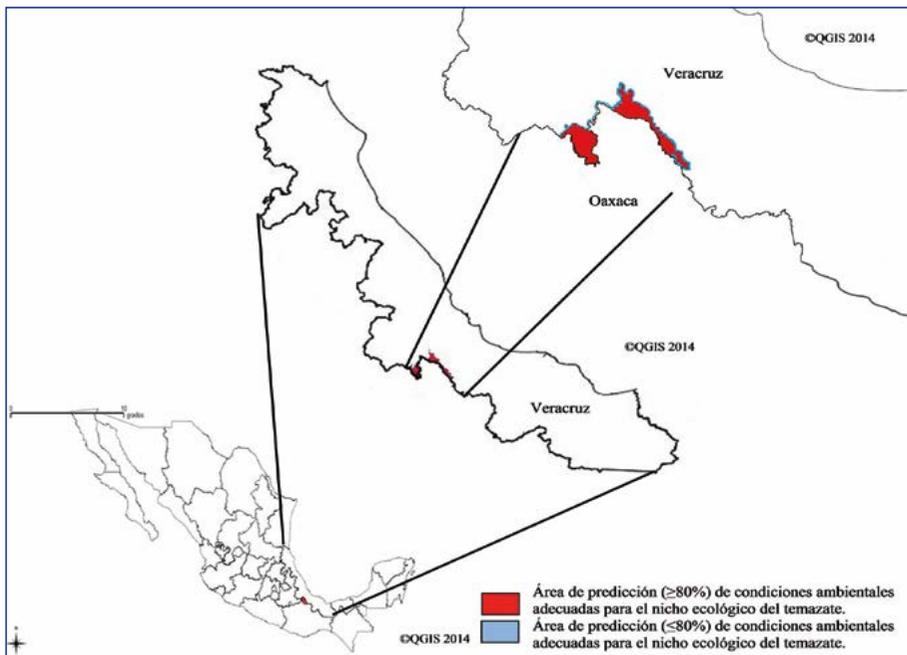


Figura 4. Área de distribución potencial del temazate (*Mazama temama*) predicha por el modelo de máxima entropía en el centro de Veracruz, México.

Las condiciones ambientales del nicho ecológico de una especie en particular, pueden ser representadas en múltiples áreas a lo largo de un espacio geográfico. La misma Figura 4 presenta la distribución actual del temazate en el centro de Veracruz; es decir, representa las localidades donde históricamente el temazate fue cazado; y el área en color rojo, representa el territorio donde se desarrollan las condiciones ambientales adecuadas del nicho ecológico potencial, con una probabilidad $\geq 80\%$. Dichas condiciones, restringen su distribución a la región montañosa del centro de Veracruz, atribuido a la escasa conexión entre ecosistemas o corredores biológicos hacia

el centro-norte del mismo estado. Por estos motivos, el territorio no reúne las condiciones ecológicas adecuadas para el desarrollo del nicho. Este aspecto restrictivo, se debe a la fragmentación del hábitat causado por barreras como la urbanización y carreteras, y probablemente por la barrera geográfica como la falla geológica de la Barranca del Metlac, en el Centro de Veracruz.

Otra explicación de la distribución restringida al centro de Veracruz, es que en un análisis a priori (datos no mostrados) se observó que el nicho ecológico tiende su distribución al estado de Oaxaca, prolongándose hasta el sur de Chiapas, lo cual sugiere que la expansión de la especie a Veracruz, podría provenir de Centro América como lo sugieren Merino y Viera (2010) y Weber y González (2003). Es posible que la población de temazate del centro de Veracruz esté localmente en alto riesgo, ya que la información local indica la caza de un animal por cada cuatro años, mientras que hace 40 años, se cazaba un animal por año.

CONCLUSIONES

El modelo de la distribución actual y potencial de temazate tuvo resultados favorables que indican probabilidad alta y confiable del modelo de nicho ecológico; presenta distribución restringida al centro del estado de Veracruz, principalmente por los ecosistemas presentes que ofrecen condiciones ambientales adecuadas, tales como, zonas con mayor humedad y precipitación, por su relación con la composición vegetal y disponibilidad de alimento. El mapa de distribución potencial para el temazate puede apoyar estudios dirigidos sobre el efecto de la fragmentación del hábitat y sus índices de caza para implementar estrategias de conservación a través del aprovechamiento cinegético (UMA) y recuperar la población que aparentemente se encuentra extinta en el centro de Veracruz. Estudios demográficos, de viabilidad poblacional y calidad de hábitat donde se reporta su presencia, pueden ofrecer directrices para diseñar estrategias de manejo integral de los recursos naturales, considerando al temazate como una especie sombrilla: si se conserva y mejora el hábitat de esta especie, se produce el efecto sombrilla que implica la conservación de otras especies de flora y fauna silvestre asociadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Línea Prioritaria de Investigación 1: Manejo Sustentable de Recursos Naturales y a la Subdirección de Vinculación del *Campus* Córdoba, por el financiamiento al proyecto de investigación. A los Biólogos Felipe Agustín Lara Hernández y Demesio Macario Cueyactle por contribuir con fotografías.

LITERATURA CITADA

- Ávila-Nájera D., Rosas-Rosas O., Tarango-Arambula L.A., Martínez-Montoya J.F., Santoyo-Brito E. 2011. Conocimiento, uso y valor cultural de seis presas del jaguar (*Panthera onca*) y su relación con éste, en San Nicolás de los Montes, San Luis Potosí, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(3): 1020-1028.
- Barbanti D.J.M., González S., Maldonado J.E. 2008. The surprising evolutionary history of South American deer. *Molecular Phylogenetics Evolution*. 49 (2008): 17-22.
- Bolívar C.B.S. 2009. Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación del venado cola blanca en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología, A.C. Xalapa. 93 p.
- Ceballos G., Blanco S., González C., Martínez E. 2010. *Mazama americana* (Temazate). Distribución potencial. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/layouts/maz_amegw.png
- Chávez C., de la Torre A., Bárcenas H., Medellín R.A., Zarza H., Ceballos G. 2013. Manual de fototrampeo para el estudio de fauna silvestre. El jaguar en México como estudio de caso. Alianza WWF-Telcel, Universidad Nacional Autónoma de México. México. 103 p.
- Cruz-Cárdenas G., López-Mata L., Villaseñor J.L., Ortiz E. 2014. Potential species distribution modeling and the use of principal component analysis as predictor variables. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85: 189-199.
- Elith J., Leathwick J.R. 2009. Species distribution models: Ecological explanation and prediction across space and time. *Annual Reviews of Ecology, Evolution and Systematics*. 40: 677-697.
- Escalante T., Martínez-Meyer E. 2013. Ecological niche modelling and wildlife managements units (UMAS): an application to deer in Campeche, Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 16(2013): 183-191.
- Fielding A.H., Bell J.F. 2007. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. *Environmental Conservation*. 24(1): 38-49.
- Gallina S. 2005. Temazate. In: G. Ceballos y G. Oliva (Eds.). *Los mamíferos silvestres de México*. CONABIO. Fondo de Cultura Económica. México. Pp. 512-513.
- Guerra R.M.M., Calmé S., Gallina T.S., Naranjo E.J.P. 2010. Uso y manejo de la fauna silvestre en el norte de Mesoamérica. Secretaría de Educación de Veracruz. Veracruz, México. 459 p.
- Graham C.H., Ferrier S., Huettmand F., Moritz C., Peterson A.T. 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution*. 19: 497-503.

- Groves C.P., Grubb P. 1987. Relationships of living deer. In: Wemmer, C.M. (Ed.), Biology and Management of the Cervidae. Smithsonian Institution Press, Washington, pp. 21–59.
- Hijmans J.R., 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: 1965-1978.
- López-Collado J. 2013. Control de calidad de puntos de muestreo georreferenciados. Fecha de consulta: 19/12/2013; disponible en: <https://sites.google.com/site/diaphorina/qualitycontrolgi>
- Mandujano S. 2004. Análisis bibliográfico de los estudios de venados en México. *Acta Zoológica Mexicana*. 20: 211-251.
- Mateo R.G., Felicísimo A.M., Muñoz J. 2011. Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*. 84: 217-240.
- Merino M.L., Vieira R.R. 2010. Origin, systematics, and morphological radiation. In: Duarte, J.M.B. and S. González (Eds.). *Neotropical Cervidology: Biology and medicine of Latin American deer*. FUNEP, Jaboticabal, Brasil and Gland Switzerland: IUCN. Pp. 2-11.
- Parolo G., Rossi G., Ferrarini A. 2008. Toward improved species niche modeling: *Arnica montana* in the Alps as a case study. *Journal of Applied Ecology*. 45: 1410-1418.
- Phillips S.J., Dudik M., Scharpire R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. *Proceedings of the 21st International Conference on Machine Learning*, Banff, Canada.
- Phillips S.J., Anderson R.P., Scharpire R.E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*. 190: 231-259.
- Phillips S.J., Miroslav D. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*. 31(2): 161-175.
- Sokal R., Rohlf J. 1995. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. State University of New York at stony Brook. New York. 887 p.
- Vaughan I.P., Ormerod S.J. 2005. The continuing challenges of testing species distributions models. *Journal of Applied Ecology*. 42(4): 720-730.
- Weber M., González S. 2003. Latin America deer diversity and conservation: A review of status and distribution. *Ecoscience*. 10(4): 443-454.
- Yañes-Arenas C., Mandujano S., Martínez-Meyer E., Pérez-Arteaga A., González-Zamora A. 2012. Modelación de la distribución potencial y efecto del cambio de uso de suelo en la conservación de los ungulados silvestres del Bajo Balsas, México. *Therya*. 3(1): 67-79.

