

Caracterización del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus mexicanus*) en los bosques templados del Corredor Biológico Chichinautzin y modelación de su hábitat potencial en Eje Transvolcánico Mexicano

Víctor Hugo Flores-Armillas^{1*}, Francisco Botello², Víctor Sánchez-Cordero², Raúl García-Barrios³, Fernando Jaramillo⁴ y Sonia Gallina-Tessaro⁵

Abstract

The aim of this work was to characterize the habitat of white-tailed deer at two locations in northern temperate forest in the state of Morelos, Mexico and model the potential distribution of herbaceous and shrub species with importance for food and cover to determine sites most likely to occur and areas of importance for this species within the Trans-Mexican Volcanic Belt. Evaluated habitat characteristics are suitable for white-tailed deer, as the area has forest structure and floristic composition that provides nourishment and appropriate protection coverage, plus favorable topographic conditions for movement and escape. The modeling includes the species on shrub and herbaceous strata comprising the structure and composition that may be taking advantage of the white-tailed deer in the study area. The results suggest that most of the modeled species are distributed along the Natural Protected Area "Chichinautzin Biological Corridor" and the center of the country, reducing its presence as it approaches the coast of the Pacific Ocean, which match distribution in temperate forests. The information generated in this work about the structure and composition of the forest and its relationship to white-tailed deer can be used to support management decisions of the species locally and regionally.

Key words: cover, floristic composition, forest structure, Maxent, niche.

Resumen

El objetivo de este trabajo fue realizar una caracterización sobre el hábitat del venado cola blanca en dos localidades de bosque templado en el norte del estado de Morelos,

¹ Reconcilia A. C. Calle Curtidores 20, Yauatepec 62730, Morelos, México. E-mail: victor_bios@reconcilia.org

² Departamento de Zoología, Instituto de Biología, U.N.A.M. Circuito exterior s/n, Ciudad Universitaria, Copilco, Coyoacán 04510, Distrito Federal, México. E-mail: fjbl@ibiologia.unam.mx (FB), victor@ibunam2.ibiologia.unam.mx (VSC)

³ Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias. Universidad Nacional Autónoma de México, Campus Morelos. Av. Universidad s/n, Circuito 2, Cuernavaca 62210, Morelos, México. E-mail: rgarciab@servidor.unam.mx

⁴ Fundación Doster A. C. Paseo de las Camelias 106-110, Tabachines, Club de Golf Cuernavaca 62498, Morelos, México. E-mail: fjm5@hotmail.com (FJM)

⁵ Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A. C. Carretera Antigua Coatepec 351, El Haya, Xalapa 91070 Veracruz, México. E-mail: sonia.gallina@inecol.edu.mx (SGT)

* Corresponding author.

México. Posteriormente, se modeló la distribución potencial de especies herbáceas y arbustivas con importancia para su alimentación y cobertura para determinar sitios de mayor probabilidad de ocurrencia y zonas de importancia para esta especie dentro del Eje Transvolcánico Mexicano. Las características del hábitat evaluadas son adecuadas para el venado cola blanca, ya que el área presenta la estructura forestal y la composición florística que le proporciona alimento y cobertura de protección apropiadas, además de condiciones topográficas favorables para su movimiento y escape. La modelación realizada comprende las especies del estrato arbustivo y herbáceo que componen la estructura y composición que puede estar aprovechando el venado cola blanca en la zona de estudio. Los resultados obtenidos sugieren que la mayoría de las especies modeladas se encuentran distribuidas a lo largo del Área Natural Protegida “Corredor Biológico Chichinautzin” y en la zona centro del país, disminuyendo su presencia conforme se acerca a la costa del Océano Pacífico, lo que coincide con su distribución en los bosques templados. La información generada en este trabajo acerca de la estructura y composición del bosque y su relación con el venado cola blanca puede servir para apoyar decisiones para el manejo de la especie a nivel local y regional.

Palabras clave: cobertura, composición florística, estructura forestal, Maxent, nicho.

Introducción

La distribución y abundancia de las especies depende de factores abióticos, factores bióticos, dispersión, capacidades evolutivas de adaptación a nuevas condiciones, procesos de extinción, presencia de barreras geográficas y procesos de especiación, entre otros factores. Sin embargo, a nivel local una de las variables que juegan un papel fundamental en la abundancia y la distribución de las especies son las interacciones bióticas, incluyendo la estructura de la vegetación (Morin 1999; Wiens y Donoghue 2004).

La estructura del bosque puede variar espacial y temporalmente como resultado de distintos factores de disturbio y la regeneración natural (Denslow 1980; Martínez-Ramos 1985). El mosaico forestal usualmente es un equilibrio dinámico, que se caracteriza por un ensamblaje heterogéneo y dinámico de sucesiones de parches que se diferencian por su densidad arbórea y del sotobosque, así como por su microclima, especies presentes y la presencia, distribución, abundancia y comportamiento de la fauna (Dasman 1971; Forman y Godron 1981; Canham y Marks 1985; Runkle 1985; Spies y Franklin 1989; Whitmore 1989; Álvarez-Cárdenas *et al.* 1999; Worrall *et al.* 2005).

En el caso de los grandes herbívoros como el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) los principales elementos que el hábitat debe proveer son: alimento, cobertura y agua (Álvarez-Cárdenas *et al.* 1999; Boyce *et al.* 2003). Específicamente, tienen que resolver adecuadamente la variación estacional y espacial en la disponibilidad y calidad de plantas, con el objetivo de resolver sus requerimientos nutricionales que cambian de acuerdo a la edad, sexo, estado reproductivo, y época del año (Vangilder *et al.* 1982; Leslie *et al.* 1984; Ford 1994; Weckerly 1994; Hanley 1997; Álvarez-Cárdenas *et al.* 1999; Mandujano *et al.* 2004). Por otro lado, *O. virginianus* es considerado como un cérvido de gran plasticidad adaptativa, tolerante a las actividades humanas; presente aún en áreas altamente perturbadas como zonas agrícolas y ganaderas, siempre y cuando

encuentre alimento y cobertura de protección (Galindo-Leal y Weber 1998).

Los modelos predictivos de distribución de las especies se han convertido en una herramienta importante para explorar temas en ecología, biogeografía, evolución, la conservación biológica y la investigación del cambio climático. Son modelos empíricos que relacionan observaciones de campo (presencia-ausencia, abundancia u observaciones azarosas) con variables ambientales en las cuales una especie puede mantener sus poblaciones sin entrada de inmigrantes, basándose en coberturas de respuesta derivadas estadística o teóricamente (Grinnell 1917; MacArthur 1972; Guisan y Zimmermann 2000; Graham et al. 2004; Guisan y Thuiller 2005). La meta es predecir qué áreas dentro de una región satisfacen los requerimientos del nicho ecológico de las especies, lo que se denomina “distribución potencial” y describe las condiciones adecuadas para la sobrevivencia de las especies (Anderson y Martínez-Meyer 2004).

Estos modelos normalmente no consideran las interacciones bióticas que a nivel local y regional podrían estar influyendo de manera importante en la distribución y abundancia de las especies. Por lo anterior, considerar dichas interacciones puede resultar sumamente valioso para generar información de especies de las cuales no existen datos de presencia en áreas pequeñas o cuando no se cuentan con coberturas climáticas finas. Es importante mencionar que los modelos resultantes serán más robustos conforme mayor conocimiento se tenga de la relación entre las especies de interés.

Tomando en consideración lo anterior los objetivos de este trabajo fueron: caracterizar las variables bióticas que determinan la presencia del venado cola blanca en dos localidades dentro de los bosques templados del “Corredor Biológico Chichinautzin” (CBCH); y modelar las áreas donde pudieran llevarse a cabo acciones de manejo para propiciar el uso de la especie o el mejoramiento de su hábitat basándonos en las condiciones de distribución actual y los recursos utilizados por el venado cola blanca.

Material y Métodos

El área de estudio se encuentra en la porción central del Área de Protección de Flora y Fauna “Corredor Biológico Chichinautzin” (CBCH) en los municipios de Huitzilac y Tepoztlán en el estado de Morelos con un clima templado sub-húmedo (C (w2); García 1998) y sobre unidades edáficas compuestas principalmente por andosoles. De manera general los bosques templados del norte de Morelos se encuentran compuestos por bosques de oyamel (*Abies religiosa*), pino (*Pinus pseudostrobus*, *P. montezumae*, *P. ayacahuite* y *P. hartwegii*), encino (*Quercus rugosa*, *Q. laurina*, *Q. centralis*, *Q. crassipes*, *Q. lanceolata*, *Q. obtusa* y *Q. robusta*), mixtos de pino-encino, así como bosques mesófilos (*Carpinus caroliniana*, *Alnus arguta*, *Cornus disciflora*, *Ceanothus coeruleus*, *Fuchsia arborescens*, *Meliosma dentata*, *Rhamnus mucronata* y *Ternstroemia lineata*). Finalmente, dentro de la fauna que es posible encontrar en esta zona tenemos: los mamíferos como el zacatuche (*Romerolagus diazi*), gato montés (*Lynx rufus*), zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), coyote (*Canis latrans*); las aves como *Buteo albonotatus*, *B. jamaicensis*, *Bubo virginianus* y el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*); las serpientes *Crotalus transversus* y *C. polystictus*; y las lagartijas *Barisia imbricata* y *Phrynosoma orbiculare* entre otras (Navarro et al. 2007; CIB-UAEM 2009; CONABIO 2010).

Primera fase: Caracterización del hábitat. Se seleccionaron dos localidades de estudio que presentaron el mayor número de rastros de venado cola blanca en Flores-Armillas *et al.* (2011) en los bosques templados del CBCH.

La primer localidad de estudio denominada “San Juan Tlacotenco” se encuentra ubicada a 6.72 km de la comunidad indígena de San Juan Tlacotenco. Está compuesta de manchones de bosques de pino-encino, que se encuentran divididos por la antigua vía del ferrocarril del Pacífico, que ha sido abandonada desde hace ya varias décadas. Esta localidad presenta un mosaico de diferentes tipos de vegetación entre los que se incluyen: bosques de pino, pino-encino, bosque mesófilo de montaña y porciones de matorral xerófilo.

La segunda localidad denominada “Volcán Huexcalapa” se encuentra a 7.17 km de la comunidad de Tres Marías en el municipio de Huitzilac. El uso de suelo que predomina es la agricultura de temporal, sin embargo, en el área se distribuyen manchones de especies de pino y encino (Fig. 1).

En dichas localidades se establecieron 12 transectos distribuidos al azar en donde se caracterizaron las variables del estrato arbóreo y arbustivo/herbáceo relacionados con el hábitat de venado (Ortiz-Martínez *et al.* 2005). Dicha caracterización se llevó a cabo utilizando el método clásico de cuadrantes centrados en puntos de Mueller-Dombois y Ellenberg (1974).

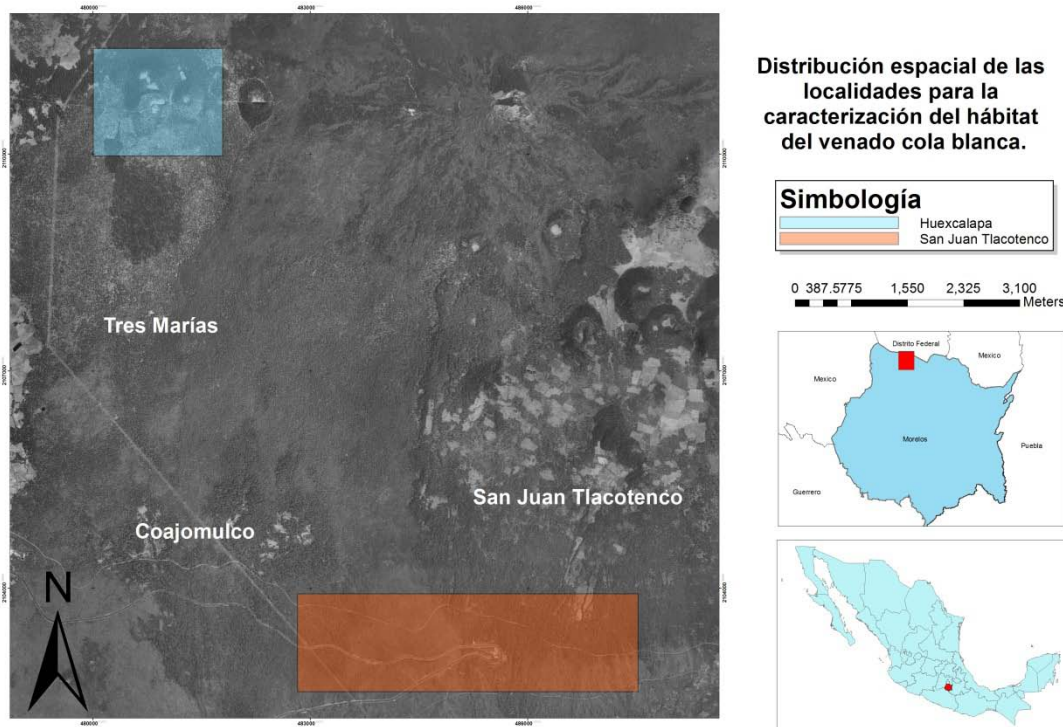


Figura 1. Distribución espacial de las localidades donde se caracterizó el hábitat dentro de éste trabajo elegidas por el mayor número de rastros de acuerdo a Flores-Armillas *et al.* (2011).

Cada transecto midió 400 metros de largo y cada 40 metros se estableció una unidad de muestreo (UM). Se midió la distancia de los cuatro árboles más cercanos al centro de la unidad, se calculó su altura y se midió su diámetro a la altura del pecho (DAP). Para el estrato arbustivo/herbáceo se midió la distancia al centro de la UM, la altura y se calculó su cobertura (empleando la fórmula de la elipse: $C = \pi \times 0.25 \times D1 \times D2$,

donde D1 es el diámetro mayor de copa y D2 su diámetro perpendicular) y el volumen (utilizando la fórmula del cono invertido: $V = 1/3B * H$, donde B es la cobertura y H es la altura) de cada individuo. De esta manera, se obtuvo la densidad, área basal, dominancia, densidad absoluta, cobertura arbórea y arbustiva y volumen arbustivo. Además, se calculó el valor de importancia, definido como la suma de la densidad relativa, frecuencia relativa y dominancia relativa definido por Curtis (1959) y convertido al porcentaje de importancia dividiendo el valor de importancia entre tres (Risser y Rice 1971).

Se obtuvieron las características físicas de terreno: pendiente (medida con clinómetro), sinuosidad (calculada en base al promedio de pendientes mayores al 20%) y orientación de la ladera (medida con brújula). Para estimar la riqueza de especies entre ambas localidades de muestreo (Colwell et al. 2004) se utilizó el estimador Chao 2 con el programa EstimateS Win 8.00 (Colwell 2006).

Finalmente, se utilizó un análisis de componentes principales (ACP) para conocer las variables que tienen mayor peso para la presencia del venado cola blanca. Para ello se utilizó la información de las excretas contabilizadas por Flores-Armillas et al. (2011) y 24 variables del hábitat que incluyen características del estrato arbóreo y arbustivo/herbáceo. Las variables fueron: a) Cobertura, volumen y altura arbórea - total, promedio y desviación estándar (para ésta y todas las variables restantes); b) Cobertura, volumen y altura arbustiva, (características que reflejan principalmente la cobertura de protección, el alimento y la biomasa aérea; Álvarez-Cárdenas et al. 1999); c) Características topográficas del terreno pendiente del terreno, sinuosidad y orientación y d) Número de especies e índice de diversidad Inverso de Simpson, que considera la proporción con la que cada especie de planta contribuye a la biomasa total en cada transecto (Ezcurra 1980; Gallina 1990; Álvarez-Cárdenas et al. 1999; Ortiz-Martínez et al. 2005).

Segunda fase: Modelado de Nicho Ecológico (MNE). Tomando como base los resultados de la caracterización del hábitat, los comentarios de expertos y de habitantes locales y la literatura especializada en el tema, se seleccionaron 11 especies de plantas del estrato arbustivo/herbáceo. Estas se caracterizan por su utilidad para proveer alimento y cobertura para el venado cola blanca en los bosques templados del Eje Transvolcánico Mexicano. Para alimento se consideró a *Ageratina glabrata*, *Baccharis conferta*, *Salvia polystachya*, *Senecio cinerarioides* y *Fuchsia thymifolia* (Amézcuca 2009). En cuanto a la cobertura: *Ternstroemia pringlei* y *Salix paradoxa*. A la cobertura, valor de importancia y alimento: *Buddleia parviflora*. Por alimento y cobertura: *Ribes ciliatum* y *Senecio barba-johannis*. Finalmente, por valor de importancia y cobertura: *Ternstroemia lineata*.

Para realizar el MNE de las especies, se usaron los registros de presencia para cada una de las especies (venado cola blanca y 11 especies de plantas). Estos se obtuvieron de la base de datos *Global Biodiversity Information Facility* (GBIF; <http://www.gbif.org/>; junio de 2009), de la Unidad de Informática para la Biodiversidad (UNIBIO; www.unibio.ibiologia.unam.mx/; junio de 2009) y de la Colección de Fotocolectas Biológicas del Instituto de Biología de la UNAM (CFB; <http://unibio.unam.mx/cfb/main.jsp>; junio de 2009) y de los registros obtenidos durante el presente trabajo.

Las coberturas utilizadas para modelar el nicho ecológico de las especies consistieron en 19 variables ambientales provenientes de las bases de *WorldClim database* (<http://www.>

worldclim.org/; agosto de 2009; Hijmans et al. 2006), y cuatro variables topográficas de *The U.S. Geological Surveys Hydro-1K ElevationDerivative Database* (http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/namerica;_2009) cada una con resolución de 30 segundos ($\approx 1 \text{ km}^2$).

Con los datos mencionados se realizaron los MNE para cada una de las especies (incluyendo el modelo del venado cola blanca) con el programa Maxent 3.3.1. Utilizamos el 75% de los datos como puntos de entrenamiento (*Training set*, para realizar el modelo) y el 25% restante como puntos de prueba – test – realizándose para cada uno de ellos 500 iteraciones. Se seleccionaron: 1) variables ambientales crudas (*linear features*); b) cuadrados de las variables ambientales (*quadratic features*); c) productos de pares de variables (*product features*) y d) características binarias derivadas de los umbrales de variables ambientales (*threshold features*, ver Pawar et al. 2007; Botello et al. en prensa).

La validez de los modelos fue determinada mediante el área bajo la curva (AUC) del análisis “Receiver Operating Characteristic” (ROC) de la curva graficada, en el eje “y”, con la sensibilidad (la fracción de presencias correctamente predichas) y en el eje “x” con la especificidad (fracción de todas las ausencias correctamente predichas). Corroborándose que todos los modelos tuvieran área bajo la curva mayor de 0.75 y que tuvieran una $P < 0.05$ en al menos una de las pruebas estadísticas realizadas por MaxEnt para validar el modelo (Pawar et al. 2007; Botello et al. en prensa).

Los MNE proyectados al espacio geográfico (distribución potencial de las especies) se sumaron mediante la extensión Spatial Analyst de Arc View 3.1. De esta manera, se obtuvo un mapa con resolución de 30 segundos, con datos de la riqueza de especies que cumplirían con requerimientos básicos del venado cola blanca.

Resultados

Características topográficas del terreno. Se midió la orientación y la pendiente en 480 puntos a lo largo de los 12 transectos. De manera general, las pendientes más frecuentes fueron de 0° a 20° (43.38%), seguidas de 21° a 40° (40.60%) y finalmente las de 41° a 60° (16.02%). Las orientaciones del terreno más frecuentes fueron hacia el SE (37.50%), seguidas de las NO (26.39%) y finalmente hacia el NE y SO (18.06%).

Caracterización del hábitat: Riqueza específica y diversidad. Se contabilizaron 759 individuos de 41 especies del estrato arbóreo y del arbustivo/herbáceo dentro de bosque de pino, pino-encino y mesófilo. Dichas especies estuvieron agrupadas en 18 familias, siendo la más representativa Asteraceae.

En la zona de bosque mesófilo y pino-encino (San Juan Tlacotenco, transectos 1-5), las especies más representativas fueron: *Ternstroemia plinglei*, *T. lineata*, *Nectandra globosa*, *Senecio platanifolius*, *Quercus rugosa* y *Montanoa* sp. En el bosque de pino (Volcán Huexcalapa, transectos 6-12), las especies dominantes fueron: *Alnus acuminata*, *A. jorullensis*, *Pinus* sp., *Ribes ciliatum* y *S. barba-johannis*, *Senecio angulifolius*, *Cestrum thyrsoideum* y *S. paradoxa*.

Características estructurales. En el bosque mesófilo y pino-encino las condiciones estructurales promedio fueron de: área basal media de $1,502 \text{ cm}^2$, altura arbórea promedio de 11.09 m, 2.26 árboles en 100 m^2 , altura media arbustiva de 2.40 m y

3.75 arbustos en 100 m². En el caso del bosque de pino las condiciones estructurales promedio fueron: área basal de 869.31 cm², altura arbórea de 9.56 m, altura arbustiva de 3.67 m, densidad arbórea fue de 3.21 individuos por 100 m² y densidad arbustiva de 2.42 individuos por 100 m² (Tabla 1).

Tabla 1. Variables estructurales por estrato en cada transecto de estudio. Bosque Mesófilo (Bm), Bosque de pino-encino (Bpe), Bosque de pino (Bp), Estrato Arbustivo (AR) y Estrato arbóreo (Ab).

Transecto	Vegetación	Altura (m)		Volumen (m3)		Cobertura (m2)		Arbustos x 100 m ²	Arboles x 100 m ²	Riqueza	Índice de Diversidad
		Ar	Ab	Ar	Ab	Ar	Ab				
1	Bm	2.58	13.55	7.86	141.20	5.56	25.94	4.04	1.43	10	4.63
2	Bm	2.05	11.55	5.28	125.60	3.58	39.99	4.48	1.81	10	1.00
3	Bm	1.86	10.22	3.18	172.30	2.99	39.11	2.62	0.93	15	6.60
4	Bpe	1.62	11.15	3.71	90.23	2.12	19.90	5.98	2.18	20	10.09
5	Bpe	2.08	9.00	5.04	136.70	3.70	33.17	1.62	4.95	13	6.17
6	Bp	7.42	9.48	6.48	74.85	4.83	18.88	2.08	4.95	12	7.16
7	Bp	3.54	8.81	6.50	76.61	4.44	24.25	3.28	2.54	8	3.58
8	Bp	3.16	9.85	5.28	79.27	4.24	18.00	2.20	5.80	9	5.57
9	Bpe	2.86	10.11	6.48	107.20	4.92	21.31	3.26	2.47	10	8.80
10	Bpe	2.96	8.90	10.80	112.90	6.99	24.09	2.39	1.85	12	8.66
11	Bpe	4.16	10.72	12.30	115.00	6.39	22.11	1.61	2.19	12	8.66
12	Bpe	1.60	9.09	6.86	68.49	5.15	18.34	2.14	2.67	8	5.21

Las especies más importantes por la cantidad de protección que pueden ofrecer al venado cola blanca en orden de importancia dependiendo del porcentaje del total de cobertura fueron: en San Juan Tlacotenco: *Montanoa* sp. (22.13%), *T. lineata* (15.86%), *N. globosa* (14.33%) y *T. pringlei* (12.32%). En Volcán Huexcalapa: *R. ciliatum* (36.38%), *Buddleia parvifolia* (12.13%), *S. barba-johannis* (8.59%) y *S. paradoxa* (8.57%).

Porcentaje de importancia. Las nueve especies que se encontraron con los mayores porcentajes de importancia fueron: *Q. rugosa* (6 transectos), *Q. laurina* (5 transectos), *Alnus collurensis* (4 transectos), *Pinus pseudostrobus* (2 transectos), *A. acuminata* (2 transectos), *Pinus* sp. (2 transectos), *N. globosa* (1 transecto), *T. lineata* (1 transecto) y *B. parvifolia* (1 transecto). Otras especies presentes fueron: *Arbutus xalapensis*, *Pinus montezumae*, *Clethra mexicana*, *T. pringlei*, *S. paradoxa* y *Pinus ayacahuite* (Tabla 2).

Variables relevantes del hábitat. En la Tabla 3 se muestran los resultados del ACP, con base en las 24 variables del hábitat analizadas que obtuvieron valores significativos ($P > 0.50$). En este análisis con tres componentes principales se obtiene el 67.7% de la varianza total. El análisis indicó que las variables de mayor peso en el primer componente fueron relativas a la altura arbórea, al estrato arbustivo (cobertura, volumen y altura) y la pendiente del terreno. Entre las de mayor peso están el volumen arbustivo total, cobertura arbustiva total, volumen arbustivo promedio, volumen arbustivo desviación

estándar, altura arbórea desviación estándar, altura arbórea total. Todas estas variables se asociaron negativamente a excepción de la pendiente promedio que se asoció positivamente.

Especies	Transectos											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Quercus rugosa</i>	61.0	24.1	56.5	18.8	22.7		63.4					
<i>Nectandra globosa</i>	21.0											
<i>Quercus. laurina</i>		37.2			19.3		19.2	23.0			19.4	
<i>Ternstroemia lineata</i>			12.5									
<i>Pinus pseudostrobus</i>				20.8		12.8						
<i>Alnus collurensis</i>						75.5		43.2		39.0	24.8	
<i>Alnus acuminata</i>									34.1			36.9
<i>Pinus sp.</i>									24.8			42.1
<i>Buddleia parvifolia</i>										17.1		

Tabla 2. Especies con mayor porcentaje de importancia según Risser y Rice (1971) por transectos.

A este componente se relacionaron positivamente los transectos correspondientes al bosque mesófilo de montaña (transectos 1, 2 y 3) que se caracterizaron por una mayor densidad arbórea que puede ayudar a la reducción de visibilidad y una mayor cobertura arbórea promedio. La asociación pino-encino (transectos 4, 5, 7, 9, 11 y 12) estuvo caracterizada por una distribución arbórea mayor, una menor riqueza, menor volumen arbóreo promedio, mayor pendiente promedio, menor altura arbórea desviación estándar, menor altura arbustiva desviación estándar, mayor altura arbustiva promedio y mayor sinuosidad. Finalmente, el bosque de pino (transectos 6, 8 y 10) se caracterizó por una mayor sinuosidad, menor volumen arbustivo total, menor altura arbórea promedio, menor altura arbustiva promedio (Tabla 3 y Fig. 2).

No. Variable	Variables	Factor 1 (30.4%)	Factor 2 (55.3%)	Factor 3 (67.7%)
Estrato Arbóreo				
1	Cobertura Arbórea total	-0.115868	0.781356	0.184835
2	Cobertura Arbórea promedio	0.107707	0.881957	0.375791
3	Cobertura Arbórea desviación estándar	-0.032769	0.828932	0.317522
7	Volumen Arbóreo total	-0.323678	0.757302	0.131558
8	Volumen Arbóreo promedio	-0.162278	0.808261	0.331834
9	Volumen Arbóreo desviación estándar	-0.495251	0.711087	0.316559
13	Altura Arbórea total	-0.723162	0.096171	-0.229805
14	Altura Arbórea promedio	-0.673184	-0.025219	-0.134554
15	Altura Arbórea desviación estándar	-0.728955	-0.095731	-0.115491
Estrato Arbustivo				
4	Cobertura Arbustiva total	-0.904382	0.007081	0.250033

Tabla 3. Resultados del análisis de componentes principales con las variables del hábitat. Factor de coordenadas de las variables, sobre la base de las correlaciones (por transectos).

Continúa pág. siguiente...

5	Cobertura Arbustiva Promedio	-0.682586	-0.512675	0.462674
6	Cobertura Arbustiva desviación estándar	-0.626796	-0.422375	0.245615
10	Volumen Arbustivo total	-0.974094	-0.015389	0.125645
11	Volumen Arbustivo promedio	-0.848315	-0.397674	0.214695
12	Volumen Arbustivo desviación estándar	-0.782388	-0.317254	0.170468
16	Altura Arbustiva total	-0.644599	0.482717	-0.341821
17	Altura Arbustiva promedio	0.152719	-0.535041	-0.201801
18	Altura Arbustiva desviación estándar	-0.520623	-0.019021	-0.432009
Otras variables				
19	Pendiente promedio	0.610782	-0.327869	0.486195
20	Pendiente desviación estándar	-0.300955	-0.517785	0.102961
21	Sinuosidad	0.171411	-0.513251	0.428495
22	Distribución Arbórea	0.048152	0.171572	-0.628093
23	Riqueza	-0.087563	0.492293	-0.702487
24	Diversidad	-0.456239	-0.165077	-0.552915

Modelado de Nicho Ecológico (MNE). Para llevar a cabo los MNE se utilizaron 90 registros del venado cola blanca y 1,006 registros del estrato arbustivo/herbáceo. Estos fueron: (*A. glabrata* ($n = 11$), *B. conferta* ($n = 144$), *S. polystachya* ($n = 32$), *S. cinerarioides* ($n = 371$), *F. thymifolia* ($n = 115$), *T. pringlei* ($n = 5$), *S. paradoxa* ($n = 62$), *B. parviflora* ($n = 75$), *R. ciliatum* ($n = 68$), *S. barba-johannis* ($n = 72$) y *T. lineata* ($n = 51$)).

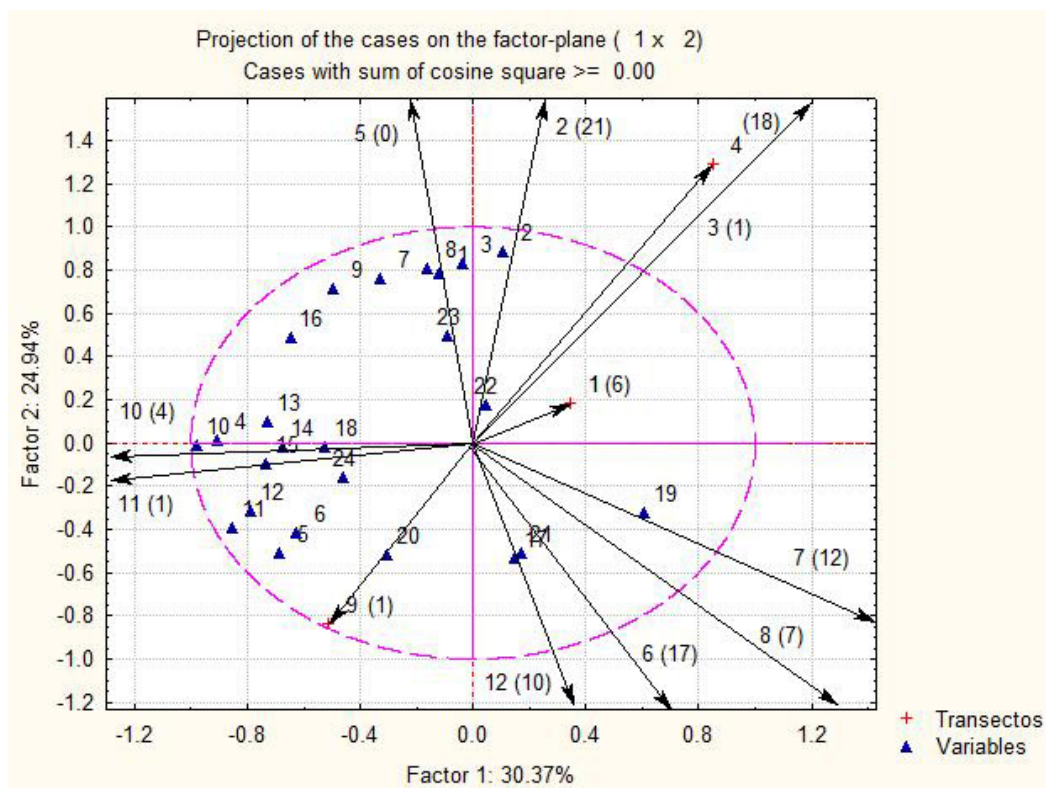


Figura 2. Representación gráfica del análisis de componentes principales. Los números de los puntos representan las variables (Tabla 3) y los vectores del transecto con el cual se relacionan. En paréntesis el número de excretas encontradas en los transectos.

La distribución potencial de *O. virginianus mexicanus*, incluye prácticamente todo el Eje Transvolcánico Mexicano (Fig. 3, recuadro 1). Sin embargo, la superposición del mapa de riqueza de especies de arbustos sobre la distribución potencial del venado cola blanca reduce esta área identificándose zonas en donde la especie podría tener las condiciones bióticas ideales para el venado cola blanca por lo que podrían ser aprovechadas con una mayor abundancia poblacional de la especie. Por otro lado, se registraron otras zonas con baja riqueza de estas especies lo que puede indicar que el venado no tendría suficientes recursos de manera natural para su manejo productivo (Fig. 3, recuadros 2 y 3).

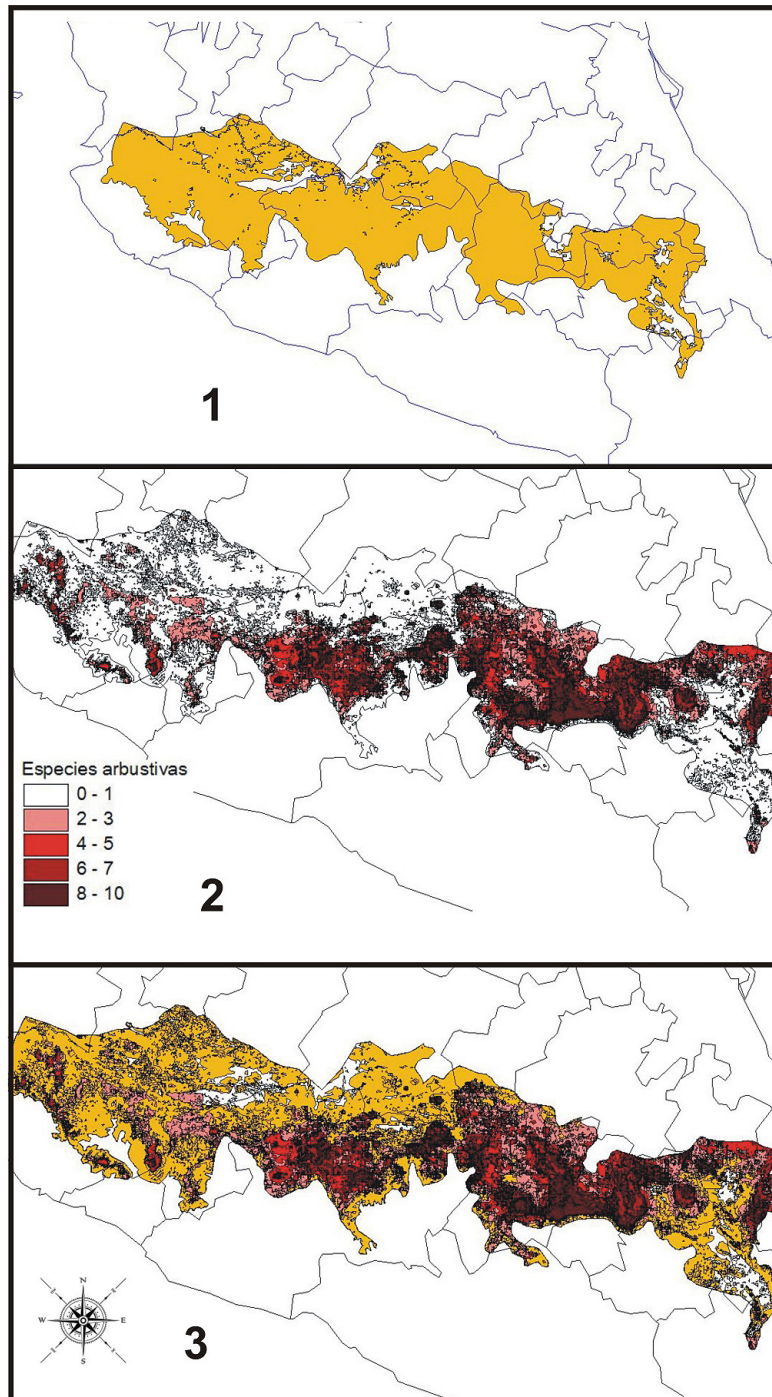


Figura 3. 1) Distribución potencial del venado cola blanca en el Eje Neovolcánico, 2) Modelos agrupados de las especies consideradas de importancia para el venado cola blanca (Eliminando *Ternstroemia pringlei* por tener pocos registros de esta especie) y 3) Distribuciones potenciales del venado y de las especies arbustivas.

Al realizar el análisis de la distribución potencial de las especies del estrato arbustivo/herbáceo se observa que la especie con distribución más amplia en la zona de estudio, es *B. parvifolia*, la cual se encontró en todo el norte de Morelos, Michoacán y el centro del país. Por otro lado, la distribución potencial de *T. pringlei* no se superpone con nuestra zona de estudio ni en el centro del país, localizándose únicamente en los estados de Jalisco y Michoacán, lo cual puede deberse al bajo número de registros utilizados para realizar el MNE (Fig. 4).

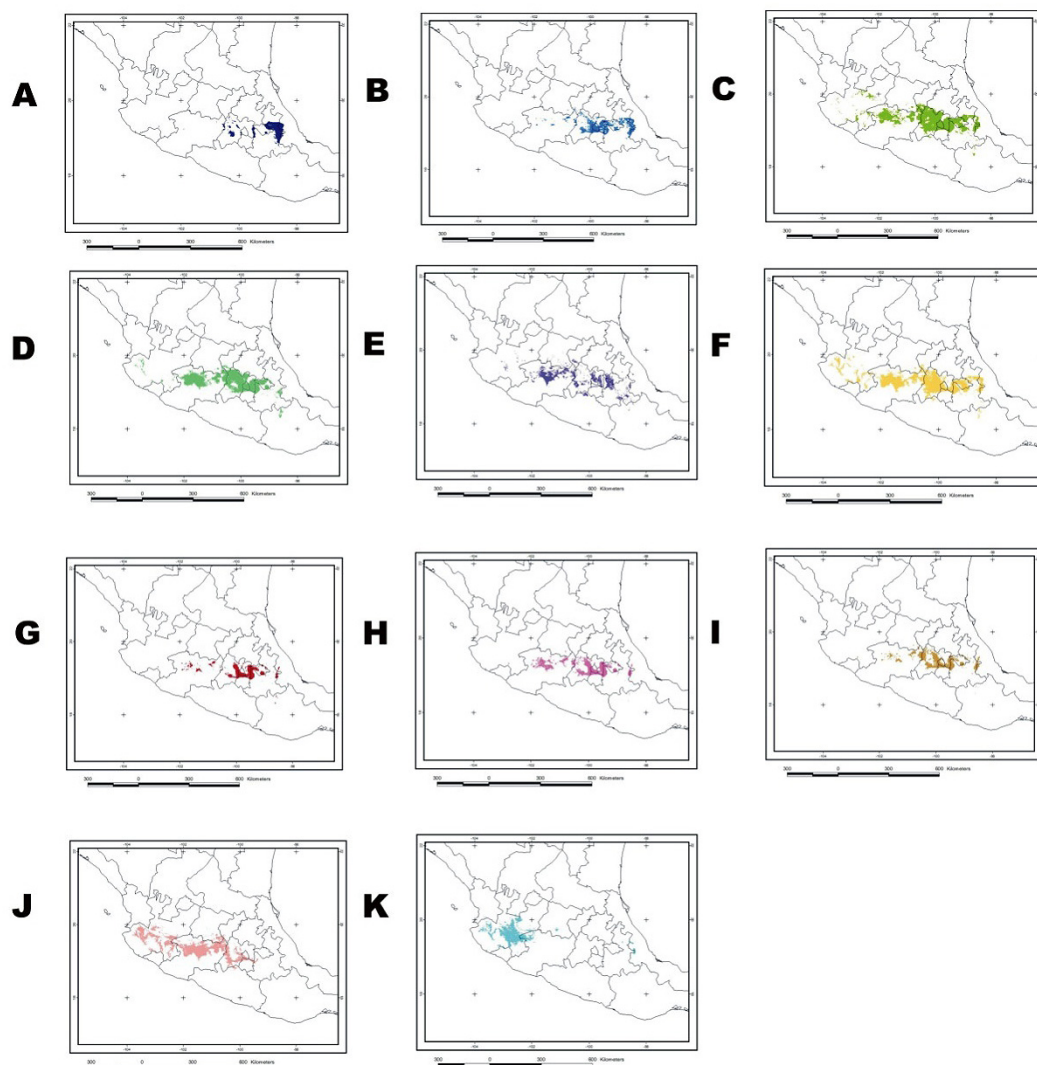


Figura 4. Resultados de la modelación de las especies consideradas importantes para el venado cola blanca. A) *Ageratina glabrata*, B) *Baccharis conferta*, C) *Buddleia parvifolia*, D) *Fuchsia thymifolia*, E) *Salvia polystachya*, F) *Salix paradoxa*, G) *Ribes ciliatum*, H) *Senecio barba-johannis*, I) *Senecio cinerarioides*, J) *Ternstroemia lineata* y K) *Ternstroemia pringlei*.

Discusión

Las 41 especies identificadas en las zonas de estudio representan el 81% de las esperadas según el estimar Chao 2, los cuales indicaron una riqueza de 50 especies. Dichas especies estuvieron agrupadas en 18 familias, siendo las más representativas Asteraceae y Pinaceae, lo cual coincide con lo reportado por Bonilla-Barbosa y Viana (1997), Silva et al. (1999) y CIB-UAEM (2009).

En todos los transectos se obtuvieron coberturas promedio con valores superiores a los 2 m², lo que coincide con Álvarez-Cárdenas et al. (1999), los cuales mencionan que con éstos valores se puede tener una buena cobertura de protección.

Podemos caracterizar el uso de hábitat por parte del venado en nuestras áreas de estudio en tres escenarios: en la zona de estudio de bosque mesófilo y pino-encino el mayor número de grupos fecales (transectos 2 y 4, 21 y 18 grupos, respectivamente) y estuvo relacionado con los mayores valores en número de arbustos, cobertura, volumen y altura arbórea promedio. Lo que podría indicar que el venado utiliza sitios más conservados o donde existen menos actividades antrópicas. En el bosque de pino, los transectos con más grupos fecales (transectos 6, 7 y 12; con 17, 12 y 10 grupos, respectivamente) estuvieron relacionados con una mayor sinuosidad, mayores pendientes y una mayor altura arbustiva promedio. Estas características pueden restringir el acceso de los cazadores y proporcionar la cobertura de escape necesaria para la especie. Los transectos donde hubo muy pocos grupos o no se encontró ninguno (3, 5, 9, 10 y 11), estuvieron relacionados con menor cobertura, altura y volumen arbóreo; menor diversidad de especies arbustivas, menos individuos arbustivos, menores coberturas y alturas arbustivas y una menor pendiente. Estos representan sitios con mayor actividad antrópica, muy degradados, donde no se presenta vegetación secundaria con especies colonizadoras, las cuales son fácilmente accesibles y de buena palatabilidad (Mandujano y Rico-Gray 1991; Mandujano y Gallina 1993).

Modelado de Nicho Ecológico. El MNE de las especies florísticas coincide con lo esperado, las especies analizadas son propias de bosques templados y de altitudes elevadas. La ubicación regional de los sitios en donde estos recursos convergen, se vuelve entonces una herramienta poderosa para el manejo de la especie (como las Unidades de Manejo Ambiental o zonas de cacería) y de planeación futura para su conservación.

Por otro lado, al modelar la distribución potencial de la especie *O. virginianus*, en el Eje Neovolcánico se observa que prácticamente toda nuestra área de estudio es parte de la distribución potencial para esta especie, lo que concuerda con ejercicios anteriores que han modelado su distribución potencial (Ceballos *et al.* 2006). A pesar de que esta distribución potencial tan amplia podría sugerir un fallo en el modelado o en las variables ambientales utilizadas para ello, la distribución reconocida en México sugiere lo contrario. Los reportes indican que esta especie se encuentra ampliamente distribuida en múltiples ecosistemas, su intervalo altitudinal es muy amplio (Hall 1981; Redford y Eisenberg 1992; SEMARNAT 2007), y los únicos sitios en México en donde no se distribuye es en zonas con climas xéricos marginales ocupados por el venado bura (*Odocoileus hemionus*; Galindo-Leal y Weber 2005). Esto refuerza la hipótesis de que las interacciones bióticas son variables que deben de considerarse muy importantes para determinar su distribución actual. La superposición de los MNE de las especies vegetales modeladas, muestran su distribución potencial en gran parte del centro del país, dentro de los estados de Puebla, Distrito Federal, el Estado de México, Hidalgo y el norte de Morelos.

Las características de hábitat que encontramos dentro de nuestra área de estudio son adecuadas para el venado cola blanca ya que presentan estructura y composición florística apropiada, alimento y condiciones topográficas favorables. El venado cola blanca selecciona hábitats con bosques conservados y poca accesibilidad para actividades antrópicas. Consideramos que las acciones para la conservación de esta especie en la zona de estudio tendrán que ver con el fortalecimiento de las restricciones

de caza ilegal, frenar el crecimiento de la frontera agrícola, y considerar el uso ordenado y sustentable de la especie posiblemente por medio de una UMA.

Por otro lado, es posible que estas poblaciones de venado cola blanca pudieran funcionar como parte del sistema fuente/sumidero de la especie en dentro del CBCH, por lo que es necesario investigar más a fondo sus implicaciones para la conservación de la especie con objetivos regionales. Como ya se mencionó, el uso de datos sobre la riqueza de especies florísticas importantes para el venado delimita las zonas con mayor potencial para la especie, por lo que estos resultados son de importancia para su manejo dentro del CBCH.

Este es uno de los pocos estudios en México que ha combinado información sobre la estructura del bosque con el modelado de varias especies con importancia en los bosques templados de Morelos. Este tipo de estudios prospectivos pueden ser muy importantes en la conservación de especies que se encuentren en un estatus de riesgo o tengan importancia económica, siempre y cuando, las relaciones interespecíficas estén bien sustentadas y de ser posible comprobadas en campo para cada caso en particular. Por otro lado, se debe de buscar la forma de complementar estos estudios que conjuntan variables ambientales y biológicas, con análisis de uso humano sobre estas especies para ofrecer las alternativas de manejo idóneas para buscar tanto la conservación de la especie así como de su entorno.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, al Macroproyecto “Manejo de ecosistemas y desarrollo Humano” de la Universidad Nacional Autónoma de México, a la fundación Packard. A F. al V. M. Gómez, al Cbta 154 de Huitzilac, Morelos, a F. García Lara y a C. López Miquel. F. Botello agradece al Posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional Autónoma de México y al CONACyT (CVU 48454).

Literatura citada

- ÁLVAREZ-CÁRDENAS, S., S. GALLINA, P. GALLINA-TESSARO, Y R. DOMÍNGUEZ-CADENA. 1999. Habitat availability for the mule deer (*Cervidae*) population in a relictual oak-pine forest in Baja California Sur, México. *Tropical Zoology* 12:67-78.
- AMÉZCUA, T. 2009. Evaluación del potencial nutricional de un ecosistema de pino y encino para el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), en el norponiente del estado de Morelos, y el sur del Distrito Federal. Tesis de Maestría. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- ANDERSON, R., Y E. MARTÍNEZ-MEYER. 2004. Modeling species' geographic distributions for preliminary conservation assessments: an implementation with the spiny pocket mice (*Heteromys*) of Ecuador. *Biological Conservation* 116:167-179.
- BONILLA-BARBOSA, J., Y L. VIANA. 1997. Parque Nacional Lagunas de Zempoala: Listados Florísticos de México. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- BOTELLO, F., V. SÁNCHEZ-CORDERO, G. MAGAÑA-COTA, R. CECIRA-RICOY, Y E. KATO-MIRANDA. En prensa. Instrumentos y Prioridades de Conservación para el Estado de Guanajuato. In *La Biodiversidad en Guanajuato: Estudio de estado*. Instituto de Ecología del Estado; la Universidad de Guanajuato; el Centro de Investigación y Estudios

- Avanzados del IPN-Irapuato; el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; el Instituto de Ecología A.C. y la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México, México.
- BOYCE, M., J. MAO, E. MERRIL, D. FORTIN, M. TURNER, J. FRYXELL, Y P. TURCHIN.** 2003. Scale and heterogeneity in habitat selection by elk in Yellowstone National Park. *Ecoscience* 10:421-431.
- CANHAM, C., Y P. MARKS.** 1985. The response of woody plants to disturbance: patterns of establishment and growth. Pp. 197-216 in *The ecology of natural disturbance and patch dynamics* (Pickett, S., y P. White, eds.). Academic Press, San Diego, EE.UU.
- CEBALLOS, G., S. BLANCO, C. GONZÁLEZ, Y E. MARTÍNEZ.** 2006. *Odocoileus virginianus* (Venado cola blanca). Distribución potencial. Extraído del proyecto DS006 "Modelado de la distribución de las especies de mamíferos de México para un análisis GAP". Con un tamaño de píxel: 0.01 grados decimales. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Financiado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Ciudad de México, México.
- CIB-UAEM (CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS-UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS).** 2009. Introducción al Corredor Biológico Chichinautzin. http://www.cib.uaem.mx/chichinautzin/prin_desc.htm. Última consulta: 11 de enero de 2009.
- COLECCIÓN DE FOTOCOLECTAS BIOLÓGICAS DEL INSTITUTO DE BIOLOGÍA DE LA UNAM.** 2009. <http://unibio.unam.mx/cfb/main.jsp>. Última consulta: 11 de junio de 2009.
- COLWELL, R., CH. MAO, Y F. CHANG.** 2004. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85:2717-2727.
- COLWELL, R.** 2006. EstimateS: statistical estimation of species richness and shared species from samples. Versión 8.0.
- CONABIO (COMISIÓN NACIONAL PARA EL CONOCIMIENTO Y USO DE LA BIODIVERSIDAD).** 2010. El Bosque Mesófilo de Montaña en México: Amenazas y Oportunidades para su Conservación y Manejo Sostenible. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- CURTIS, J.** 1959. The vegetation of Wisconsin. An ordination of plant communities. University of Wisconsin Press. Madison, EE.UU.
- DASMAN, W.** 1971. If deer are to survive. Stackpole Books. Harrisburg, EE.UU.
- DENSLow, J.** 1980. Gap partitioning among tropical rain-forest trees. *Biotropica* 12:47-55.
- EZCURRA, E.** 1980. Una nota acerca de la diversidad. *Ecología (Arg.)* 4:141-142.
- FLORES-ARMILLAS, V., S. GALLINA, J. GARCÍA, V. SÁNCHEZ-CORDERO, Y F. JARAMILLO.** 2011. Selección de hábitat por el venado cola blanca *Odocoileus virginianus mexicanus* (Gmelin, 1788) y su densidad poblacional en dos localidades de la región centro del Corredor Biológico Chichinautzin, Morelos, México. *Therya* 2:263-267.
- FORD, W.** 1994. Nutritional quality of deer browse in southern Appalachian clearcuts and mature forests. *Forestry Ecology Management* 67:149-157.
- FORMAN, R., Y M. GODRON.** 1981. Patches and structural components for a landscape ecology. *Bioscience* 31:733-740.
- GALINDO-LEAL, C., Y M. WEBER.** 1998. El Venado de la Sierra Madre Occidental. *Ecología, Manejo y Conservación*. EDICUSA-CONABIO. Ciudad de México, México.

- GALINDO-LEAL, C., y M. WEBER.** 2005. Venado cola blanca. Pp. 517-521 in Los mamíferos silvestres de México (Ceballos, G., y G. Oliva, eds.). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/ Fondo de Cultura Económica. Ciudad de México, México.
- GALLINA, S.** 1990. El venado cola blanca y su hábitat en La Michilía, Dgo. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.
- GARCÍA, E.** 1998. Climas: Clasificación de Köppen, modificado por García. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Escala 1:1000000. Ciudad de México, México.
- GLOBAL BIODIVERSITY INFORMATION FACILITY (GBIF).** 2009. <http://data.gbif.org/species/2440965/>. Última consulta: 12 de septiembre de 2009.
- GRAHAM, CH., S. FERRIER, F. HUETTMAN, C. MORITZ, y A. PETERSON.** 2004. New developments in museum-based informatics and applications in biodiversity analysis. *Trends in Ecology and Evolution* 19:497-503.
- GRINNELL, J.** 1917. The niche-relationships of the California Thrasher. *The Auk* 34:427-433.
- GUISAN, A., y W. THUILLER.** 2005. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters* 8:993-1009.
- GUISAN, A., y N. ZIMMERMANN.** 2000. Predictive habitat distributions models in ecology. *Ecology Modeling* 135:147-186.
- HALL, R.** 1981. The mammals of North America. John Willey and Sons. New York, EE.UU.
- HANLEY, T.** 1997. A nutritional view of understanding and complexity in the problem of diet selection by deer (Cervidae). *Oikos* 79:209-218.
- HIJMANS, R., S. CAMERON, y J. PARRA.** 2006. WorldClim Global Climate Layers. Version 1.4. Disponible en WorldClim Database: www.worldclim.org.
- LESLIE, D., E. STARKEY, y M. VAVRA.** 1984. Elk and deer diets in old-growth forests in western Washington. *Journal of Wildlife Management* 48:762-775.
- MACARTHUR, R.** 1972. ¿Strong, or weak, interactions? *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 44:177-188.
- MANDUJANO, S., y V. RICO-GRAY.** 1991. Hunting, use, and knowledge of the biology of the white-tailed deer, *Odocoileus virginianus* (Hays), by the Maya of central Yucatan, Mexico. *Journal of Ethnobiology* 11:175-183.
- MANDUJANO, S., y S. GALLINA.** 1993. Densidad del venado cola blanca basada en conteos en transectos en un bosque tropical de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana* 56:1-37.
- MANDUJANO, S., S. GALLINA, G. ARCEO, y L. PÉREZ-JIMÉNEZ.** 2004. Variación del uso y preferencia de los tipos vegetacionales por el venado cola blanca en un bosque tropical de Jalisco. *Acta Zoológica Mexicana* 20:45-67.
- MARTÍNEZ-RAMOS, M.** 1985. Claros, ciclos vitales de los árboles tropicales y regeneración natural de las selvas perennifolias. Pp. 191-239 in Investigaciones sobre la regeneración de las selvas altas en Veracruz (Gómez-Pompa, A., y S. Amo, eds.). Alhambra Mexicana. Ciudad de México, México.
- MORIN, P.** 1999. Community Ecology. Blackwell Sciences, Inc. Malden, EE.UU.

- MUELLER-DOMBOIS, D., y H. ELLENBERG.** 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons. New York, EE.UU.
- NAVARRO-FRÍAS, J., N. GONZÁLEZ-RUIZ, y S. T. ÁLVAREZ-CASTAÑEDA.** 2007. Los mamíferos silvestres de Milpa Alta, Distrito Federal: Lista actualizada y consideraciones para su conservación. *Acta Zoológica Mexicana* (n. s.) 23:103-124.
- ORTIZ-MARTÍNEZ, T., S. GALLINA, M. BRIONES, y M. GONZÁLEZ.** 2005. Densidad poblacional y caracterización del hábitat del venado cola blanca (*Odocoileus virginianus oaxacensis*, Goldman y Kellog, 1940) en un bosque templado de la sierra del norte de Oaxaca, México (n. s.). *Acta Zoológica Mexicana* 21:65-78.
- PAWAR, S., M. KOO, C. KELLEY, M. AHMED, S. CHAUDHURI, y S. SARKAR.** 2007. Conservation assessment and prioritization of areas in Northeast India: Priorities for amphibians and reptiles. *Biological Conservation* 136:346-361.
- REDFORD, K., y J. EISENBERG.** 1992. Mammals of the neotropics: The Southern cone: Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay. The University of Chicago Press. Chicago, EE.UU.
- RISSE, P., y E. RICE.** 1971. Phytosociological analysis of Oklahoma upland forest species. *Ecology* 52:940-945.
- RUNKLE, J.** 1985. Disturbance regimes in temperate forests. Pp. 17-33 in *The ecology of natural disturbance and patch dynamics* (Pickett, S., y P. White, eds.). Academic Press, San Diego, EE.UU.
- THE U.S. GEOLOGICAL SURVEYS HYDRO-1K ELEVATION DERIVATIVE DATABASE.** 2009. http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/hydro/namerica. Última consulta: 1 de junio de 2009.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES).** 2007. Plan de manejo tipo de venado cola blanca en zonas templadas y tropicales de México. Ciudad de México, México.
- SILVA, L., F. ROMERO, A. VELÁZQUEZ, y L. ALMEIDA-LEÑERO.** 1999. La vegetación de la región de la montaña sur de la Cuenca de México. Pp. 65-92 in *Biodiversidad de la Región de montaña del sur de la cuenca de México* (Velázquez, A., y F. Romero, eds.). Universidad Autónoma Metropolitana y Secretaria de Medio Ambiente Ciudad de México. Ciudad de México, México.
- SPIES, T., y J. FRANKLIN.** 1989. Gap characteristics and vegetation response in coniferous forests of the Pacific Northwest. *Ecology* 70:543-546.
- UNIBIO (UNIDAD DE INFORMÁTICA PARA LA BIODIVERSIDAD).** 2009. <http://unibio.unam.mx/cfb/main.jsp>. Última consulta: 20 de septiembre de 2009.
- VANGILDER, L., O. TORGESON, y W. PORATH.** 1982. Factors influencing diet selection by white-tailed deer. *Journal of Wild Management* 46:711-718.
- WECKERLY, F.** 1994. Selective feeding by black-tailed deer: Forage quality or abundance. *Journal of Mammalogy* 75:905-913.
- WIENS, J., y M. DONOGHUE.** 2004. Historical biogeography, ecology and species richness. *Trends in Ecology and Evolution* 19:639-644.
- WHITMORE, T.** 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70:1167-1178.
- WORLDCLIM DATABASE.** 2009. www.worldclim.org. Última consulta: 20 de septiembre de 2009.

WORRALL, J., T. LEE, Y T. HARRINGTON. 2005. Forest dynamics and agents that initiate and expand canopy gaps in Picea-Abies forests of Crawford Notch, New Hampshire, USA. *Journal of Ecology* 93:178-190.

Sometido: 22 de abril de 2013

Revisado: 15 de mayo de 2013

Aceptado: 15 de junio de 2013

Editor asociado: Consuelo Lorenzo

Diseño gráfico editorial: Gerardo Hernández