

## Research Article

# Evaluación del hábitat del venado cola blanca utilizando modelos espaciales y sus implicaciones para el manejo en el centro de Veracruz, México

Christian Alejandro Delfín-Alfonso<sup>1, 2</sup>, Sonia Gallina<sup>3</sup>, Carlos A. López-González<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ecología Aplicada. Instituto de Ecología, A. C. Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec No. 351 Congregación El Haya, Xalapa, Veracruz, México. C. P. 91070. Email: [christian.alejandro@inecol.edu.mx](mailto:christian.alejandro@inecol.edu.mx), <sup>2</sup> Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Av. de la Ciencia S/N Juriquilla, Delegación Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, Querétaro C. P. 76230. Email: <cada7305@gmail.com>, <cats4mex@aol.com>; <sup>3</sup> Departamento de Biodiversidad y Ecología Animal, Instituto de Ecología, A. C. Km 2.5 Antigua Carretera a Coatepec No. 351 Congregación El Haya, Xalapa, Veracruz, México. C. P. 91070. Email: [sonia.gallina@inecol.edu.mx](mailto:sonia.gallina@inecol.edu.mx)

### Resumen

Una de las fases importantes en el manejo de fauna es la evaluación del hábitat. Este trabajo tuvo como objetivo definir estrategias de manejo de venado cola blanca, *Odocoileus virginianus*, a partir de la evaluación de la calidad del hábitat en un área de 5,329.82 km<sup>2</sup> en el centro de Veracruz, México. Generamos un modelo estático ( $HSI_e$ ) de calidad de hábitat considerando algunas variables importantes para la especie (pendiente, altitud, orientación y cobertura de protección). Se obtuvo que el 29.75 del área % (1,585.85 km<sup>2</sup>), presentó condiciones de calidad aceptables para la especie. Para saber si este modelo podría ser aplicado, se realizaron entrevistas en diferentes municipios (n=17) y visitas de campo para determinar la presencia de la especie, y mediante transectos de línea de 1 km de longitud (n=14) se confirmó la existencia del venado en 5 de los municipios visitados; esto puede servir como un acercamiento a la validación del modelo, ya que se encontró un alto porcentaje de los registros (122 registros en 10 transectos) de la especie en sitios de media ( $0.514 \pm 0.115$  D. E.) a alta calidad ( $0.854 \pm 0.123$  D. E.) de hábitat según el modelo. Por lo tanto, el modelo permite definir áreas potenciales para reintroducción, conservación y aprovechamiento sustentable de la especie en esta región.

**Palabras Clave:** Calidad, hábitat, HSI, manejo, modelo, estación, venado

### Abstract

One of the most important phases in wildlife management is the habitat assessment. The aim of this study was to define management strategies for the white-tailed deer, *Odocoileus virginianus*, from the evaluation of the habitat quality in an area of 5,329.82 km<sup>2</sup> in the central region of Veracruz, Mexico. We generated a static model of habitat quality ( $HSI_e$ ) taking into account the slope, altitude, aspect and protection cover as the most important variables for the species. As a result, the 29.75% of the area (1,585.85 km<sup>2</sup>), had quality conditions acceptable for the species. To know the possible application of the model, interviews and field trips were conducted in different municipalities (n = 17) to determine the presence of the species. In order to confirm this, line transects of 1 km length (n = 14) were established only in 5 municipalities where people said there were deer, as an approach to validate the model, because a high percentage of deer records (122 records in 10 transects) were found in habitats from medium ( $0.514 \pm 0.115$  SD) to high quality ( $0.854 \pm 0.123$  SD) generated by the model. Therefore, the model can be used to identify potential areas for reintroduction, conservation and sustainable use of the species in this region.

**Keywords:** Habitat quality, HSI, management, model, white-tailed deer.

Received: 13 January 2009 2008; 23 January, 2008, Published: 25 May, 2009

**Copyright:** © Christian Alejandro Delfin-Alfonso, Sonia Gallina, Carlos Alberto López-González. This is an open access paper. We use the Creative Commons Attribution 3.0 license <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/> - The license permits any user to download, print out, extract, archive, and distribute the article, so long as appropriate credit is given to the authors and source of the work. The license ensures that the published article will be as widely available as possible and that the article can be included in any scientific archive. Open Access authors retain the copyrights of their papers. Open access is a property of individual works, not necessarily journals or publishers.

**Cite this paper as:** Delfin-Alfonso, C., Gallina, S. and López-González, C. A. 2009. Evaluación del hábitat del venado cola blanca utilizando modelos espaciales y sus implicaciones para el manejo en el centro de Veracruz, México. *Tropical Conservation Science* Vol.2 (2):215-228. Available online: [www.tropicalconservationscience.org](http://www.tropicalconservationscience.org)

## Introducción

Uno de los conceptos más importantes en ecología y particularmente en el manejo de poblaciones animales es el de hábitat. A pesar de la relevancia de este concepto, por sencillo y claro que parezca, existe gran ambigüedad en el uso del término [1-3]. Bajo el paradigma del hábitat se explica la distribución de las especies [4, 5], basado en características particulares y sus relaciones con cualquier rasgo del ambiente para una especie [3]. Por lo tanto, el hábitat es la suma de todos los factores del medio ambiente que una especie animal requiere para que pueda perpetuar su presencia [1, 6, 7], quedando descrito por los rasgos que lo definen ecológicamente y deja ver de manera explícita la dimensión espacial.

La preferencia del hábitat se puede analizar a diferentes escalas [7-10], como a nivel de paisaje, donde se incluyen las múltiples combinaciones de factores bióticos y abióticos y su variación espacio-temporal [2, 11, 12]. En consecuencia, el paisaje puede reunir y ofrecer una variedad de unidades de vegetación en combinación con aspectos físicos del terreno, variando su calidad y disponibilidad, que juntos pueden ser utilizados con mayor eficiencia por una especie [2].

La clasificación y evaluación de las características del hábitat, ayuda a conocer el potencial de cada hábitat para mantener una especie a largo plazo, proporcionando información para el establecimiento de áreas que puedan ser aprovechadas de manera sustentable [11-13]. La evaluación cualitativa y cuantitativa de los atributos del hábitat, son la herramienta más importante con fines de planificación y gestión del manejo de la fauna silvestre y sirve para establecer relaciones y comprender las formas de respuesta a los factores ambientales de las especies [14]. Para este fin, existe una amplia variedad de modelos y métodos para evaluar la disponibilidad y la calidad de hábitat potencial para diferentes especies, mismos que intentan incluir el mayor número de atributos indispensables para la especie; éstos han sido propuestos y ampliamente aplicados en diferentes áreas [14-19].

Dentro de esta variedad de modelos, muchos se basan en el llamado "Procedimiento de Evaluación del Hábitat" para fauna (HEP por sus siglas en inglés, [20]). Los Modelos de Evaluación de Hábitat (MEH), son construidos mediante métodos conocidos como Índices de Idoneidad de Hábitat (Habitat Suitability Index HSI, [17, 20, 21]). Los HSI en conjunción con un Sistema de Información Geográfica (SIG) y datos que representan la distribución espacial de las variables, pueden usarse para generar mapas de calidad de hábitat [22-24]. La evaluación cualitativa y cuantitativa del hábitat de una especie, que incluya los requerimientos básicos para cubrir sus necesidades, elementos como disponibilidad de alimento, agua y cobertura de protección [14, 15, 25], es prioritaria para la toma de decisiones en materia de manejo de las poblaciones silvestres y su conservación.

En este sentido, para mejorar los planes de conservación y manejo del venado cola blanca, *Odocoileus virginianus*, en el estado de Veracruz, México, el presente trabajo tuvo como objetivo principal evaluar la calidad del hábitat potencial de esta especie utilizando un modelo espacialmente explícito, con la finalidad de establecer estrategias de aprovechamiento, recuperación y conservación de la especie a largo plazo.

## Métodos

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en la zona centro del estado (19° 15' y 20° 00' N, 96° 15' y 97° 30' W), comprende una superficie aproximada de 5,329.82 km<sup>2</sup> (Fig. 1), caracterizada por un gradiente altitudinal desde el nivel del mar hasta los 4200 msnm. Las asociaciones vegetales representativas son: vegetación de dunas costeras, manglar, selva baja caducifolia, selva mediana subperennifolia, selva alta perennifolia, pastizales, bosque mesófilo de montaña, bosque de táscate (*Juniperus sp.*), bosque de encino (*Quercus sp.*), matorral desértico rosetófilo, bosque mixto (pino-encino), bosque de pino, bosque de oyamel y pradera de alta montaña sobre los conos volcánicos. Aunado a estas asociaciones, el área presenta grandes extensiones de agricultura (temporal, humedad y de riego). La temperatura media anual es contrastante y va desde 5 °C (en los volcanes) hasta 25.9 °C (a nivel del mar); la precipitación promedio anual va de 300 mm en las zonas bajas a 2900 mm en la zona montañosa.

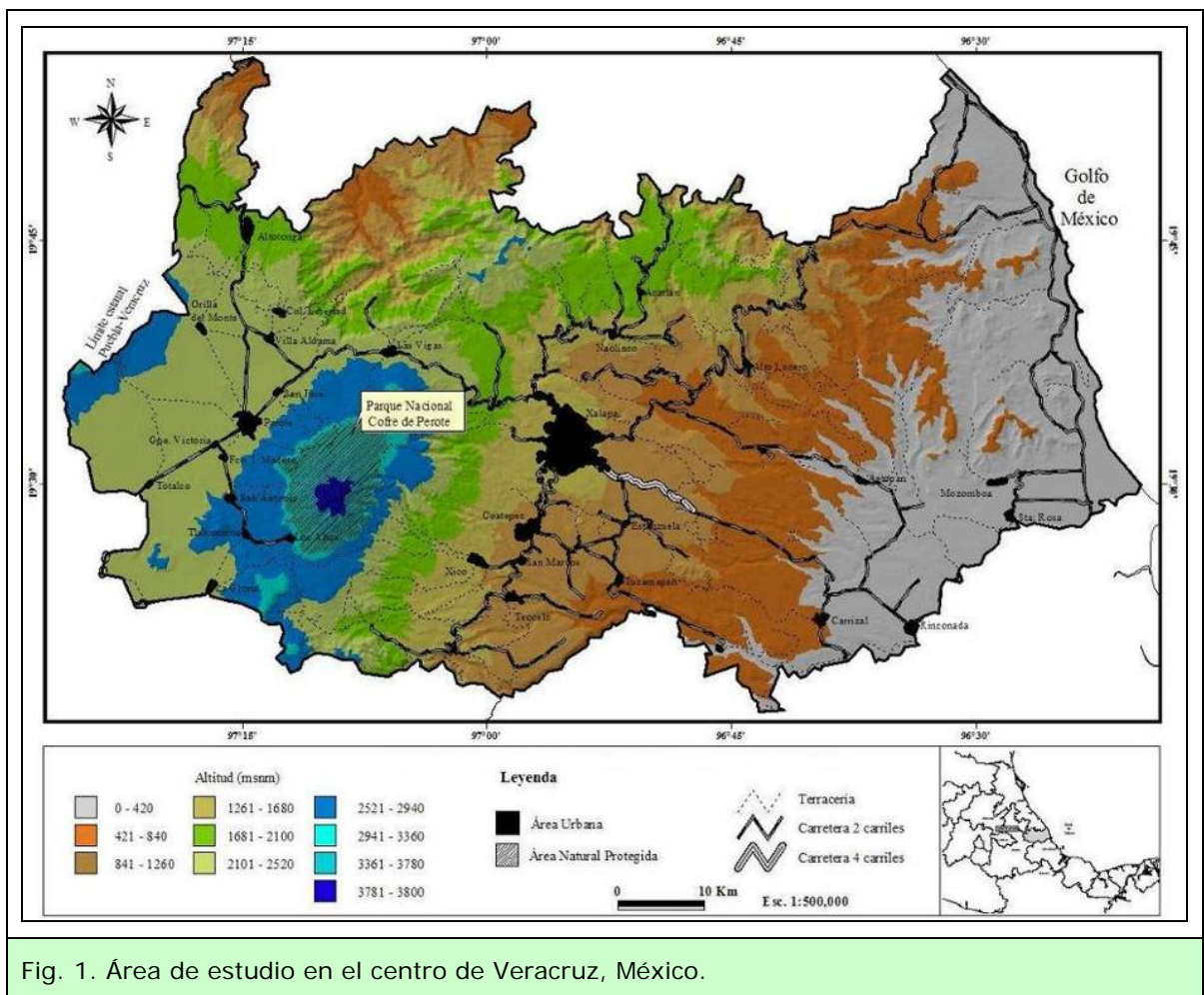


Fig. 1. Área de estudio en el centro de Veracruz, México.

### Descripción del modelo conceptual

El modelo conceptual de hábitat que se propone en este trabajo incluye cinco atributos mínimos indispensables para asegurar la permanencia de la especie, y su construcción está basada en la opinión de expertos, siguiendo la metodología usada por Cole y Smith [21]. El modelo supone que "la existencia mínima de los atributos puede asegurar la sobrevivencia de la especie en una unidad de paisaje, y la presencia y ausencia de alguno de los atributos, definen la probabilidad de su existencia" (Tabla 1).

No obstante, existen fuentes de presión (e. g. carreteras, localidades urbanas, densidad poblacional humana, expansión de la frontera agropecuaria, entre otras) que afectan la presencia y la calidad de los atributos y su variación en el espacio y tiempo. Las fuentes de presión que supone el modelo generan, en conjunto con las características bióticas y abióticas del medio, heterogeneidad en el paisaje y por ende afectan la calidad del hábitat, y están estrechamente relacionadas con la fisiología y ecología de la especie.

Tabla 1. Descripción de los atributos del hábitat mínimos indispensables para el modelo propuesto.

Atributo	Descripción	Fuente
Pendientes	Las pendientes presentes en el área que son utilizadas con mayor frecuencia por los venados se encuentran entre 2° (4%) y 13.5° (24 %) de inclinación.	[19, 26]
Orientación de laderas	La orientación de las laderas que son utilizadas con mayor frecuencia por las condiciones microclimáticas, se encuentran orientadas hacia el Norte, Noroeste y Noreste, siendo las de mayor importancia las laderas con orientación Norte.	[26]
Uso de suelo y vegetación	Las asociaciones vegetales utilizadas con mayor frecuencia son selva baja caducifolia, bosque de <i>Quercus</i> , bosque mixto y matorral xerófilo.	[14, 26]
Agua	Agua libre (presencia y tipo de fuentes de agua en el paisaje).	[17]

### Índice de Hábitat Adecuado ( $HSI_e$ )

El  $HSI_e$  es un modelo estático, aditivo con peso, donde el cálculo de los coeficientes se representa por un valor relativo de rasgos ambientales [24]. Los valores de calidad que supone el modelo son escalados entre 0 y 1 (0= hábitat inadecuado y ~1= hábitat adecuado); y se estiman utilizando el conocimiento disponible basado en la opinión de expertos, literatura y reportes acerca de la especie en cuestión [e. g. 14-19, 25]. La construcción del modelo requiere de cuatro variables o atributos: orientación y pendiente de las laderas, vegetación (cobertura) y fuentes de agua disponible (Tabla 2). A cada atributo, se le asigna un valor ponderado de importancia que se calcula por medio de un Índice de Importancia del Atributo ( $I/A$ ). El primer paso es asignarle subjetivamente un "Valor de Importancia" ( $VIC$ ) tomando en consideración su relevancia para la especie, el mayor valor asignado significa el de mayor importancia. Posteriormente, se calcula el  $I/A$ , dividiendo el  $VIC$  asignado entre " $n$ " clases del atributo (Tabla 2), y normalizado a 1 con el valor más alto que resulte. Los valores deben estar en la escala del 0 a 1, donde 1 significa el índice más alto de importancia, clasificándolo como un atributo de "Alta Calidad" y el valor más bajo como de "Baja Calidad" e "Inapropiado".

Para cada atributo se generaron modelos espacialmente explícitos con los valores de  $I/A$  (Tabla 2) con una resolución de 0.00833 grados de pixel (~ 1 km<sup>2</sup>) en formato raster. Para efectos del

modelo se incluye un "Valor de Presión" ( $Vp$ ) ejercido por las actividades antropogénicas, para lo cual se utilizó el modelo de Huella Humana (Human footprints, [27]). El  $Vp$ , es un valor cualitativo que va de 0 (hábitat conservado) a ~1 (hábitat no conservado). Finalmente, al modelo estático de calidad del hábitat se le resta el  $Vp$  y el modelo de salida es dividido entre el número de variables ( $a_n$ ). El modelo resultante final proporciona valores de entre 0 y 1, mismos que expresan el HSI (Ecuación 1).

$$HSI_e = \left[ \frac{(a_1 + a_2 + a_3 + 2a_4)}{\sum a_n} \right] - Vp \quad \text{Ecuación 1}$$

donde  $HSI_e$  es el índice de calidad del hábitat en el tiempo cero ( $t_0$ ) (modelo estático),  $a_1$ : orientación de las laderas con respecto del norte magnético (0 a 359°),  $a_2$ : inclinación de la ladera (pendientes 0 a 45° de inclinación o más),  $a_3$ : presencia de fuentes de agua (intermitentes o perennes),  $a_4$ : cobertura y  $Vp$ : grado de conservación. El atributo cobertura ( $a_4$ ), es ponderado al multiplicarlo por 2, debido a que se considera de suma importancia para los venados, dado los resultados de diversos estudios realizados con la especie. La clasificación del hábitat se agrupó en intervalos de valores y se etiquetó según el valor resultante en cuatro categorías (Inapropiada 0 a 0.25, Baja 0.26 a 0.46, Media 0.47 a 0.67 y Alta 0.68 a ~ 1). El mapa final es el modelo estático de calidad de hábitat ( $HSI_e$ ).

Tabla 2. Asignación del VIC y cálculo del IIA para cada atributo.

Atributo	Intervalos	VIC	Clases del atributo	IIA	Calidad del atributo
Pendiente (%)	0-9 ° (0-15.84 %)	3	4	1	Alta
	9.01-13.5 ° (15.86 a 24.01 %)	2		0.67	Media
	13.6-22.5 ° (24.19 a 41.42%)	1		0.33	Baja
	> 22.5° (> 100%)	0		0	Inapropiada
Orientación de la ladera	N, NW, NE	3	3	1	Alta
	Planos	2		0.67	Media
	S, SW, SE	1		0.33	Baja
Cobertura de protección termal	Densa	3	4	1	Alta
	Media	2		0.67	Media
	Baja	1		0.33	Baja
	Sin cobertura aparente	0		0	Inapropiada
Fuentes de agua	Perenne	3	3	1	Alta
	Intermitente	2		0.67	Media
	Sin agua	1		0.33	Baja

**Validación del modelo**

Fueron entrevistadas autoridades municipales, representantes de clubes de caza, comisarios ejidales y pequeños propietarios en 17 municipios, para saber de la presencia actual e histórica de la especie. Posteriormente, se corroboró la presencia de venados mediante recorridos de campo (febrero a marzo del 2007) y transectos de línea (n=14) de 1 km de longitud (de mayo a agosto del 2008). En el campo se buscaron evidencias de la existencia de venados como huellas, grupos fecales, echaderos y rascaderos. Se obtuvieron las coordenadas de los registros de presencia-

ausencia con el uso de un GPS; éstos se proyectaron sobre el modelo de calidad generado con la ayuda de un sistema de información geográfica, con el objeto de poder hacer una validación preliminar del modelo propuesto y permitir definir áreas potenciales para reintroducción, conservación y aprovechamiento sustentable de la especie en esta región.

### Selección de áreas para manejo

Se utilizó el mapa del Inventario Nacional Forestal [28] para discriminar los sitios que predice el modelo con media y alta calidad pero que en realidad no albergan los tipos de vegetación que han sido reportados como los adecuados para su sobrevivencia. Se calculó la superficie ocupada por cada tipo de vegetación. Simultáneamente, se identificaron las áreas que muestran calidad de media a alta con el fin de establecer los sitios potenciales de manejo para el aprovechamiento, conservación y reintroducción de la especie. La regla general de decisión para seleccionar las áreas, atiende a tres metas en particular: 1) áreas donde se pueda conservar a la especie (hábitat de calidad alta donde existe la especie), 2) áreas donde se deba reintroducir por haber sido extirpada (hábitat de calidad media a alta donde no se tenga conocimiento de la existencia actual de la especie) y 3) áreas donde sea posible realizar aprovechamiento bajo el esquema de UMA (hábitat de calidad media donde se tenga registro de la especie). Para esto se utilizaron los sitios donde se localizó a la especie, donde se tiene conocimiento que existen poblaciones locales de venados pero no fue posible georreferenciarlas y donde aparentemente ya fue extirpada.

### Fuentes y procesamiento de datos

El procesamiento de los atributos del hábitat, se hizo utilizando el Software Arc View 3.2 [29]. Cada mapa fue elaborado con la extensión "Spatial Analyst" con la herramienta "Map Calculator". Los modelos espaciales de cada atributo, son obtenidos y generados a partir de diferentes fuentes de información, el uso de suelo y vegetación fue calculada con el NDVI (Índice Normalizado de Vegetación) a partir de imágenes Landsat ETM del Global Land Cover Facility (año 2000, [30]) y con la ayuda del Inventario Nacional Forestal 2000 [28]. Los atributos del medio físico se obtuvieron del USGS HYDRO1k data [31]. El valor de presión (grado de conservación) es obtenido del Global Human Footprint Dataset [27] generado con un algoritmo que considera ampliamente el impacto antropogénico sobre los hábitats naturales y es construido con la interacción de la densidad poblacional humana, la superficie desprovista de vegetación y la densidad de caminos y carreteras. Los modelos espaciales de los atributos, fueron utilizados con una resolución espacial de 0.0083° grados de píxel (~ 1 km<sup>2</sup>) en formato raster. Una vez obtenido el modelo del  $HSI_e$  se transformaron a archivos en proyección UTM (Universal Transversa Mercator) Zona 14 para calcular las superficies por categoría de calidad de hábitat en km<sup>2</sup> y hectáreas.

## Resultados

### Modelo $HSI_e$

El modelo  $HSI_e$ , deja ver que la calidad del hábitat en el área de estudio es pobre en general para el manejo de los venados, ya que la superficie que presenta una mala calidad y hábitat inapropiado es la mayor. Del total del área de estudio sólo el 29.75 % (1,585.85 km<sup>2</sup>) representa una calidad relativa de media a alta (Fig. 2), mientras que más del 50% del territorio es de calidad baja a inapropiada.

### Validación del modelo

La localización geográfica de los registros de la presencia de la especie (Fig. 2), muestra que los animales aparentemente se encuentran haciendo uso diferencial de sitios de mediana a alta calidad. Se obtuvieron 122 registros puntuales de la presencia de la especie (en 10 de los 14 transectos) en cinco municipios (Actopan, Alto Lucero, Emiliano Zapata, Jalcomulco y Teocelo) y representan el 71 % de sitios verificados donde la especie está presente; la media de los valores

del hábitat donde se encontraron fue de 0.514 ( $\pm$  0.115 D. E.) considerado como de mediana calidad (Fig. 3).

Tabla 3. Biomas y tipos de vegetación representados en el área de estudio (\* tipos de vegetación considerados como zonas potencialmente explotables por la especie).

Grandes biomas	Biomas	Tipo de vegetación	Superficie				
			km <sup>2</sup>	ha	Proporción		
Bosque	Bosque de coníferas	Bosque de oyamel*	22.07	2,207.26	0.42%		
		Bosque de pino*	298	29,799.99	5.60%		
		Bosque de pino-encino*	79.38	7,937.83	1.49%		
		Bosque de tascate*	1.02	101.76	0.02%		
		Bosque de encino	Bosque de encino*	204.2	20,421.51	3.84%	
Matorral	Matorral xerófilo	Bosque mesófilo de montaña	Bosque mesófilo de montaña*	495.19	49,518.76	9.31%	
		Matorral desértico roseto-filo*	106.44	10,644.46	2.00%		
Pastizal	Pastizales naturales	Pradera de alta montaña	3.09	309.01	0.06%		
		Pastizales inducidos y cultivados	Pastizales inducidos y cultivados	1,501.44	150,149.27	28.24%	
Selvas	Selva caducifolia y subcaducifolia	Selva baja caducifolia*	304.83	30,486.36	5.73%		
		Selva mediana subcaducifolia*	21.23	2,123.07	0.40%		
		Selva perennifolia y subperennifolia	Selva alta perennifolia*	26.08	2,607.86	0.49%	
Otros tipos de cobertura	Especial (otros tipos de vegetación)	Vegetación de dunas costeras	23.42	2,341.93	0.44%		
		Vegetación hidrófila	Manglar	10.65	1,066.60	0.20%	
		Área sin vegetación aparente	2.23	223.05	0.04%		
		Agricultura de humedad	20.37	2,036.37	0.38%		
		Transformada	Agricultura de riego (eventual)	211.24	21,122.90	3.97%	
			Agricultura de temporal	1,928.24	192,824.32	36.26%	
			Asentamiento humano	54.39	5,440.01	1.02%	
			Bosque cultivado*	3.92	392.3	0.07%	
		Total			5,317.43	531,754.56	100 %

### Hábitat disponible

El bioma considerado como transformado que abarca las zonas de pastizales inducidos, cultivados y zonas agrícolas así como las manchas urbanas, es el que abarca más superficie en el área de estudio (Tabla 3); dentro de los biomas considerados como hábitat potencial para los venados, se encuentran los bosques, las selvas, los matorrales y la combinación en los bordes de estos tres biomas anteriores; en conjunto éstos abarcan sólo el 27 % de la superficie del área de estudio (Tabla 3).

El 29.38 % del área de estudio presenta condiciones aceptables para el mantenimiento de la especie (1,562.36 km<sup>2</sup>), abarcando tipos de vegetación como selva baja caducifolia, bosque de encino, bosque de pino-encino, matorral desértico, entre otros (Fig. 4). Es importante mencionar que un alto número de registros de presencia de la especie fueron localizados en sitios con vegetación considerada como adecuada para el desarrollo de la especie como bosques y acahuales de encino ( $n=78$ ) y selva baja caducifolia y acahuales ( $n=18$ ), pastizales con acahuales de selva

baja caducifolia ( $n=3$ ); no obstante, el resto del área de estudio es dominado en su mayoría por zonas agropecuarias incluyendo pastizales y zonas agrícolas así como la mancha urbana.

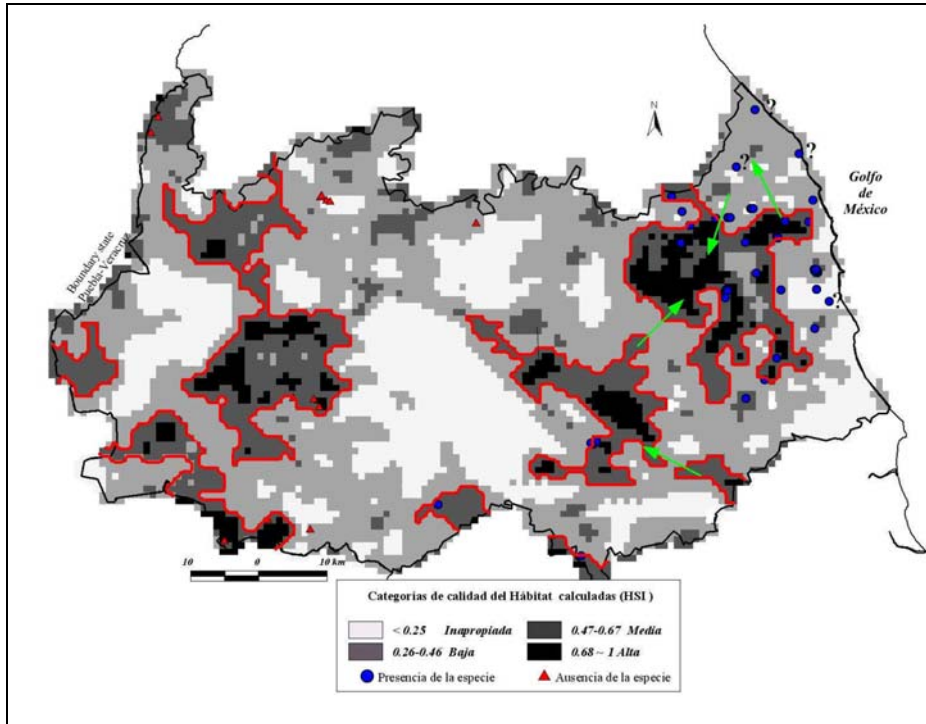


Fig. 2. Modelo del HSI calculado, donde se muestran las áreas seleccionadas según su amplitud y calidad como potenciales áreas de manejo para la especie (líneas rojas) y los sitios de muestreo; las líneas verdes muestran el posible intercambio que se podría estar dando entre parches.

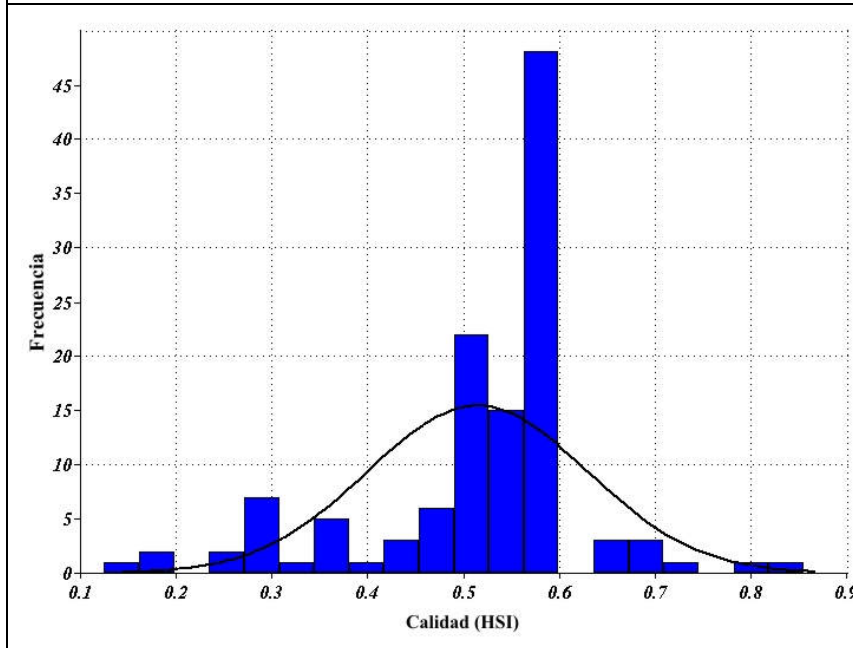


Fig. 3. Frecuencia de aparición de los registros, donde se obtuvo evidencia de la presencia de venados.



### Selección de áreas para manejo

Al visualizar el resultado final del modelo (ver Fig. 2), se aprecia que existen aún zonas potenciales para el manejo de la especie de forma extensiva, ya que las áreas con calidad alta y media del  $HSI_{er}$ , se agrupan en tres grandes áreas, una cercana a la costa en los municipios de Alto Lucero y Actopan, otra más en el centro del área en el municipio de Emiliano Zapata y otra más adentro y en los alrededores del Parque Nacional Cofre de Perote por arriba de los 1500 msnm (Fig. 2). Estas áreas, son las que se encuentran menos habitadas y con menor densidad humana dentro del área de estudio, por tanto presentan un menor  $Vp$ , y pueden ser consideradas como áreas aparentemente con buen potencial de manejo para los venados, dada las características que presentan.

La presencia de venado cola blanca fue validada en cinco municipios Actopan, Alto Lucero, Emiliano Zapata, Jalcomulco y Teocelo; mientras que en otros 12 municipios la especie ha sido ya extirpada (Fig. 2). Existen cinco municipios donde la presencia de la especie es incierta, sin embargo, aún se encuentra hábitat adecuado para los venados, por lo cual, pueden considerarse como sitios potenciales para su reintroducción: Altotonga, Ixhuacán, Jalacingo, Perote y Xico; estos municipios abarcan una superficie equivalente al 30% del área de estudio (1,273.50 km<sup>2</sup>) y conservan parches de vegetación que son hábitat adecuado como selvas bajas caducifolias, bosques mixtos y encinares.

En cuanto a áreas seleccionadas por tipo de manejo, se obtuvo que el 31.75 % (1,692.38 km<sup>2</sup>) del área de estudio estaría bajo algún criterio de manejo para el venado cola blanca (Tabla 3), de esta superficie, el 35 % corresponderían a zonas de aprovechamiento cinegético, un 15 % serían zonas de reintroducción donde aparentemente ha sido extirpada la especie y el resto de la superficie estaría sujeto a acciones de protección y conservación (Tabla 4, Fig. 5).

Tabla 4. Áreas seleccionadas por tipo de manejo para el mantenimiento de la especie a largo plazo y los municipios involucrados

Manejo propuesto	Superficie (ha)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Municipios
Aprovechamiento	83,695.55	836.96	Actopan, Alto Lucero, Apazapan, Chiconquiaco, Coatepec, Cosautlán, Emiliano Zapata, Jalcomulco, Jilotepec, Naolinco, Teocelo, Tepetlán, Xalapa y Xico
Conservación	22,567.32	225.67	Actopan, Alto Lucero y Emiliano Zapata
Reintroducción	62,975.33	629.75	Acajete, Altotonga, Ayahualulco, Coatepec, Ixhuacán de los Reyes, Jalacingo, Las Minas, Las Vigas, Perote, Tatatila, Villa Aldama y Xico
Total	69,238.20	1,692.38	

Cabe mencionar que en las áreas de manejo que se proponen (Tabla 4), se encuentran involucrados 20 municipios de los 33 que conforman el área de estudio, siendo los municipios más importantes el de Alto Lucero, Actopan, Perote y Las Vigas (Fig. 5).

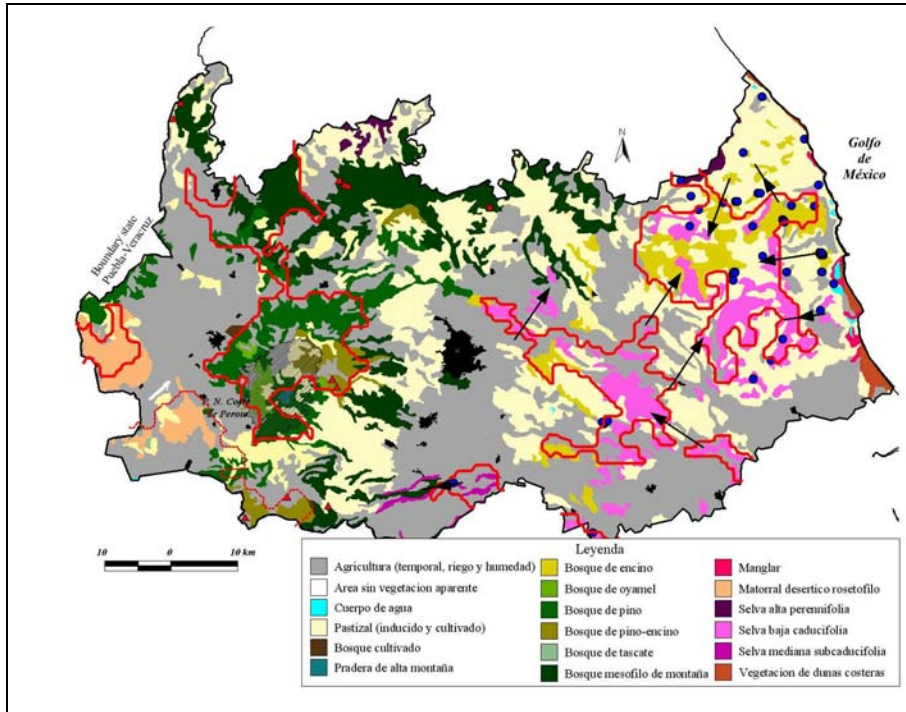


Fig. 4. Tipos de vegetación encontrados en el área de estudio

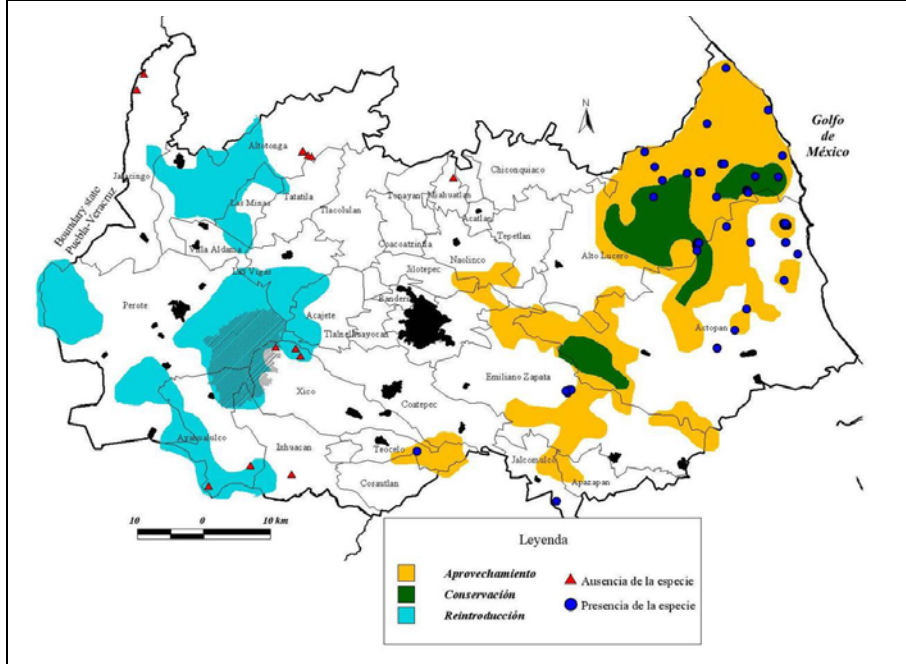


Fig. 5. Zonificación propuesta para el manejo de venado cola blanca en el centro de Veracruz (Conservación: hábitat de calidad alta donde existe la especie; Reintroducción: hábitat de calida media a alta donde no se tenga conocimiento de la presencia de la especie actualmente y Aprovechamiento: hábitat de calidad media donde se tenga registro de la especie).

## Discusión

El manejo efectivo de las poblaciones de fauna silvestre depende de manera directa del entendimiento y las predicciones de los requerimientos de su entorno [32]. En este sentido, el modelo de hábitat aquí generado ayuda a conocer la calidad y disponibilidad del hábitat para el venado cola blanca a escala del paisaje, de regiones geográficas más amplias, e incluso a nivel municipal. La aplicación del  $HSI_e$  aquí propuesto, representa una buena herramienta para ayudar a definir estrategias de manejo de la especie. El  $HSI_e$  fue diseñado principalmente para realizar

comparaciones entre diferentes áreas en un tiempo dado, así como para documentar de forma rápida y con un mínimo de datos, la calidad y cantidad de hábitat potencial disponible para los venados.

La propuesta del modelo trata de incorporar el número mínimo de atributos bióticos y abióticos que han sido propuestos por diferentes autores [14, 17, 19, 26, 33, 34] y que se documentan ampliamente en la bibliografía. Además de ser modelos de aplicación rápida para fines de toma de decisiones, así como para identificar zonas prioritarias para futuros trabajos de campo que permitan corroborar los atributos en relación con la presencia-ausencia de los venados. Al respecto, en este trabajo se encontró que algunos atributos del hábitat (e. g. orientación y pendiente) suelen ser limitantes para el cálculo de la disponibilidad de hábitat potencial que pueda ser explotado por los animales; razón por la cual se consideró pertinente incluirlos en el desarrollo del modelo.

Este estudio muestra una herramienta que utiliza modelos espacialmente explícitos para definir estrategias de manejo de fauna silvestre, como ha sido expuesto por otros autores incluso con otras especies [35-37]. Sin embargo, deben ser utilizados con cautela para no cometer errores en el manejo de la fauna y con ello, causar problemas irreversibles a la población. Es importante tener en consideración que la inclusión de variables, debe estar fundamentada en el conocimiento previo de la ecología de la especie [38], ya que una mala elección puede generar errores en el cálculo de los valores de hábitat y su disponibilidad [39]. Por último, las variaciones en el tiempo en cuanto a la superficie por categoría de calidad, puede ser usada por los manejadores de venado cola blanca para definir: 1) áreas potenciales de aprovechamiento sustentable a largo plazo, 2) áreas para reintroducción y recuperación de la especie para aprovechamiento a largo plazo y 3) áreas de conservación para la especie.

### **Implicaciones para la conservación**

Este proyecto plantea un primer paso en el desarrollo de planes de conservación y aprovechamiento del venado cola blanca en la región. Se recomienda seguir los siguientes puntos estratégicos que ha sido posible identificar durante el desarrollo del proyecto:

1. Realizar estudios específicos para conocer el estado actual de las poblaciones de venados, utilizando estimadores de abundancia y parámetros poblacionales.
2. Realizar estudios genéticos y morfológicos para caracterizar de manera más precisa la distribución de las subespecies presentes en el Estado.
3. Caracterización y evaluación del hábitat disponible con fines de manejo para el aprovechamiento y la reintroducción de las subespecies.
4. Se sugiere, aplicar y probar el modelo en otras regiones, y realizar un análisis de sensibilidad para definir si las variables utilizadas son las mejores, si la clasificación de las variables es la más adecuada, y cuales podrían omitirse o incorporarse para mejorar la predicción del modelo.
5. La reintroducción deberá ser con las dos subespecies que ahí se distribuían históricamente, *O. v. veraecrucis* y *O. v. toltecus*, por ningún motivo, se deben introducir otras subespecies.
6. Vinculación y asesoría con instituciones de investigación y educación superior para subsanar aspectos relacionados con la conservación y aprovechamiento de la especie.
7. Capacitación y certificación de los técnicos que elaboran los planes de manejo de las UMA para asegurar un aprovechamiento adecuado y sustentable.
8. Considerar la continuidad de programas en materia ambiental que no se vean afectados por los cambios en el cuerpo administrativo estatal y municipal.

9. Establecer UMA extensivas con áreas mínimas de 400-900 ha, teniendo especial cuidado en la tenencia de la tierra, por tanto, es recomendable establecerlas en conjunto entre pequeños propietarios y ejidos.
10. Se recomienda cambiar de ganadería extensiva a semiextensiva, reduciendo la carga animal de ganado en apego a COTECOCA (Comisión Técnico Consultiva de Coeficientes de Agostadero).
11. Establecer las zonas de recuperación de la especie según lo expuesto en la Figura 5.

## Conclusiones

A partir de las visitas de verificación en campo a los municipios se concluyó que aún existen poblaciones de venado cola blanca dentro de parches grandes de vegetación, que además corresponden a tipos favorables a la especie, tales como las selvas bajas caducifolias, los bosques mixtos (pino-encino y encino-pino) y los encinares. En los municipios en los que hubo indicios de la presencia de venado cola blanca, se observaron extensiones de vegetación formadas por pastizales cultivados e inducidos y palmas, además de fragmentos de vegetación con árboles y arbustos característicos de selvas bajas caducifolias y subcaducifolias con una estructura similar a las sabanas, así como de selvas bajas en los barrancos. Existen algunos sitios dentro de aquellos municipios en los que no hay presencia actual del venado cola blanca pero que presentan hábitat potencial para esta especie. Otro aspecto relevante que fue común para los municipios con presencia de venados, fue la baja densidad poblacional humana. Los municipios más densamente poblados son aquellos que ya no tienen venados en vida libre, lo cual podría indicar que además de la pérdida y fragmentación de la vegetación nativa, una mayor presión de cacería ha ocasionado la desaparición de las poblaciones de venado cola blanca. Es urgente la gestión de recursos que promuevan la conservación de estos sitios con alta diversidad y contribuyan a una mejora en la calidad de vida de sus habitantes.

## Agradecimientos

Agradecemos a la Dra. Guadalupe Malda y al Dr. Aurelio Guevara de la Universidad Autónoma de Querétaro, por sus sugerencias y comentarios recibidos. A Luis Arturo Escobedo, Beatriz Bolívar, Rolando González Trápaga, Arturo González, Salvador Mandujano, por su ayuda para las verificaciones en el campo. Al Dr. Enrique Martínez-Meyer, al Dr. Salvador Mandujano, al Dr. Vinicio Sosa y a revisores anónimos por sus comentarios y recomendaciones para mejorar el manuscrito. Este trabajo contó con financiamiento del Proyecto "Estudio Poblacional del Venado cola blanca en el Centro de Veracruz" de la Secretaría de Desarrollo y Medio Ambiente del Gobierno del Estado de Veracruz y del Proyecto S52925-Q del Sistema Nacional de Investigadores de CONACYT, otorgado a la Dra. Sonia Gallina. Se agradecen las recomendaciones de dos revisores anónimos en versiones anteriores a esta.

## Referencias

- [1] Hall, L. S., Krausman P. R. and Morrison M. L.. 1997. The habitat concept and a plea for standard terminology. *Wildlife Society Bulletin* 25:173-182
- [2] Morrison, M. L., Marcot B. G. and Mannan R. W.. 1998. *Wildlife habitat relationships: concepts and applications*. 2nd ed. The Univ. of Wisconsin Press. Madison, Wisconsin, 435 pp.
- [3] Armstrong, A. P. 2004. Integrating the metapopulation and habitat paradigms for understanding broad-scale declines of species. *Conservation Biology* 19: 1402-1410
- [4] Peterson, A. T. 2001. Predicting species' geographic distributions based on ecological niche modeling. *The Condor* 103:599-605.

- [5] Rushton, S. P., Ormerod S. J. and Kerby G.. 2004. New paradigms for modelling species distributions?. *Journal of Applied Ecology* 41: 193-200.
- [6] Trefethen, J. B. 1964. *Wildlife management and conservation*. D. C. Heath and Co. Boston.
- [7] Storch, I. 2002. Linking a multiscale habitat concept to species conservation. In: *Landscape ecology and resource management: linking theory with practice*. Bissonette J. A. and Storch I. (Eds.), pp 303-320. Island Press, Washington D. C.
- [8] Garshelis, D. L. 2000. Delusions in habitat evaluation: measuring use, selection, and importance,. In: *Research techniques in animal ecology: controversies and consequences*. Boitani, L. and Fuller T. K. (Eds.), pp. 111-164. Columbia Univ. Press, N. Y.
- [9] Wu, J. and Loucks O. L.. 1995. From balance of nature to hierarchical patch dynamics: a paradigm shift in ecology. *Quarterly Review of Biology* 70:439–466.
- [10] Johnson, C. J., Boyce, M. S., Mulders, R. A. Gunn, R. J. Gau, H. D. Cluff and R. L. Case. 2004. Quantifying patch distribution at multiple scales: applications to wildlife-habitat models. *Landscape Ecology*: 869-882.
- [11] Borosky, B. B., Barret, R. H., Timossi, I. C. and Kie, J. G.. 1996. Modelling habitat suitability for black-tailed deer (*Odocoileus hemionus columbianus*) in heterogeneous landscape. *Forest Ecology and Management* 88:157-165.
- [12] Van Deelen, T. R., McKinney, L. B., Joselyn, M. G. and Buhnerkempe, J. E. 1997. Can we restore elk to southern Illinois?. The use of existing digital land-cover data to evaluate potential habitat. *Wildlife Society Bulletin* 25:888-894.
- [13] Hansen, A. J., Garman, S. L., Marks, B. and Urban, D. L. 1993. An approach for managing vertebrate diversity across multiple-use landscapes. *Ecological Applications* 3:481-496
- [14] Delfin-Alfonso, C. y Gallina, S. 2007. Modelo de evaluación de hábitat para el venado cola blanca en un bosque tropical caducifolio en México. In: *Escarabajos, Diversidad y Conservación Biológica. Ensayos en homenaje a Gonzalo Halftter*. M. Zunino and Melic A. (Eds.), pp. 193-202. Monografías del 3er. Milenio Vol. 7. Sociedad Entomológica Aragonesa, España.
- [15] Álvarez, S. 1995. Estudio poblacional y hábitat del venado bura (*Odocoileus hemionus peninsulae*) en la Sierra de la Laguna, B. C. S. Tesis de Maestría. Fac. de Ciencias, UNAM, México. D. F. 99 pp.
- [16] Ockenfels, R. A. y Bissonette, J. A. 1984. Temperature-related responses in North Central Oklahoma white-tailed deer. In: *Deer in the Southwest: a Workshop*. Krausman, P. R. y N. S. Smith (Eds.), pp 64-67. University of Arizona, Tucson.
- [17] Short, H. 1986. Habitat Suitability Index Models: White-tailed deer in the Gulf of Mexico and South Atlantic Coastal Plains. *Biol. Report* 85(10.23) U.S. Fish & Wildlife Service, Department of the Interior, Washington, D.C. 36 pp.
- [18] Milne, B. T., Johnston, K. M. and Forman, R. T. T. 1989. Scale-dependent proximity of wildlife habitat in a spatially-neutral Bayesian model. *Landscape Ecology* 2(2):101-110.
- [19] Segura, W. 1998. Application of the HEP methodologies and Use of GIS to identify Priority Sites for management of white-tailed deer. In: *GIS Methodologies for developing Conservation Strategies: Tropical Forest Recovery and Wildlife Management in Costa Rica*. Savitsky, B. and Lacher, T. (Eds.), pp. 127-137. Columbia University Press, New York.
- [20] U.S. Fish and Wildlife Service. 1991. *Habitat Evaluation Procedure (HEP)*. Division of Ecological Services, Department of the Interior, Washington, D.C.
- [21] Cole, J. A., and Smith, R. L. 1983. Habitat suitability indices for monitoring wildlife populations evaluation. *Transactions of the North American Wildlife and Natural Resources Conference* 48:367-375.
- [22] Li, X. H., Li, D. M., Li, Y. M., Ma, Z. J. and Zhai, T. Q. 2002 Habitat evaluation for crested ibis: a GIS-based approach. *Ecological Research* 17: 565–573.

- [23] Store, R. and J. Jokimaki. 2003. A GIS-based multi-scale approach to habitat suitability modeling. *Ecological Modelling* 169: 1–15.
- [24] Johnson, C. and Gilligham, M. P. 2005. An evaluation of mapped species distribution models used for conservation planning. *Environmental Conservation* 32: 1-12
- [25] Gallina, S. 1994. Uso del hábitat por el venado cola blanca en la Reserva de la Biosfera La Michilía, México. In: *Ecología y manejo del venado cola blanca en México y Costa Rica*. Vaughan, C. y Rodríguez, M. (Eds.), pp. 229-314. Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.
- [26] Sánchez-Rojas, G., Gallina, S. y Mandujano, S. 1997. Área de actividad y uso de hábitat de dos venados cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en un bosque tropical de la Costa de Jalisco, México. *Acta Zoológica Mexicana (n. s.)* 72: 39-54.
- [27] LWP-1 2002. Last of the Wild Data Version 1. Global Human Footprint Dataset (Geographic). Wildlife Conservation (WCS) and Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) On line: <http://www.ciesin.columbia.edu>
- [28] Palacio, J. L., Bocco, G., Velásquez, A., Maas, J. F., Takaki, F., Victoria, A., Luna, L., Gómez, G., López, J., Palma, M., Trejo, I., Peralta, A., Prado, J., Rodríguez, A., Mayorga, R. y González, F. 2000. La condición actual de los recursos forestales en México: resultados del inventario forestal nacional 2000. *Investigaciones Geográficas, UNAM. Boletín del Instituto de Geografía* 43: 183-203.
- [29] ESRI. 2000. Arc View ver. 3.2. Environmental Systems Research Institute, Inc. Redlands, California, USA.
- [30] GLCF. Global Land Cover Facility. University of Maryland. On line: <http://glcf.umiacs.umd.edu/data/>
- [31] USGS, 2001. HYDRO 1k, elevation derivative database. United States Geological Survey, Sioux Falls, South Dakota. On line: <http://www.edcdaac.usgs.gov/gtopo30/hydro>
- [32] Clark, J. D., Duna, J. E. and Smith, K. G. 1993. A multivariate model of female black bear habitat use for geographic information system. *The Journal of Wildlife Management* 57: 519-526
- [33] Mandujano, S., Gallina, S. and Bullock, S. 1994. Frugivory and dispersal of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae) in a tropical deciduous forest of Mexico. *Revista de Biología Tropical* 42: 107-114.
- [34] Mandujano, S. and Gallina, S. 1995. Comparison of deer censusing methods in tropical dry forest. *Wildlife Society Bulletin* 23 (2): 180-186.
- [35] Felix, A., Campa, H., Millenbah, K. F., Panken, S. L., Winterstein, S. R. and Moritz, W. E. 2002. Applications of using a landscape-scale model to quantify white-tailed deer habitat potential in Michigan, U. S. A. *Z. Jagdwis* 48: 107-114.
- [36] Anadón, J. D., Giménez, A., Martínez, M., Palazón, J. A., and Steve M. A. 2007. Assessing changes in habitat quality due to land use changes in the spur-thighed tortoise *Testudo graeca* using hierarchical predictive habitat models. *Diversity and Distributions* 13: 324-331.
- [37] Obade, V. P. 2007. Wildlife habitat suitability mapping using remote sensing and geographical information science. *Afr. J. Ecol.* Special Number 1-3.
- [38] Fleming, K. K., Didier, K. A., Miranda, B. R. and Porter, W. F. 2004. Sensitivity of a White-Tailed Deer Habitat-Suitability Index Model to Error in Satellite Land-Cover Data: Implications for Wildlife Habitat-Suitability Studies. *Wildlife Society Bulletin* 32: 158-168.
- [39] Zhu, Z., Yang, L., Stehman, S. V. and Czaplewski, R. L. 2000. Accuracy assessment for the United States Geological Survey regional land cover mapping program: New York and New Jersey Region. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 66: 1425-1435.