



Artículo / Article

Relación hábitat-densidad de *Odocoileus virginianus couesi* (Coues & Yarrow, 1875) en la Sierra del Laurel, Aguascalientes

Odocoileus virginianus couesi (Coues & Yarrow, 1875) habitat-density ratio in Sierra del Laurel, Aguascalientes

Salvador Martín Medina Torres¹, Edmundo García Moya², Marcelo Márquez Olivas²,
Angélica Romero Manzanares², Humberto Vaquera Huerta³ y Mario Martínez Menes⁴

Resumen

El venado de Coues (*Odocoileus virginianus couesi*) es una de las 14 subespecies de venado cola blanca en México, se distribuye sobre 30.4 % de la república mexicana y es de alto valor cinegético. Se realizó una investigación en la Sierra del Laurel, municipio Calvillo, Aguascalientes, México, de la densidad del venado cola blanca en respuesta a los atributos del hábitat, estimada mediante el recuento de grupos fecales. El hábitat se describió por sus características topográficas, florístico-estructurales y agua disponible. Se determinó que la densidad fue mayor en el matorral subtropical, seguida de la presente en el bosque de *Quercus* y del pastizal inducido. Las variables que contribuyeron a explicar la abundancia fueron el tipo de vegetación, el índice de equidad de Pielou, el índice de predominio de Simpson, la densidad de *Ipomoea murucoides*, la riqueza florística y la altura media de las arbustivas, así como el porcentaje de suelo desnudo. No obstante, la existencia de otros factores demográficos del venado, como la relación de sexos, y de tipo antrópico como la fragmentación del hábitat, el sobrepastoreo, la caza furtiva, la presencia de paseantes y la proliferación de obras para ecoturismo no pueden descartarse como posibles causas de una mayor abundancia de este cérvido en el matorral subtropical, por lo que se requiere de la realización de más estudios sobre el particular.

Palabras clave: Calvillo, cérvido, grupos fecales, matorral subtropical, modelo lineal generalizado, venado cola blanca.

Abstract

The Coues deer (*Odocoileus virginianus couesi*) is one of the 14 subspecies of white-tailed deer in Mexico and its distribution area encompasses 30.4 % of the Mexican Republic and it has a high cinegetic value. A research was carried out in Sierra del Laurel, in the municipality of Calvillo, Aguascalientes, Mexico, on the density of the white-tailed deer in response to the characteristics of the habitat, estimated by means of the count of fecal pellet groups. The habitat was characterized by its topographic and floral-structural traits and by availability of water. The density was determined to be higher in the subtropical shrubland, followed by that of the *Quercus* forest and of the induced grassland. The variables which accounted for the abundance of this deer species were vegetation type, Pielou's equity index, Simpson's predominance index, the density of *Ipomoea murucoides*, the floral wealth and the mean height of the shrubs, and the percentage of naked soil. However, the existence of other demographic factors of the deer, such as the sex ratios, as well as anthropic factors including the fragmentation of the habitat, overgrazing, furtive hunting, the presence of hikers and the proliferation of constructions for ecotourism cannot be discarded as possible causes of a larger abundance of this cervid in the subtropical shrubland; therefore, further studies on this topic are required.

Key words: Calvillo, cervid, fecal pellet groups, subtropical shrubland, generalized linear model, white-tailed deer.

Fecha de recepción/date of receipt: 5 de noviembre de 2014; Fecha de aceptación/date of acceptance: 20 de agosto de 2015.

¹ Cuerpo Académico Desarrollo Sustentable. Universidad Autónoma Indígena de México. Correo-e: smedinat@gmail.com

² Postgrado en Botánica. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

³ Postgrado en Estadística. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

⁴ Postgrado en Hidrociencias. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo.

Introducción

El venado de *Coues* (*Odocoileus virginianus couesi* (Coues & Yarrow, 1875) (Ramírez-Pulido, *et al.*, 2005) es una de las 14 subespecies de venado cola blanca en México (Ramírez-Pulido, *et al.*, 2005; Villarreal, 1999). Su área de distribución abarca 30.4 % de la república mexicana y es de alto valor cinegético (Galindo-Leal y Weber, 1998). Se localiza desde Arizona, en los Estados Unidos de América, hasta Jalisco en México, a lo largo de la Sierra Madre Occidental (Ezcurra y Gallina, 1981). El estado de Aguascalientes forma parte de su territorio (Galindo-Leal y Weber, 1998), donde la caza furtiva estuvo a punto de extinguirlo durante la década de 1970, época en la que se registró una densidad de 0.65 venados km⁻² (Medina-Flores y Medina-Torres, 1989).

Gracias a un programa de vigilancia, instituido en 1975 (Medina-Flores y Medina-Torres, 1989; Villalobos, 1989), sus poblaciones se recuperaron 20 años después, hasta alcanzar cifras de 2.00 venados km⁻² (Kobelkowsky, 2000); lo anterior coincidió con el establecimiento de las primeras Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), para su aprovechamiento cinegético.

A partir de 2008, la vigilancia se ha restringido a la Sierra Fría, por lo que en el resto del estado la caza furtiva ha continuado en áreas naturales como la Sierra del Laurel, con presencia de bosques templados de encino y vegetación subtropical, con manchones de áreas perturbadas de pastizal inducido (Medina-Torres, 2008; Medina-Torres *et al.*, 2008).

Desde 2006 la Comisión Nacional Forestal (Conafor) ha dado un fuerte impulso al establecimiento y operación de UMA extensivas y proyectos de ecoturismo en la Sierra del Laurel, situación que puede poner en peligro la estabilidad poblacional del venado nativo.

La falta de sistemas de seguimiento y evaluación de los estudios poblacionales que realizan los dueños de las UMA constituye un serio problema que impide el funcionamiento como instrumento de conservación, y propicia la sobreexplotación del venado y otras especies de vida silvestre (Urquiza, 2009). Ante este problema, Urquiza (2009) señala la necesidad de que "estos estudios sean realizados por la autoridad o por entes independientes, pues hay el potencial de un conflicto de intereses cuando se deja esta responsabilidad a los dueños de las UMA.". Si bien, ello plantea el dilema de que la autoridad ambiental sea juez y parte, debe considerarse que los técnicos contratados por los dueños de las UMA, pueden verse obligados a alterar los resultados de estudios poblacionales a entera satisfacción de sus empleadores, en consecuencia se sobreestiman las tasas de aprovechamiento. En el caso particular del venado cola blanca, la explicación de su densidad en respuesta a los atributos de su hábitat servirá

Introduction

The Coues deer (*Odocoileus virginianus couesi* (Coues & Yarrow, 1875) (Ramírez-Pulido, *et al.*, 2005) is one of the 14 subspecies of white-tailed deer in Mexico (Ramírez-Pulido, *et al.*, 2005; Villarreal, 1999). Its distribution area encompasses 30.4 % of the Mexican Republic and has a high cinegetic value (Galindo-Leal and Weber, 1998). It can be found from Arizona, in the United States, to Jalisco, in Mexico, along the Sierra Madre Occidental (Ezcurra and Gallina, 1981). The state of Aguascalientes is part of its territory (Galindo-Leal and Weber, 1998), where furtive hunting placed it on the brink of extinction during the 1970s, at which time the density of the species was 0.65 deer km⁻² (Medina-Flores and Medina-Torres, 1989).

Thanks to a surveillance program implemented in 1975 (Medina-Flores and Medina-Torres, 1989; Villalobos, 1989), its populations recovered 20 years later, until they reached a density of 2.00 deer km⁻² (Kobelkowsky, 2000). This coincided with the establishment of the first Wildlife Conservation and Management Units (UMAs) for the cinegetic exploitation of the deer.

Surveillance has been restricted to Sierra Fría since 2008; consequently, furtive hunting has continued in the rest of the state, in natural areas such as Sierra del Laurel, where temperate oak forests and subtropical vegetation exist, with patches of induced grasslands (Medina-Torres, 2008; Medina-Torres *et al.*, 2008).

Since 2006, the Comisión Nacional Forestal (Conafor) has given a strong impulse to the establishment and operation of extensive UMAs and ecotourism projects in Sierra del Laurel, a situation which may endanger the population stability of the native deer.

The lack of monitoring and evaluation of the population studies carried out by the owners of the UMAs is a serious problem because it hinders their operation as instruments for conservation and propitiates the overexploitation of the deer and of other wild species (Urquiza, 2009). In the face of this problem, Urquiza (2009) points out the need to "have these studies carried out by the authorities or by independent entities, for there is the potential for a conflict of interests when this responsibility is left to the owners of the UMAs..." Although this poses the dilemma that the environmental authorities should be judge and jury, we must consider that the technicians hired by the owners of the UMAs may find themselves forced to alter the results of population studies in order to meet the demands of their employers, as a result of which the exploitation rates may be overestimated. In the particular case of the white-tailed deer, the explanation for its density in terms of the attributes of its habitat will be of help to foretell the variation of its population in time and space, in case its exploitation is intended or is already taking place.

para pronosticar la variación de su población en tiempo y espacio, si se pretende realizar su aprovechamiento, o bien si ya se está llevando a cabo.

En la Sierra del Laurel, se encontró que la pendiente y altitud del terreno, la distancia al agua, la altura media del estrato arbustivo, además de la densidad por hectárea de *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult y *Eysenhardtia polystachya* Ortega Sarg. influyeron en la selección del hábitat por el venado de Coues; es decir, su presencia o ausencia, con lo que se generó un mapa digital de la probabilidad de uso del hábitat por el venado (Medina-Torres et al., 2008). No obstante, aún es necesario analizar la relación entre la densidad de su población y su hábitat, así como determinar los atributos de este que afectan la variabilidad de su densidad. Con ese fin se plantearon los siguientes objetivos: estimar la densidad poblacional del venado cola blanca en la Sierra del Laurel, Aguascalientes; caracterizar el hábitat con base en sus atributos físicos y florístico-estructurales; y explicar la variabilidad de la densidad del venado en respuesta a los atributos del hábitat.

Materiales y Métodos

La investigación se realizó durante 2006 en la Sierra del Laurel, municipio Calvillo, al suroeste del estado de Aguascalientes (Medina-Torres et al., 2008) (Figure 1).

Tiene una superficie de 14 610 ha. Se ubica entre los 21°42' y 21°51' norte, y 102°47' y 102°35' oeste. Pertenece a la subprovincia fisiográfica Sierras y Valles Zacatecanos; tiene una topografía accidentada, con altitudes que varían de 1 700 a 2 760 m. Contiene rocas ígneas extrusivas del Cenozoico; en las partes altas predomina el tipo de suelo Litosol, con profundidades menores a 10 cm, limitado por rocas y tepetate. En las partes bajas sobresalen los suelos Feozem háplico, caracterizados por fertilidad moderada y una capa superficial oscura, suave y rica en materia orgánica y nutrientes (Medina-Torres, 2008; Inegi, 2009). Los cauces drenan hacia el sistema de los ríos Gil-Malpaso-Calvillo, del sistema hidrológico tributario de la subcuenca del río Juchipila, perteneciente a la región hidrológica 12.



In *Sierra del Laurel*, the slope and altitude of the land, the distance to the water, the mean height of the shrub stratum and the density per hectare of *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult and *Eysenhardtia polystachya* Ortega Sarg. were found to influence habitat selection by the Coues deer, i.e. its presence or absence, whereby a digital map of the likelihood of the use of the habitat by the deer was generated (Medina-Torres et al., 2008). Nevertheless, the relationship between the deer's population density and its habitat remain to be analyzed, as do the attributes of the habitat which affect the variability of this density. For this purpose, the following goals were set: to estimate the population density of the white-tailed deer in *Sierra del Laurel, Aguascalientes*; to characterize the habitat based on its physical and floral-structural attributes, and to explain the variability of the density of the deer population in terms of the attributes of the habitat.

Materials and Methods

The research was carried out in the year 2006 in *Sierra del Laurel*, in *Calvillo* municipality, in southwestern *Aguascalientes* (Medina-Torres et al., 2008) (Figure 1).

Sierra del Laurel has a surface of 14 610 ha and is located between the coordinates 21°42' and 21°51' N and 102°47' and 102°35' W. It belongs to the physiographic subprovince of Zacatecan Sierras and Valleys and has a rough topography with altitudes varying between 1 700 and 2 760 m. It contains extrusive igneous rocks from the Cenozoic period; in the higher parts, lithosol is the predominant soil type, with depths of under 10 cm, limited by rocks and limestone. In the lower parts, haplic pheozems prevail, characterized by moderate fertility and by a dark, soft layer rich in organic matter and nutrients (Medina-Torres, 2008; Inegi, 2009). The creek beds drain toward the *Gil-Malpaso-Calvillo* river system, belonging to the tributary hydrological system of the sub-basin of the *Juchipila* river, which is part of the 12th hydrological region.

In higher parts, the climate is subhumid temperate, with summer rains (C (w)), while toward the lower parts of the *Huajuca* Valley, the climate is semi-warm semi-dry (BS_h). In the Eastern area, toward the *Aguascalientes* valley, the climate is warm semi-dry (BS_k) (García, 1998; Inegi, 2009). The annual precipitation is 615 mm, according to the historical average documented between 1960 and 2008 (Medina-Torres et al., 2008).

Three types of vegetation have been identified: oak forest, subtropical shrubland, and induced grassland. Livestock exploitation is the main economic activity, although there are some agricultural areas –namely guava orchards– toward the lower parts (Medina-Torres et al., 2008).

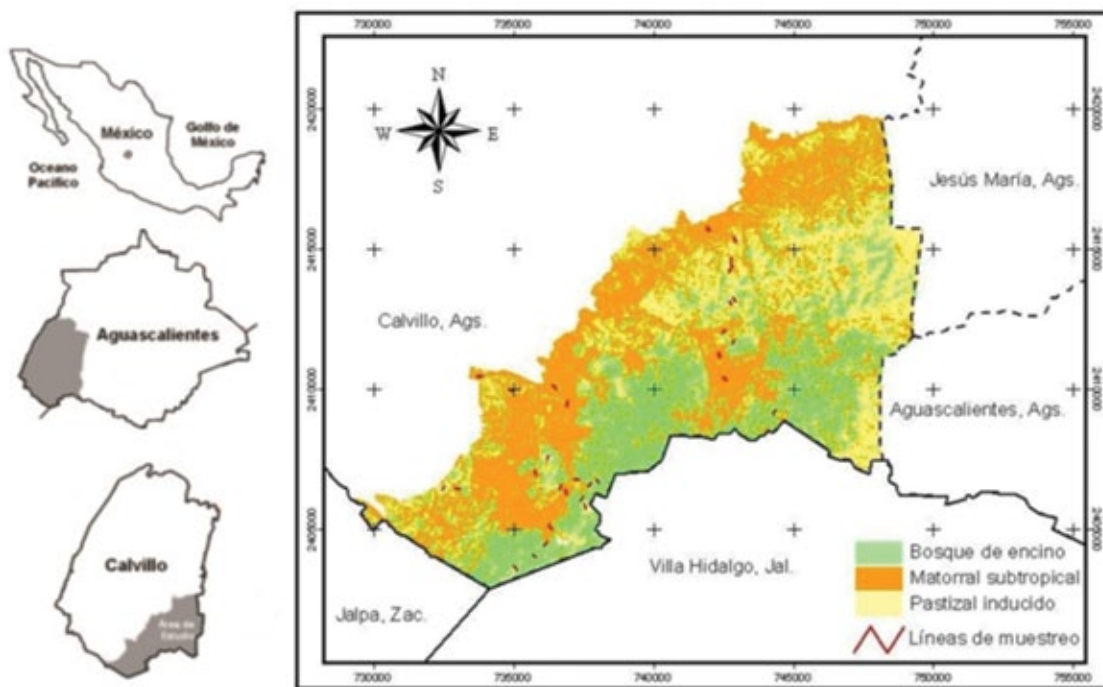


Figura 1. Ubicación de Sierra del Laurel.
Figure 1. Location of *Sierra del Laurel*.

En las partes altas, el clima corresponde al templado subhúmedo, con lluvias en verano (C (w)), mientras que hacia las partes bajas del Valle de Huajuac, el clima es semicálido semiseco (BS_h). En la zona oriental, hacia el valle de Aguascalientes, el clima es cálido semiseco (BS_k) (García, 1998; Inegi, 2009). La precipitación promedio anual es de 615 mm, de acuerdo al promedio histórico documentado entre 1960 y 2008 (Medina-Torres *et al.*, 2008).

Se han identificado tres tipos de vegetación: bosque de encino, matorral subtropical y pastizal inducido. El aprovechamiento pecuario es la principal actividad económica, aunque existen algunas áreas agrícolas, y huertos de guayaba, hacia las partes bajas (Medina-Torres *et al.*, 2008).

Densidad poblacional del *Odocoileus virginianus couesi*

Para obtener una estimación de la densidad poblacional conservadora y evitar sobreestimaciones, se utilizó la tasa de defecación de 25 grupos fecales de venado por día determinada por López-Téllez *et al.* (2007). Se comparó con estimaciones de trabajos similares realizados en México (Gallina, 1990; Mandujano y Gallina, 1995; Ortiz-Martínez *et al.*, 2005), 15.2 (Zavala, 1992, citado por Ortiz-Martínez *et al.*, 2005) y 22.0 (Galindo-Leal y Weber, 1998).

Population density of *Odocoileus virginianus couesi*

In order to obtain a conservative estimate of the population density and avoid overestimations, the defecation rate of 25 deer fecal pellet groups per day determined by López-Téllez *et al.* (2007) was utilized. This was compared with estimates from similar studies performed in Mexico (Gallina, 1990; Mandujano and Gallina, 1995; Ortiz-Martínez *et al.*, 2005), 15.2 (Zavala, 1992, cited by Ortiz-Martínez *et al.*, 2005) and 22.0 (Galindo-Leal and Weber, 1998).

The establishment of the plots (initial count and subsequent clearing) began in February and continued until May 2006, since habitat variables were measured in some of them. A time since deposition of 120 days previous to the establishment of the plots was considered, in order to meet the basic assumption of the method of Eberhardt and Van Etten (1956): that only those pellet groups deposited after the fall of the leaves are to be counted. As the establishment of the plots advanced, the elapsed days were added to the time of the deposit, so that the number of days varied between 120 and 219. The second revision took place in June and July 2006, and the time since deposition of the accumulated pellet groups was 55 to 122 days. Because that year the rains were delayed until August, it was assumed that no significant loss of excreta due to rain runoff had occurred.

El establecimiento de las parcelas (recuento inicial y limpieza subsiguiente) dio inicio en febrero y continuó hasta mayo de 2006, ya que sobre algunas de ellas se realizaron las mediciones de las variables del hábitat. Se tomó en cuenta un tiempo de depósito de 120 días, previo al inicio del establecimiento de las parcelas, lo anterior para cumplir con el supuesto básico del método de Eberhardt y Van Etten (1956): que solo serán contados los grupos fecales depositados después de la caída de las hojas. Al avanzar en el establecimiento de las parcelas, se sumaron los días transcurridos al tiempo de depósito, de tal manera que varió entre 120 y 219 días. La segunda revisión se efectuó durante los meses de junio y julio de 2006, y el tiempo de depósito de los grupos fecales acumulados fue de 55 a 122 días. Dado que las lluvias ese año se retrasaron hasta agosto, se consideró que no hubo pérdida importante de excretas por arrastre pluvial.

La densidad poblacional se estimó mediante el recuento de los grupos fecales en parcelas circulares de 9.3 m² (Eberhardt y Van Etten, 1956), ya que dicho tamaño representa un equilibrio entre la varianza de muestreo (disminuye) y el sesgo de muestreo (incrementa), en relación con el incremento del tamaño de la parcela (Smith, 1968).

Se tomó como un grupo fecal todo hallazgo de al menos cinco excretas con características semejantes (Gallina, 1990), dispersas no más de 60 cm lineales. El muestreo base se hizo sobre líneas o transectos de 200 m cada uno, para un total de 30 líneas, y en cada una se colocaron seis parcelas, separadas 40 m una de otra para sumar 180 parcelas: 13 en bosque de encino, 10 en matorral subtropical y siete en pastizal inducido. Por parcela se verificó la existencia de grupos fecales en un radio de 1.72 m, a partir de su centro georreferenciado con un error de ubicación de tres metros. Se empleó un modelo de muestreo aleatorio estratificado (Gómez-Aguilar, 1979), para una precisión de 30 % y una confianza de 93.0 %, valores adecuados, dados los recursos humanos y materiales con los que se contó para la investigación. Cabe mencionar que durante la segunda revisión no se localizaron seis parcelas pertenecientes a dos líneas, debido a la pérdida de las marcas utilizadas, por lo que no fueron incluidas en el análisis estadístico.

Con el fin de comprobar si la densidad estimada de venados no varió entre las dos etapas de muestreo, y dado que no hay normalidad en los datos por tratarse de recuentos, se aplicó una prueba de rangos de *Wilcoxon*. La densidad poblacional se estimó con el modelo:

$$D = (NP \times PG) / (TP \times TD)$$



The population density was estimated by counting the pellet groups in circular 9.3 m² plots (Eberhardt and Van Etten, 1956), as this size represents a balance between the sample variance (diminishing) and the sample bias (increasing), in relation to the increase in plot size (Smith, 1968).

A pellet group was defined as a set of five excreta with similar characteristics (Gallina, 1990) found scattered along not more than 60 linear cm. The basic sample was based on lines or transects of 200 m each, for a total of 30 lines, on each of which six parcels were disposed, separated by a distance of 40 m or transects each, adding up to 180 parcels: 13 in an oak forest, 10 in a subtropical shrubland, and seven in induced grasslands. The existence of pellet groups within a radio of 1.72 m was verified in each parcel, starting from its georeferenced center, with a location error of 3 m. A stratified random sampling model was used (Gómez-Aguilar, 1979), to attain 30 % accuracy and a confidence of 93.0 %, values that are appropriate, given the human and material resources that were available for the research. It is worth mentioning that during the second revision six parcels belonging to two lines were not located, due to loss of the utilized marks, and therefore were not included in the statistical analysis.

In order to test whether or not the estimated deer density had varied between the two sampling stages, and given that there is no normalcy in the data because these are derived from counts, Wilcoxon's range test was used. The population density was estimated by the model:

$$D = (NP \times PG) / (TP \times TD)$$

Where:

D = Density of deer per km²

NP = 107 526.88 plots per km²

PG = Average pellet groups per plot

TP = Time since deposition of the pellet groups

TD = Defecation rate (pellet groups per deer per day) (Eberhardt and Van Etten, 1956)

Because the pellet groups have an aggregate spatial distribution, the following equation was used to estimate the standard error for the model of a negative binomial distribution (Ezcurra and Gallina, 1981):

$$Se = \sqrt{(x + (x^2 + k)) / n}$$

Where:

x = Sampling mean of pellet group per plot

k = Coefficient of the negative binomial distribution

n = Number of samples

The coefficient was estimated using the expression:

$$k = x^2 / s^2 - x$$

Donde:

- D = Densidad de venados por km²
- NP = 107 526.88 parcelas por km²
- PG = Promedio de grupos fecales por parcela
- TP = Tiempo de depósito de los grupos fecales
- TD = Tasa de defecación (grupos fecales por venado por día) (Eberhardt y Van Etten, 1956)

Con base en que los grupos fecales tienen una distribución espacial agregada, se empleó para el cálculo del error estándar el modelo de una distribución binomial negativa (Ezcurra y Gallina, 1981), con la ecuación:

$$Se = \sqrt{(x+(x^2+k))/n}$$

Donde:

- x = Media muestral de grupos fecales por parcela
- k = Coeficiente de la distribución binomial negativa
- n = Número de muestras

El coeficiente se obtuvo mediante la expresión:

$$k = x^2 / s^2 - x$$

Donde:

- s^2 = Varianza muestral de grupos fecales por parcela

Caracterización del hábitat

Las variables topográficas, de disponibilidad de agua y florístico-estructurales del hábitat fueron las de predicción en los modelos de regresión logística para modelar la selección de hábitat por el venado de *Coues* en la Sierra del Laurel (Medina-Torres *et al.*, 2008), y sus valores se promediaron por transecto. Cada comunidad vegetal se caracterizó a partir de ellas.

Las metodologías y procedimientos para obtener las variables topográficas, de disponibilidad de agua, y florístico-estructurales del hábitat se describen a detalle en Medina-Torres *et al.* (2008).

A partir de los datos obtenidos para cada unidad de muestreo y con el programa *Bio-Dap*[®] (Thomas y Clay, 2005) se estimaron la diversidad, la equidad y la dominancia de especies vegetales. El índice de diversidad de Shannon (H') expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todos los taxa de plantas en la muestra, bajo el supuesto de que los individuos son seleccionados al azar y que todos los taxones están presentes en la muestra. Adquiere valores entre cero, cuando hay un solo taxon, y el logaritmo de S (número de especies), cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988). Este índice se obtuvo mediante la ecuación:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Where:

- s^2 = Sampling variance of pellet groups per plot

Characterization of the habitat

The topographic variables, water availability and floral-structural traits of the habitat were the predictive variables in the logistic regression models utilized for modeling the habitat selection by the *Coues* deer in *Sierra del Laurel* (Medina-Torres *et al.*, 2008), and its values were averaged by transect. Each vegetal community was characterized based on these.

The methodologies and procedures to obtain the topographic variables, the availability of water, and the flower-structural traits of the habitat are described in detail in Medina-Torres *et al.* (2008).

The diversity, equity and predominance of vegetal species were estimated based on the data obtained for each sampling unit and using the *Bio-Dap*[®] software (Thomas and Clay, 2005). Shannon's diversity index (H') expresses the uniformity of the important values across the plant species in the sample, under the assumption that the individuals are selected at random and that all taxa are represented in the sample. It acquires values that range between zero, when there is a single taxon, and the logarithm of S (number of species), when all the species are represented by the same number of individuals (Magurran, 1988). This index was estimated using the following equation:

$$H' = \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Where:

- p_i = Proportion of individuals of species i in relation to the total number of individuals (i.e. the relative abundance of species i ; $\frac{n_i}{N}$)
- n_i = Number of individuals of the i^{th} species

The equity was estimated using Pielou's index (E), which measures the proportion of the observed diversity in relation to the maximum expected diversity:

$$E = H' / H'_{max}$$

Where:

- H' = Shannon's diversity index
- H'_{max} = Natural logarithm of S

Its value ranges from 0 to 1; the maximum value indicates that all the species are equally abundant (Magurran, 1988).

Predominance was determined by using Simpson's index (λ), which calculates the probability that two individuals selected at random from a sample belong to the same species. This index is strongly influenced by the importance of the most predominant species (Peet, 1974; Magurran, 1988). Its value

Donde:

p_i = Proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (es decir la abundancia relativa de la especie i ; $\frac{n_i}{N}$)
 n_i = Número de individuos de la especie i -ésima

La equidad se calculó con el índice de *Pielou* (E), que mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada:

$$E = H' / H'_{max}$$

Donde:

H' = Índice de diversidad de *Shannon*
 H'_{max} = Logaritmo natural de S

Su valor va de 0 a 1, de tal forma que el máximo indica que todas las especies son igualmente abundantes (Magurran, 1988).

El predominio se determinó por medio del índice de *Simpson* (λ), que calcula la probabilidad de que dos individuos tomados al azar de una muestra sean de la misma especie. Este índice está fuertemente influido por la importancia de las especies más dominantes (Peet, 1974; Magurran, 1988). Su valor va de 0 a 1, de tal forma que 1 corresponde a situaciones en las que todas están igualmente representadas (Magurran, 1988):

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Donde:

p_i = Proporción de individuos de la especie i con respecto a N

Un análisis multivariado, mediante la técnica del análisis de componentes principales (ACP), permitió reducir las 29 variables del hábitat y verificar los agrupamientos de las líneas por tipo de vegetación. Con ello, se definieron las que contribuyeron a explicar la mayor variación posible en un espacio de tres dimensiones, dado por los primeros tres componentes principales resultantes. Debido a que las variables se midieron en unidades diferentes, se utilizó la matriz de correlaciones (Johnson, 2000).

Relación entre la densidad de venados y los atributos del hábitat

Los atributos del hábitat que explican la densidad del venado, y dado que los recuentos no siguen una distribución normal, se aplicó un modelo lineal generalizado (Pozo-Montuy, 2006) para una distribución binomial negativa con función de enlace logarítmica, cuya variable de respuesta fue el número redondeado de venados km^{-2} , los factores correspondieron a los tipos de vegetación y las covariables a los atributos del hábitat. Este procedimiento se usó para probar la hipótesis

ranges from 0 to 1; 1 corresponds to situations in which all the species are equally represented (Magurran, 1988):

$$\lambda = \sum p_i^2$$

Where:

p_i = Proportion of individuals of species i in relation to N

A multivariate analysis using the main components technique (MCT) made it possible to reduce the 29 variables of the habitat and to verify the groupings of the lines by vegetation type, thus allowing determination of the variables that contributed to account for the highest possible variation in a three-dimensional space given by the first three resulting main components. Because the variables were measured using different units, a correlation matrix was utilized (Johnson, 2000).

Relationship between deer density and the attributes of the habitat

Due to the attributes of the habitat which account for deer density and to the fact that the counts do not follow a normal distribution, a generalized liner model was applied (Pozo-Montuy, 2006) to a negative binomial distribution with a logarithmic link function, for which the response variable was the rounded-off number of deer km^{-2} ; the factors corresponded to the vegetation types, and the covariables, to the attributes of the habitat. This procedure was used to test the hypothesis that deer density did not vary between the three studied vegetation types. The parameters of the model were estimated using Fisher's method, and the effects of the factor and covariables of the model were assessed using Wald's statistical Chi square. Paired contrasts were analyzed in order to test the hypothesis that vegetation types did not differ in deer density, at a significance level of $p = 0.05$. The proportion of the total variation in deer density accounted for by the type of habitat was determined based on the comparison between the deviance of the null model and the residual deviance $D^2 = (\text{deviance of the null model} - \text{residual deviance}) / \text{deviance of the null model} \times 100$.

The analysis was begun with a model that included the factor (vegetation types) and all the covariables, and it was repeated excluding the non-significant variables until the most parsimonious model –i.e. the model with the lowest number of significant variables– was attained. The Bayesian information criterion (BIC) made it possible to select the best model, for which the lowest value was preferred.



de que la densidad de venados no varió entre los tres tipos de vegetación bajo estudio. Los parámetros del modelo se estimaron por el método de Fisher; y los efectos del factor y covariables del modelo se evaluaron mediante el estadístico Chi cuadrado de Wald. Se analizaron contrastes por parejas, para probar la hipótesis de que los tipos de vegetación no difirieron en la densidad de venado, a un nivel de significancia $p = 0.05$. La proporción de la variación total de la densidad de venado explicada por el tipo de hábitat, se determinó a partir de la comparación de la devianza del modelo nulo con la $D^2 = (\text{devianza del modelo nulo} - \text{devianza residual}) / \text{devianza del modelo nulo} \times 100$.

Se inició con un modelo que incluyó el factor (tipos de vegetación) y todas las covariables, se repitió excluyendo del análisis aquellas no significativas ($p > 0.05$), hasta obtener el modelo más parsimonioso; es decir, aquel que tuvo el menor número de variables significativas. El criterio de información bayesiano (CIB) permitió seleccionar el mejor modelo, fue preferible el valor más bajo.

Resultados

Grupos fecales por parcela

Se contaron 91 grupos fecales en 96 de 180 unidades de muestreo, de los cuales 63 se registraron durante el establecimiento de las parcelas y 28 en el segundo recuento. La media de grupos fue de 0.35 ± 0.09 y 0.16 ± 0.04 , respectivamente. La media total fue de 0.33 ± 0.06 grupos por parcela.

Densidad de venados

El intervalo de confianza a 95 % para la densidad de venados estuvo entre 5.0 y 11.6 venados por km^2 , con una media estimada estratificada de 8.3 para el área de estudio. La densidad no varió significativamente entre ambas etapas de muestreo, de acuerdo con la prueba de rangos de Wilcoxon ($Z = -0.581$, $p = 0.561$), por lo que solo se consideró el promedio de la densidad de venados.

El modelo lineal generalizado demostró diferencias altamente significativas entre los tres hábitats ($\chi^2_{\text{Wald}} = 77.642$, $gl = 2$, $p = 0.000$). El análisis de contrastes confirmó que la densidad varió significativamente entre los tipos de vegetación (Cuadro 1). La mayor densidad se obtuvo en el matorral subtropical, seguida del bosque de *Quercus* y del pastizal inducido (Figura 2).

Results

Pellet groups per plot

91 fecal pellet groups were counted in 96 of the 180 sampling units, 63 of which were registered during the establishment of the plots, and 28 during the second count. The mean for the groups was 0.35 ± 0.09 and 0.16 ± 0.04 , respectively. The overall mean was 0.33 ± 0.06 groups per plot.

Deer density

The 95 % confidence interval for deer density ranged between 5.0 and 11.6 deer per km^2 , with an estimated stratified mean of 8.3 for the study area. The density did not vary significantly between both sampling stages, according to Wilcoxon's range test ($Z = -0.581$, $p = 0.561$); therefore, only the average deer density was considered.

The generalized linear model showed highly significant differences between the three habitats ($\chi^2_{\text{Wald}} = 77.642$, $df = 2$, $p = 0.000$). The contrast analysis confirmed a significant variation in deer density between vegetation types (Table 1). The highest density was found in the subtropical shrubland, followed by the *Quercus* forest and the induced grassland (Figure 2).

Habitat characterization

The third first main components accounted for 66.8 % of the total variation. The first component (MC 1) amounted to 37.1 % of the total, and the variables with the highest positive charge in their coefficients were tree canopy cover, tree density, site altitude, baseline area and average tree height —characteristic attributes of well-developed arboreal strata of the *Quercus* forest. Conversely, the coefficients with the highest negative charge for this component were shrub canopy cover, shrub density, tree/shrub density per site, and *I. murucoides* density, i.e. characteristic attributes of the subtropical shrubland.

The second main component (MC 2) accounted for 20.4 % of the total variation. The variables with the highest weight on positive coefficients were Shannon's index (H') and the total floral wealth, whereas the variable with the highest negative weight was Simpson's predominance index (λ). The third main component (MC 3) accounted for 9.3 % of the total variation, and the variable with the highest weight on positive coefficients was the percentage of topsoil, whereas soil rockiness had the highest weight on negative coefficients (Figure 3).



Cuadro 1. Contrastes de la diferencia de medias del número promedio de densidad de venado cola blanca por tipo de vegetación.

(I) Hábitat	(J) Hábitats	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Grados de libertad	Significancia.	Intervalo de confianza de Wald para la diferencia 95 %	
						Inferior	Superior
Bosque de <i>Quercus</i>	Matorral subtropical	-7.97	2.23	1	0.00	-12.33	-3.61
	Pastizal inducido	5.35	0.96	1	0.00	3.46	7.24
Matorral subtropical	Bosque de <i>Quercus</i>	7.97	2.23	1	0.00	3.61	12.33
	Pastizal inducido	13.32	2.08	1	0.00	9.25	17.38
Pastizal inducido	Bosque de <i>Quercus</i>	-5.35	0.96	1	0.00	-7.24	-3.46
	Matorral subtropical	-13.32	2.08	1	0.00	-17.38	-9.25

Table 1. Contrasts of the differences in the means of the average density of the white-tailed deer by vegetation type.

(I) Habitat	(J) Habitats	Difference between means (I-J)	Standard error	Degrees of freedom	Sig.	95 % Wald confidence interval for the difference	
						Lowest	Highest
<i>Quercus</i> forest	Subtropical shrubland	-7.97	2.23	1	0.00	-12.33	-3.61
	Induced grassland	5.35	0.96	1	0.00	3.46	7.24
Subtropical shrubland	<i>Quercus</i> forest	7.97	2.23	1	0.00	3.61	12.33
	Induced grassland	13.32	2.08	1	0.00	9.25	17.38
Induced grassland	<i>Quercus</i> forest	-5.35	0.96	1	0.00	-7.24	-3.46
	Subtropical shrubland	-13.32	2.08	1	0.00	-17.38	-9.25

Caracterización del hábitat

Los tres primeros componentes principales explicaron 66.8 % de la variación total. El primer componente (CP 1) representó 37.1 % del total, y las variables con mayor carga positiva en sus coeficientes fueron la cobertura del dosel arbóreo, la densidad de árboles, la altitud del sitio, el área basal y la altura promedio del arbolado; atributos característicos de estratos arbóreos bien desarrollados del bosque de *Quercus*. En contraste, los coeficientes con mayor carga negativa para este componente resultaron la cobertura del dosel arbustivo, la densidad de arbustivas, la densidad de árboles y arbustivas por sitio y la densidad de *I. muruoides*; es decir, atributos representativos del matorral subtropical.

Relationship between deer density and the attributes of the habitat

Exclusion of the non-significant variables from the initial analysis generated the most parsimonious model and the one with the best adjustment (BIC = 562.24), in which seven variables proved to be highly significant ($p < 0.01$), accounting for little more than 45 % of the variability of deer density ($D^2 = 45.82$ %; Table 2). The model corresponds to equation 1:

$$DV \sim \beta_1 X_1 + \beta_7 X_7 + \beta_{10} X_{10} + \beta_{13} X_{13} + \beta_{15} X_{15} + \beta_{24} X_{24} + \beta_{28} X_{28} + \epsilon, \quad (1)$$





Figura 2. Densidad promedio de venados en la Sierra del Laurel, Aguascalientes, con intervalos de confianza de Wald al 95 %.

Figure 2. Average deer density in Sierra del Laurel, Aguascalientes, with 95 % Wald confidence intervals.

El segundo componente principal (CP 2) constituyó 20.4 % de la variación total. Las variables con más peso en los coeficientes positivos fueron el índice de Shannon (H') y la riqueza florística total, en tanto que la variable con mayor peso negativo fue el índice de predominio de Simpson (λ). El tercer componente principal (CP 3) explicó 9.3 % de la variación total, y en el extremo positivo la variable con mayor peso fue el porcentaje de suelo cubierto con mantillo, mientras que en el extremo negativo correspondió a la rocosidad del suelo (Figura 3).

Relación densidad de venados y atributos del hábitat

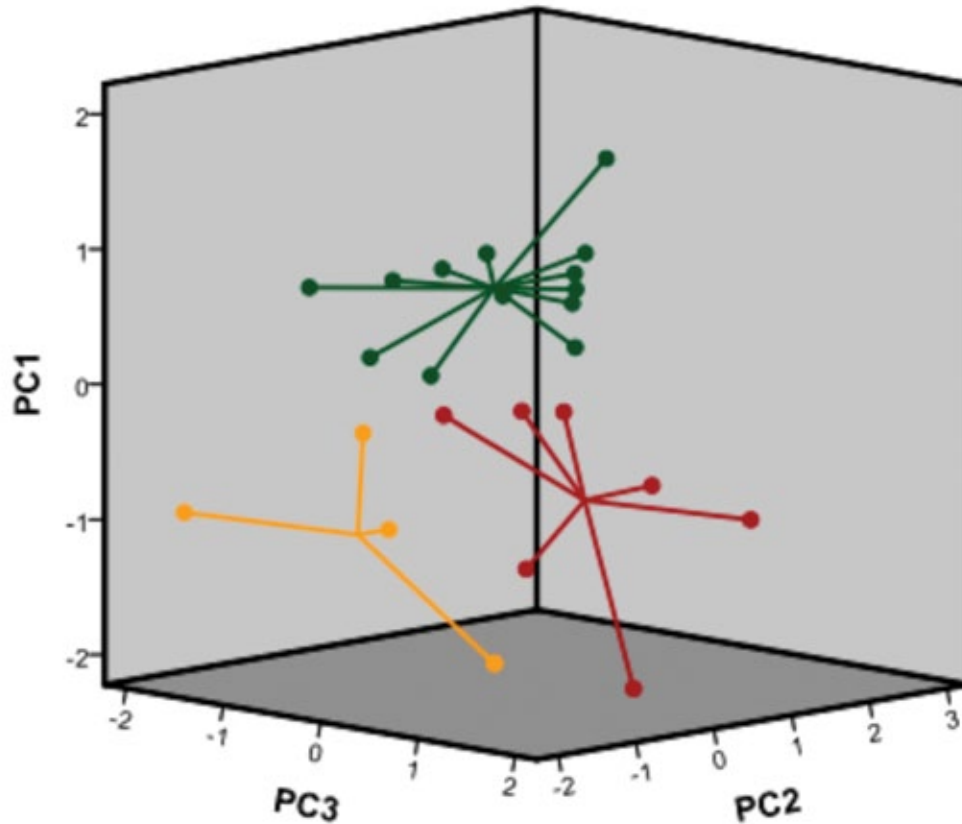
Al excluir las variables no significativas del análisis inicial, se generó el modelo más parsimonioso y con mejor ajuste (CIB = 562.24), en el cual siete variables resultaron altamente significativas ($p < 0.01$), explicó poco más de 45 % de la variabilidad de la densidad de venados ($D^2 = 45.82$ %; Cuadro 2). El modelo corresponde a la ecuación 1:

$$DV \sim \beta_1 x_1 + \beta_2 x_9 + \beta_{10} x_{10} + \beta_{13} x_{13} + \beta_{18} x_{18} + \beta_{24} x_{24} + \beta_{28} x_{28} + \epsilon_i \quad (1)$$

Where:

- DV = Deer density km^2^{-1}
- β_i = Variable parameter
- x_i = Vegetation type
- x_9 = Pielou's equity index
- x_{10} = Simpson's predominance index
- x_{13} = *I. murucoides* tree density per ha
- x_{18} = Floral wealth of the arboreal stratum
- x_{24} = Average height of the shrub stratum
- x_{28} = Naked soil percentage
- ϵ_i = Error





Verde = Bosque de encino; Marrón = Matorral subtropical; Naranja = Pastizal inducido.
 Green = Oak forest; Red = Subtropical shrubland; Orange = Induced grassland.

Figura 3. Distribución tridimensional de los agrupamientos por tipo de vegetación, conformado por los tres primeros componentes principales.

Figure 3. Three-dimensional distribution of groupings by vegetation type, constituted by the three first main components.

Donde:

- DV = Densidad de venados km^{-2}
- β_i = Parámetro de la variable
- x_i = Tipo de vegetación
- x_9 = Índice de equidad de *Pielou*
- x_{10} = Índice de predominio de *Simpson*
- x_{13} = Densidad de árboles de *I. murucoides* por ha
- x_{18} = Riqueza florística del estrato arbóreo
- x_{24} = Altura promedio del estrato arbustivo
- x_{28} = Porcentaje de suelo desnudo,
- ϵ_i = Error



Discussion

Deer population density

The population estimation, compared with those obtained by other authors in similar habitats in *Sierra del Laurel*, suggests that there tends to be a higher deer density in locations with deciduous vegetation than in temperate forests, with the exception of *La Michilía, Durango* (Gallina, 1990), although, according to Galindo-Leal and Weber (1998), the same region registered lower deer densities in later years (Table 3).

Another important consideration is the randomization of the sampling units, for, if this condition is not guaranteed, it may originate biases that will question or invalidate the results, a situation which has even brought about serious controversies among researchers (Galindo-Leal, 1992; Gallina and Ezcurra, 1992).

Cuadro 2. Coeficientes de las variables explicativas de la densidad del venado cola blanca en la Sierra del Laurel, Aguascalientes.

Variable	Parámetro	Error estándar	Valor de T	Pr(> t)	Significancia
Intercepto	-13.286	3.320	-4.002	1.27E-04	***
X ₁ [Matorral subtropical]	2.581	0.612	4.218	5.76E-05	***
X ₁ [Pastizal inducido]	0.086	0.927	0.093	9.26E-01	
X ₉	7.077	2.431	2.912	4.51E-03	**
X ₁₀	7.838	2.568	3.052	2.97E-03	**
X ₁₃	0.018	0.004	4.243	5.25E-05	***
X ₁₈	0.889	0.189	4.701	9.06E-06	***
X ₂₄	1.036	0.153	6.752	1.29E-09	***
X ₂₈	0.063	0.015	4.191	6.36E-05	***

Significancia: *** = < 0.001; ** = 0.001; * = 0.01; ns = 0.05.
 Devianza del modelo nulo = 836.87, con 179 grados de libertad
 Devianza residual = 764.93, con 177 grados de libertad
 Criterio de información bayesiano = 562.24

Table 2. Coefficients of the variables accounting for white-tailed deer density in Sierra del Laurel, Aguascalientes.

Variable	Parameter	Standard error	T Value	Pr(> t)	Significance
Intercept	-13.286	3.320	-4.002	1.27E-04	***
X ₁ [Subtropical shrubland]	2.581	0.612	4.218	5.76E-05	***
X ₁ [Induced grassland]	0.086	0.927	0.093	9.26E-01	
X ₉	7.077	2.431	2.912	4.51E-03	**
X ₁₀	7.838	2.568	3.052	2.97E-03	**
X ₁₃	0.018	0.004	4.243	5.25E-05	***
X ₁₈	0.889	0.189	4.701	9.06E-06	***
X ₂₄	1.036	0.153	6.752	1.29E-09	***
X ₂₈	0.063	0.015	4.191	6.36E-05	***

Significance: *** = < 0.001; ** = 0.001; * = 0.01; ns = 0.05.
 Deviance of the null model = 836.87, with 179 degrees of freedom
 Residual deviance = 764.93, with 177 degrees of freedom
 Bayesian information criterion = 562.24

Discusión

Densidad de población del venado

La estimación poblacional comparada con las obtenidas por otros autores en hábitats semejantes a la Sierra del Laurel sugieren que la densidad del venado tiende a ser mayor en lugares con vegetación caducifolia, en contraste con bosques templados, a excepción de La Michilía, Durango (Gallina, 1990); aunque de acuerdo con Galindo-Leal y Weber (1998) en esa misma región se registraron densidades de venado más bajas en años posteriores (Cuadro 3).

In the case of this study, the establishment of sampling lines guarantees the validity of the obtained results. An advantage to be considered is that mensuration studies of forest inventories may provide data from the excreta of the deer and, thus, may make it possible to carry out an analysis of the habitat selection.



Cuadro 3. Comparativo de las estimaciones de densidad de venado cola blanca obtenidas por otros autores con las obtenidas en el presente trabajo.

Tasa de defecación	Tipo de hábitat	Lugar	Subespecie	D	Error estándar	Fuente
Bosques templados						
12.7	Bosque templado	La Michilía, Dgo.	<i>O. v. couesi</i>	21.0	2.7	Gallina (1990)
	Bosque de <i>Quercus</i>	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	14.4	5.5	Datos del trabajo aquí documentado
	Bosque templado	La Primavera, Jal.	<i>O. v. sinaloe</i> J. A. Allen, 1903	4.8	1.0	Valenzuela (1991), citado por Ortiz-Martínez et al., 2005
	Bosque templado	Sierra de Pachuca, Hgo.	<i>O. v. *</i>	2.1	1.6	Sánchez-Rojas et al. (2009)
	Bosque templado	Sierra Norte, Oax.	<i>O. v. oaxacensis</i> Goldman y Kellog, 1940	1.1	1.2	Ortiz-Martínez et al. (2005)
22	Bosque de <i>Quercus</i>	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	8.3	2.2	Datos del trabajo aquí documentado
	Bosque templado	La Michilía, Dgo.	<i>O. v. couesi</i>	1.2	nd	Galindo-Leal y Weber (1998)
Vegetación caducifolia						
12.7	Matorral subtropical	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	30.1	7.5	Datos del trabajo aquí documentado
	Bosque tropical seco	Estación Biológica Chamela, Jal.	<i>O. v. couesi</i>	27.6	5.0	Mandujano y Gallina (1995)
15.2	Matorral subtropical	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	25.2	6.3	Datos del trabajo aquí documentado
	Bosque subtropical	Estación biológica Las Joyas, Jal.	<i>O. v. sinaloe</i>	14.5	nd	Zavala (1992), citado por Ortiz-Martínez et al., 2005
25	Matorral subtropical	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	15.3	3.8	Datos del trabajo aquí documentado
	Bosque tropical seco	Mixteca Poblana, Pue.	<i>O. v. mexicanus</i> Gmelin, 1788	1.8	0.0	López-Téllez et al. (2007)
Pastizales inducidos						
25	Pastizal inducido	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	2	1.1	Datos del trabajo aquí documentado

* = Posiblemente *O. v. mexicanus*; nd = No disponible; D = Venados por km².

Table 3. Comparison between the white-tailed deer densities and those found in this study.

Defecation rate	Type of habitat	Location	Subspecies	D	Standard error	Source
Temperate forests						
12.7	Temperate forest	La Michilía, Dgo.	<i>O. v. couesi</i>	21.0	2.7	Gallina (1990)
	<i>Quercus</i> forest	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	14.4	5.5	This study
	Temperate forest	La Primavera, Jal.	<i>O. v. sinaloe</i> J. A. Allen, 1903	4.8	1.0	Valenzuela (1991), cited by Ortiz-Martínez <i>et al.</i> , 2005
	Temperate forest	Sierra de Pachuca, Hgo.	<i>O. v.*</i>	2.1	1.6	Sánchez-Rojas <i>et al.</i> (2009)
	Temperate forest	Sierra Norte, Oax.	<i>O. v. oaxacensis</i> Goldman and Kellog, 1940	1.1	1.2	Ortiz-Martínez <i>et al.</i> (2005)
22	<i>Quercus</i> forest	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	8.3	2.2	This study
	Temperate forest	La Michilía, Dgo.	<i>O. v. couesi</i>	1.2	nd	Galindo-Leal and Weber (1998)
Deciduous vegetation						
12.7	Subtropical shrubland	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	30.1	7.5	This study
	Dry tropical forest	Estación Biológica Chamela, Jal.	<i>O. v. sinaloe</i>	27.6	5.0	Mandujano and Gallina (1995)
15.2	Subtropical shrubland	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	25.2	6.3	This study
	Subtropical forest	Estación biológica Las Joyas, Jal.	<i>O. v. sinaloe</i>	14.5	na	Zavala (1992), cited by Ortiz-Martínez <i>et al.</i> , 2005
25	Subtropical shrubland	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	15.3	3.8	This study
	Dry tropical forest	Mixteca Poblana, Pue.	<i>O. v. mexicanus</i> Gmelin, 1788	1.8	0.0	López-Téllez <i>et al.</i> (2007)
Induced grasslands						
25	Induced grassland	Sierra del Laurel, Ags.	<i>O. v. couesi</i>	2	1.1	This study

* = Possibly *O. v. mexicanus*; na = Not available; D = Deer per km².



Otra consideración importante es la aleatorización de las unidades de muestreo, pues si esta condición no se garantiza puede dar lugar a sesgos que ponen en duda o invalidan los resultados; situación que ha originado, incluso, a serias controversias entre investigadores (Galindo-Leal, 1992; Gallina y Ezcurra, 1992).

En el caso de este trabajo, con el establecimiento de las líneas de muestreo se garantiza la validez de los resultados obtenidos. Una ventaja por considerar, es que durante los estudios dasonómicos en los inventarios forestales, es posible obtener datos de las excretas del venado, y, con ello, realizar análisis de selección de hábitat.

Caracterización del hábitat

La utilidad del análisis de componentes principales como procedimiento preliminar de revisión de datos multivariados del hábitat, además de verificar la clasificación de las unidades muestrales, y de identificar datos anómalos permite una primera aproximación *a priori*, para detectar de manera cualitativa posibles asociaciones entre los agrupamientos configurados (hábitats) y sus respectivas estimaciones de la densidad poblacional del venado cola blanca, en un espacio bi o tri-dimensional de las unidades muestrales, ya sea que se utilicen los dos (Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; López-Téllez *et al.*, 2007) o tres primeros componentes principales, es más común el primer caso.

En el presente estudio se observó que la variabilidad de los atributos del hábitat se explicaron por un reducido número de variables relacionadas con los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo, además del grado de equidad en cada comunidad vegetal. También, se determinó qué porcentaje de la variabilidad total del hábitat responde a los primeros tres componentes principales (66.8 %), porcentaje muy cercano al que López-Téllez *et al.* (2007) registraron en un bosque tropical seco de la Mixteca Poblana (67 %), y superior a lo citado por Ortíz-Martínez *et al.* (2005) en un bosque templado de Oaxaca (64 %); y por Sánchez-Rojas *et al.* (2009) en un hábitat similar en la Sierra de Pachuca, Hidalgo (58.6 %).

Relación densidad de venados y atributos del hábitat

Aun cuando algunos autores han señalado la relación aparente entre los agrupamientos generados por un ACP y las densidades de venados registradas en ellos (Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; López-Téllez *et al.*, 2007), no es evidencia concluyente para propósitos de gestión y la estadística paramétrica no genera inferencias confiables. Esta investigación demostró que los modelos lineales generalizados ofrecen una solución razonable para entender la variación en la densidad de venados como respuesta a los atributos de su hábitat. Lo anterior es de particular importancia, cuando la densidad poblacional del venado se estima mediante técnicas indirectas,

Habitat characterization

The usefulness of the main component analysis as a preliminary procedure for the revision of the multivariate data of the habitat lies not only in that it verifies the classification of sampling units and identifies anomalous data but also allows a first *a priori* approximation to qualitatively detect potential associations between the formed groupings (habitats) and their respective estimations of the population density of white-tailed deer, within a bi- or three-dimensional space of the sampling units, regardless of whether the first two (Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; López-Téllez *et al.*, 2007) or three main components are used, though the former case is the more usual one.

The present study shows that the variability of the attributes of the habitat are accounted for by a reduced number of variables related to the arboreal, shrub or herbaceous strata, as well as to the degree of equity in each vegetal community. It also made it possible to know what percentage of the total variability of the habitat results from the first three main components (66.8 %), a percentage that is very close to that registered by López-Téllez *et al.* (2007) in a dry tropical forest in the Pueblan Mixteca (67 %), and higher than that quoted by Ortíz-Martínez *et al.* (2005) in a temperate forest of Oaxaca (64 %), and by Sánchez-Rojas *et al.* (2009) in a similar habitat in the Sierra de Pachuca, Hidalgo (58.6 %).

Relationship between deer density and the attributes of the habitat

Although some authors have pointed out the apparent relationship between the groupings generated by a main component analysis (MCA) and the deer densities registered in these (Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; López-Téllez *et al.*, 2007), such relationship is not a conclusive evidence for management purposes, and the parameter statistics do not generate reliable inferences. This research showed that generalized linear models offer a reasonable solution for understanding the variation in deer density due to the attributes of their habitat. This is particularly important when the population density of the deer is estimated using indirect techniques, such as the count of fecal pellet groups by plots, which by nature do not have a normal distribution but follow a negative binomial aggregate distribution (Ezcurra and Gallina, 1981), which prevents the use of conventional parameter statistical techniques.

The utilized method generated a parsimonious model with only seven out of a total of the 29 initially considered variables. It is important to highlight that two of the three floral-structural variables which accounted for the habitat selection by the deer in Sierra del Laurel -number of *I. mucroides* trees ha⁻¹ and average height of the shrub stratum- also accounted for the variation in their density (Medina-Torres *et al.*, 2008).

como el recuento de grupos fecales en parcelas, que por su naturaleza no tienen una distribución normal, sino que siguen una distribución agregada binomial negativa (Ezcurra y Gallina, 1981), lo que impide el uso de técnicas estadísticas paramétricas convencionales.

El método utilizado generó un modelo parsimonioso, con solo siete variables de un total de 29 considerados en un principio. Es importante resaltar que dos de las tres variables florístico-estructurales que explicaron la selección del hábitat por el venado en la Sierra del Laurel: número de árboles de *I. murucoides* ha⁻¹ y altura promedio del estrato arbustivo (Medina-Torres *et al.*, 2008) explicaron, además, la variación en su densidad.

El análisis de los coeficientes de las variables (Cuadro 3) muestra que de los tres tipos de vegetación estudiados, solamente, el pastizal inducido no contribuyó a elucidar la densidad del venado. Asimismo, destaca que el intercepto, que resume el efecto del bosque de encino sobre la densidad del venado, es significativo y negativo, lo que confirma que la densidad en este hábitat es menor en relación al matorral subtropical, resultado semejante a lo citado por otros autores, en bosques templados (Valenzuela, 1991, citado por Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; Galindo-Leal y Weber, 1998; Ortíz-Martínez *et al.*, 2005), o en vegetación caducifolia (Zavala, 1992, citado por Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; Mandujano y Gallina, 1995) (Cuadro 3).

Los coeficientes de las otras variables fueron positivos y altamente significativos, lo cual indica que a medida que dichos atributos se incrementen, la densidad del venado también lo hará. Cabe señalar que los valores más altos son característicos del matorral subtropical y puede considerarse que, en conjunto, explicaron por qué la densidad del venado cola blanca de la Sierra del Laurel es mayor en ese tipo de vegetación.

Por ejemplo, valores altos del índice de equidad corresponderán a sitios donde la repartición vegetal observada estará cercana a la máxima esperada, lo cual implica que el venado será más abundante en hábitats con especies vegetales igualmente representadas. Esto contrasta con el índice de predominio de Simpson, ya que valores altos corresponden a sitios con pocas especies predominantes, que puede ser reflejo del aparente predominio de *I. murucoides* en los sitios con más densidad de venado. Aun cuando el coeficiente positivo de la densidad de *I. murucoides* fue uno de los valores más bajos (un posible efecto menos intenso en relación a las otras variables del modelo sobre la densidad del venado), es importante resaltar que su aparición entre las variables explicativas sugiere una dependencia del venado por la densidad de este árbol, tan característico del matorral subtropical, e incluso es posible que su baja densidad en sitios con alta riqueza y diversidad de especies vegetales sea un factor limitativo para la presencia

The analysis of the coefficients of the variables (Table 3) shows that, of the three studied vegetation types, only the induced grassland did not account for the deer density. Likewise, it stresses that the intercept, which summarizes the effect of the oak forest on deer density, is significant and negative, which confirms that the density in this habitat is lower in relation to the subtropical shrubland, a similar result to that quoted by other authors in temperate forests (Valenzuela, 1991, cited by Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; Galindo-Leal and Weber, 1998; Ortíz-Martínez *et al.*, 2005) or in deciduous vegetation (Zavala, 1992, cited by Ortíz-Martínez *et al.*, 2005; Mandujano and Gallina, 1995) (Table 3).

The coefficients of the other variables were positive and highly significant, showing that deer density will grow as these attributes increase. It is worth pointing out that the highest values are characteristic of the subtropical shrubland and that, as a whole, they may be considered to explain the higher density of white-tailed deer in Sierra del Laurel in this type of vegetation.

For instance, high values for the equity index correspond to sites in which the observed vegetal distribution is close to the maximum expected, an indication that deer are more abundant in habitats with equally represented vegetal species. This contrasts with Simpson's predominance index, higher values of which correspond to sites with few predominant species, which may be a reflection of the apparent prevalence of *I. murucoides* in sites with the highest deer density. Although the positive coefficient of *I. murucoides* density was one of the lowest values (possibly a less intense effect than that of other variables of the model on deer density), it is important to highlight that its presence among the explicative variables suggests a dependence of deer density on the density of this tree, which is so characteristic of the subtropical shrubland, and that it is even possible that the low density of *I. murucoides* in sites with a high wealth and diversity of vegetal species may be a limiting factor for the presence of deer. The blossom of *I. murucoides* has been documented to have 76.25 % moisture and to be available during the flowering period, between December and March, and therefore it may serve as a source of water in environments similar to the subtropical shrubland of Sierra del Laurel (Villarreal and Marín-Fuentes, 2005). It is possible that, in this mountain range, where recurring droughts are frequent and permanent watercourses are inexistent, the deer may meet its need for this vital fluid by consuming the blossom of *I. murucoides* (Medina-Torres *et al.*, 2008).



de venado. Se ha documentado que la flor de *I. murucoides*, tiene 76.25 % de humedad y está disponible durante la floración, entre diciembre a marzo, por lo que sirve como fuente de agua en entornos similares al matorral subtropical de la Sierra del Laurel (Villarreal y Marín-Fuentes, 2005). Es posible que en dicha Sierra, donde son frecuentes las sequías recurrentes y la falta de corrientes de agua permanentes, el venado cubra sus necesidades del vital líquido mediante el consumo de la flor de *I. murucoides* (Medina-Torres *et al.*, 2008).

Otra de las variables del sotobosque que también contribuyó a explicar la densidad del venado fue el porcentaje de suelo desnudo, pero al parecer no hay un argumento ecológico que respalde esa aparente predilección por suelos desprovistos de vegetación y mantillo. De hecho, puede interpretarse como un sesgo causado por la fácil detección de las excretas en suelos desnudos, por lo que su efecto sobre la densidad del venado debe tomarse con reserva.

Dos atributos más del matorral subtropical fueron altamente significativos en el modelo lineal generalizado: la riqueza florística del estrato arbóreo y la altura promedio del estrato arbustivo, que se relacionan con la disponibilidad de alimento, la cobertura térmica y de escape. Dado que la Sierra de Laurel se distingue por su clima extremoso y sequías prolongadas (Medina-Torres, 2008), el venado requiere de vegetación particularmente densa que le brinde alimento y protección contra las inclemencias térmicas, así como de refugio o vías de escape contra sus depredadores (Galindo-Leal y Weber, 1998; Bello y Equihua, 2001; Ortiz-Martínez *et al.*, 2005). Medina-Torres *et al.* (2008) consignan que la altura media del estrato arbustivo para una probabilidad de uso superior a 0.5 no debe ser inferior a 2 m.

Ya se ha señalado que la aparente selección del matorral subtropical por el venado pudiese más bien responder a presiones y amenazas a su población. Pese a que no fueron analizados a profundidad, se identificaron otros factores antrópicos que amenazan al venado. Es evidente que el pastizal inducido es producto del desmonte y el sobrepastoreo; su distribución espacial sugiere un proceso de fragmentación preocupante, lo que debe ser objeto de nuevas investigaciones. El matorral subtropical fue el hábitat "seleccionado" por el venado; sin embargo, tal elección, posiblemente es más una respuesta a las amenazas (fragmentación de su hábitat, sobrepastoreo, caza furtiva y presencia de excursionistas), que a la satisfacción de sus necesidades básicas (Medina-Torres, 2008). La caza furtiva es un fenómeno que se ha incrementado en los años posteriores a la realización de esta investigación, y dado lo accidentado del terreno, los cazadores con frecuencia incursionan a pie o a caballo, internándose en la sierra por las mañanas y por las tardes, y con ello obligan a los venados a replegarse hacia los matorrales más densos.

Another variable of the undergrowth which also helps to understand the deer density was the percentage of naked soil; however, there seems to be no ecological explanation to endorse that apparent preference for soils devoid of humus and vegetation. In fact, this may be interpreted as a bias caused by the easy detection of excreta on naked soils, and therefore its effect on deer density must be regarded with caution.

Two more attributes of the subtropical shrubland proved to be highly significant in the generalized linear model: the floral wealth of the arboreal stratum and the average height of the shrub stratum, which is associated to the availability of food and thermal and escape cover. Given that *Sierra del Laurel* stands out for its extreme climate and its long droughts (Medina-Torres, 2008), deer require a particularly dense vegetation to provide food and protection against inclement temperatures, as well as a shelter or escape ways from its predators (Galindo-leal and Weber, 1998; Bello and Equihua, 2001; Ortiz-Martínez *et al.*, 2005). Medina-Torres *et al.* (2008) register that the medium height of the shrub stratum for a probability of use above 0.5 should be at least 2 m.

It has already been pointed out that the apparent selection of the subtropical shrubland by the deer might be due to pressures and threats against its population. Other anthropic factors threatening the deer were identified though not analyzed at depth. It is evident that the induced grassland is the product of clearing and of overgrazing; its spatial distribution suggests an alarming fragmentation process which should be the object of new research. The subtropical shrubland was the habitat "selected" by the deer, which, however, were possibly fleeing from threats (e.g. fragmentation of their habitat, overgrazing, furtive hunting and presence of hikers), rather than seeking satisfaction of their basic needs (Medina-Torres, 2008). Furtive hunting has increased in the years after this study was carried out, and given the roughness of the terrain, hunters often venture into the area on foot or on horseback into the *Sierra*, in the morning and in the afternoon, forcing the deer to withdraw into the densest shrublands.

Other factors to be considered in subsequent studies to explain the deer density in the subtropical shrubland are related to the demography of the species. The fact that there is a larger proportion of females among the deer population results an increase in fawn production, with the consequent overload of the habitat. Migrants who reside in the United States and come in December and January to visit their families in the *Calvillo* municipality often hunt male deer.

However, even the subtropical shrubland, which as a habitat appears to meet the needs of the deer, faces threats. Siqueiros-Delgado *et al.* (2006) mention that this vegetation type is among the most affected by farming development in *Sierra de Laurel*, the expanse of which has been reduced as

Otros factores que deben considerarse en estudios posteriores, para explicar la densidad del venado en el matorral subtropical son los relacionados con la demografía de la especie. Una mayor proporción de hembras en la población de venados redundaría en un incremento en la producción de cervatos, con la consecuente sobrecarga del hábitat. Es frecuente que los migrantes radicados en Estados Unidos de América, quienes arriban durante diciembre y enero al municipio Calvillo a visitar a sus familias, salgan a cazar venados machos.

Sin embargo, aun el matorral subtropical como hábitat que aparentemente satisface los requerimientos del venado, a su vez enfrenta amenazas. Siqueiros-Delgado *et al.* (2006) mencionan que esa vegetación en la Sierra del Laurel es uno de los tipos más afectados por el desarrollo agropecuario, pues su extensión ha sido mermada por cambios de uso de la tierra para el establecimiento de cultivos de guayaba o de agave azul, o para la ganadería. Se ha documentado que los ganaderos eliminan el matorral subtropical y afectan la calidad del hábitat del venado. González-Alaníz (1997) considera que *I. murucoides* es una especie tóxica para el ganado, por lo que los productores la erradicaron con herbicidas. Durante octubre de 2006, la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente del estado de Aguascalientes (Proespa) documentó en el municipio Calvillo que en más de 100 ha se había talado hasta 83 % de los árboles de *I. murucoides* y eliminado a todos los arbustos de la especie.

Conclusiones

La densidad de venados en la Sierra del Laurel durante la época seca de 2006 varió significativamente entre los tres tipos de vegetación existentes, fue mayor en el matorral subtropical, seguida del bosque de *Quercus* y del pastizal inducido. Las variables que contribuyeron a explicar la variabilidad de la densidad del venado fueron el tipo de vegetación, el índice de equidad de *Pielou*, el índice de predominio de *Simpson*, la densidad de árboles de *I. murucoides*, la riqueza florística del estrato arbóreo y la altura promedio del estrato arbustivo.

La fragmentación del hábitat por la apertura de tierras a nuevos cultivos, el sobrepastoreo, la caza furtiva, la afluencia de paseantes y la proliferación de infraestructura para proyectos de ecoturismo no se descartan como factores de presión sobre el venado, por lo que se requieren de más estudios para confirmar o descartar que tales factores influyan sobre la densidad de la especie en el matorral subtropical.

Asimismo, se requiere de mayor profundidad en estudios demográficos que permitan conocer la relación de sexos y clases de edad, para evaluar el éxito reproductivo de la especie, lo que pudiera realizarse mediante foto-trampeo. 🍂

a result of changes in the use of the land for the establishment of guava or blue agave crops or for stockbreeding. Livestock breeders have been documented to eliminate the subtropical shrubland and to affect the quality of the deer's habitat. According to González-Alaníz (1997), *I. murucoides* is toxic for livestock, and therefore producers eradicate it using herbicides. In October 2006, the Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente del estado de Aguascalientes (PROESPA) documented the felling of up to 83 % of the *I. murucoides* trees in over 100 ha in Calvillo municipality and the elimination of all the shrubs of this species.

Conclusions

Deer density varied significantly between the three existing vegetation types in Sierra del Laurel during the dry season of 2006, the highest density occurring in the subtropical shrubland, followed by the *Quercus* forest and by the induced grassland. The variables which accounted for the variability in deer density were the vegetation type, Pielou's equity index, Simpson's predominance index, *I. murucoides* tree density, the floral wealth of the arboreal stratum, and the average height of the shrub stratum.

Habitat fragmentation due to the opening of the land to new crops, overgrazing, furtive hunting, the affluence of hikers, and the proliferation of infrastructure for ecotourism projects cannot be dismissed as factors of pressure on the deer; therefore, further studies are required in order to confirm or dismiss that such factors influence the density of the species in the subtropical shrubland.

Likewise, more in-depth demographic studies are necessary to gain knowledge of the sex ratio and age classes in order to evaluate the reproductive success of the species, possibly through photo-trapping. 🍂

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

Contribution by author

Martin Salvador Medina Torres: selection of sampling units in the field, background documentation, preparation of the manuscript; Edmundo García Moya: analysis of the relationship - density deer habitat, structure and revision of the manuscript; Marcelo Márquez Olivas: monitoring of population sampling, structuring and revising the manuscript; Angelica Romero Manzanares: obtaining indicators of richness, diversity, equity and plant dominance and revising the manuscript; Humberto Vaquera Huerta multivariable statistical analysis and generalized linear model; Mario Martínez Menes construction of GIS and geo-referencing of the sampling frame.



Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

Salvador Martín Medina Torres: selección de unidades de muestreo en campo, documentación de antecedentes, elaboración del manuscrito; Edmundo García Moya: análisis de la relación hábitat-densidad del venado, estructuración y revisión del manuscrito; Marcelo Márquez Olivas: seguimiento del muestreo poblacional, estructuración y revisión del manuscrito; Angélica Romero Manzanares: obtención de indicadores de riqueza, diversidad, equidad y dominancia vegetal y revisión del manuscrito; Humberto Vaquera Huerta: análisis estadístico multivariado y modelo lineal generalizado; Mario Martínez Menes: construcción del sistema de información geográfica y geo-referenciación del marco de muestreo.

Agradecimientos

El primer autor agradece en especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por el apoyo brindado durante esta investigación a través de una beca doctoral. Así mismo, se hace un especial agradecimiento al personal del Servicio de Guardabosques de la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente de Aguascalientes, así como a Santos Muñoz Macías, por su guía y asistencia durante la expedición de campo, y a la bióloga Gabriela Delgadillo Quezada por el registro y procesamiento de la información.

Referencias

- Bello, J. S. G. and M. Equihua. 2001. Characterization and habitat preferences by white-tailed deer in Mexico. *Journal of Range Management* 54:537-545.
- Eberhardt, L. and R. Van Etten. 1956. Evaluation of the pellet group count as a deer census method. *Journal of Wildlife Management* (20):70-74.
- Ezcurra, E. and S. Gallina. 1981. Biology and population dynamics of white-tailed deer in northwestern Mexico. In: Ffolliott, F. y S. E. Gallina (eds.). *Deer biology, habitat requirements, and management in western North America*. Instituto de Ecología, México, D. F., México. pp. 77-106.
- Galindo-Leal, C. 1992. Overestimation of deer densities in Michilia Biosphere Reserve. *Southwestern Naturalist* 37:209-212.
- Galindo-Leal, C. y M. Weber. 1998. El Venado de la Sierra Madre Occidental. *Ecología, manejo y conservación*. EDICUSA - Conabio, México, D. F., México. 272 p.
- Gallina, S. 1990. El venado cola blanca y su hábitat en la Michilia, Dgo. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. 130 p.
- Gallina, S. and E. Ezcurra. 1992. Deer densities in la michilia: a reply to Galindo. *The Southwestern Naturalist* 37(4):422-424.
- García, E. 1998. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. *Climas. Serie libros*. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F., México. Número 6. 91 p.
- Gómez-Aguilar, R. 1979. Introducción al Muestreo. Tesis de maestría en ciencias en estadística. Colegio de Posgraduados. Centro de Estadística y Cálculo. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 260 p.
- González-Alaníz, M. H. 1997. Evaluación de los agostaderos de Aguascalientes y su potencial de mejoramiento. Gobierno del Estado Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. Cuadernos de Trabajo Agricultura y Recursos Naturales Núm. 65. 44 p.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (Inegi). 2009. Sistema para la consulta del anuario estadístico de Aguascalientes 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática y Gobierno del Estado de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags., México. 521 p.
- Johnson, D. E. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Internacional Thomson Editores. México, D. F., México. 566 p.

Acknowledgements

The first author wishes to express special gratitude to the *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt)* for its support during this research through a doctoral scholarship. Likewise, we are particularly grateful to the staff of the *Servicio de Guardabosques de la Procuraduría Estatal de Protección al Ambiente de Aguascalientes*, as well as to Santos Muñoz Macías, for his guidance and assistance during the field expedition, and to biologist Gabriela Delgadillo Quezada, for recording and processing the information.

End of the English version



- Kobelkowsky, R. S. 2000. Evaluación del hábitat y estructura de la población de venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en la región central de la Sierra Fria, Aguascalientes. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 87 p.
- López-Téllez, M. C., S. Mandujano y G. Yánes. 2007. Evaluación poblacional del venado cola blanca en un bosque tropical seco de la Mixteca Poblana. *Acta Zoologica Mexicana* 23(3): 1-16.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press. Princeton, NJ, USA. 178 p.
- Mandujano, S. and S. Gallina. 1995. Comparison of deer censusing methods in a tropical dry forest. *Wildlife Society Bulletin* 23:180-186.
- Medina-Flores, J. A. y S. M. Medina-Torres. 1989. Avances en materia de protección dentro del programa de conservación y aprovechamiento cinegético del venado cola blanca en Aguascalientes. In: Roa-Riol, M. A., J. G. Villarreal-González y P. U. Dietrich. III Simposio sobre Venados en México. UANL- UNAM. Linares, N. L., México. pp. 135-146.
- Medina-Torres, S. M. 2008. El venado cola blanca (*Odocoileus virginianus couesi*) y su hábitat en la Sierra del Laurel, Aguascalientes. Tesis de doctorado. Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Programa de Postgrado en Botánica. Montecillo, Texcoco, Edo. de Méx., México. 264 p.
- Medina-Torres, S. M., E. García-Moya, M. Márquez-Olivas, H. Vaquera-Huerta, A. Romero-Manzanares y M. Martínez-Menes. 2008. Factores que influyen en el uso del hábitat por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus couesi*) en la Sierra del Laurel. *Acta Zoologica Mexicana* 24(3):191-212.
- Ortiz-Martínez, T., S. Gallina, M. Briones-Salas y G. 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 Norte de Oaxaca, México. *Acta Zoologica Mexicana* 21(3):65-78.
- Peet, R. K. 1974. The measurement of species diversity. *Annual Review of Ecology and Systematics* 5: 285-307.

- Pozo-Montuy, G. 2006. Efecto del uso del suelo sobre la configuración del paisaje, la distribución y la abundancia del mono aullador negro (*Alouata pigra*) en el municipio de Balancán, Tabasco. Tesis de maestría. Instituto de Ecología. Xalapa, Ver., México. 56 p.
- Ramírez-Pulido, J. A., J. Arroyo-Cabrales y J. Castro-Campillo. 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* 21(1):21-82.
- Sánchez-Rojas, G., C. Aguilar-Miguel y E. Hernández-Cid. 2009. Estudio poblacional y uso de hábitat por el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*) en un bosque templado de la Sierra de Pachuca, Hidalgo, México. *Tropical Conservation Science* 2(2):204-214.
- Siqueiros-Delgado, M., G. García-Regalado y M. de la Cerda-Lemus. 2006. Selva baja caducifolia o matorral subtropical en el estado de Aguascalientes, México. Memoria. Contribuciones presentadas en la modalidad de cartel. Congreso Mexicano de Ecología. 26-30 de noviembre de 2006. Morelia, Mich., México. 127 p.
- Smith, R. H. 1968. A comparison of several sizes of circular plots for estimating deer pellet-group density. *Journal of Wildlife Management* 32(3):585-591.
- Thomas, G. and D. Clay. 2005. Bio-Dap - ecological diversity and its measurement. Resource Conservation Fund and National Park. New Brunswick, Canada. <http://nhsbiginhs.uiuc.edu/wes/populations.html> (24 de junio de 2014).
- Urquiza-Haas, E. G. 2009. Análisis de las capacidades nacionales para la conservación in situ. In: PNUD (coords.). México: capacidades para la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. México, D. F., México. pp. 65 - 73.
- Villalobos, S. V. 1989. El venado cola blanca en la Sierra Fría de Aguascalientes. In: Gobierno del Estado de Aguascalientes. (ed.). Oficina de coordinación de asesores, Cuadernos de trabajo. Agricultura y recursos naturales. Aguascalientes, México. Gobierno del Estado de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags, México. 73 p.
- Villarreal E. B., O. A. y M. M. Marín-Fuentes. 2005. Agua de origen vegetal para el venado cola blanca mexicano. *Archivos de Zootecnia* 54:191-196.
- Villarreal G., J. G. 1999. Venado cola blanca. Manejo y aprovechamiento cinegético. Unión Ganadera Regional de Nuevo León. Monterrey, N. L., México. 401 p.

