

MAPPING A SUITABLE HABITAT FOR MONTEZUMA QUAIL (*Cyrtonyx montezumae*) IN CENTRAL MEXICO

MAPEO DEL HÁBITAT ADECUADO PARA LA CODORNIZ MOCTEZUMA (*Cyrtonyx montezumae*) EN EL CENTRO DE MÉXICO

Marivel Hernández-Tellez¹, Germán David-Mendoza², Jorge López-Blanco³, José L. Alcántara-Carbajal⁴,
Fernando Clemente⁴, Luis A. Tarango-Arambula⁴, Gabriela Vázquez Silva^{5*}

¹Centro Interamericano de Recursos del Agua, Universidad Autónoma del Estado de México, Ixtlahuaca de Rayón. 50090, México. ²Doctorado en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México. 04960, México. ³Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México. 04510, México. ⁴Campus San Luis Potosí, Colegio de Postgraduados, Salinas de Hidalgo. 78622, México. ⁵Departamento de El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Ciudad de México. 04960, México. (gabyvsmx@gmail.com).

ABSTRACT

The Montezuma quail (*Cyrtonyx montezumae*) is a small endemic bird in the southwestern USA and southeastern Oaxaca, Mexico. Populations of this game species are in danger, mainly due to anthropogenic activities that have fragmented their habitat; however, information on its distribution and abundance is scarce. Therefore, the objective of this study was to identify a suitable habitat for the Montezuma quail in Estado de Mexico, Mexico, with remote sensing and field records modeled by geographic information systems. Multivariate analysis was applied to identify a suitable habitat for Montezuma quail in northwestern Mexico. Altitude, slope, aspect, normalized difference vegetation index (NDVI), and six spectral bands of Landsat 7 ETM+ 2000 were used in this study. The analysis was based on the Mahalanobis statistical distance combined with a Geographic Information System (GIS) and required information on the species presence within the study area. The study generated a probability map of the suitable habitat for Montezuma quail with $p > 0.50$. The p classes considered were 0.50-0.60, 0.60-0.70, 0.70-0.80, and 0.80-1.0. As the probability increased, the size of the area defined as an adequate habitat for Montezuma quail decreased. The sizes of the areas by probability classes were 601, 228, 62, and 9 km², respectively. The model detected 900 km² of suitable habitat for Montezuma quail in the study area, which was distributed in different locations.

Keywords: *Cyrtonyx montezumae*, Montezuma quail, Geographic Information System modeling, suitable habitat.

RESUMEN

La codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) es una pequeña ave endémica del suroeste de Estados Unidos y el sureste de Oaxaca, México. Las poblaciones de esta especie de carne de caza están en peligro, principalmente debido a actividades antropogénicas que han fragmentado su hábitat; sin embargo, hay poca información sobre su distribución y abundancia. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue identificar un hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en el Estado de México, México, con sensores remotos y registros de campo modelados por sistemas de información geográfica. Un análisis de multivariadas se aplicó para identificar un hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en el noroeste del Estado de México. Altitud, pendiente, aspecto, índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés) y seis bandas espectrales de Landsat 7 ETM+2000 se usaron en este estudio. El análisis se basó en la distancia estadística de Mahalanobis combinada con un Sistema de Información Geográfica (SIG) y la información requerida sobre la presencia de especies dentro del área de estudio. El estudio generó un mapa de probabilidad del hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma con $p > 0.50$. Las clases p consideradas fueron 0.50-0.60, 0.60-0.70, 0.70-0.80 y 0.80-1.0. A medida que aumentaba la probabilidad, disminuía el tamaño del área definida como un hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma. Los tamaños de las áreas por clases de probabilidad fueron 601, 228, 62 y 9 km², respectivamente. El modelo detectó 900 km² de hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en el área de estudio, distribuidos en diferentes lugares.

* Author for correspondence ❖ Autor responsable.

Received: July, 2018. Approved: January, 2019.

Published as ARTICLE in *Agrociencia* 54: 43-55. 2020.

Palabras clave: *Cyrtonyx montezumae*, codorniz Moctezuma, modelo del Sistema de Información Geográfica, hábitat adecuado.

INTRODUCTION

Adequate management and conservation of wildlife greatly depends on understanding habitat-species relationships (Maclean *et al.*, 2008). The complex nature of the habitats has encouraged the use of multivariate statistics instead of simple univariate techniques (Clark *et al.*, 1993). Habitat modeling based on remote sensing data is a valuable instrument for environmental modeling and monitoring for wildlife conservation (Nichols and Williams, 2006; Wang *et al.*, 2013; Vogeler and Cohen, 2016), and it is used for quails (Sardà-Palomera and Vieites, 2011; Sardà-Palomera *et al.*, 2012) and other birds (Osborne *et al.*, 2001; Poulin *et al.*, 2008; Pistolesi *et al.*, 2015). Moreover, several statistical methods use logistic regression (Osborne *et al.*, 2001), principal component analysis (Debinski and Broussard, 1994; Petrișor *et al.*, 2012), canonical correlation analyses, Mahalanobis distance (Calenge *et al.*, 2008; Krishnaswamy *et al.*, 2009), backward stepwise procedure (Sardà-Palomera *et al.*, 2012), and Bayes theorem (Peterson *et al.*, 2016). Previous analyses used studies that consisted only of the observed presence of the species (Conner, 2002; Fithian *et al.*, 2015). Additionally, economic constraints, rough topography, inaccessible habitats, and weather conditions make the use of remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) technology mandatory for studies beyond the local scale. The Mahalanobis Distance applied with GIS can enrich the analysis of geographically isolated populations was used to develop adequate models of habitat prediction for birds (Dettmers and Bart, 1999; Conner, 2002) and mammals. The Mahalanobis distance is utilized to measure groups of environmental variables that match a set of ideal conditions for a particular species. Then, it is applied with GIS to identify places in the landscape similar to that set of ideal conditions.

Using Mahalanobis distance has the following advantages: 1) it does not require information from random sites or from sites where the animal is absent, 2) it has a Chi-square distribution with degrees of freedom equal to the number of variables minus one ($n-1$), where the probability values are calculated as an index denoting the probability that a pixel belongs to a group of particular interest, and 3) it is a component of the algorithms applied to satellite

INTRODUCCIÓN

Un manejo y conservación adecuados de la vida silvestre dependen en gran medida de la comprensión de las relaciones hábitat-especie (Maclean *et al.*, 2008). La naturaleza compleja de los hábitats ha estimulado el uso de estadísticas multivariadas en lugar de simples técnicas univariadas (Clark *et al.*, 1993). El modelo del hábitat basado en datos de teledetección es un instrumento valioso para el modelado y monitoreo ambiental a fin de conservar la vida silvestre (Nichols y Williams, 2006; Wang *et al.*, 2013; Vogeler y Cohen, 2016); y se usa para codornices (Sardà-Palomera y Vieites, 2011; Sardà-Palomera *et al.*, 2012) y otras aves (Osborne *et al.*, 2001; Poulin *et al.*, 2008; Pistolesi *et al.*, 2015). Además, varios métodos estadísticos utilizan regresión logística (Osborne *et al.*, 2001), análisis de componentes principales (Debinski y Broussard, 1994; Petrișor *et al.*, 2012), análisis de correlación canónica, distancia de Mahalanobis (Calenge *et al.*, 2008; Krishnaswamy *et al.*, 2009), procedimiento escalonado hacia atrás (Sardà-Palomera *et al.*, 2012) y teorema de Bayes (Peterson *et al.*, 2016). Los análisis anteriores utilizaron estudios que consistieron solo en la presencia observada de la especie (Conner, 2002; Fithian *et al.*, 2015). Además, las limitaciones económicas, la topografía irregular, los hábitats inaccesibles y las condiciones climáticas hacen que el uso de la teledetección y la tecnología de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) sean obligatorios para estudios más allá de la escala local. La distancia de Mahalanobis aplicada con SIG puede enriquecer el análisis de poblaciones geográficamente aisladas que se usó para desarrollar modelos adecuados de predicción de hábitat para aves (Dettmers y Bart, 1999; Conner, 2002) y mamíferos. La distancia de Mahalanobis se utiliza para medir grupos de variables ambientales que coinciden con un conjunto de condiciones ideales para una especie en particular. Luego, se aplica con SIG para identificar lugares en el paisaje similares a ese conjunto de condiciones ideales.

El uso de la distancia de Mahalanobis tiene las siguientes ventajas: 1) no requiere información de sitios aleatorios o de sitios donde el animal está ausente, 2) tiene una distribución de Chi-cuadrada con grados de libertad igual al número de variables menos uno ($n-1$), donde los valores de probabilidad se calculan como un índice que indica la probabilidad de que un píxel pertenezca a un grupo de interés particular, y 3)

images for land-use/habitat classification (Clark *et al.*, 1993; Knick and Dyer, 1997; Conner, 2002).

The Montezuma quail is a stumpy and secretive bird of the highlands of Mexico and adjoining parts of the United States. The species is a resident in southern Arizona, New Mexico, and Texas, USA, as well as Sierra Madre Occidental, transverse Mexican volcanic axis or Trans-Mexican volcanic belt, and the Isthmus of Tehuantepec, Oaxaca, in Mexico (Stromberg, 1990; Howell and Webb, 1995). The habitat of this quail includes pine-oak forest associations and grassland ecotones of mountain ranges, along with semi-arid lands and sub-humid mountainous prairies with scattered *Pinus*, *Juniperus*, and *Quercus* forest (Johnsgard, 1988). This bird is an important game and environmental indicator species (Alcerreca, 1988). Because of its considerable range and rather large global population, the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List has designated this species as “Least Concern” (Birdlife International, 2008). However, the Montezuma quail population in the USA has significantly decreased due to overgrazing by livestock, which destroys vegetation required by the quail for food and cover (Johnsgard, 1988; Bristow and Ockenfels, 2004). Meanwhile, extreme overgrazing extirpates the species (Albers and Gehlbach, 1990). Wildfire suppression was also identified as a factor related to important changes in the composition and physiognomy of the vegetation of the quail’s habitats (Aspinall and Veitch, 1993). These same factors are probably decimating the habitat of this species in Mexico, where its distribution is centralized.

There are few estimates of the population of Montezuma quail in Mexico (Tapia *et al.*, 2002; Bristow and Ockenfels, 2004; Hernández *et al.*, 2007); nevertheless, Mexican environmental laws have categorized Montezuma quail as threatened species (SEMARNAT, 2010). In Mexico, research efforts have focused on generating baseline information in the central region of Mexico (Tapia *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2007), which is an area that has suffered rapid environmental deterioration (Chávez-León, 2014). Endless urban sprawl, widespread agricultural and livestock farming, and wildfire suppression are among the main reasons for a drastic reduction in the species’ habitat in the mountainous area of central Mexico (Tapia *et al.*, 2002). To efficiently conserve Montezuma quail, it is essential to detect areas of optimal habitat.

es un componente de los algoritmos aplicados a las imágenes de satélite para la clasificación del uso del suelo/hábitat (Clark *et al.*, 1993; Knick y Dyer, 1997; Conner, 2002).

La codorniz Moctezuma es un ave achaparrada y reservada de las tierras altas de México y partes adyacentes de Estados Unidos. La especie habita en el sur de Arizona, Nuevo México y Texas, en Estados Unidos. Así como en la Sierra madre occidental, el Eje volcánico transversal (Cinturón volcánico transmexicano) y el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, en México (Stromberg, 1990; Howell y Webb, 1995). El hábitat de esta codorniz incluye asociaciones de bosques de pino-encino y ecotonos de pastizales en cadenas montañosas, junto con tierras semiáridas y praderas montañosas subhúmedas con bosques dispersos de *Pinus*, *Juniperus* y *Quercus* (Johnsgard, 1988). Esta ave es una especie importante como carne de caza e indicador ambiental (Alcerreca, 1988). Debido a su considerable alcance y a su población mundial bastante grande, la Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) la ha designado como “preocupación menor” (Birdlife International, 2008). Sin embargo, la población de codornices Moctezuma en Estados Unidos ha disminuido de manera significativa debido al pastoreo excesivo del ganado, que destruye la vegetación que necesitan las codornices para alimento y cobertura (Johnsgard, 1988; Bristow y Ockenfels, 2004). Además, el pastoreo excesivo elimina la especie (Albers y Gehlbach, 1990). El apagado de incendios forestales también se identificó como un factor relacionado con cambios importantes en la composición y la fisonomía de la vegetación de los hábitats de las codornices (Aspinall y Veitch, 1993). Estos mismos factores probablemente están diezmando el hábitat de esta especie en México, donde su distribución está centralizada.

Hay pocas estimaciones de la población de codornices Moctezuma en México (Tapia *et al.*, 2002; Bristow y Ockenfels, 2004; Hernández *et al.*, 2007); sin embargo, las leyes ambientales mexicanas han clasificado a la codorniz Moctezuma como especie amenazada (SEMARNAT, 2010). En este país, los esfuerzos de investigación se han centrado en generar información de referencia en la región central de México (Tapia *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2007), un área que ha sufrido un rápido deterioro ambiental (Chávez-León, 2014). La interminable expansión urbana, la agricultura y la ganadería generalizadas y

The Montezuma quail is a resident species throughout the year, without altitudinal migrations or long-distance movements, with gregarious populations in habitat made up of scattered islands located on steep and isolated slopes, with preference for hillsides with abundant vegetation of native perennial grasses and arboreal stratus composed mainly of oak forests, which serve as refuge and foraging areas (Mesta *et al.*, 2011, Chávez-León, 2014). It is expected a greater presence of *C. montezuma* in areas with large extensions of herbaceous vegetation coverage and arboreal stratus with steep slopes. The objective of this study was to identify a suitable habitat for Montezuma quail in an important region in the center of the country, in Estado de México, through the use of remote sensing and field data modeled with GIS.

MATERIALS AND METHODS

Study area

The study area was located in Estado de México and 20 municipalities of the northwestern section were selected for this study (Figure 1). That region encompasses mountains, hills, and valleys covering 6800 km², of which 64% are agricultural areas, 18% are forested landscapes (*Pinus*, *Quercus*, *Alnus*), and 16% grassland (Sardà-Palomera and Vieites, 2011). Two types of climate characterize the study area, temperate subhumid (C(W)) and semi-cold subhumid C(E)(W), both with summer rainy seasons

el apagado de incendios forestales se encuentran entre las principales razones de una reducción drástica del hábitat de las especies en la zona montañosa del centro de México (Tapia *et al.*, 2002). Para conservar eficientemente a la codorniz Moctezuma, es esencial detectar áreas de hábitat óptimo. La codorniz Moctezuma es una especie residente todo el año, sin migraciones altitudinales o movimientos de larga distancia; tiene poblaciones gregarias en hábitats formados por islas dispersas ubicadas en laderas empinadas y aisladas, prefiere laderas con abundante vegetación de pastos perennes nativos y estratos arbóreos compuestos por bosques de encino, que sirven de refugio y áreas de alimentación (Mesta *et al.*, 2011, Chávez-León, 2014). Una mayor presencia de *C. montezumae* se espera en áreas con grandes extensiones cubiertas de vegetación herbácea y estratos arbóreos con pendientes pronunciadas. El objetivo de este estudio fue identificar un hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en una importante región del centro del país, el Estado de México, mediante el uso de sensores remotos y datos de campo modelados con SIG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

Para este estudio se seleccionaron 20 municipios de la sección noroeste del Estado de México para este estudio (Figura 1). Esa

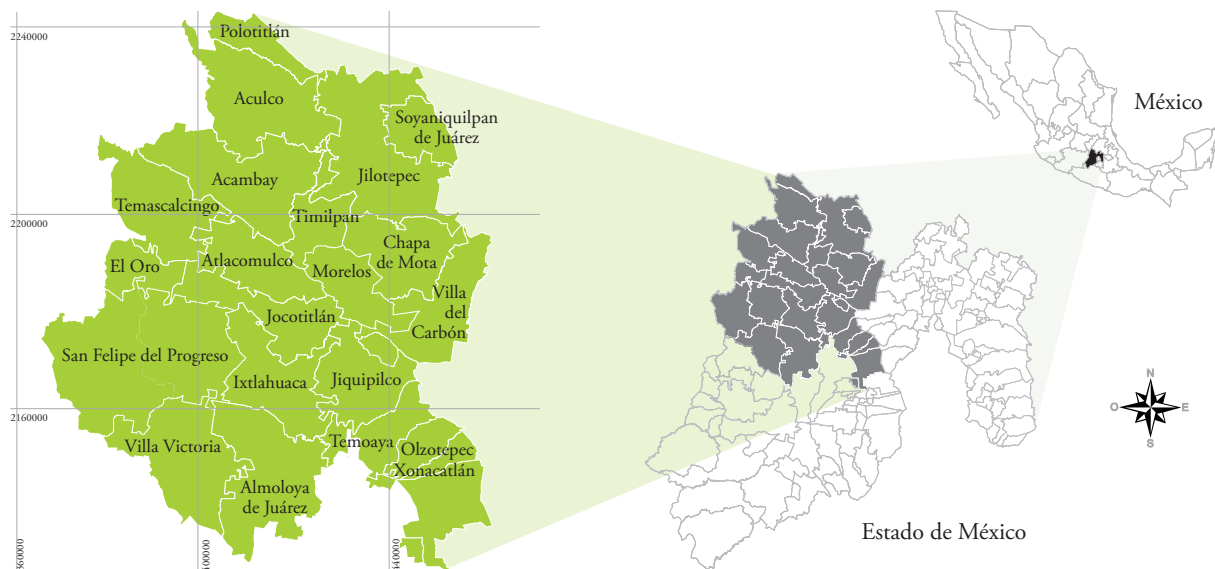


Figure 1. Study area in the northwestern portion of Estado de México (INEGI, 1987 modified in IDRISI).
Figura 1. Área de estudio en la porción noroeste del Estado de México (INEGI, 1987. Modificado en IDRISI).

(García, 1988). The average annual precipitation is 1000 mm, with a range of 700-1800 mm (INEGI, 1987).

Sampling

Montezuma quail samplings were conducted along transects with pointing dogs to facilitate quail detection (Howell and Webb, 1995; Hernández *et al.*, 2006). All the observed Montezuma quail, as well as any signs of their presence (feeding and resting sites, feathers, nests, and feces), were recorded and geopositioned (Universal Transverse Mercator coordinate system) with a 12XL Garmin Geographic Positioning System. A 50 m radius buffer zone was created for each quail location using Arc View 3.2. Both quail locations and buffer zones were then considered as the preferred or optimal habitat.

Factors

In order to identify a suitable quail habitat, six spectral bands of Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM) plus 2000 (path 26 and 27 and row 46 and 47) imagery were used. These bands were geometrically corrected using control points on 1:50 000 topographic maps (INEGI, 2002). Slope and aspect maps were created with a Digital Elevation Model. To identify geographic sites of high similarity to those where the species was detected, three physical factors (elevation, slope, and aspect), a numerical indicator of live green vegetation (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI), and several spectral reflectance signatures (bands 1, 2, 3, 4, 5, and 7) were used.

Habitat modeling

Habitat modeling for Montezuma quail was based on the Mahalanobis distance, given by the following equation:

$$D^2 = (\underline{x} - \underline{m})^T C^{-1} (\underline{x} - \underline{m})$$

where: \underline{x} is the vector of habitat characteristics associated with each cell. \underline{m} is the average vector of the habitat characteristics of quail sites (it represents the ideal habitat for the animal species). C is the covariance matrix also derived from the Montezuma quail sites (Clark *et al.*, 1993; Dettmers and Bart, 1999; Conner, 2002; Jenness, 2003).

A data layer containing the Montezuma quail sites and their buffer zones was exported to IDRISI to obtain the spectral values of pixels overlapping quail buffer zones (for each satellite image band, slope, elevation, aspect, and Normalized Difference Vegetation Index/NDVI). The resulting raster layer was transformed into

región abarca montañas, colinas y valles que cubren 6800 km², de los cuales 64% son áreas agrícolas, 18% son paisajes boscosos (*Pinus*, *Quercus*, *Alnus*) y 16% pastizales (Sardà-Palomera y Vietes, 2011). Dos tipos de clima caracterizan el área de estudio, el subhúmedo templado (C(W)) y el subhúmedo semi-frío C(E) (W), ambos con lluvias en verano (García, 1988). La precipitación anual promedio es 1000 mm, con un rango de 700-1800 mm (INEGI, 1987).

Muestreo

Muestreos de codorniz Moctezuma se realizaron a lo largo de transectos con perros señaladores para facilitar la detección de codornices (Howell y Webb, 1995; Hernández *et al.*, 2006). Todas las codornices Moctezuma observadas, así como cualquier signo de su presencia (sitios de alimentación y descanso, plumas, nidos y heces), fueron registrados y geobucados (sistema de coordenadas universal transversal de Mercator) con un sistema de posicionamiento geográfico Garmin 12XL. Una zona de amortiguamiento de radio de 50 m se creó para cada ubicación de codorniz utilizando Arc View 3.2. Ambas ubicaciones de codornices y zonas de amortiguamiento se consideraron como el hábitat preferido u óptimo.

Factores

Para identificar un hábitat adecuado para la codorniz, se utilizaron seis bandas espectrales de imágenes del Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper (ETM) más 2000 imágenes (columna 26 y 27 y fila 46 y 47). Estas bandas se corrigieron geoméricamente usando puntos de control en 1:50000 mapas topográficos (INEGI, 2002). Los mapas de pendiente y aspecto se crearon con un modelo de elevación digital. Para identificar sitios geográficos de alta similitud con aquellos en los que se detectó la especie, se usaron tres factores físicos (elevación, pendiente y aspecto), un indicador numérico de vegetación verde (índice de vegetación de diferencia normalizada, NDVI por sus siglas en inglés) y varias firmas de reflectancia espectral (bandas 1, 2, 3, 4, 5 y 7).

Modelo del hábitat

El modelo del hábitat para la codorniz Moctezuma se basó en la distancia de Mahalanobis, dada por la siguiente ecuación:

$$D^2 = (\underline{x} - \underline{m})^T C^{-1} (\underline{x} - \underline{m})$$

donde: \underline{x} es el vector de las características del hábitat asociadas con cada celda. \underline{m} es el vector promedio de las características del

a vector point layer, which was further exported to an Excel spreadsheet; an identification number was assigned to each point. Data points were analyzed with SAS ver. 6 (Stromberg, 1990) to calculate the average vector. The variance and covariance matrices for the suitable habitat probability map and the Mahalclass (Mahalanobis distance) of IDRISI was used for modeling. A probability map was generated with probabilities $p \geq 0.50$ (all areas with $p < 0.50$ were masked out and not considered for further analysis), grouped into the following four thresholds (probability classes): $0.50 < p \leq 0.60$, $0.60 < p \leq 0.70$, $0.70 < p \leq 0.80$, and $0.80 < p \leq 1.0$. The CROSS operation (intersection between two raster maps) was used to extract the pixels of each factor overlaying the pixels associated with quail presence.

RESULTS AND DISCUSSION

A total of 144 records of presence of Montezuma quail (62% scrapers, 21% visual registers, 11% nests, 4% rest places, 2% feders) were detected. Areas in the northwestern portion of the Estado de Mexico with registers of the species have the characteristics described in Table 1. These sites showed an altitudinal range of 2522-2880 masl, and Montezuma quail occurred on all slope angles. NDVI data indicated quail occurrence on sites without forest cover, primarily grassland with scattered Oak (*Quercus crasifolia*, *Q. auriana* and *Q. conglomerata*), Junipers (*Alnus jorullensis* and *Alnus firmifolia*), and Pine (*Pinus occarpa*, *P. douglasina* and *P. teocote*) forest. The standard deviation for the reflectance values was lower in bands 1, 2, and 4.

Quail presence were predicted to occur from 2500-2880 masl, with 5% of the predicted pixels between 2520 and 2600 masl. According to NDVI, the areas where Montezuma quail were found were characterized by a low vegetative ground cover with a minimum NDVI score of -0.3 and a maximum of 0.2 . The highest frequency was found at -0.2 NDVI. A suitable Montezuma quail habitat was identified between 2500 and 2880 masl. The presence of Montezuma quail was reported at 2586 masl (Leopold and McCabe, 1957). Montezuma quail were mostly found on southeast, west, and northeast facing areas. NDVI data suggests that the highest frequency of quail presence (or suitable quail habitat) was observed at -0.2 , which indicates that quail are present on grasslands with poor vegetative ground cover, which must be because the satellite images were taken during the dry season. Montezuma quail were most frequently found on terrain with slopes $\leq 25\%$ within the range

hábitat de los sitios de codornices (representa el hábitat ideal para las especies). C es la matriz de covarianza, también derivada de los sitios de codorniz Moctezuma (Clark *et al.*, 1993; Dettmers y Bart, 1999; Conner, 2002; Jenness, 2003).

Una capa de datos que contiene los sitios de codorniz Moctezuma y sus zonas de amortiguamiento se exportó a IDRISI para obtener los valores espectrales de píxeles que se superponen a las zonas de amortiguamiento de codorniz (para cada banda de imagen de satélite, pendiente, elevación, aspecto e índice de vegetación de diferencia normalizada/NDVI). La capa ráster resultante se transformó en una de puntos vectoriales, que luego se exportó a una hoja de cálculo de Excel; se asignó un número de identificación a cada punto. Los puntos de datos se analizaron con SAS ver. 6 (Stromberg, 1990) para calcular el vector promedio. Para modelar se usaron las matrices de varianza y covarianza para el mapa de probabilidad de hábitat adecuado y la Mahalclass (distancia de Mahalanobis) de IDRISI. Un mapa de probabilidad se generó con probabilidades $p \geq 0.50$ (todas las áreas con $p < 0.50$ se ocultaron y no se consideraron para el análisis posterior), agrupadas en los siguientes cuatro umbrales (clases de probabilidad): $0.50 < p \leq 0.60$, $0.60 < p \leq 0.70$, $0.70 < p \leq 0.80$ y $0.80 < p \leq 1.0$. La operación CRUZ (intersección entre dos mapas ráster) se utilizó para extraer los píxeles de cada factor superpuestos a los píxeles asociados con la presencia de codornices.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Un total de 144 registros de presencia de codorniz Moctezuma se detectaron (62% extracción de información, 21% registros visuales, 11% nidos, 4% lugares de descanso, 2% comederos). Las áreas en la sección noroeste del Estado de México con registros de la especie tienen las características descritas en el Cuadro 1. Estos sitios mostraron un rango altitudinal de 2522-2880 msnm. La codorniz Moctezuma se encontró en todos los ángulos de pendiente. Los datos de NDVI indicaron la presencia de codornices en sitios sin cobertura forestal, principalmente praderas con encinos dispersos (*Quercus crasifolia*, *Q. auriana* y *Q. conglomerata*), enebros (*Alnus jorullensis* y *Alnus firmifolia*) y pino (*Pinus occarpa*, *P. douglasina* y *P. teocote*). La desviación estándar para los valores de reflectancia fue menor en las bandas 1, 2 y 4.

La presencia de codornices se predijo que ocurriría entre 2500 y 2880 msnm, con un 5% de los píxeles pronosticados entre 2520 y 2600 msnm. Según el

1-70%. Stromberg (2000) reported that the areas used at night by quails presented an average slope of 20.7%, with 15.1% during the daytime. There is only one telemetry study to determine Montezuma quail movements (Stromberg, 1990), where the use of southeast aspects during night and northeast aspects during daytime were reported. Montezuma quail used diverse sites for different purposes.

Quail sites showed slope values ranging from 1-70%. The highest frequency was at slopes <25%. The most frequent aspect (55%) was southwest, west, and northwest. Several areas classified as suitable quail habitats were identified, mainly in the northern portion of the study area. Municipalities with the highest probabilities of having suitable habitats were Aculco, Jilotepec, Polotitlán, Timilpan, and Acambay, which presented the largest extensions of native grasses. The most important area for quail is *Cyperus*, *Pinus*, and *Quercus* forest and native grasses. The habitat characteristics for the species in Mexico are escape cover, rest areas, food, and mountainous areas with grasses and *Pinus-Quercus* Forest (Hernández *et al.*, 2007); however, a suitable quail habitat was identified in almost all municipalities of the study area (*i.e.* Atlacomulco, Temascalcingo, El Oro, San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Timilpan) except Villa del Carbon, where no suitable habitat was predicted because it also had a greater impact due to anthropogenic activities. Most patches of suitable habitat in the study area apparently did not fulfill Montezuma quail space requirements.

The areas of habitat with the highest probability of Montezuma quail were small. The largest area

NDVI, las áreas donde se encontraron codornices Moctezuma se caracterizaron por una cubierta vegetal baja del suelo con un puntaje mínimo de NDVI de -0.3 y un máximo de 0.2. La frecuencia más alta se encontró en -0.2 NDVI. Un hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma se identificó entre 2500 y 2880 msnm. La presencia de codorniz Moctezuma se registró a 2586 msnm (Leopold y McCabe, 1957). La codorniz Moctezuma se encontró principalmente en las áreas orientadas al sureste, oeste y noreste. Los datos de NDVI sugieren que la mayor frecuencia de presencia de codornices (o hábitat adecuado) se observó en -0.2, lo que indica que las codornices están presentes en praderas con una cubierta vegetal pobre, esto debe ser porque las imágenes de satélite se tomaron durante la estación seca. Las codornices Moctezuma se encontraron con mayor frecuencia en terrenos con pendientes ≤25% dentro del rango 1-70%. Stromberg (2000) informó que las áreas utilizadas durante la noche por las codornices presentaron una pendiente promedio de 20.7%, con 15.1% durante el día. Solo hay un estudio de telemetría para determinar los movimientos de codorniz Moctezuma (Stromberg, 1990) donde se informó el uso de los aspectos sureste durante la noche y noreste durante el día. La codorniz Moctezuma utilizó diversos sitios para diferentes propósitos.

Los sitios de codorniz mostraron valores de pendiente que van de 1 a 70%. La frecuencia más alta fue en pendientes ≤25%. El aspecto más frecuente (55%) fue suroeste, oeste y noroeste. Varias áreas clasificadas como hábitats apropiados para codorniz se identificaron principalmente en la parte norte

Table 1. Factors describing the Montezuma quail habitat in the northwestern portion of the Estado de Mexico. **Cuadro 1.** Factores que describen el hábitat de la codorniz Moctezuma en la porción noroeste del Estado de México.

Variable	Minimum	Maximum	Average	Standard Deviation
Altitude (m)	2522	2880	2643	96.76
Aspect	1	8	5	2.14
Slope (degrees)	1	70	17	13.95
NDVI *	-0.30	0.20	-0.18	0.07
Band 1	60	119	87	8.32
Band 2	51	109	79	9.77
Band 3	51	148	99	15.56
Band 4	45	96	67	6.69
Band 5	74	197	152	20.06
Band 7	46	173	116	18.53

* Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). ❖ * Índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI por sus siglas en inglés).

of suitable quail habitat (67%) was recorded at the lowest probability class, while the smaller area (1%) was recorded at the higher probability class (Table 2). Each probability class (0.6-0.7, 0.7-0.8, 0.8-1.0) was assigned to a classification by area according to the appropriate quail habitat size (<1 ha, 1-5 ha, 5-10 ha, >10 ha), and then compared with the range of size of Montezuma quail habitat reported for different seasons (Stromberg, 2000). In one study, the Mahalanobis distance was applied to locate isolated populations of Bachman's Sparrows (Conner, 2002) and included only the spectral values of the three-bands of the satellite image; nonetheless, when obtaining an accuracy of 71% it is possible to conclude that the method can be applied for the detection of optimal habitat with a high reliability. Also, a reliable prediction of the spatial distribution of *Lepus californicus*, *Canis lupus*, *Gopherus flavomarginatus* and invasive species using Mahalanobis number was reported by Knick and Dyer (1997), Corsi *et al.* (1999), Fernández and Hamilton (2015) and Ureña-Aranda *et al.* (2015).

The largest and highest quality quail habitat identified by our model was located in the northern portion of the study area, in the municipalities of Aculco, Polotitlán, and Jilotepec. Prediction of the quail optimal habitat is a complex task because the current available habitat can be transformed at great speed and simultaneously by changes in land use and other human activities. For example, agricultural activities, fires, forest exploitation and human population growth could dramatically deteriorate the amount of habitat in an area. To minimize these impacts on the habitat, greater attention is needed for its conservation and ecological restoration. In addition to using tools with the ability to detect optimal quail habitats, which will have greater power according to technological advances in remote sensing, increased spatial and spectral resolution and

del área de estudio. Los municipios con las mayores probabilidades de tener hábitats adecuados fueron Aculco, Jilotepec, Polotitlán, Timilpan y Acambay, que presentaron las mayores extensiones de pastos nativos. Las áreas más importantes para la codorniz son los bosques de *Cyperus*, *Pinus* y *Quercus*, y los pastos nativos. Las características del hábitat para las especies en México son la cobertura de escape, las áreas de descanso, comida y áreas montañosas con pastos y bosques *Pinus-Quercus* (Hernández *et al.*, 2007). Sin embargo, se identificó un hábitat adecuado para la codorniz en casi todos los municipios del área de estudio (es decir, Atlacomulco, Temascalcingo, El Oro, San Felipe del Progreso, Almoloya de Juárez, Jiquipilco, Timilpan), excepto Villa del Carbón, donde no se predijo ningún hábitat adecuado porque tuvo un mayor impacto debido a las actividades antropogénicas. Aparentemente, la mayoría de las áreas de hábitat adecuado en el área de estudio no cumplieron con los requisitos de espacio para la codorniz Moctezuma.

Las áreas de hábitat con mayor probabilidad de codorniz Moctezuma fueron pequeñas. El área más grande de hábitat adecuado para la codorniz (67%) se registró en la clase de probabilidad más baja, mientras que el área más pequeña (1%) se registró en la clase de probabilidad más alta (Cuadro 2). Cada clase de probabilidad (0.6-0.7, 0.7-0.8, 0.8-1.0) se asignó a una clasificación por área de acuerdo con el tamaño apropiado del hábitat de codorniz (<1 ha, 1-5 ha, 5-10 ha, >10 ha), y luego se comparó con el rango de tamaño del hábitat de codorniz Moctezuma reportado durante diferentes estaciones (Stromberg, 2000). En un estudio, la distancia de Mahalanobis se aplicó para localizar poblaciones aisladas de Gorriones de Bachman (Conner, 2002) e incluyó solo los valores espectrales de las tres bandas de la imagen de satélite; no obstante, al obtener una precisión del 71%, es posible concluir que el método puede aplicarse para

Table 2. Probability classes and suitable habitat areas for Montezuma quail in the northwestern portion of the Estado de Mexico.

Cuadro 2. Clases de probabilidades y hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en la porción noroeste del Estado de México.

Class ID	Probability range	Size of areas, km ²	%
1	0.5-0.6	601.14	67
2	0.6-0.7	227.83	25
3	0.7-0.8	62.25	7
4	0.8-1.0	8.81	1

modeling techniques, it is necessary that community development programs and productive activities be established in the localities in order to allow habitat conservation.

Suitable habitat areas in the <1 ha class did not fulfill quail requirements unless they were located within 100 m of larger habitat areas. But, habitat areas belonging to the 1-5, 5-10, and >10 ha size classes did satisfy quail habitat requirements throughout the spring. The spring home range size of Montezuma quail can reach as much as 50 ha (Stromberg, 2000, Tapia *et al.*, 2002); nevertheless, suitable habitat areas are not continuous (Figure 2). The largest habitat areas were found within the 0.6-0.7 probability class, that is, areas >10 ha. However, sizes of suitable habitats tend to decrease significantly at higher probability classes (Figure 3). Faced with this situation, it is urgent to promote the UMA's (Wildlife Management Units) and the implementation of biological corridors through sustainable productive activities to maintain the interconnection between the different patches and also allow the flow of quail populations and other species, such as a conservation tool according to Negrete and Bocco (2003) y Robles (2009).

The probability class 0.8-1.0 represents the closest to the optimal habitat for the Montezuma quail, which means that only areas of approximately 743 ha (areas

la detección del hábitat óptimo con una alta confiabilidad. Además, Knick y Dyer (1997), Corsi *et al.*, (1999), Fernández y Hamilton (2015) y Ureña-Aranda *et al.* (2015) informaron una predicción confiable de la distribución espacial de *Lepus californicus*, *Canis lupus*, *Gopherus flavomarginatus* y especies invasoras utilizando el número de Mahalanobis.

El hábitat de codorniz más grande y de mayor calidad identificado por nuestro modelo se localizó en la parte norte del área de estudio, en los municipios de Aculco, Polotitlán y Jilotepec. La predicción del hábitat óptimo de la codorniz es una tarea compleja porque el hábitat disponible actual se puede transformar a gran velocidad y simultáneamente mediante cambios en el uso de la tierra y otras actividades humanas. Por ejemplo, las actividades agrícolas, los incendios, la explotación forestal y el crecimiento de la población humana podrían deteriorar drásticamente la cantidad de hábitat en un área. Para minimizar estos impactos en el hábitat se necesita mayor atención para su conservación y restauración ecológica. Además de utilizar herramientas con la capacidad de detectar hábitats óptimos de codorniz (que tendrán un mayor poder de acuerdo con los avances tecnológicos en teledetección, mayor resolución espacial y espectral y técnicas de modelado) es necesario que se establezcan programas de desarrollo comunitario y actividades productivas

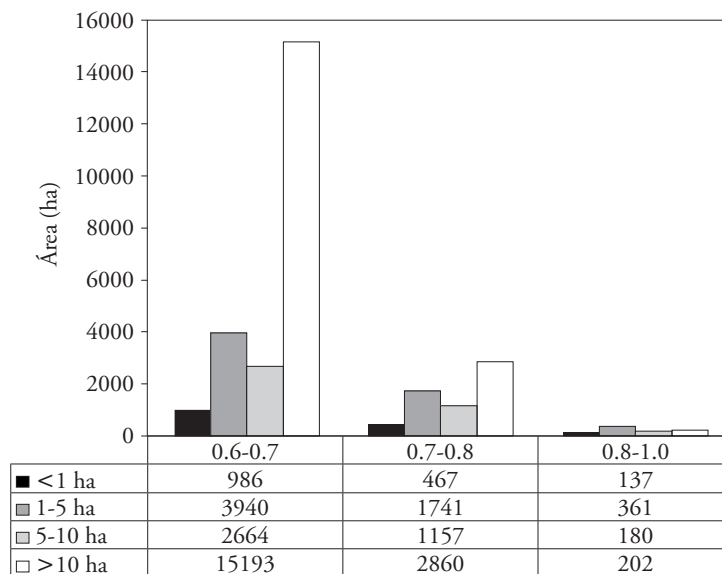


Figure 2. Probability classes and size of suitable quail habitat areas in the northwestern portion of the Estado de Mexico.

Figura 2. Clases de probabilidad y tamaño de las áreas de hábitat adecuado para la codorniz en la porción noroeste del Estado de México.

>1 ha) meet that requirement. In our study, only four areas (probability 0.7-0.8) >50 ha were identified; they are located in Jilotepec, at the border of Aculco and Acambay, and in northern Almoloya de Juarez. None of the areas in the 0.8-1.0 probability class were actually >50 ha; the greatest patch of suitable habitat in that probability class was 31 ha, and it is localized in southern Aculco. At the border of Aculco and Acambay, two patches of 15 and 27 ha were located. In northern Jilotepec, two areas of 17 and 19 ha were identified. Finally, in northern Almoloya de Juarez, an area of 18 ha was localized, and in Temascalcingo an area of 12.6 ha was also located (Figure 3). Several areas >50 ha (0.6-0.7 probability class) were identified in almost all municipalities of the study area.

en las localidades para permitir la conservación del hábitat.

Las áreas de hábitat adecuado en la clase <1 ha no cumplieron con los requisitos de codorniz a menos que estuvieran ubicadas dentro de los 100 m de áreas de hábitat más grandes. Pero, las áreas de hábitat que pertenecen a las clases de tamaño 1-5, 5-10 y >10 ha cumplieron con los requisitos de hábitat de codorniz durante la primavera. El tamaño del rango de hogar de primavera de la codorniz Moctezuma puede alcanzar hasta 50 ha (Stromberg, 2000, Tapia *et al.*, 2002); sin embargo, las áreas de hábitat adecuado no son continuas (Figura 2). Las áreas de hábitat más grandes se encontraron dentro de la clase de probabilidad 0.6-0.7, es decir, áreas

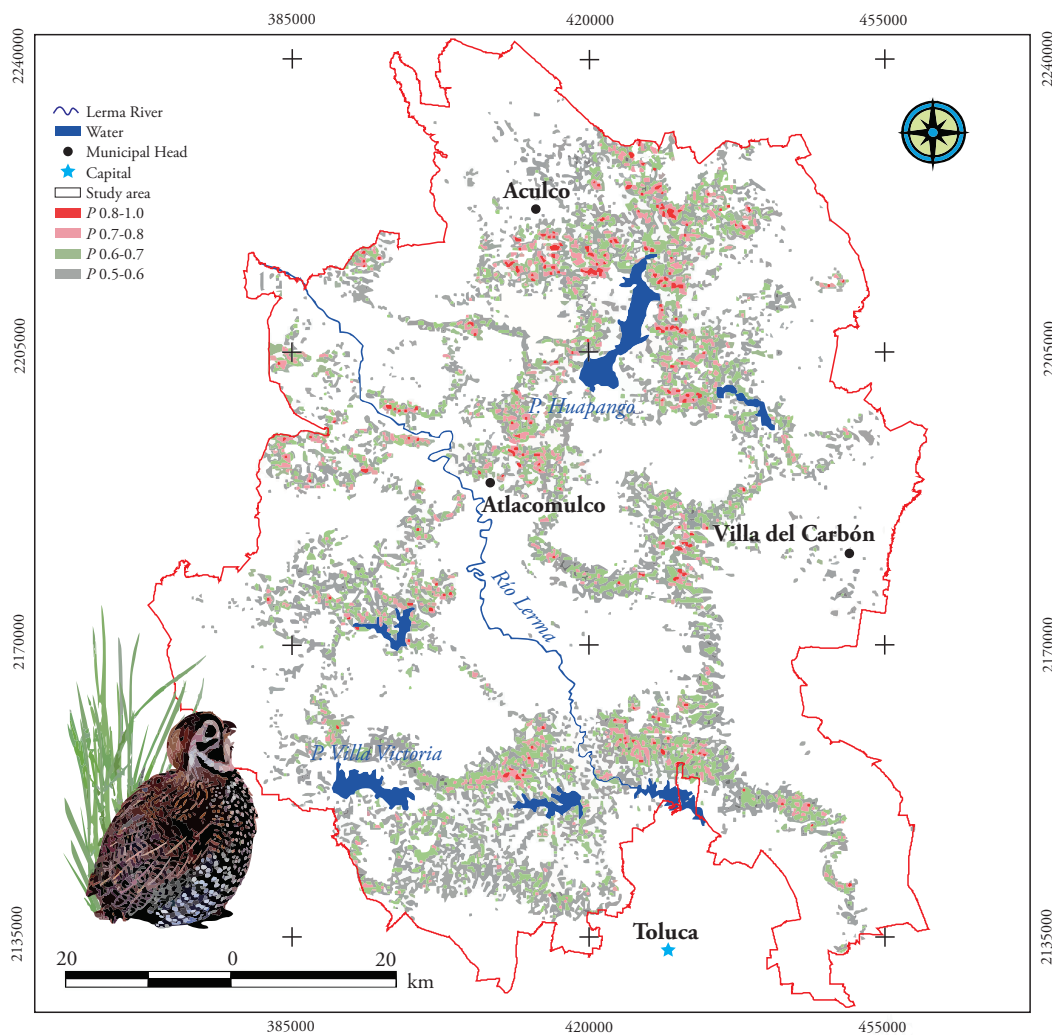


Figure 3. Suitable habitat map for Montezuma quail obtained through Mahalanobis distance in the northwestern portion of the Estado de México (INEGI, 1987 modified in IDRISI).

Figura 3. Mapa de hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma obtenido por medio de la distancia de Mahalanobis en la porción norte del Estado de México (INEGI, 1987, modificado en IDRISI).

CONCLUSIONS

The analysis detected 900 km² of suitable habitat for the Montezuma quail in the study area. The largest and highest quality quail habitat identified is found in the northern portion of the study area in the municipalities of Aculco, Polotitlán, and Jilotepec in the Estado de México. The quails were present in vegetable cover, primarily from native grasslands and more frequently on slopes of less than 25%. However, the prediction of optimal habitat can be radically transformed by changes in land use derived from anthropogenic activities. A continuous monitoring of the population density of the quail in the area is required and, at the same time, the protection, restoration and conservation of its habitat for the reestablishment of the wild populations and that in the future its hunting use is possible, thus guaranteeing the conservation of this species.

LITERATURE CITED

- Albers, R. P., and F. R. Gehlbach. 1990. Choices of feeding habitat by relict Montezuma quail in central Texas. *The Wilson Bull.* 102: 300-308.
- Alcerreca, A. C. 1988. Fauna Silvestre y Áreas Naturales Protegidas. Universo Veintiuno, México D.F., México. 193 p.
- Aspinall, R. F., and N. Veitch. 1993. Habitat mapping from satellite imagery and wildlife survey data using a Bayesian modelling procedure in a GIS. *Photogrammetric Eng. Remote Sensing J.* 59: 537-543.
- Robles de B. R. 2009. Las unidades de manejo para la conservación de vida silvestre y el Corredor Biológico Mesoamericano México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México. México. 130 p.
- BirdLife International. 2008. *Cyrtonyx montezumae*. In: IUCN. 2009. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2009.1. www.iucn.redlist.org. (Consulta: mayo 2018).
- Bristow, K. D., and R. A. Ockenfels. 2004. Pairing season habitat selection by Montezuma quail in southeastern Arizona. *J. Range Manage.* 57: 532-538.
- Chávez-León, G. 2014. Las codornices de bosques y selvas: Retos de Manejo y conservación de la fauna silvestre. *Rev. Mex. Cienc. For.* 5: 6-21.
- Calenge, C., G. Darmon, M. Basille, A. Loison, and J. Jullien. 2008. The factorial decomposition of the Mahalanobis distances in habitat selection studies. *Ecology* 89: 555-566.
- Clark, J. D., J. E. Dunn, and K. G. Smith. 1993. A multivariate model of female black bear habitat for a geographic information system. *J. Wildl. Manage.* 57: 519-526.
- Clément, L., F. Catzeffis, C. Richard-Hansen, S. Barrioz, and B. De Thoisy. 2014. Conservation interests of applying spatial distribution modelling to large vagile Neotropical mammals. *Trop. Conserv. Sci.* 7: 192-213.
- > 10 ha. Sin embargo, los tamaños de hábitats adecuados tienden a disminuir significativamente en las clases de mayor probabilidad (Figura 3). Ante esta situación, es urgente promover las UMA (Unidades de Manejo de Vida Silvestre) y la implementación de corredores biológicos a través de actividades productivas sostenibles para mantener la interconexión entre las diferentes áreas y también permitir el flujo de poblaciones de codornices y otras especies, como una herramienta de conservación según Negrete y Bocco (2003) y Robles (2009).
- La clase de probabilidad 0.8-1.0 representa el hábitat más cercano al óptimo para la codorniz Moctezuma, lo cual significa que solo las áreas de aproximadamente 743 ha (áreas >1 ha) cumplen ese requisito. En nuestro estudio solo se identificaron cuatro áreas (probabilidad 0.7-0.8) >50 ha; están ubicadas en Jilotepec, en la frontera de Aculco y Acambay, y en el norte de Almoloya de Juárez. Ninguna de las áreas en la clase de probabilidad 0.8-1.0 era en realidad >50 ha; la mayor área de hábitat adecuado en esa clase de probabilidad fue de 31 ha y se encuentra en el sur de Aculco. En la frontera de Aculco y Acambay, se ubicaron dos áreas de 15 y 27 ha. En el norte de Jilotepec se identificaron dos áreas de 17 y 19 ha. Finalmente, en el norte de Almoloya de Juárez, se localizó un área de 18 ha, y en Temascalcingo también se ubicó un área de 12.6 ha (Figura 3). Se identificaron varias áreas >50 ha (clase de probabilidad 0.6-0.7) en casi todos los municipios del área de estudio.

CONCLUSIONES

El análisis detectó 900 km² de hábitat adecuado para la codorniz Moctezuma en el área de estudio. El hábitat de codorniz más grande y de mayor calidad identificado se encuentra en la parte norte del área de estudio; en los municipios de Aculco, Polotitlán y Jilotepec en el Estado de México. Las codornices estaban presentes en la cubierta vegetal, principalmente pastizales nativos y, con mayor frecuencia, en pendientes de menos del 25%. Sin embargo, la predicción del hábitat óptimo puede transformarse radicalmente por los cambios en el uso del suelo derivados de las actividades antropogénicas. Un monitoreo continuo de la densidad de población de las codornices se requiere en el área y, al mismo tiempo, la protección, restauración y conservación de

Conner, L. M. 2002. A technique to locate isolated populations using satellite imagery. *Wildl. Soc. Bull.* 30: 1044-1049.

Corsi, F., E. Duprè, and L. Boitani, 1999. A large-scale model of wolf distribution in Italy for conservation planning. *Conserv. Biol.* 13: 150-159.

Debinski, D. M., and P. F. Broussard. 1994. Using biodiversity data to assess species-habitat relationships in Glacier National Park, Montana. *Ecol. Appl.* 4: 833-843.

Dettmers, R., and J. Bart. 1999. A GIS modeling method applied to predicting forest songbird habitat. *Ecol. Appl.* 9: 152-163.

DeVries, R. J. 2005. Spatial modeling using the Mahalanobis statistic: Two examples from the discipline of plant geography. *In: Memory of International Congress on Modeling and Simulation.* Melbourne, Australia. pp: 1368-1374.

Fernández, M., and H. Hamilton. 2015. Ecological niche transferability using invasive species as a case study. *PLoS One* 10: e0119891.

Fithian, W., J. Elith, T. Hastie, and D. A. Keith. 2015. Bias correction in species distribution models: Pooling survey and collection data for multiple species. *Methods Ecol. Evol.* 6: 424-438.

García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen, para Adaptarlo a las Condiciones Climáticas de la República Mexicana. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México. 252 p.

Hernández, F., L. A. Harveson, and C. E. Brewer. 2006. A comparison of trapping techniques for Montezuma quail. *Wildl. Soc. Bull.* 34: 1212-1215.

Hernández P. L., G. D. Mendoza M., H. J. Valdez I., J. L. Alcántara, F. Clemente S., and T. M. Hernández. 2007. Densidad poblacional y uso de hábitat de la codorniz Montezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en Hualtepec, Hidalgo. *Vet. Méx.* 38: 409-417.

Howell, S. N. G., and S. Webb. 1995. *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America.* Oxford University Press, New York. 851 p.

INEGI. 1987. Síntesis Geográfica del Estado de México y Anexo Cartográfico, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México. 51 p.

INEGI. 2002. Información digital vectorial de las curvas de nivel provenientes de la cartografía topográfica a escala 1:50,000., Aguascalientes, México, 12 archivos en formato DXF. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México.

Jenness, J. 2003. Mahalanobis distances (mahalanobis.avx) extension for ArcView 3.x, Jenness Enterprises. <http://www.jennessent.com/arcview/mahalanobis.htm> (Consulta: diciembre 2017).

Johnsgard, P. A. 1988. *The Quails, Partridges, and Falconids of the World.* Oxford University Press, New York. 553 p.

Knick, S. T., and D. L. Dyer. 1997. Distribution of black-tailed jackrabbit habitat determined by GIS in southwestern Idaho. *J. Wildl. Manage.* 61: 75-85.

Krishnaswamy J., K. S. Kamaljit, K. N. Ganeshaiah, and M. C. Kiran. 2009. Quantifying and mapping biodiversity and ecosystem services: Utility of a multi-season NDVI based Mahalanobis distance surrogate. *Remote Sens. Environ.* 113: 857-867.

su hábitat para el restablecimiento de las poblaciones silvestres y que en el futuro se pueda usar como presa de caza, pero siempre garantizando la conservación de la especie.

—Fin de la versión en Español—



Maclean, I., G. E. Austin, M. M. Rehfish, J. A. N. Blew, O. Crowe, S. Delany, K. Devos, B. Deceuninck, K. Gunther, K. Laursen, M. van Roomen, and J. Wahl. 2008. Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. *Glob. Chang. Biol.* 14: 2489-2500.

Mesta, R., E. Fernández, and O. Sánchez. 2011. La Conservación y el Manejo de Codornices del Norte de México. Temas sobre la Conservación de Vertebrados Silvestres en México. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT, México, D.F. pp: 149-191.

Negrete, F. G., and G. Bocco. 2003. El ordenamiento ecológico comunitario: una alternativa de planeación participativa en el contexto de la política ambiental de México. *Gaceta Ecol.* 68: 9-22.

Nichols, J. D., and B. K. Williams. 2006. Monitoring for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 21: 668-673.

Osborne, P. E., J. C. Alonso, and R. G. Bryant. 2001. Modelling landscape-scale habitat use using GIS and remote sensing: a case study with great bustards. *J. Appl. Ecol.* 38: 458-471.

Peterson, J. T., and M. C. Freeman. 2016. Integrating modeling, monitoring, and management to reduce critical uncertainties in water resource decision making. *J. Environ. Manage.* 183: 361-370.

Petrişor, A. I., I. Ianoş, D. Iurea, and M. N. Vădinau. 2012. Applications of Principal Component Analysis integrated with GIS. *Procedia Environ. Sci.* 14: 247-256.

Pistolesi, L. I., W. Ni-Meister, and K. C. McDonald. 2015. Mapping wetlands in the Hudson Highlands ecoregion with ALOS PALSAR: an effort to identify potential swamp forest habitat for golden-winged warblers. *Wet. Ecol. Manag.* 23: 95-112.

Poulin, J. F., M. A. Villard, M. Edman, P. J. Goulet, and A. M. Eriksson. 2008. Thresholds in nesting habitat requirements of an old forest specialist, the Brown Creeper (*Certhia americana*), as conservation targets. *Biol. Cons.* 141: 1129-1137.

Sardà-Palomera, F., and D. R. Vieites. 2011. Modelling species' climatic distributions under habitat constraints: A case study with *Coturnix coturnix*. *Finnish Zoological and Botanical Publishing* 48: 147-160.

Sardà-Palomera, F., M. Puigserver, L. Brotons, and J. D. Rodríguez-Teijeiro. 2012. Modelling seasonal changes in the distribution of Common Quail *Coturnix coturnix* in farmland landscapes using remote sensing. *Ibis* 154: 703-713.

SAS Statistical Analysis Systems (SAS). 2008. User's Guide, SAS Institute Inc, Cary, NC, SAS Institute Inc. 5136 p.

SEMARNAT. 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2010, Protección Ambiental – Especies nativas de México de flora y fauna silvestres – Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio – Lista

- de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, Segunda Sección.
- Stromberg, M. R. 1990. Habitat movements and roost characteristics of Montezuma quail in southeastern Arizona. *Condor* 92: 229-236.
- Stromberg, M. R. 2000. Montezuma quail *Cyrtonyx montezumae*. In: Poole A. and F. Gill (eds). *The Birds of North America*, no. 524. The Academy of Natural Sciences, Philadelphia, Pennsylvania, and The American Ornithologists' Union, Washington, D.C. USA. pp: 20.
- Tapia, R. J., S. Ibarra, G. D. Mendoza, C. Zaragoza, F. Clemente, and L. Tarango. 2002. Densidad poblacional de la codorniz Moctezuma (*Cyrtonyx montezumae*) en la región noroeste del Estado de México, México. *Vet. México* 33: 255-263.
- Ureña-Aranda, C. A., O. Rojas-Soto, E. Martínez-Meyer, C. Yáñez-Arenas, R. L. Ramírez, and A. E. de los Monteros. 2015. Using range-wide abundance modeling to identify key conservation areas for the micro-endemic Bolson Tortoise (*Gopherus flavomarginatus*). *PloS one* 10: e0131452.
- Vogeler, J. C., and W. B. Cohen. 2016. A review of the role of active remote sensing and data fusion for characterizing forest in wildlife habitat models. *Rev. Teledeteccion* 45: 1-14.
- Wang H., Gao J., L. L. Ren, Y. Kong, and L. Li. 2013. Assessment of the red-crowned crane habitat in the Yellow River Delta Nature Reserve, East China. *Reg. Environ. Chang.* 13: 115-123.

