

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FAUNA: AVES, MAMÍFEROS Y REPTILES,  
EN LA REGIÓN NORESTE DE COAHUILA

**Tesis**

Que presenta **ANA LAURA MARTÍNEZ ROSALES**

como requisito parcial para obtener el Grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN**

SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE 2016

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FAUNA: AVES, MAMÍFEROS Y REPTILES,  
EN LA REGIÓN NORESTE DE COAHUILA.

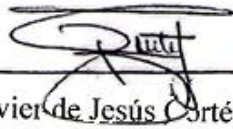
**Tesis**

Elaborada por ANA LAURA MARTÍNEZ ROSALES como requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN con la supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



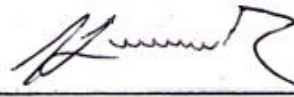
Dr. Jorge Méndez González

Asesor principal




Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor



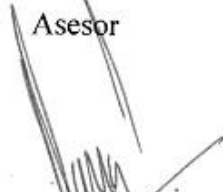
Dr. Alejandro Zermeno González

Asesor



M.C. Félix de Jesús Sánchez Pérez

Asesor



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Posgrado

UAAAN

## **AGRADECIMIENTOS**

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para realizar mis estudios de posgrado y agradecimientos especiales al Ing. Eloy López Martínez por apoyar en trabajos de campo y de gabinete.

## **DEDICATORIA**

A mi familia que ha estado a mi lado a cada paso que doy, el esfuerzo que realizo cada día es siempre pensando en ustedes a mi esposo Edgar y a mis hijos Regina y Gael.

## ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	ii
DEDICATORIA .....	iv
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT.....	xi
SPACIAL DISTRIBUTION OF WILD FAUNA: BIRDS, MAMMALS AND REPTILES, IN THE NORTHEAST REGION OF COAHUILA. ....	xi
BY .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
REVISIÓN DE LITERATURA .....	3
La biodiversidad en México.....	3
Reptiles .....	3
Aves .....	4
Mamíferos.....	4
Geoestadística .....	6
Conceptos generales de Geoestadística.....	6
Etapas del análisis geoestadística.....	6
El uso de la geoestadística en estudios ambientales de fauna .....	10
MATERIALES Y MÉTODOS .....	12
Área de estudio .....	12
Muestreos de fauna silvestre .....	14
Análisis exploratorio de datos de avistamiento de aves, mamíferos y reptiles .....	16
Análisis estructural para datos de avistamiento de aves, mamíferos y reptiles.....	16
Validación cruzada para determinar el ajuste de los modelos .....	17
Predicción de avistamientos de fauna a partir del método Kriging ordinario.....	17
RESULTADOS.....	18

Distribución y especies identificadas en el área de estudio .....	18
Análisis del semivariograma.....	20
Ajuste de cuatro modelos al semivariograma .....	21
Predicción de avistamientos totales de fauna de la región noreste de Coahuila .....	23
DISCUSIÓN .....	25
CONCLUSIONES .....	27
REFERENCIAS.....	28

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Estadísticos de pruebas de normalidad para avistamientos de fauna en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México. ....	28
<b>Cuadro 2.</b> Estadísticos de los modelos Circular, Esférico, Exponencial y Gaussiano ajustados al semivariograma de los avistamientos totales de fauna de la región noreste de Coahuila. ....	29
<b>Cuadro 3.</b> Resumen de estadísticos de modelos ajustados al semivariograma de avistamientos de fauna total de la región noreste de Coahuila, México. ....	31

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Semivariograma direccional calculado para cuatro diferentes ángulos tomado de Gallardo (2006). .....	14
<b>Figura 2.</b> Estructura general de un semivariograma teórico. ....	15
<b>Figura 3.</b> Mapa de vegetación del sitio y registros de muestreo de fauna silvestre en un área ubicada al Noreste de Guerrero Coahuila, México de acuerdo a la carta de uso de suelo y vegetación serie V (INEGI 2015). Bosque de encino (BQ), Cuerpo de agua (CA), Matorral espinoso tamaulipeco (MET), Mezquital xerófilo (MKX), Pastizal cultivado (PC), Pastizal halófito (PH), Pastizal inducido (PI), Agricultura de riego (RA), Agricultura de riego anual y permanente (RAP), Agricultura de temporal (TA), Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco (VSa/MET), Vegetación secundaria arbustiva de pastizal halófito (VSa/PH), Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural (VSa/PN), Zona urbana (ZU)...	20
<b>Figura 4.</b> Distribución espacial de transectos para muestreo para aves, mamíferos y reptiles en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México. ....	22
<b>Figura 5.</b> Número de avistamientos totales de aves, mamíferos y reptiles por cuadrante, en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México.....	26
<b>Figura 6.</b> Número de avistamientos por especie: (1) Puma concolor, (2) Odocoileus virginianus texanus, (3) Caracara cheriway, (4) Gopherus berlandieri, (5) Pecari tajacu, (6) Canis latrans, (7) Crotalus atrox, (8) Phrynosoma cornutum, (9) Lynx rufus, (10) Masticophis flagellum, (11) Cynomys ludovicianus, (12) Meleagris gallopavo, (13) Geococcyx californianus, (14) Cardinalis cardinalis, (15) Vulpes macrotis, (16) Thamnophis mendax.....	27
<b>Figura 7.</b> Semivariogramas direccionales del número de avistamientos de fauna total calculada a 0°, 45°, 90° y 135° al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila. ....	29
<b>Figura 8.</b> Ajuste de semivariograma a los avistamientos totales de fauna en un área ubicada al Noreste de Guerrero Coahuila, México, utilizando cuatro modelos: A) Circular, B) Esférico, C) Exponencial y D) Gaussiano. ....	30
<b>Figura 9.</b> Distribución espacial estimada de la fauna total (aves, mamíferos y reptiles) de la región noreste de Coahuila, México.....	32



**RESUMEN**

DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE FAUNA: AVES, MAMÍFEROS Y REPTILES,  
EN LA REGIÓN NORESTE DE COAHUILA

POR

ANA LAURA MARTÍNEZ ROSALES  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ –ASESOR-

SALTILLO, COAHUILA,

DICIEMBRE 2016

## RESUMEN

El estudio de la distribución espacial de la fauna es de interés por su capacidad como indicador ecológico y por el equilibrio que se mantiene en el ecosistema. El objetivo del presente estudio fue ajustar cuatro modelos (Circular, Esférico, Exponencial y Gaussiano) a un semivariograma y determinar el de mejor ajuste para predecir la distribución espacial de aves, mamíferos y reptiles a partir de la interpolación Kriging ordinario, en un área ubicada al noreste de Coahuila México. El análisis de resultados demuestra que la normalidad de los datos se obtiene integrando los tres grupos de fauna ( $p = 0.09$ ), registrándose 7, 5 y 4 especies de mamíferos, reptiles y de aves, con un total de 149 avistamientos, representando 56.4, 22.8 y 20.8 % respectivamente. El modelo Circular fue el que presentó el mejor ajuste (Media Cuadrática Estandarizada = 0.9873; Error = 3.0141) dando como resultado una dependencia espacial con alcance a 11.01 km y en más del 50 % del área de estudio una probabilidad del 92% de registrar entre 6 a 8 avistamientos en promedio. La mayor concentración de fauna ocurre en áreas con presencia de cuerpos de agua y cobertura vegetal de tipo Matorral Espinoso Tamaulipeco, la cual comprende el 62% del total del área de estudio.

**Palabras clave:** Coahuila, Fauna, geo-estadística, Kriging, semivariograma.

**ABSTRACT**

SPACIAL DISTRIBUTION OF WILD FAUNA: BIRDS, MAMMALS AND  
REPTILES, IN THE NORTHEAST REGION OF COAHUILA.

BY

ANA LAURA MARTÍNEZ ROSALES  
MASTER OF SCIENCE IN ENGINEERING OF PRODUCTION SYSTEMS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DR. JORGE MÉNDEZ GONZÁLEZ – ADVISOR -

SALTILLO, COAHUILA,

DECEMBER 2016

## ABSTRACT

The study of the spatial distribution of the fauna is of interest by its capacity as an ecological indicator and by the balance that maintains in the ecosystem. The objective of the present study was to adjust four models (Circular, spherical, exponential and Gaussian) to a semivariogram and determine the one with the best setting for predicting the spatial distribution of birds, mammals and reptiles from the interpolation of Kriging ordinary method, in an area located on the northeast of Coahuila Mexico. The analysis of results showed that the normality of the data is obtained by integrating the three groups of wildlife ( $p = 0.09$ ), registering 7, 5 and 4 species of mammals, reptiles and birds, with a total of 149 sightings, representing 56.4, 22.8 and 20.8% respectively. The Circular model gave the best fit (Root mean square standardized = 0.9873; Error = 3.0141) giving a spatial dependence of up to 11.01 km and in more than 50 % of the study area a chance of 92% to register between 6 to 8 sightings on average. The highest concentration of fauna occurs in areas with presence of water bodies and vegetation cover of the Tamaulipeco Spiny Thrush type, which comprises 62% of the total area of study and with the presence of bodies of water.

**Key words:** Coahuila, Fauna, geostatistics, Kriging, semivariogram.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 40 años la fauna a nivel mundial se ha visto disminuida drásticamente debido a alteraciones en su hábitat, aproximadamente 52 % de las especies han desaparecido (WWF, 2014). En México 40 % de los mamíferos se encuentran bajo amenaza (Ceballos y Arroyo, 2012), 15 % de los reptiles están bajo algún estatus de conservación (Flores y García, 2014) y entre el 26 y 33 % de la avifauna se registra como amenazada (Navarro *et al.*, 2014). En Coahuila aproximadamente 22 spp. de los reptiles (Lemos y Smith, 2016) entre 11 y 15 spp. de mamíferos (Ceballos *et al.*, 2002) y 37 spp. de aves se encuentran en algún estatus de conservación (De León *et al.*, 2007).

La importancia de la fauna radica en el nicho que desempeñan las especies dentro de un hábitat (Ojasti y Dallmeier, 2000). La ausencia o presencia de una especie en el ecosistema, proporciona información de la salud del mismo por lo que al desaparecer una especie, el equilibrio se ve alterado (Danielson y Anderson, 1999). El estudio de la fauna silvestre no solo radica en el monitoreo de las especies como individuos sino en la relación que tienen con su entorno; la importancia de conocer los patrones de distribución espacial de las especies de fauna, radica en comprender la capacidad que tienen para desplazarse y en habitar un área determinada para hacer uso de los recursos disponibles (Danielson y Anderson, 1999).

La distribución de la fauna está sujeta al conjunto de factores ecológicos, patrones biogeográficos, cambios sucedidos a lo largo del tiempo en el paisaje (Nogués y Martínez, 2004), en función al tipo de vegetación y topografía del lugar (Siabato y Yudego, 2004), estas características propician la existencia y propagación de la fauna en el ecosistema, cuya distribución depende también de la constante fragmentación del hábitat a causa de actividades antropogénicas como la agricultura, apertura de carreteras y asentamientos humanos (WWF, 2014), por lo que actualmente se busca modelar los patrones de distribución de las especies generando información para monitorear y crear planes de manejo de fauna (Fisher *et al.*, 2002).

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada, la cual ha proporcionado una forma diferente de analizar la fauna silvestre, a partir de la predicción de la distribución de las especies en un área determinada (Rossi *et al.*, 1992; Fortin *et al.*, 2010), ubicadas en un punto determinado del espacio, separadas por una cierta distancia y mediante el ajuste de un modelo (circular, esférico, exponencial,

gaussiano) al semivariograma (Giraldo, 2003), determinar la existencia de dependencia espacial de las especies (Walker *et al.*, 2008).

El uso de la función semivariograma ha sido utilizado en temas de medio ambiente, estudios de calidad del aire, suelo y agua, y en la distribución de especies vegetales y animales. Por ejemplo, Walker *et al.*, (2008) determinaron las zonas de distribución de tres diferentes especies de aves (*Columba livia*, *Phainopepla nitens* y *Campylorhynchus brunneicapillus*) en una zona urbana y desierto de Arizona; García *et al.* (2011) usaron el semivariograma para localizar los lugares de hacinamiento del chapulín (*Phoetaliotes nebrascensis*, *Melanoplus lakinus* y *Boopedun nubilum*) en cultivos de maíz para tener mejor control de la plaga; Siabato y Yudego (2004) localizaron los lugares de anidamiento de los pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) y su relación con el suelo y la vegetación en una estancia de San Lorenzo Argentina; Peterson *et al.* (2013) realizaron un estudio sobre la distribución de enfermedades hepáticas en poblaciones de alces (*Alces alces*).

La presente investigación tuvo como objetivos: 1) ajustar cuatro modelos al semivariograma para determinar la distribución espacial de la fauna silvestre: aves, mamíferos y reptiles del municipio de Guerrero Coahuila, México, 2) determinar el rango de dependencia espacial en los grupos de fauna a partir del modelo con mejor ajuste y 3) obtener un mapa de distribución espacial de la fauna: aves, mamíferos y reptiles. La hipótesis a demostrar es que al menos un modelo de los a cuatro a probar dará un mejor ajuste al semivariograma de la distribución de fauna..

## REVISIÓN DE LITERATURA

### La biodiversidad en México

México es considerado un país megadiverso por su gran riqueza en cuanto a especies de flora y fauna con un aproximado del 10% de la biodiversidad del planeta (Mittermeier *et al.*, 1997), ubicándose como cuarto lugar para riqueza de especies (Sarukhán *et al.*, 2009). albergando entre 180 000 y 216 000 spp del total mundial (1.8 millones). (Llorente y Ocegueda, 2008). Para el caso de las plantas con flores México ocupa el quinto lugar a nivel mundial (Villaseñor, 2003).

Debido a la fisiografía y los diferentes tipos de climas, México es poseedor de una gran variedad de ecosistemas, los cuáles albergan a diferentes especies de fauna (CONABIO, 2008). Ocupando el segundo lugar mundial para especies de reptiles (Flores y García, 2014), el onceavo en aves (Navarro *et al.*, 2014) y el tercero en mamíferos (CONABIO, 2008).

### Reptiles

Los reptiles son especies de distribución restringida, son vertebrados con piel escamosa, seca, queratinizada y gruesa (Ochoa y Flores, 2006). La piel es mudada periódicamente. Algunas son terrestres, pero existen especies que pueden estar en el agua, la respiración es vía pulmonar ([www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx))

De acuerdo a Flores y García (2014), en México se registran 864 especies de reptiles alrededor del 8.7% de los reptiles a nivel mundo. Se encuentran representados tres de los cuatro órdenes de reptiles que existen en el mundo (Crocodylia, Squamata y Testudines). Identificándose 417 lagartijas, 393 serpientes, 48 tortugas, 3 cecalias y 3 cocodrilos. Cabe mencionar que la gran diversidad de especies de reptiles que se encuentran en el país se debe en parte a la variedad de desiertos, donde los reptiles son especialmente abundantes (Mittermeier y Goettsch, 1992).

Para Coahuila se reportan 108 especies de reptiles de la cuales 11 son tortugas, 49 lagartos y 48 serpientes, tiene un número relativamente pequeño de especies endémicas. Sin embargo, la presencia de especies endémicas regionales hace que el estado sirva como depósito para endemismo regional (Lemos y Smith, 2016).

## **Aves**

Las aves son vertebrados que se caracterizan por sus adaptaciones al vuelo, sin embargo no todas las aves vuelan. Sus huesos son huecos y modificados, haciéndose más evidente en las extremidades anteriores, donde se fusionan para formar las alas, su cuerpo se encuentra cubierto de plumas, son endotérmicos y presentan sacos de aire internos ubicados en la zona del abdomen, y carecen de dientes (Miller y Harley, 1996). Es uno de los grupos de vertebrados más diverso del planeta, ocupando prácticamente todos los ambientes naturales (Berlanga *et al.*, 2015).

En México se registran entre 1 123 y 1 150 spp. cerca del 11% del total mundial (alrededor de 10,500 especies), el 77% de las especies se reproducen en México y la mayor parte son especies residentes permanentes, dando un total de entre 194 y 212 especies endémicas de México, lo que representa aproximadamente entre el 18 y 20% del total de especies registradas, dejando a el país como cuarto lugar en proporción de endemismo entre los países megadiversos del mundo (Navarro *et al.*, 2014)

Para el estado de Coahuila se registran aproximadamente 405 especies de aves, de las cuáles siete especies se consideran endémicas de la región (De León *et al.*, 2007).

## **Mamíferos**

Características que distinguen a los mamíferos: las hembras tienen glándulas mamarias con las cuales alimentan a las crías; salvo algunas excepciones tienen el cuerpo cubierto por pelo; capacidad de mantener una temperatura corporal constante a pesar de los cambios en las condiciones externas; tiene un solo hueso en la mandíbula; presentan heterodoncia; el paladar secundario separa los sistemas respiratorio y digestivo; el corazón tiene cuatro cavidades y solo el arco aórtico izquierdo ([www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx)).

Para México se tiene 550 especies de mamíferos registrados de un total de 4,381 spp a nivel mundial, de los cuales los roedores y murciélagos son los órdenes más ricos en especies, el número de endemismos para el país es aproximadamente de 170 spp. lo que equivale al 31 % del total de especies registrada para el país (Ceballos y Arroyo, 2012).



En el estado de Coahuila se tienen registrados 8 órdenes de mamíferos: *Artiodactyla*, *Carnivora*, *Chiroptera*, *Cingulata*, *Didelphimorphia*, *Lagomorpha*, *Rodentia*, *Soricomorph*, dentro de los cuales se tiene 24 familias: *Antilocapridae*, *Cervidae*, *Tayassuidae*, *Bovidae*, *Canidae*, *Felidae*, *Mephitidae*, *Mustelidae*, *Procyonidae*, *Ursidae*, *Molossidae*, *Mormoopidae*, *Phyllostomidae*, *Vespertilionidae*, *Dasypodidae*, *Didelphidae*, *Leporidae*, *Castoridae*, *Cricetidae*, *Erethizontidae*, *Geomyidae*, *Heteromyidae*, *Sciuridae*, *Soricidae* (Ceballos *et al.*, 2012).

### **Importancia de la biodiversidad**

La biodiversidad de especies se encuentra comprometida, ya que se ha calculado que la tasa de extinción de especies es de mil a 10 mil veces mayor a la registrada antes de la aparición del hombre. La deforestación y destrucción de hábitats son las principales causas de pérdida de especies, pronosticándose que en los próximos años se habrá perdido miles de especies que ni siquiera se han llegado a conocer. (Ochoa y Villela, 2006).

Las funciones efectivas de una especie en los ecosistemas que habita depende de la integridad real de sus poblaciones, las especies forman parte de un sistema, el cual se ve alterado al mermar una especie, teniendo implicaciones ecológicas, económicas y culturales (Mittermeier y Goettsch, 1992).

Un problema fundamental para la protección de las especies es la falta de información adecuada acerca de su distribución geográfica y su tamaño poblacional actual en el paisaje (Nogués y Martínez, 2004). En México alrededor del 30% de las especies se encuentran amenazadas o en peligro de extinción, y por lo menos 13 han desaparecido del territorio nacional en el último siglo. Las causas de la extinción de muchas de las especies son muy variadas, pero pueden atribuirse al crecimiento desmedido de la población humana (Ceballos y Arroyo, 2012). La deforestación es sin duda una de las causas principales de la desaparición de poblaciones y especies, la tasa de deforestación del país es una de las más elevadas, se calcula que se pierden alrededor de 600,000 hectáreas de bosque y selva anualmente. Los efectos negativos de la destrucción y fragmentación de la vegetación natural se ven acrecentados por la sobreexplotación de las especies, debido a cacería deportiva y tráfico de especies (Velázquez *et al.*, 2002).

## **Geoestadística**

De acuerdo a Matheron la Geoestadística es la aplicación de la teoría de las variables regionalizadas a la estimación de los depósitos mineros, sin embargo actualmente y debido a las múltiples aplicaciones de la geoestadística en diferentes áreas del conocimiento se ha descrito a la Geoestadística como un conjunto de técnicas usadas para analizar y predecir valores de una propiedad distribuida en espacio o tiempo (García, 2004).

### **Conceptos generales de Geoestadística**

Semivariograma: se define como la varianza de los incrementos de la variable regionalizada en las localizaciones separadas a una distancia  $h$  (Viera y González, 2002).

Variable aleatoria regionalizada: es una variable distribuida en el espacio que presenta una estructura espacial de correlación (Giraldo, 2003).

Función aleatoria: a el conjunto de variables aleatorias  $z(x)$  espacialmente distribuidas en un punto  $x$  del espacio, las cuales pueden ser dependientes (Viera y González, 2002).

Isotropía: la variabilidad espacial no depende de la dirección (Rossi *et al.*, 1992).

Anisotropía: la variabilidad espacial depende de la dirección (Rossi *et al.*, 1992).

### **Etapas del análisis geoestadística**

Análisis exploratorio.

Se analiza que los datos cumplan con los supuestos de normalidad: y simetría (Walker *et al.*, 2008). La búsqueda de datos espurios atreves de un análisis exploratorio clásico, donde se puede emplear histogramas, diagramas de tallo y hoja y de caja con el propósito de identificar, localizar observaciones extremas (Giraldo, 2003), ya que se debe determinar si estos datos se deben eliminar o no, puesto que en ocasiones son datos tomados por una mala medición o pueden ser datos correctos por lo que se debe de tenerse mucho cuidado ya que pueden causar una subestimación o sobrestimación del potencial en un área (Walker *et al.*, 2008) .

### Análisis estructural

Se busca determinar un modelo para la función aleatoria estudiada a partir del cálculo del semivariograma.

Se realiza un semivariograma direccional, el cual consta en calcular diferentes semivariogramas en al menos un mínimo de cuatro direcciones diferentes como por ejemplo a  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $135^\circ$  etc. con lo cual se busca determinar si el semivariograma se calcula de manera omnidireccional o direccional (Rossi *et al.*, 1992). Si se determina que la estructura de los semivariogramas siguen un mismo patrón y no existe mucho cambio se considerará realizar un semivariograma de manera direccional, por el contrario si el cambio es muy marcado respecto a las diferentes direcciones se seleccionará aquel que tenga una menor varianza (Gallardo, 2006).

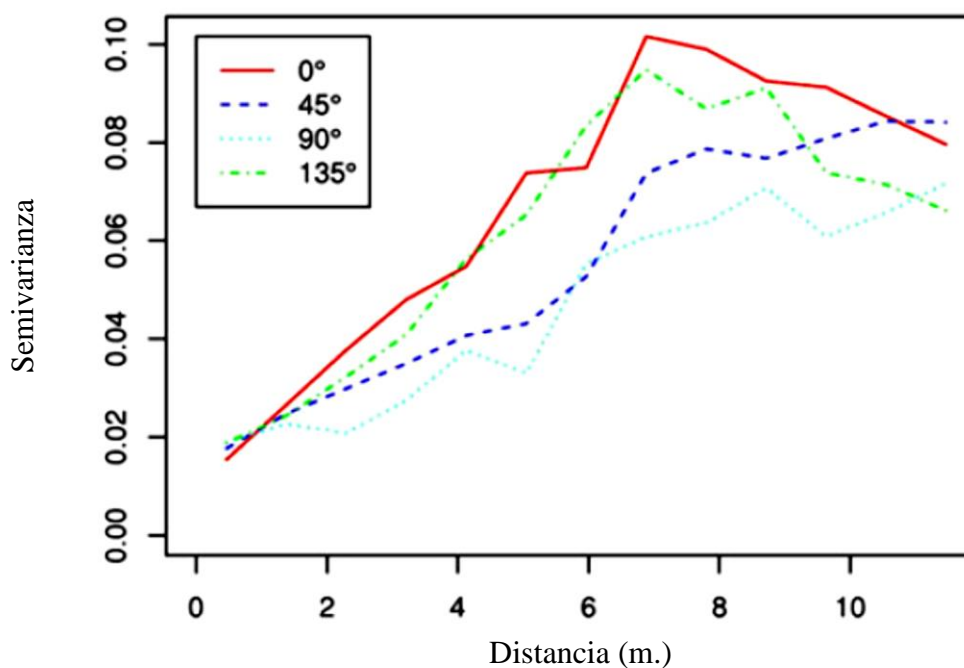


Figura 1. Semivariograma direccional calculado para cuatro diferentes ángulos tomado de Gallardo (2006).

Calculo general del semivariograma

Ecuación propuesta por Isaaks y Srivastava (1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [z(X_i + h) - z(X_i)]^2 \right\}$$

$\gamma(h)$  = la semivarianza de todas las muestras separadas por los incrementos de las distancias.

$N(h)$  = número de pares separado por la distancia, entre dos posiciones muestreadas.

$z(X_i)$  = variable medida en la posición espacial (i).

$z(X_i + h)$  = variable medida en la posición espacial (i + h).

Semivariograma

Estructura general del semivariograma

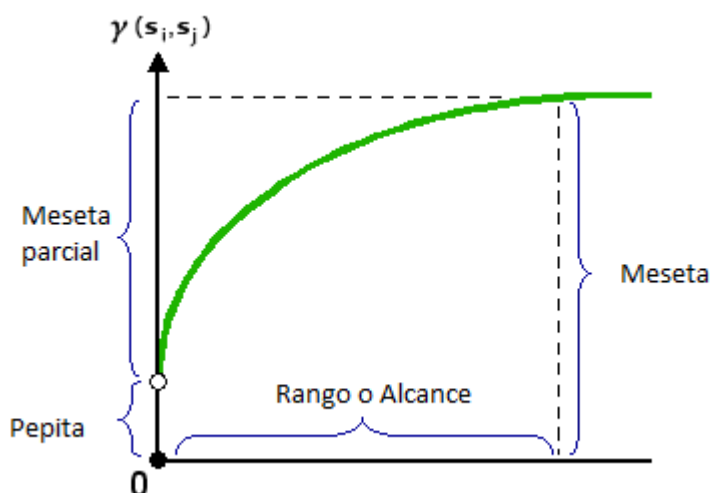


Figura 2. Estructura general de un semivariograma teórico.

Rango o alcance: es la distancia dentro de la cual la variable de estudio presenta dependencia espacial (Rossi *et al.*, 1992).

Meseta o Máxima varianza: Es la cota superior del semivariograma. También puede definirse como el límite del semivariograma cuando la distancia  $h$  tiende a infinito (Viera y González, 2002). La meseta puede ser o no finita. Los semivariogramas que tienen meseta finita cumplen con la hipótesis de estacionariedad fuerte; mientras que cuando ocurre lo contrario, el semivariograma define un fenómeno natural que cumple sólo con la hipótesis intrínseca (Giraldo, 2003). La meseta se denota por  $C1$  o por  $(C0 + C1)$  cuando la pepita es diferente de cero, si se interpreta la pepita como un error en las mediciones, esto explica porque se sugiere que en un modelo que

explique bien la realidad, la pepita no debe representar más del 50% de la meseta (Rossi *et al.*, 1992; Gallardo, 2006).

Pepita: se denota por  $C_0$  y representa una discontinuidad puntual del semivariograma en el origen (Giraldo, 2003). Puede ser debido a errores de medición en la variable o a la escala de la misma. En algunas ocasiones puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas (Viera y González, 2002).

#### Análisis predictor

Es la estimación de la variable estudiada en los puntos no muestrales, considerando la estructura de correlación espacial seleccionada a partir del modelo ajustado (Walker *et al.*, 2008).

#### Método Kriging

El kriging se puede definir como "el mejor estimador lineal insesgado", propuesto alrededor de 1960 como una técnica creada en Francia por Matheron a partir de los trabajos realizados por D. G. Krige. El método de Kriging encierra un conjunto de métodos de predicción espacial que se fundamentan en la minimización del error cuadrático medio de predicción (Viera y González, 2002)

#### Clasificación de los diferentes tipos de Kriging

Según la forma del estimador:

##### Lineales

Simple: Asume que las medias locales son relativamente constantes y de valor muy semejante a la media de la población que es conocida. La media de la población es utilizada para cada estimación local, en conjunto con los puntos vecinos establecido (Montero y Larraz, 2008).

Ordinario: propone que el valor de la variable puede predecirse como una combinación lineal de las  $n$  variables aleatorias. Generalmente el valor de la media  $m$  es desconocido (García, 2004)

Universal: cuando la variable no cumple con el supuesto de estacionariedad es frecuente descomponer la variable  $Z(x)$  como la suma de la tendencia, tratada como una función determinística, más una componente estocástica estacionaria de media cero (Villada y Londoño, 2014).

Residual: La hipótesis principal del Kriging residual propuesto por Gambolati y Volpi (1978 y 1979) consiste en considerar conocido el orden de la deriva o tendencia  $m(x)$ , la cual se estima usando mínimos cuadrados ordinarios  $m^*(x)$ , y a

partir de ésta se obtienen los residuos  $R(x)$  a los que se le aplica el Kriging ordinario (Villada y Londoño, 2014).

No lineales

Indicador: La distribución de probabilidad de variables indicador es una distribución de Bernoulli. Se estiman para cada valor de corte y son menos sensibles a la presencia de valores extremos (outliers) (Montero y Larraz, 2008).

Probabilístico: estimador no lineal basado en CoKriging que utiliza como variables predictoras una función indicadora y una variable generada a través de transformación uniforme (Villada y Londoño, 2014).

### **El uso de la geoestadística en estudios ambientales de fauna**

Walker *et al.* (2008), determinaron las zonas de distribución de tres diferentes especies de aves (*Columba livia*, *Phainopepla nitens* y *Campylorhynchus brunneicapillus*) en una zona urbana y desierto de Arizona utilizando análisis espacial concluyendo para que un modelo de Efecto Agujero presento el mejor ajuste con valores para el error cuadrática medio más pequeños (entre 2.79 – 4.06) mientras que para el modelo Circulas no obtuvo un buen ajuste. El uso de Kriging para la construcción del mapa de distribución se realizó utilizando Kriging ordinario e indicador Kriging, dando resultados muy similares en cuanto a las áreas de distribución.

García *et al.* (2011) usaron el semivariograma para localizar los lugares de hacinamiento del chapulín (*Phoetaliotes nebrascensis*, *Melanoplus lakinus* y *Boopedun nubilum*) en cultivos de maíz para tener mejor control de la plaga. El modelo con el mejor ajuste fue el Gaussinao encontrando un rango entre 47 y 100 km para la distribución de chapulín

Siabato y Yudego (2004) localizaron los lugares de anidamiento de los pingüinos de Magallanes (*Spheniscus magellanicus*) y su relación con el suelo y la vegetación en una estancia de San Lorenzo Argentina. Para el cálculo del semivariograma se asumió isotropía, por lo que el cálculo fue omnidireccional, el modelo teórico que presento mejor ajuste fue el exponencial y se aplicó Kriging ordinario para la predicción del mapa.

Peterson *et al.* (2013) realizaron un estudio sobre la distribución de enfermedades hepáticas en poblaciones de alces (*Alces alces*) encontrando un rango de dependencia espacial de 130 km a partir de realizar el ajuste a un modelo Circular.

García *et al.* (2011) usaron el semivariograma para localizar los lugares de hacinamiento del chapulín (*Phoetaliotes nebrascensis*, *Melanoplus lakinus* y *Boopedun nubilum*) en cultivos de maíz para tener mejor control de la plaga ajustando un modelo Gaussiano encontrando un rango entre 47 y 100 km para la distribución de chapulín.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La investigación se desarrolló en el noreste del municipio de Guerrero Coahuila México, la cual se ubica en las coordenadas 28°13'33''N y 100°20'34'' O, en un área aproximada de 71,161 has, colindando con los siguientes municipios: al sureste con Hidalgo, al sur Juárez y al oeste con Villa Unión y Nava, al norte limita con el estado de Texas de Estados Unidos (Figura 3). El clima es de tipo BS<sub>0</sub>(h')x' el cual es seco muy cálido con temperatura media anual de 22 °C y lluvias escasas durante todo el año, con precipitación promedio anual entre 300 y 400 mm anuales (García, 1998). El área de estudio se encuentra inmersa dentro de la Cuenca de Burgos la cual está sujeta a estudios sismológicos los cuales tienen afectaciones ambientales en flora y fauna.

En general el terreno es plano con una altitud promedio de 200 msnm; la vegetación predominante es Matorral Espinoso Tamaulipeco (Figura 3) constituido principalmente por especies arbustivas de 1.5 a 2 m de altura, abundando *Acacia spp.* (Gavia), *Cercidium spp.* (Palo verde), *Leucophyllum spp.* (Cenizo), *Prosopis spp.* (Mezquite), *Castela tortuosa* (Amargoso), *Condalia spp.* (Abrojos), pero también existe vegetación perteneciente al matorral xerófilo tal como: *Prosopis juliflora*, *Acacia spp.*, *Opuntia spp.*, *Jatropha spp.* y *Bouteloua spp.*, áreas de pastizal inducido y natural y zonas de agricultura (INEGI, 2015).



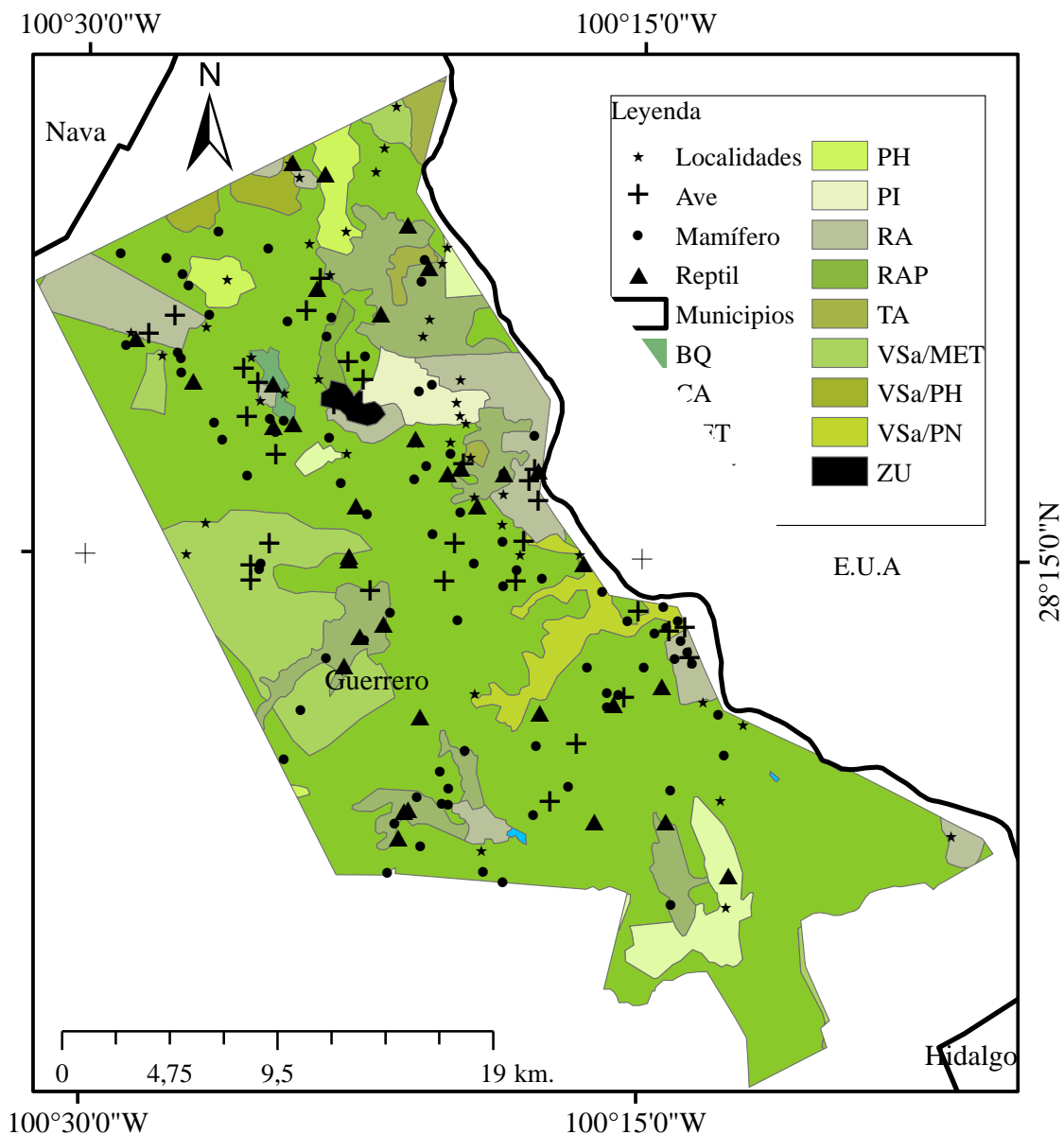


Figura 3. Mapa de vegetación del sitio y registros de muestreo de fauna silvestre en un área ubicada al Noreste de Guerrero Coahuila, México de acuerdo a la carta de uso de suelo y vegetación serie V (INEGI 2015). Bosque de encino (BQ), Cuerpo de agua (CA), Matorral espinoso tamaulipeco (MET), Mezquital xerófilo (MKX), Pastizal cultivado (PC), Pastizal halófito (PH), Pastizal inducido (PI), Agricultura de riego (RA), Agricultura de riego anual y permanente (RAP), Agricultura de temporal (TA), Vegetación secundaria arbustiva de matorral espinoso tamaulipeco (VSa/MET), Vegetación secundaria arbustiva de pastizal halófito (VSa/PH), Vegetación secundaria arbustiva de pastizal natural (VSa/PN), Zona urbana (ZU).

### Muestreos de fauna silvestre

Los muestreos de fauna silvestre se realizaron utilizando la técnica de transecto lineal (Ojasti y Dallmeier, 2000), aunque los transectos fueron a todo largo y ancho del área de estudio, a partir de la fórmula propuesta por Burnham *et al.* (1980), se determinó la longitud de ellos:

$$L = \frac{b}{(Cv(\hat{D}))^2} \left( \frac{L_1}{n_1} \right) \quad 1)$$

Donde:

L = longitud a muestrear (km).

Cv = coeficiente de variación (%).

$\hat{D}$  = densidad de individuos (indv).

L<sub>1</sub> = longitud de premuestreo (km).

n<sub>1</sub> = número de observaciones (indv).

Los transectos se dispusieron de manera sistemática a lo largo de toda el área de muestreo, considerando una distancia de 150 m entre ellos, dando un total de 276 transectos (Figura 4). El muestreo se realizó entre agosto del 2013 y abril de 2014, los transectos se evaluaron una sola vez haciendo caminatas diurnas en las primeras horas de la mañana (7:00 - 11:00 a.m.) y por la tarde (4:00 - 7:00 p.m.). La fauna observada fue contabilizada y agrupada en aves, mamíferos y reptiles; mediante GPS se georreferenció el lugar de avistamiento de cada individuo y se identificó la especie avistada. La identificación fue acorde a las guías desarrolladas por Lemos y Smith (2008) para reptiles; para aves AOU (1998) y Navarro y Peterson (2004) y Ceballos y Arroyo (2012); Ceballos *et al.* (2002) para mamíferos.

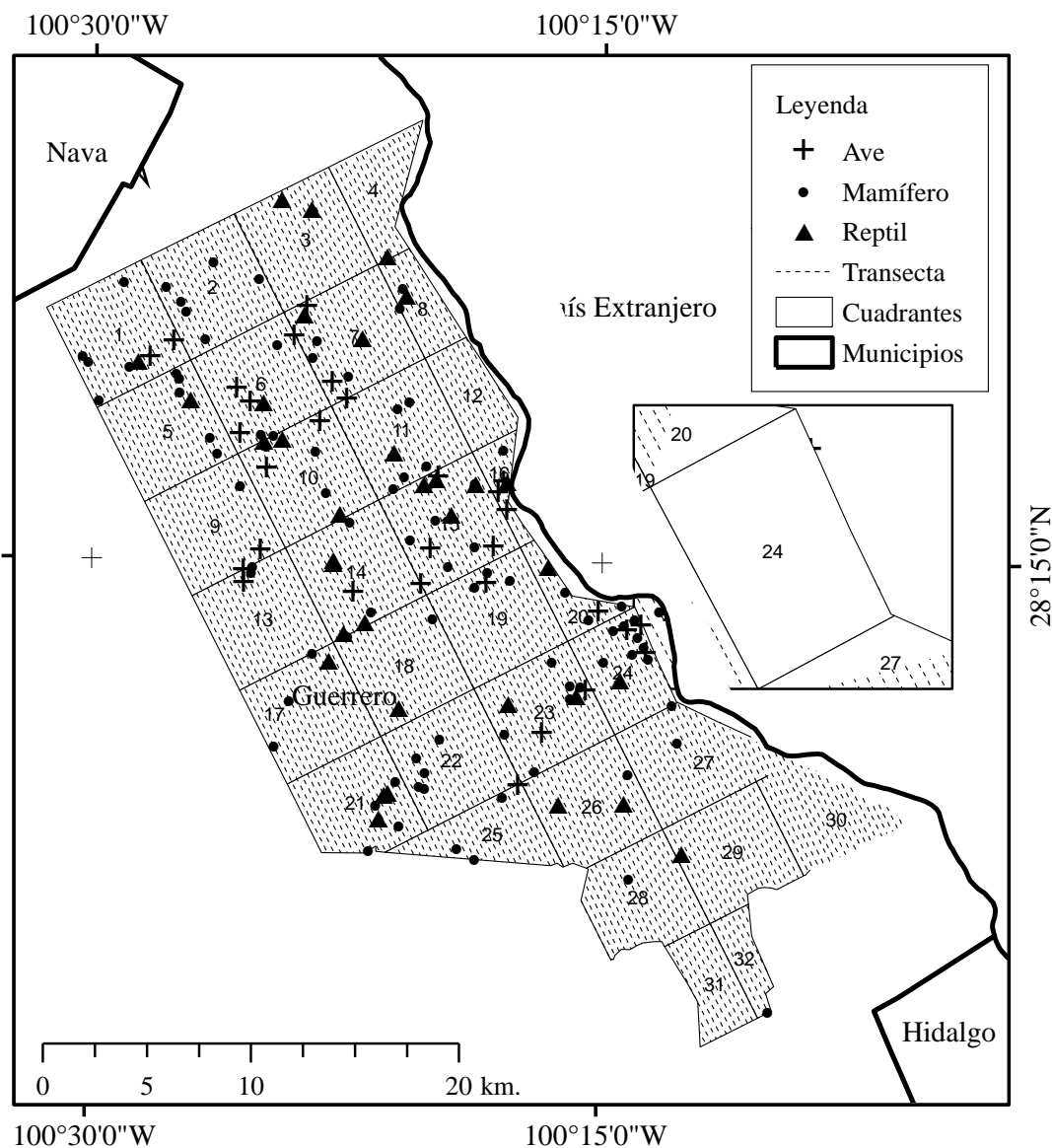


Figura 4. Distribución espacial de transectos para muestreo para aves, mamíferos y reptiles en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México.

Para poder estructurar el semivariograma, el área de estudio se dividió en 32 cuadrantes (5 x 5 km) (Figura 4), los cuales se determinaron usando la distribución de Poisson de acuerdo a la fórmula propuesta por Krebs (1999):

$$n = \left(\frac{200}{r}\right)^2 \left(\frac{1}{x}\right) \quad 2)$$

Donde:

$n$  = tamaño de muestra (número de cuadrantes).

$r$  = error estándar (%).

$x$  = promedio de organismos por cuadrante.

Obteniendo un punto medio de georreferenciación dentro del cuadrante, se contabilizó el número de avistamientos totales y por grupo (aves, mamíferos y reptiles) (Siabato y Yudego, 2004; García *et al.*, 2011).

### **Análisis exploratorio de datos de avistamiento de aves, mamíferos y reptiles**

Para el análisis exploratorio de datos de avistamientos por grupo (aves, mamíferos y reptiles), se realizó una prueba de normalidad con el estadístico de Shapiro-Wilk con un nivel de significancia de 5 %, puesto que para realizar el semivariograma se requiere que se cumpla con los supuestos de normalidad de los datos (Giraldo, 2003), con el apoyo de histogramas de frecuencia y graficas de caja se buscaron datos espurios, concentración o dispersión de los mismos.

### **Análisis estructural para datos de avistamiento de aves, mamíferos y reptiles**

La construcción del semivariograma se apoyó en el software ArcGis versión 10.0 con la herramienta Geostatistical Analyst, a partir de la ecuación propuesta por Isaaks y Srivastava (1989):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \left\{ \sum_{i=1}^{N(h)} [z(Xi + h) - z(Xi)]^2 \right\} \quad 3)$$

Donde:

$\gamma(h)$  = la semivarianza de todas las muestras separadas por los incrementos de las distancias.

$N(h)$  = número de pares separado por la distancia, entre dos posiciones muestreadas.

$z(Xi)$  = variable medida en la posición espacial (i).

$z(Xi + h)$  = variable medida en la posición espacial (i + h).

El semivariograma se graficó a 0°, 45°, 90° y 135° para determinar la existencia de anisotropía (tendencia hacia alguna dirección) o isotropía (independiente de la dirección) (Rossi *et al.*, 1992). Determinado el semivariograma experimental, se procedió a ajustarlo a cuatro modelos teóricos de tipo: Esférico, Gaussiano, Circular y Exponencial, los cuales de son los modelos más utilizados para determinar la distribución de fauna (Rossi *et al.*, 1992; Siabato y Yudego, 2004; Walker *et al.*, 2008; Fortin *et al.*, 2010; García *et al.*, 2011). Para seleccionar el mejor modelo de distribución de los datos de avistamiento de fauna, es necesario que esté presente una media cuadrática (RMS) y un error estándar promedio (AES) cercano a “cero”, además de una media cuadrática estandarizada (RMSS) cercana a uno (Giraldo, 2003).

$$\text{Modelo Esférico} \quad \gamma(h) = c_0 + c \left( \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) \quad 4)$$

$$\text{Modelo Gauissiano} \quad \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \exp \left( -\frac{h^2}{a^2} \right) \right) \quad 5)$$

$$\text{Modelo Circular} \quad \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \left( \frac{h}{a} \right) + \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right) \quad 6)$$

$$\text{Modelo Exponencial} \quad \gamma(h) = c_0 + c \left( 1 - \exp \left( \frac{-h}{a} \right) \right) \quad 7)$$

Donde:

$h$  = distancia de separación (m).

$c_0$  = efecto pepita (m).

$c_0+c$  = varianza asintótica o meseta ( $m^2$ ).

$a$  = rango (m).

### **Validación cruzada para determinar el ajuste de los modelos**

La validación cruzada evaluó el ajuste de los cuatro modelos al semivariograma, este proceso consiste en eliminar un dato observado y realizar nuevamente el ajuste del modelo al semivariograma, este proceso se repite con cada uno de los datos de avistamientos, finalmente el mejor modelo es aquel que arroja un error medio cercano a 0 (Giraldo, 2003).

### **Predicción de avistamientos de fauna a partir del método Kriging ordinario**

El método Kriging ordinario es un estimador lineal insesgado el cual realiza las predicciones de la variable (avistamiento) dentro del área de muestreo (Figura 3) a partir del modelo ajustado, el cual se calcula a partir de la fórmula propuesta por Walker *et al.* (2008):

$$Z(s) = \mu + \delta(s) \quad 8)$$

Donde:

$Z$  = es el valor estimado basado en el modelo de variograma.

$\mu$  = la media.

$\delta(s)$  = es una ubicación espacial conocida.

## RESULTADOS

### Distribución y especies identificadas en el área de estudio

En el área de estudio se registraron un total de 149 observaciones de fauna, los mamíferos fueron los de mayor presencia con un total de 84 individuos, seguido por el grupo de reptiles con 34 y las aves con 31 avistamientos (Figura 5), representando 56.4, 22.8 y 20.8 % respectivamente. Los cuadrantes con mayores observaciones fueron: 6, 10, 15, 16 y 24, representando el 51. % de total de las aves. El 25 % de total de los mamíferos se ubicó en tres cuadrantes (24, 23 y 2), mientras que para el caso de reptiles el 32.4 % se observó en los cuadrantes 14, 15 y 21. En 17, 12 y 6 cuadrantes no se observaron aves, reptiles y mamíferos respectivamente.

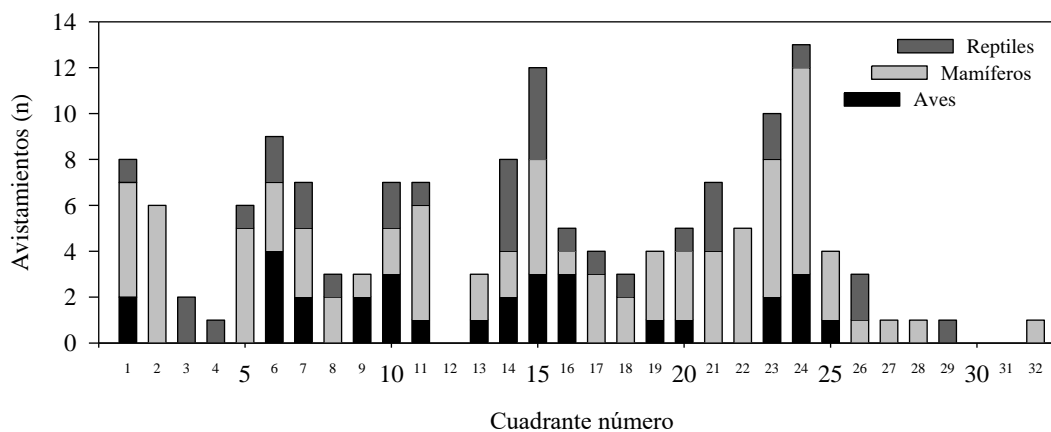


Figura 5. Número de avistamientos totales de aves, mamíferos y reptiles por cuadrante, en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México.

Dentro del grupo de mamíferos las especies registradas fueron: *Puma concolor* (Linnaeus, 1771), *Odocoileus virginianus* (Zimmermann, 1780), *Pecari tajacu* (Linnaeus, 1758), *Canis latrans* (Say, 1823), *Lynx rufus*, (Schreber, 1777), *Vulpes macrotis* (Merriam, 1888), *Cynomys ludovicianus* (Ord, 1815). Para el grupo de aves: *Caracara cheriway* (Jacquin, 1784), *Meleagris gallopavo* (Linnaeus, 1758), *Geococcyx californianus* (Lesson, 1829) y *Cardinalis cardinalis* (Linnaeus, 1758). En reptiles: *Crotalus atrox* (Baird y Girard, 1853), *Phrynosoma cornutum* (Harlan, 1824), *Gopherus berlandieri* (Agassiz, 1857), *Masticophis flagellum* (Shaw, 1802) y *Thamnophis mendax* (Walker, 1955). La especie que tuvo mayor número de avistamientos fue *Odocoileus virginianus texanus* (n = 34) en tanto la especie con menor número de observaciones fue el *Puma concolor* (n = 1) (Figura 6A).

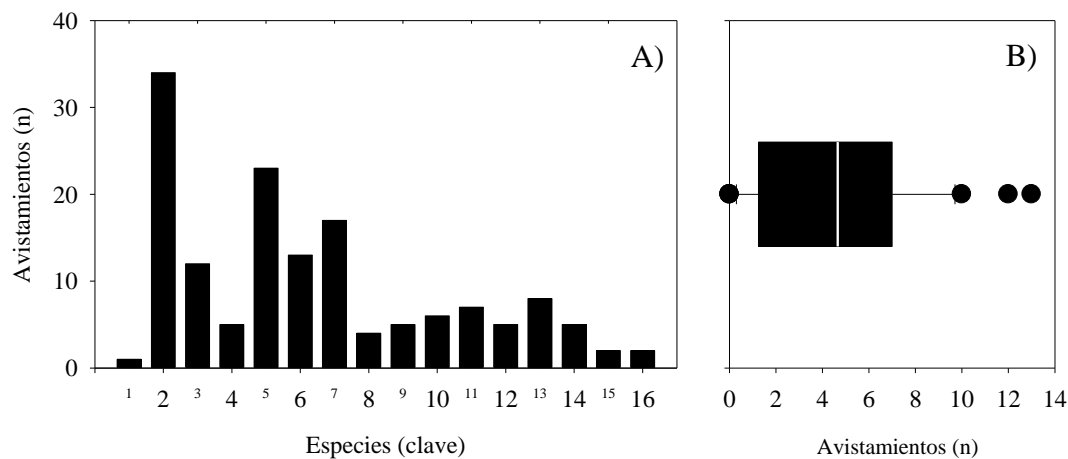


Figura 6. A) Número de avistamientos por especie: (1) *Puma concolor*, (2) *Odocoileus virginianus texanus*, (3) *Caracara cheriway*, (4) *Gopherus berlandieri*, (5) *Pecari tajacu*, (6) *Canis latrans*, (7) *Crotalus atrox*, (8) *Phrynosoma cornutum*, (9) *Lynx rufus*, (10) *Masticophis flagellum*, (11) *Cynomys ludovicianus*, (12) *Meleagris gallopavo*, (13) *Geococcyx californianus*, (14) *Cardinalis cardinalis*, (15) *Vulpes macrotis*, (16) *Thamnophis mendax*. B) Diagrama de caja para número de avistamientos totales de fauna.

En general (avistamientos de fauna total) en el 75% de los datos se encuentran concentradas en observaciones menores a siete individuos, en tanto solo en el 25% se hallan las que son mayores a siete, además de observar como datos máximos 12 y 14 avistamientos (Figura 6B). Gran parte de los avistamientos se situaron en los cuadrantes 1, 6, 14, 15, 23 y 24 (Figura 5), en tanto se observan cuadrantes donde solo hubo uno o ningún avistamiento (Figura 6A), estos cuadrantes (30 y 31) con pocos avistamientos se ubican en zonas de agricultura (Figura 3), donde la actividad antropogénica ha provocado pérdida de vegetación y cambios en la estructura del paisaje, forzando a la fauna a desplazarse a sitios con más vegetación; en tanto, en los cuadrantes 15, 23 y 24 (Figura 5) se registró mayor número de avistamientos ( $n > 10$ ) (Figura 6B), en esta zona, la vegetación predominante es Matorral Espinoso Tamaulipeco, existen fuentes de agua en estas zonas, y además se ubican lejos de asentamientos humanos (Figura 3).

Cuadro 1. Estadísticos de pruebas de normalidad para avistamientos de fauna en un área ubicada al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila, México.

	<b>Grupo</b>			
	<b>Aves</b>	<b>Mamíferos</b>	<b>Reptiles</b>	<b>Fauna total</b>
Valor de probabilidad de Shapiro-Wilk	1.3 e <sup>-5</sup>	0.01	9.5 e <sup>-5</sup>	0.09
Desviación estándar (indv)	1.23	2.22	1.13	3.54
Varianza (indv <sup>2</sup> )	1.51	4.90	1.28	12.54
Curtosis	2.51	3.26	3.68	2.68
Media (indiv)	0.96	2.62	1.06	4.65
Simetría	3.5 e <sup>-6</sup>	0.04	0.79	0.55

Puesto que los datos de los tres grupos de fauna (aves, mamíferos y reptiles) no cumplieron con normalidad ( $p \leq 0.05$ ) y simetría, encontrando valores del  $p$  por debajo de 0.05 se optó por realizar el semivariograma a nivel de fauna total, la cual cumplió con los supuestos de normalidad y simetría  $p = 0.09$  y  $p = 0.55$  respectivamente (Cuadro 1).

#### **Análisis del semivariograma**

Los semivariogramas graficados a 0°, 45°, y 135° presentan estructuras muy similares no lográndose estabilizar el rango y meseta, el semivariograma a un ángulo de 90° muestra una tendencia de crecimiento en su estructura y posterior estabilización (patrón buscado) por lo que el cálculo del semivariograma se realizó en presencia de anisotropía (Figura 7) lo que nos indica la influencia de la dirección en la dependencia espacial de la distribución de las especies de fauna. Esto puede deberse a que el área en particular comprende zonas de agricultura, pastos, presencia de cuerpos de agua y de asentamientos humanos lo que resulta en un área heterogénea.



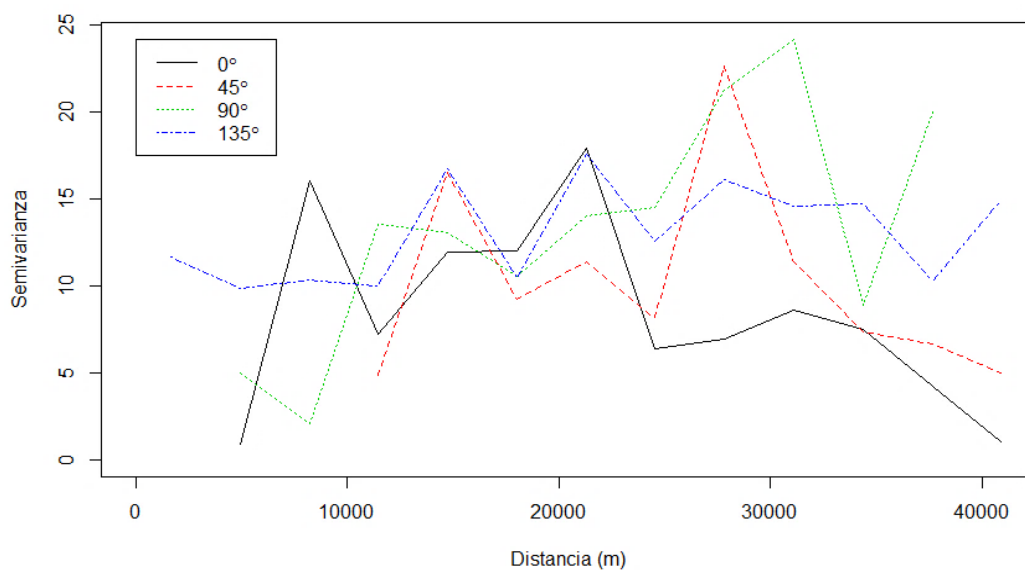


Figura 7. Semivariogramas direccionales del número de avistamientos de fauna total calculada a 0°, 45°, 90° y 135° al Noreste del municipio de Guerrero Coahuila.

### Ajuste de cuatro modelos al semivariograma

Cuadro 2. Estadísticos de los modelos Circular, Esférico, Exponencial y Gaussiano ajustados al semivariograma de los avistamientos totales de fauna de la región noreste de Coahuila.

<b>Modelo</b>	<b>Rango (m)</b>	<b>Pepita (m)</b>	<b>Meseta (m)</b>
Circular	11012.14	4.97	13.14
Esférico	18929.85	3.52	12.86
Exponencial	19735.37	0	13.25
Gaussiano	16968.35	5.70	13.08

Acorde al ajuste de los cuatro modelos, el mayor rango (19.73 km.) lo obtuvo el modelo Exponencial (Figura 6C) y el menor alcance el modelo Circular (Cuadro 2 y Figura 6A) con 11.01 km. Para el efecto pepita los modelos muestran diferencias entre sí, pero mientras los modelos Circular, Esférico y Gaussiano (Figura 6A, 6B, 6D) tienen valores de entre 3.5 y 5.7 m., el modelo Exponencial obtuvo una pepita de 0 m, lo que indica la inexistencia de error en el muestreo y que la diferencia entre una distancia de un punto de muestreo a otra es 0, lo que en la práctica resulta sumamente difícil. La meseta es muy similar para los modelos Circular, Esférico,

Exponencial y Gaussiano, esto demuestra que la varianza muestral en todos los modelos se comporta de manera similar (Figura 6A - 6D).

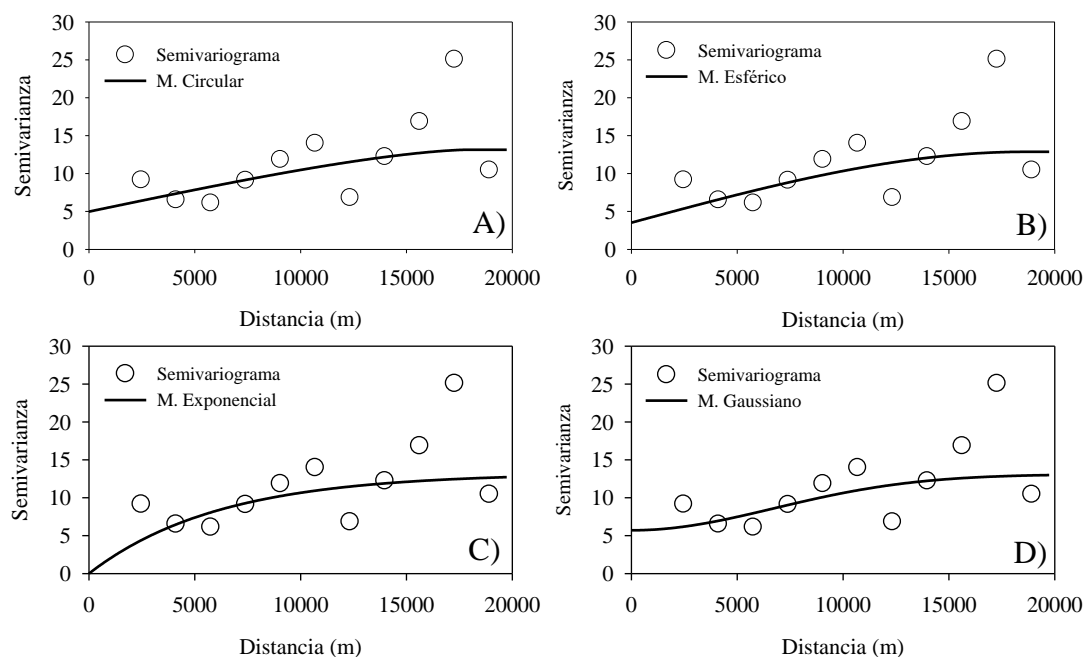


Figura 8. Ajuste de semivariograma a los avistamientos totales de fauna en un área ubicada al Noreste de Guerrero Coahuila, México, utilizando cuatro modelos: A) Circular, B) Esférico, C) Exponencial y D) Gaussiano.

De acuerdo a el ajuste realizado por la validación cruzada los modelos Circular, Esférico, Gaussiano (Figura 8A, 8B y 8D), presentaron un buen ajuste al semivariograma con valor de la Media Cuadrática Estandarizada (RMSS) arriba de 0.90 (Cuadro 3), en tanto el modelo Exponencial (Figura 8C) tiene el menor ajuste con una RMSS de 0.88; el mejor ajuste se obtuvo con el modelo Circular con 0.98 en la RMSS. El error estándar arrojado por los cuatro modelos fue muy similares (3.0), sin embargo el que presentó el menor error fue el modelo Exponencial. Puesto que el error de predicción es un buen criterio de validación, al mismo tiempo que el valor de Media Estandarizada es cercano a cero en el modelo circular (0.0364), se optó por usar este para el semivariograma.

Cuadro 3. Resumen de estadísticos de modelos ajustados al semivariograma de avistamientos de fauna total de la región noreste de Coahuila, México.

<b>Modelo</b>	<b>Media (indv.)</b>	<b>Media cuadrática (indv.)</b>	<b>Media estandarizada</b>	<b>Media cuadrática estandarizada</b>	<b>Error Estándar</b>
Circular	0.1379	3.0141	0.0364	0.9873	3.0935
Esférico	0.1749	2.8039	0.0461	0.9330	3.0252
Exponencial	0.1633	2.6553	0.0406	0.8829	3.0120
Gaussiano	0.1593	2.7900	0.0412	0.9254	3.0401

De acuerdo al ajuste del semivariograma hecho con el modelo Circular (Figura 8A) se tiene entonces que el alcance o rango se estabiliza a los 11.01214 km (Cuadro 2) lo que nos indica la distancia dentro de la cual las especies se encuentran correlacionadas espacialmente, más allá de esta distancia las especies dejan de tener dependencia espacial, presentándose un efecto pepita de 4.97 m. que representa la variación en cuanto a la escala de muestreo de la fauna, indicando también que la escala de muestreo debe darse a una distancia menor, además de englobar los errores en la toma de datos, en tanto la meseta (13.14 m.) nos proporciona la variación muestral.

#### **Predicción de avistamientos totales de fauna de la región noreste de Coahuila**

De acuerdo a los resultados obtenidos a partir del método Kriging para la predicción de la distribución de fauna muestra un tendencia de Este a Oeste recorriendo la parte central del polígono (Figura 9) teniendo una probabilidad del 92 % de encontrar (aves, mamíferos y reptiles) entre 6 y 8 individuos, siendo esta área la de mayor número de especies y disminuyendo hacia los extremos del polígono donde las especies se reducen de dos a casi a cero. La zona con mayor presencia de fauna (Figura 9) se encuentra localizada en áreas con vegetación predominante de Matorral Espinoso Tamaulipeco (64 % del total del área) y donde existen cuerpos de agua (Figura 3), en comparación a las zonas donde la fauna tiende a disminuir (Figura 9), donde se encuentran cultivos agrícolas (8.4 %) y pastizal (6.2 %) (Figura 3).

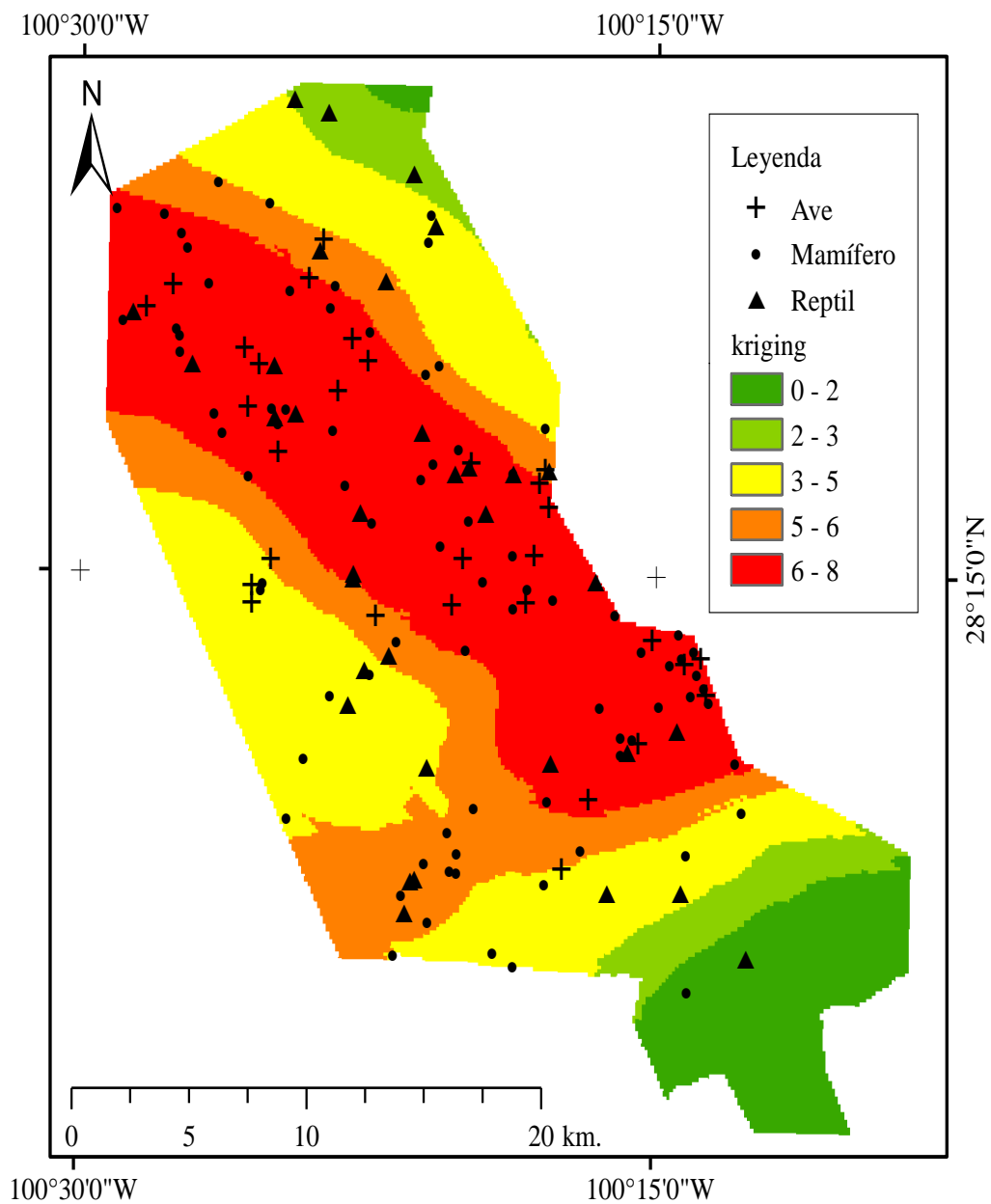


Figura 9. Distribución espacial estimada de la fauna total (aves, mamíferos y reptiles) de la región noreste de Coahuila, México.

## DISCUSIÓN

Los semivariogramas realizados para predecir la distribución de fauna tienden a calcularse de manera direccional con presencia de anisotropía en la mayoría de los casos, como lo han registrado Nogués y Martínez (2004) para aves, mamíferos, reptiles y anfibios al encontrar cambios en los semivariogramas direccionales calculado para latitud y longitud. Rossi *et al.* (1992) hallaron para *Dyschirius globosus* una fuerte tendencia direccional entre los 90 y 135°, similar a este estudio en el cual el semivariograma incluyendo para aves, mamíferos y reptiles se realizó en presencia de anisotropía y a un ángulo de 90°, lo cual parcialmente es debido a la heterogeneidad del paisaje, como lo han descrito Fortin *et al.* (2010), quienes mencionan que la dependencia en la distribución y movimiento de la fauna se debe a cambios estructurales del paisaje. Por su parte, Siabato y Yudego (2004) documentan que la topografía, tipo de suelo y vegetación son las variables determinantes en la distribución de *Spheniscus magellanicus*, a estas variables, García *et al.* (2011) también le han incluido el clima, para predecir la distribución geográfica de insectos. Para modelar la distribución de diferentes especies de fauna se han utilizado modelos como el Circular, Esférico, Exponencial, Gaussiano y de Efecto Agujero, e.g. Walker *et al.* (2008) concluyeron que para modelar la distribución de aves el modelo de Efecto Agujero presenta el mejor ajuste (Error Cuadrática Medio de entre 2.79 y 4.06), mientras que el modelo Circular no obtuvo buen ajuste, caso contrario a lo que se encontró en este estudio modelando mamíferos, aves y reptiles donde el modelo Circular registró el mejor ajuste con error por debajo de 3.1. Similarmente, el modelo Circular ha sido utilizado por Peterson *et al.* (2013) para analizar la propagación de enfermedades en alces (*Alce alce*) encontrando un rango de dependencia espacial de 130 km, muy superior al encontrado para este trabajo (11 km). García *et al.* (2011) ajustando un modelo Gaussiano encontraron un rango entre 47 y 100 km para la distribución de chapulín; las diferencias entre valores de dependencia espacial comparado con este estudio se debe a especialmente a la abundancia, a la especie, y posiblemente a la movilidad o desplazamiento de la misma.

Danielson y Anderson (1999) han determinado que la pérdida de hábitat es la principal causa de amenaza de las especies, en esta área de estudio se observa gran actividad antropogénica ocasionando modificaciones a la estructura del paisaje, por cambios de uso de suelo, siendo quizá esto que gran parte de las especies

identificadas se encuentran dentro de la NOM-059-2010 o bajo alguna categoría de riesgo en la CITES y en la UICN. En Coahuila, Lemos y Smith (2016) reportan 109 especies de reptiles, De León *et al.* (2007) registran 398 especies de aves y Ceballos *et al.* (2002) documentan 107 especies; como puede verse, en el área de estudio se registra una pequeña parte de las especies registradas en Coahuila, adicionalmente, las siete especies de mamíferos y las cinco especies de reptiles registrada en este estudio, Ceballos y Arroyo (2012) y Lemos y Smith (2016) las reportan bajo algún estatus de conservación.

## CONCLUSIONES

El mejor ajuste al semivariograma experimental fue el modelo Circular, dando como resultado que en más del 50 % de la superficie del área de estudio se presente una probabilidad del 92% de registrar entre seis y ocho avistamientos de fauna (aves, mamíferos y/o reptiles), donde la mayor distribución ocurre en áreas con vegetación (Matorral Espinoso Tamaulipeco), cercana a cuerpos de agua y alejadas de asentamientos humanos. El número de especies de mamíferos, reptiles y aves registradas en este estudio es baja ya que representan 6.5, 4.5 y 1 % respectivamente del total de las especies registradas en Coahuila. La evaluación de fauna silvestre mediante técnicas geo-estadísticas es fundamental y eficiente para predecir la distribución espacial de las especies y con ello, establecer mejores planes de manejo para su conservación.

## REFERENCIAS

- American Ornithologists' Union (A.O.U). 1998. Check-list of North American birds. 7th ed., *American Ornithologists Union, Washington, D. C.* pp. 829.
- Berlanga, H., Gómez, De S. Vargas, V., Rodríguez, C., Sánchez, G., Ortega, Á. y Calderón, P. 2015. Aves de México: Lista actualizada de especies y nombres comunes. CONABIO, México D.F.
- Burnham, K. P., Anderson, D. R. y Laake, J. L. 1980. Estimation of density from line transect sampling of biological populations. *Wildlife Monographs*, 72: 3-202.
- Ceballos, G. J., Arroyo C. y Medellín, R. A. 2002. The mammals of México: composition, distribution, and conservation status. Occasional Papers. *The Museum of Texas Tech University*, 218: 1-27.
- Ceballos, G. y Arroyo, C. 2012. Lista actualizada de los mamíferos de México 2012. *Revista Mexicana de Mastozoología Nueva época*, 2: 27-80.
- Conabio. 2008. Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad.
- Danielson, B. J. y Anderson, G. S. 1999. Habitat selection in geographically complex landscapes. En Barrett, G. W. y Peles, J. D. (Eds.), *Landscape Ecology of Small Mammals*, Springer - Verlag, New York. pp. 89-103.
- De León, G., Morán, I., Valdés, F. y Tinajero, R. 2007. COAHUILA. En Ortiz P., Navarro S., Gómez de Silva, H., Rojas S. y Peterson, T. (Eds.), *Avifaunas Estatales de México*. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. pp. 98- 136.
- Fisher, R., Suarez, A. y Case, T. 2002. Spatial patterns in the abundance of the coastal horned lizard. *Conservation Biology*, 16: 205-215.
- Flores, V. O. y García, V. U. 2014. Biodiversidad de reptiles en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 467-475.
- Fortin, M. J., Dale, M. R. y Bertazzon, S. 2010. Spatial analysis of wildlife distribution and disease spread. En Cushman S., Huettman F. (Eds.) *Spatial Complexity, Informatics, and Wildlife Conservation*. Springer, New York. pp. 255-272.
- García, E. 1998. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/> (acceso en 2016).
- García M. 2004. Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. Enero. *Ecosistemas* 13 (1): 78-86.
- Gallardo A. 2006. Geoestadística. *Ecosistemas*. 2006. (URL: [http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=431&Id\\_Categoria=1&tipo=portada](http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=431&Id_Categoria=1&tipo=portada)).



- Giraldo, H. R. 2003. Introducción a la geoestadística. Teoría y aplicación. Bogotá, *Facultad de Ciencias, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia*. pp. 93.
- García, G., Chairez, C. y González M. 2011. Distribución espacio-temporal del complejo chapulín en pastizales de Durango. En García G. y Lozano G. (Eds.) Control biológico de plagas de chapulín en el norte centro de México. Universidad Autónoma de Zacatecas, México, pp. 59 - 79.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática México. 2015. *Guía para la interpretación de cartografía uso del suelo y de vegetación: Escala 1: 250 000 Serie V*. INEGI.
- Isaaks, E. y Srivastava, R. 1989. An Introduction to applied geostatistics. Oxford Univ. Press, New York, USA. pp. 592.
- Krebs C. J. 1999. Ecological methodology. Benjamin Cummings, Menlo Park, California. pp. 624.
- Lemos, E. y Smith H. 2008. Anfibios y reptiles del Estado de Coahuila, México. UNAM-UCB-CONABIO. México, D.F. pp. 550.
- Lemos, E. y Smith H. 2016. Amphibians and reptiles of the state of Coahuila, Mexico, with comparison with adjoining states. *ZooKeys*, 593: 117-137.
- Llorente-Bousquets J. y S. Ocegueda. 2008. Estado del conocimiento de la biota, en Capital Natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 283-322.
- Navarro, S. y Peterson, A. 2004. An alternative species taxonomy of the birds of Mexico. *Biota Neotropical*, 4: 1-32.
- Navarro, S., Rebón, G., Gordillo, M., Peterson, A., Berlanga, G. y Sánchez, G. 2014. Biodiversidad de aves en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85: 476-495.
- Miller, A.S. y P.J. Harley. 1996. Zoology. 3era ed. Wm. C. Brown publishers. E.U.A. pp. 752.
- Mittermeier, R., Goettsch, C. y Robles, G. 1997. Megadiversidad. Los Países Biológicamente Más Ricos del Mundo. Cemex. México. pp 501.
- Mittermeier, R., y Goettsch, C. 1992. La importancia de la diversidad biológica de México, en J. Sarukhán y R. Dirzo (comps.), México ante los retos de la biodiversidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México, pp. 63-73.
- Montero, L. y Larraz, I. 2008. Introducción a la geoestadística lineal. Editorial Gesbiblo, S.L. España. pp. 139.

- Nogués, B. y Martínez, R. 2004. Patrones de distribución espacial de la riqueza de especies de vertebrados en un área de transición biogeográfica: de la Navarra pirenaica a la mediterránea. *Pirineos*, 158: 87-106.
- Ochoa, L. M. O. y Flores, V. A.. 2006. *Áreas de diversidad y endemismo de la herpetofauna mexicana*. UNAM. pp. 215.
- Ojasti, J. y Dallmeier, F. 2000. *Manejo de fauna silvestre Neotropical*. SIMAB Serie No. 5, Smithsonian Institution/MAB Program, Washington, D. C.
- Peterson, W., Lankester, M., Kie, J. y Bowyer, R. 2013. Geospatial analysis of giant liver flukes among moose: effects of white-tailed deer. *Acta Theriologica*, 58: 359-365.
- Rossi, R., Mulla, D., Journel, A. y Franz, E. 1992. Geostatistical tools for modeling and interpreting ecological spatial dependence. *Ecological Monographs*, 62: 277-314.
- Sarukhán, J., et al. 2009. Capital Natural de México. Síntesis: conocimiento actual, evaluación y perspectivas de sustentabilidad. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Siabato, W. y Yudego, C. 2004. Geoestadística y medio ambiente. En: García, C. & Martínez, B. (Eds.). *Territorio y medio ambiente. Métodos cuantitativos y técnicas de información geográfica*. Universidad de Murcia, España. pp. 11-25.
- Villada, A. y Londoño, C. 2014. Aplicación de métodos geoestadísticos para la caracterización de la calidad química de un depósito de material calcáreo. *Boletín de Ciencias de la Tierra*, (35), 15-24.
- Villaseñor, J. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México *Interciencia* 28: 160-167.
- Velázquez, A., Mas, J., Mayorga, S., Díaz, C., Alcántara, R., Fernández, J., Palacio, J., Bocco, G., Gómez G., Luna L., Trejo, I., López, J., Palma, M., Peralta, A., Prado, J. y González F. 2002. Estado actual y dinámica de los recursos forestales de México. *Conabio. Biodiversidad* 41: 8 – 15.
- Viera, M. y González, R. (2002). Geoestadística aplicada. Notas de curso. Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA. Cuba.
- Walker, J., Balling, R., Briggs, J., Katti, M., Warren P. & Wentz, E. 2008. Birds of a feather: interpolating distribution patterns of urban birds. *Computers, Environment and Urban Systems*, 32: 19-28.

WWF. 2014. Informe Planeta Vivo 2014. Personas y lugares, especies y espacios. McLellan, R., Iyengar, L., Jeffries, B. and Oerlemans, N. (Eds). WWF Internacional, Gland, Suiza.

[http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran\\_familia/animales/reptiles/reptiles.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/animales/reptiles/reptiles.html)

[http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran\\_familia/animales/mamiferos/mamiferos.html](http://www.biodiversidad.gob.mx/especies/gran_familia/animales/mamiferos/mamiferos.html)