



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE MEDICINA
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN**



**MODELO ESPACIAL DE RIESGO ECOEPIDEMIOLÓGICO EN LA
TRANSMISIÓN DE RABIA PARALÍTICA BOVINA EN EL SUROESTE DEL
ESTADO DE MÉXICO.**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS DE LA SALUD**

**PRESENTA
ALEJANDRO ZALDÍVAR GÓMEZ**

**Director de Tesis:
M. en C. Evangelina Muñoz Soria**

México DF, Enero, 2014

Este trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de rabia del Laboratorio Estatal de Salud Pública del Estado de México bajo el proyecto SERIS AGO12P251 y el Laboratorio de Medicina de Conservación de la Escuela Superior de Medicina del Instituto Politécnico Nacional; con apoyo del Dr. Leopoldo Aguilar Faisal, jefe del Laboratorio de Medicina de Conservación; Mtro. Armando Reyes Enríquez, Facultad de Planeación Urbana y Regional de la Universidad Autónoma del Estado de México; M.V.Z. María Eugenia Jaimes Benítez, Responsable de la Campaña de Rabia Paralítica Bovina y M.V.Z. Camilo Gerardo Pérez Colín Gerente General del Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México, bajo la dirección de la M. en C. Evangelina Muñoz Soria de la ESM-IPN.

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de tesis: M. en C. Evangelina Muñoz Soria, por el tiempo y dedicación en el finiquito de este proyecto.

Al Dr. Leopoldo Aguilar Faisal, Jefe del Laboratorio de Medicina de Conservación de la ESM-IPN, por las facilidades y apoyo otorgado a la realización de la investigación.

Al M.V.Z. Camilo Gerardo Pérez Colín, Gerente General del Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México y a la M.V.Z. María Eugenia Jaimes Benítez y todo su equipo técnico operativo de la Campaña contra la Rabia Paralítica Bovina por toda la confianza y apoyo brindado para la ejecución de este proyecto.

Al Mtro. Armando Reyes Enríquez, Facultad de Planeación Urbana y Regional UAEMex, por las facilidades dispuestas y sus valiosos comentarios y aportaciones para la realización de este trabajo.

Al Dr. Juan Manuel Jiménez Estrada, Responsable del Laboratorio de Biología Molecular del ISEM y a todo el equipo de trabajo por la confianza y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

A MI FAMILIA

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

Sin mencionar ningún nombres pero sin olvidar a nadie...

Gracias por ser parte de mi presente y aún mantenerme a hombros de gigantes.

INDICE

| | |
|--|-----|
| ABREVIATURAS | ix |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| RESÚMEN..... | xii |
| ABSTRACT | xiv |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Generalidades de la Rabia Parálítica Bovina en México | 2 |
| 1.2. Transmisión de la Rabia Parálítica Bovina..... | 4 |
| 1.2.1. Aspectos relacionados a la biología del <i>Desmodus rotundus</i> | 4 |
| 1.2.2. Aspectos relacionados a la rabia en ecosistemas pecuarios | 6 |
| 2. ANTECEDENTES..... | 9 |
| 3. JUSTIFICACIÓN..... | 12 |
| 4. HIPÓTESIS DE TRABAJO | 13 |
| 5. OBJETIVOS | 14 |
| 5.1. Objetivo general | 14 |
| 5.2. Objetivos específicos..... | 14 |
| 6. MATERIAL Y MÉTODOS | 15 |
| 6.1. Área de estudio | 15 |
| 6.2. Construcción de la base de datos espaciales | 16 |
| 6.3. Área de estudio y su división en sistema de cuadrantes..... | 18 |
| 6.4. Modelos descriptivos | 19 |
| 6.5. Modelo de exploración estadística espacio temporal | 20 |
| 6.6. Descripción de los cambios ocurridos en la ocupación y uso de suelo | 22 |
| 6.7. Análisis de factores asociados a la rabia parálítica bovina..... | 25 |
| 6.7.1. Variables utilizadas en el modelo estadístico..... | 25 |
| 6.7.2. Método de análisis (Regresión Lineal Múltiple)..... | 27 |
| 6.8. Identificación de áreas de riesgo con Getis Ord G_i^* (Hot spot)..... | 28 |
| 6.9. Análisis estadístico..... | 29 |
| 7. RESULTADOS | 30 |
| 7.1. Modelos descriptivos | 30 |
| 7.2. Relación espacio temporal de brotes de rabia bovina..... | 34 |
| 7.3. Relación de factores con los brotes de rabia parálítica bovina..... | 37 |

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| 8. | DISCUSIÓN..... | 44 |
| 9. | CONCLUSIONES..... | 50 |
| 10. | RECOMENDACIONES | 52 |
| 11. | BIBLIOGRAFIA. | 53 |

ABREVIATURAS

RPB: Rabia Parálítica Bovina.

DGSA: Dirección General de Salud Animal.

SAGARPA: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

CFPPEM: Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México.

LESP: Laboratorio Estatal de Salud Pública.

ISEM: Instituto de Salud del Estado de México.

INEGI: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

CONAPO: Consejo Nacional de Población.

BDG: Base de Datos Geográficos

InDRE: Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica.

IFD: Inmunofluorescencia Directa.

UAEMex: Universidad Autónoma del Estado de México.

CONABIO: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

RAE: Recorte de Área de Estudio.

MDE: Modelo Digital de Elevación.

LCM: *Land Change Modeler*.

AEDE: Análisis Exploratorio de Datos Espaciales.

RLM: Regresión Lineal Múltiple.

SIG: Sistema de Información Geográfica.

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Reporte de casos positivos y negativos de Rabia Paralítica Bovina, Estado de México..... | 11 |
| Tabla 2. Información geoestadística de los municipios en estudio..... | 16 |
| Tabla 3. Niveles de información de las categorías de uso y ocupación de suelo.. | 22 |
| Tabla 4. Tabulación cruzada para dos tiempos con pérdidas y ganancias. | 23 |
| Tabla 5. Descripción de las variables medidas a nivel de cuadrante en el RAE. ... | 26 |
| Tabla 6. Resultados de la relación estadística espacio temporal..... | 35 |
| Tabla 7. Modelo propuesto para explicar la ocurrencia de rabia en el ganado bovino..... | 37 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Situación actual de área de control de la Rabia Paralítica Bovina en México..... | 3 |
| Figura 2. Colonia de <i>Desmodus rotundus</i> en el techo de un edificio abandonado.. | 5 |
| Figura 3. Clasificación de áreas de riesgo por rabia en bovinos, Estado de México. | 10 |
| Figura 4. Área de estudio de zona endémica a rabia bovina, suroeste del Estado de México..... | 15 |
| Figura 5. Flujograma de construcción de la Base de Datos Geográficos..... | 17 |
| Figura 6. Representación del RAE para el análisis estadístico en sistema de cuadrantes divididos en celdas de [10x10] km..... | 19 |
| Figura 7. Modelo descriptivo en la ocurrencia de Rabia Paralítica Bovina..... | 32 |
| Figura 8. Distribución de localidades con presencia de rabia bovina y actividades de control y prevención de la enfermedad. | 34 |
| Figura 9. Análisis estadístico espacio temporal de casos positivos a rabia en el área de estudio y estacionalidad..... | 35 |
| Figura 10. Reporte acumulado mensual de brotes de rabia para el <i>cluster</i> más probable "A" y el <i>cluster</i> secundario "B". | 36 |
| Figura 11. Autocorrelación espacial por distancia de las relaciones espaciales en el nivel de concentración de bovinos en sus diferentes sistemas de producción pecuaria..... | 38 |
| Figura 12. Análisis Hot Spot (Getis-Ord G_i^*) de la densidad de bovinos en sistema mixto de producción. | 41 |
| Figura 13. Análisis Hot Spot (Getis-Ord G_i^*) de planicies (pendiente $<10^\circ$) y presencia de refugios de murciélagos vampiro.. | 42 |
| Figura 14. Análisis Hot Spot (Getis-Ord G_i^*) de Corrientes perenne y presencia de brotes de rabia bovina..... | 43 |

RESÚMEN

La rabia paralítica bovina constituye para las explotaciones ganaderas severas pérdidas económicas, así como un riesgo para la salud pública. El murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*) es uno de los reservorios principales de la enfermedad, su distribución depende del medio ambiente y las actividades antropogénicas.

Se tomó como área de estudio 14 municipios que comprenden la zona suroeste del Estado de México. Para la detección de agrupaciones espacio-temporales en la transmisión de rabia bovina se utilizó la Estadística de Exploración Espacial de Kulldorff. El análisis se realizó en un modelo de probabilidad Bernoulli; se incluyó en el estudio los casos positivos de bovinos confirmados por laboratorio de 1999 a 2012, comparado con los casos negativos que sirvieron como control. El análisis de los datos fue modelado en un estudio retrospectivo espacio-temporal con agregación de casos cada 3 meses debido al periodo de incubación del virus. Los datos fueron procesados y calibrados en el software libre SATSCAN® y representados en plataforma SIG utilizando el software ArcMap de ESRI®.

Para determinar los factores asociados a la transmisión de la rabia en la región, se ensayaron diversas características de la ecología del paisaje (socioeconómicas, biofísicas, producción pecuaria, dinámica de cambios de uso de suelo, presencia de murciélago vampiro y vacunación antirrábica). Los datos socioeconómicos fueron obtenidos a partir de los Censos de Población y Vivienda de INEGI 2005 y 2010. Los datos de producción pecuaria, vacunación y control del murciélago hematófago fueron proporcionados por el Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México. La dinámica de cambio de uso de suelo fue desarrollada a partir de la cartografía de INEGI de Uso de Suelo y Vegetación Serie III y IV correspondiente a los años 2002 y 2007 respectivamente. La información epidemiológica se colectó a partir de los datos del Laboratorio de Rabia del ISEM de 1999 a 2012. El área de estudio se trabajó en una cuadrícula de 76 celdas de 10 x 10 km; para cada celda se asignó la información obtenida y

se correlacionó espacialmente con la frecuencia de casos positivos a Rabia. Las variables explicativas se incorporaron en un modelo de regresión lineal múltiple.

Se detectó en el análisis que los factores relacionados a la aparición de Rabia bovina fueron celdas con mayor densidad de población bovina, principalmente los sistemas mixtos de producción, planicies y la presencia de ríos intermitentes.

Se observó que los casos de rabia fueron agrupados en tiempo y espacio. La estadística de exploración espacio-temporal definió la agrupación más probable en el municipio de Amatepec durante dos años (julio 2007 a octubre 2009), cubriendo una zona de 24 km de diámetro, muy cerca del Estado de Guerrero. El riesgo relativo de estar infectado un hato dentro de la agrupación más probable en comparación con el área circundante se estimó en 2.09 ($p < 0.05$). La transmisión se mantiene en el área de estudio, detectando una agrupación espacial secundaria 40 km al norte (enero 2010 a diciembre 2012) con un riesgo relativo de 1.92 ($p < 0.33$).

ABSTRACT

The bovine paralytic rabies causes severe economic losses to livestock holdings and constitutes a great risk to public health. The vampire bat (*Desmodus rotundus*) is one of the major reservoirs of the disease; its distribution depends on the environment and human activity.

The study was undertaken in 14 municipalities located in the southwest of the State of Mexico. The Kulldorff Spatial Scan Statistic was used to detect spatio-temporal clusters of bovine rabies transmission. The analysis was carried out using the Bernoulli distribution. Positive cases of bovine rabies confirmed in the laboratory between 1999 and 2012 were also included in the study, after being contrasted with the negative cases that served as control. The data analysis was modeled on a spatio-temporal retrospective study, with the addition of more cases every 3 months due to the virus incubation period. SaTScan® was used to process and calibrate the data, which was represented on Esri ArcGIS® platform.

In order to determine the factors associated with the transmission of rabies in the region, the ecological, socio-economic and biophysical features of the landscape were studied together with livestock production, crop rotation dynamics, presence of vampire bats in the area, and rabies vaccination data. The socio-economic data was obtained from the INEGI's Population and Housing Census 2005-2010. The data related to livestock production, rabies vaccination and *Hematophagous bat* control was provided by the Committee for the Promotion and Protection of Livestock of the State of Mexico. The crop rotation dynamics were developed using INEGI's mapping *Use of Soil and Vegetation* Series III and IV, corresponding to years 2002 and 2007 respectively. The epidemiological information was obtained from ISEM's laboratory of rabies archive for 1999 to 2012. The study zone was divided into 76 grid areas of 10x10 km cells each; each cell was assigned with the obtained information and correlated spatially with the frequency of BPR positive cases. The explanatory variables were incorporated using a Multiple Linear Regression model.

It was found out that the factors related to the presence of BPR occurred principally in densely populated cells, where mixed production systems are used, and where there are plains with rivers which experience intermittent flow of water.

It was also observed that the rabies cases were grouped in time and space. The Spatio-temporal Exploration Statistic detected that the grouping with the highest probability occurred in Amatepec, lasting two years (July 2007- October 2009) and covering an area of 24 km in diameter, near the borders with Guerrero State. The relative risk of a herd becoming infected within the group in this area was more likely in comparison with the rest of the surrounding area, estimated at 2.09 ($p < 0.05$). The transmission of rabies continued within the study zone, and a further spatial grouping was detected 40 km to the North (between January 2010 and December 2012) showing a relative risk of 1.92 ($p < 0.33$).

1. INTRODUCCIÓN

La Rabia Parálítica Bovina (RPB) es una zoonosis estudiada ampliamente en virtud de su importancia para el área de la salud pública, la ecología y la economía (1, 2). Los primeros reportes de rabia en murciélago vampiro en el nuevo mundo fueron realizados por colonizadores españoles. Fernández de Oviedo relató la muerte de soldados como resultado de agresiones por murciélago en 1514; más adelante, debido a la introducción de ganado en la región, se presentaron brotes epizooticos de rabia atribuidos a las mordeduras por murciélago vampiro durante el siglo XVI en Guatemala, siglo XVIII en Ecuador y durante el siglo XIX en Trinidad (1, 3).

El diagnóstico de rabia en el ganado fue realizado por primera vez mediante la identificación de corpúsculos de Negri por Carini, durante el brote de una enfermedad no diagnosticada en Santa Catarina, al sur de Brasil en 1911 (4). Fue hasta 1936, en un brote en Trinidad que se presentaron casos en ganado y seres humanos, donde se logró relacionar a los vampiros con la RPB. A partir de este momento, más países en América Latina comenzaron a reportar la enfermedad, incluyendo Colombia, Bolivia, Venezuela, y México (1, 3).

La rabia es causada por un virus que pertenece a la familia *Rhabdoviridae* y al género *Lyssavirus* (5). Son susceptibles a la enfermedad todos los mamíferos, sin embargo las especies que pertenecen al orden *Chiroptera* y *Carnivora* fungen como reservorios del virus (5, 6).

En América Latina, uno de los reservorios que transmite la rabia a los bovinos es el murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*); junto a esta especie existen dos más que también se alimenta de sangre (murciélagos hematófagos), éstas son *Diphylla ecaudata* y *Diaemus youngi*, sin embargo *D. rotundus* es considerado el de mayor importancia para la salud animal por su hábito de tener como principal fuente de alimento a los bovinos y otras especies de interés pecuario como equinos, ovinos, caprinos y porcinos (7-9). Su impacto se debe a las grandes pérdidas económicas en las explotaciones pecuarias por la mortalidad de animales durante los brotes y

disminución en la producción debido a la pérdida de sangre y las lesiones causada al momento de alimentarse (10, 11).

La transmisión ocurre por la inoculación directa del virus a través de la saliva infectada en cualquier herida o rasguño. El tiempo de incubación del virus varía entre 25 y 150 días, periodo en el que los animales infectados desarrollan e intensifican signos como temblores musculares, salivación excesiva y espasmos provocados por las alteraciones en el Sistema Nervioso Central, desencadenando parálisis generalizada, paro del sistema cardiorrespiratorio y la muerte . En el caso de *D. rotundus*, los signos que presentan son: hábito de comer durante el día, hiperexcitabilidad, agresividad, falta de coordinación, espasmos musculares, parálisis y muerte (12).

1.1. Generalidades de la Rabia Paralítica Bovina en México

En México, la RPB fue objeto de la creación de una campaña específica de prevención y control, estableciéndose en el año de 1970 como medida por el aumento de casos diagnosticados por laboratorio en siete Estados de la República Mexicana: Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Yucatán.

Hasta los últimos reportes de 2012, la RPB se ha diagnosticado en 25 entidades federativas; de los cuales desde 2009, dos Estados han reportado por primera vez casos de rabia transmitida por murciélago vampiro (Querétaro y Guanajuato), lo que es indiscutible de afirmar que ésta enfermedad ha rebasado la capacidad de la campaña para su control (13).

La distribución de los brotes de RPB en México se han desarrollado en áreas con las condiciones físicas y geográficas que favorecen la presencia de poblaciones de *D. rotundus*, abarcando la vertiente del pacífico, desde Sonora y sur de Chihuahua hasta Chiapas, y la costa del Golfo de México y del Caribe, desde el sur de Tamaulipas hasta la península de Yucatán (Figura 1) (14-16).



Figura 1. Situación actual de área de control de la Rabia Paralítica Bovina en México

Fuente: Tomado de Dirección General de Salud Animal (17)

En México, a partir de 1999 se puso de manifiesto que las especies silvestres, principalmente los murciélagos vampiro, son los principales transmisores de rabia al ganado y al hombre (18). De acuerdo a los reportes epidemiológicos de 2001 a 2010 de la Dirección de Campañas Zoosanitarias, la prevalencia de la RPB se ha incrementado de 3.8 a 5.6%, lo cual implica que tan solo en el ganado bovino, más de 10 millones de cabezas de ganado se encuentra en áreas de riesgo de transmisión (19). Además, las pérdidas económicas directas anuales se han estimado en aproximadamente 500 millones de pesos (20).

Los resultados de caracterización genética del virus de la rabia en México han permitido identificar una amplia diversidad de linajes asociados a murciélago vampiro que circulan en el país, de los cuales, los que se relacionan a la variante

antigénica 3 (V3) son ampliamente distribuidos en México y América Latina (21, 22).

Se han diseñado estrategias de control y prevención de la rabia que ha probado tener resultados temporales y locales. Estas actividades son coordinadas por la Dirección General de Salud Animal (DGSA) de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Sus actividades comprenden el seguimiento y control de los brotes de RPB, vacunación antirrábica en grandes especies, instalación de mallas protectoras en los corrales (23, 24); además, de la identificación y control de las poblaciones de murciélagos vampiro mediante el trampeo y aplicación de sustancias vampiricidas tanto en los quirópteros como en el ganado (25, 26). Desde el punto de vista de la salud pública, se trabaja en coordinación con la Secretaría de Salud para disminuir el riesgo de transmisión de la rabia a la población humana mediante la promoción de la salud y vacunación antirrábica por agresión (19).

1.2. Transmisión de la Rabia Paralítica Bovina

Existen varios aspectos que deben ser considerados en el estudio de la transmisión de la rabia de los murciélagos vampiro a los bovinos. En el entendimiento del problema, es fundamental analizar los aspectos relacionados a la biología del *Desmodus rotundus* y su hábitat, los procesos antrópicos en los ecosistemas pecuarios y influencia en la aparición de nuevos brotes de rabia bovina (27).

1.2.1. Aspectos relacionados a la biología del *Desmodus rotundus*

El murciélago vampiro habita en una amplia región de América, desde el norte de México hasta el norte Argentina y Chile (15, 16). Su presencia se halla limitada en

su mayoría a zonas cálidas, prevaleciendo los climas áridos, húmedos tropicales y subtropicales. Se sostiene que la medida aproximada de su distribución es la isoterma 10°C de temperatura mínima durante el periodo más frío del año (28). Sin embargo, el frecuente incremento de la ganadería y la alteración de la vegetación tropical han favorecido la perpetuación de su presencia, adaptándose a altitudes y climas que hace algunas décadas eran consideradas como barreras naturales (9). En México se ha reportado en altitudes que van desde los tres msnm, presentes en las costas de Campeche y Yucatán, hasta los 2,420 msnm en la sierra del Estado de Hidalgo (29), llegando hasta los 3,680 msnm en países de América del Sur como Perú (30).

Como es común en mamíferos gregarios, *Desmodus rotundus* presenta una estructura social caracterizada por jerarquía y dominancia basado en forma de harem, donde un macho toma el control de un grupo de hembras y de sus crías. Viven en colonias integradas entre 20 a 100 individuos (1, 9), número que está en función de la disponibilidad de alimento y espacio (Figura 2) (23).



Figura 2. Colonia de *Desmodus rotundus* en el techo de un edificio abandonado.

Aunque se considera que son sexualmente activos todo el año, se ha observado que su reproducción se acentúa durante la época lluviosa (30-34). En algunos reportes, se ha mencionado que el pico de nacimientos ocurre durante la estación lluviosa o al inicio de esta temporada (35). Los machos jóvenes, a medida que se forman como adultos, son expulsados del grupo por el miembro dominante. Estos machos pueden permanecer próximos a su harem en espera de una oportunidad

de ocupar el puesto de dominancia o se hace de otros refugios para formar su propio grupo con hembras o en su defecto con otros machos (36). Las hembras tienden a permanecer con los miembros de la colonia a la que pertenecen; esta fidelidad puede ser percibida por el acentuado comportamiento de limpieza mutua o la regurgitación de alimento recíproca entre hembras y sus crías (37, 38).

Una colonia de murciélagos se encuentra compuesta por un grupo principal donde se halla el mayor número de individuos, y en los refugios satélite, los animales que han sido expulsados del grupo principal (39). Estos murciélagos vampiro que habitan el conjunto de refugios, circulan entre ellos favoreciendo la transmisión del virus entre sus miembros y consecuentemente a los bovinos.

Los refugios que pueden ser utilizados por los murciélagos vampiro de forma natural son: cavernas, fisuras y árboles huecos, también es posible encontrarlos en minas abandonadas, pozos, cisternas, puentes y casas o edificios deshabitados (9).

La territorialidad, la inserción constante de nuevos individuos en las colonias, la limpieza mutua entre los miembros, la regurgitación recíproca de alimento, entre otros eventos afines al comportamiento de *D. rotundus*, pueden ser considerados como la base de distribución de la dinámica de la rabia entre ellos que, ciertamente, también se refleja en el comportamiento de la enfermedad en el bovino (34). Algunas otras razones reportadas que podría aumentar el desplazamiento de murciélagos vampiro entre los refugios, son la división del clima en las estaciones húmedas y secas, las inundaciones y la sequía extrema (40).

1.2.2. Aspectos relacionados a la rabia en ecosistemas pecuarios

Las diferentes condiciones de la topografía, el clima y el manejo de los animales en los actuales ecosistemas pecuarios han provocado el desarrollo de un mosaico

heterogéneo de factores que directa o indirectamente intervienen en la preservación de la rabia en las áreas endémicas.

Los trabajos que describen la transmisión de la rabia en herbívoros domésticos son abordados de forma suficiente, estudiados por medio de diversas metodologías, más fundamentalmente a partir de la infección entre susceptibles, fuentes de infección y la clasificación de áreas de control o de riesgo para el surgimiento de posibles epizootias (41-43). Sin embargo, los aspectos relacionados a los modelos de migración de la epidemia de rabia merecen una mayor descripción.

Lo observado por Delpietro y colaboradores sugiere que la fuente de alimento del murciélago vampiro, es un factor determinante en la ocurrencia de la enfermedad, al demostrar que existe una mayor capacidad de desenvolvimiento de *D. rotundus* en ambientes con presencia de hatos ganaderos, que en el propio ambiente natural (44).

Una característica en el desarrollo de una epizootia por rabia, es el hecho de que los animales de granja son las últimas víctimas de la enfermedad, considerando que el brote se propaga inicialmente entre la población de murciélagos vampiro (45, 46).

En virtud del desplazamiento entre refugios de algunos murciélagos vampiro infectados, la epizootia tiende a ser migratoria y se caracteriza por una acentuada estacionalidad; en seguida, la mortalidad a causa de la enfermedad hace que disminuya el número de individuos en la población y como consecuencia, la incidencia de rabia en animales domésticos también se reduce. Posteriormente, los brotes ocurren nuevamente por la sobrecarga en la capacidad del medio ambiente cuando la población de murciélagos se recupera u otras colonias de *D. rotundus* se movilizan de otras regiones cercanas (45).

En un brote de rabia bovina en el norte árido de Argentina, se describieron focos contiguos en rebaños a partir de Bolivia seguidos gradualmente hacia el sur del país a una velocidad media de 40 km por año (47). Las principales características

observadas en esa epizootia fue la presencia de propiedades que tenían refugios en cisternas, sugiriendo que *D. rotundus* podía sustentar una epidemia de rabia bovina apenas se instalara en algunos refugios artificiales (46).

Se ha propuesto que, para combatir la rabia en el ganado se deben realizar las actividades de acuerdo con la velocidad y alcance de la epidemia hasta la interrupción de la epizootia migratoria. El control de poblaciones de murciélagos vampiro se lleva a cabo en un área de 125 km², dividida en pequeñas áreas de 5km², aproximadamente 10 km frente al último caso de rabia bovina. Es imperativo que, la población de murciélago no sea controlada donde el ganado está muriendo, ya que la mayoría de estos murciélagos enfermos pueden haber muerto por enfermedad y ya no está siendo transmitido el virus (48).

Las transformaciones antrópicas en el espacio agropecuario, especialmente el cambio de uso de suelo, la mezcla de áreas de pastoreo y zonas agrícolas con alta densidad ganadera, podrían influir en que los murciélagos tengan un desplazamiento sin ningún tipo de impedimento, y las epizootias, estén condicionadas por las características principales que participan en un paisaje en particular de la región en estudio (10, 27, 49-51).

Los temas tratados anteriormente sugieren nuevos enfoques para la comprensión de la enfermedad en el ganado. Este trabajo supone que el comportamiento de *Desmodus rotundus* está determinado de forma particular en cada región analizada por una combinación de atributos socioeconómicos, biofísicos y del paisaje de los ecosistemas pecuarios y que al mismo tiempo son independientes de divisiones geográficas político-administrativas.

Estos datos son esenciales para la determinación de áreas potenciales para la aparición de RPB y la redefinición de zonas de vigilancia epidemiológica.

2. ANTECEDENTES

La ganadería bovina en el Estado de México tiene una marcada localización geográfica; alrededor del 70% del inventario de ganado bovino se encuentra en los Distritos de Desarrollo Rural del sur de la entidad. Su desarrollo se debe a las condiciones naturales y agroclimáticas que por la inducción tecnológica; por ello una buena parte de las Unidades de Producción Pecuaria emplean sistemas de engorde basados en el aprovechamiento de los pastizales nativos y complementados con subproductos agrícolas, similar a la que existe en la ganadería tropical del resto del país, y que está constituida por animales cebuinos y sus cruza con Pardo Suizo, Holstein y Simmental (52).

Por otra parte, la presencia del murciélago *D. rotundus* se explica por los factores físicos y geográficos de la región, prevaleciendo un clima cálido subhúmedo y un relieve agreste. Estas condiciones se suman a la presencia de actividades agropecuarias y que intervienen de forma significativa en el desarrollo de nuevos sitios óptimos para su distribución y reproducción.

El riesgo de transmisión de rabia en el ganado se eleva aún más, considerando que los Estados circunvecinos Guerrero, Michoacán y Morelos, son endémicos de la enfermedad, por lo que no se descarta la posibilidad de introducción de nuevas cepas virales presentes en estas entidades. Asimismo, el 90% de la comercialización de ganado se concentra en mercados regionales dentro del municipio de Luvianos, representando una fuente principal de ingreso para los ganaderos (52).

Las actividades de campaña de RPB en el Estado de México han sido dirigidas de forma ininterrumpida desde el año 2001 por el Comité de Fomento y Protección Pecuaria del Estado de México (CFPPEM), realizando actividades de prevención y control de la enfermedad en poblaciones ganaderas.

El CFPPEM dirige las acciones de prevención y manejo de la enfermedad catalogando en tres áreas las zonas de riesgo, basándose en los principales factores que intervienen en el desarrollo de una epizootia por rabia: Riesgo alto:

son municipios con reporte de casos confirmados de RPB, la presencia de poblaciones de *D. rotundus* y elevada prevalencia de agresiones por murciélago en humanos, y se encuentra integrada por 10 municipios (Luvianos, Tejupilco, Amatepec, Tlatlaya, Temascaltepec, Sultepec, Oztoloapan, Zacazonapan, Texcaltitlán y San Simón de Guerrero). Riesgo medio: se caracteriza por zonas sin reporte de casos confirmados de RPB pero con presencia de poblaciones de *D. rotundus* y baja prevalencia de agresiones en humanos, y está compuesta por 6 municipios (Almoloya de Alquisiras, Zacualpan, Valle de Bravo, Santo Tomás, Ixtapan del Oro y Coatepec Harinas). Riesgo bajo: incluye el resto de los municipios de la Entidad, y donde las características físicas y climáticas limitan la subsistencia del murciélago vampiro (Figura 3).

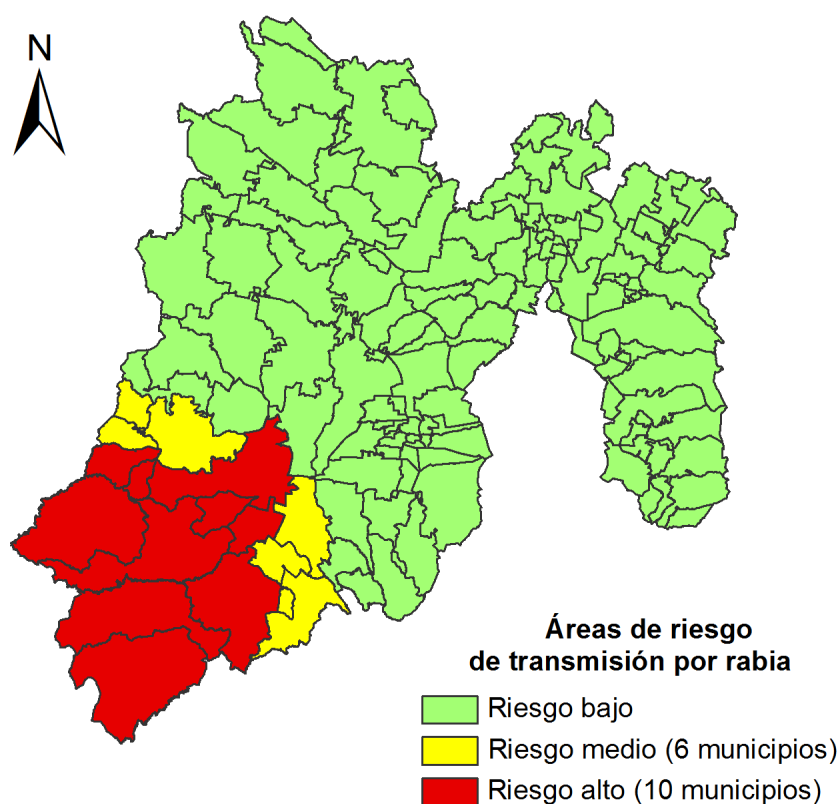


Figura 3. Clasificación de áreas de riesgo por rabia en bovinos, Estado de México.

Fuente: Adaptado de CFPPEM.

En el Estado de México, los casos de RPB y negativos confirmados por el Laboratorio Estatal de Salud Pública (LESP) se han presentado de la siguiente forma:

Tabla 1. Reporte de casos positivos y negativos de Rabia Paralítica Bovina, Estado de México

| | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Positivos | 1 | 2 | 3 | 7 | 0 | 0 | 5 | 1 | 5 | 7 | 12 | 3 | 3 | 13 |
| negativos | 2 | 11 | 4 | 8 | 0 | 1 | 1 | 0 | 2 | 3 | 8 | 2 | 2 | 7 |

Fuente: Base de datos de diagnóstico del LESP-ISEM.

Del total de estos casos, el 55% se presentó en los municipios de Luvianos, Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya. Del mismo modo, en estos cuatro municipios, se encuentra presente el 60% del inventario ganadero de los 16 municipios donde se tiene la cobertura de la campaña. Asimismo, de las 225,180 dosis de vacuna antirrábica aplicadas en hatos ganaderos de la región de 2007 a 2012, el 61% fueron destinados a las comunidades pertenecientes a estos mismos cuatro municipios.

A pesar de los esfuerzos realizados para controlar la enfermedad, es imperativo efectuar estudios que permitan entender de forma regionalizada los factores que están involucrados en la transmisión de la enfermedad en el sur del Estado de México. Del mismo modo, los conocimientos generados podrán ayudar al desarrollo e implementación de nuevas estrategias para el control eficiente de la rabia en el ganado bovino.

3. JUSTIFICACIÓN

En México existen experiencias que han permitido reducir el impacto de la rabia a través de intervenciones específicas, cuyos costos de ejecución son razonables. Sin embargo, esta enfermedad persiste aún en determinadas áreas geográficas, representando un riesgo para poblaciones vulnerables (18).

El estudio permanente del estado de salud de las poblaciones, permite encaminar nuevas acciones preventivas y correctivas ante los padecimientos que impactan de forma negativa el desarrollo de la ganadería, tal es el caso de la rabia.

Además, la transición demográfica y epidemiológica que se encuentra en gran parte del territorio nacional incluyendo al Estado de México, el cambio climático y los cambios en el ecosistema originados por la actividad del hombre, han exigido una especial atención para evaluar su nivel de impacto en la ocurrencia de esta enfermedad.

El estudio propuesto parte de los reportes de casos de RPB. Con fundamento en que esta enfermedad es endémica en el área de estudio, es importante establecer la existencia de nuevos determinantes en la ocurrencia de nuevos casos de rabia bovina, sus patrones de distribución espacial y sus relaciones entre las poblaciones de *Desmodus rotundus* y las dinámicas del ecosistema. Estos factores crean la necesidad de concertar en los perfiles actuales nuevos elementos que motiven una regionalización de las acciones de control y vigilancia epidemiológica.

4. HIPÓTESIS DE TRABAJO

Para la región del suroeste del Estado de México, el perfil de distribución espacial de la rabia se ajusta a la dinámica territorial que implican las relaciones espacio temporales entre las zonas de ocurrencia de la enfermedad, el uso y cobertura del suelo, y los factores biofísicos y geográficos que favorecen la distribución del Murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*).

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Determinar los factores de riesgo asociados a la ecología del paisaje en la aparición de Rabia Parálítica Bovina en el suroeste del Estado de México.

5.2. Objetivos específicos

- Elaborar una base de datos espaciales del área de estudio en torno a los factores socioeconómicos, biofísicos, fuente de alimento de *D. rotundus* y cambios de ocupación y uso de suelo.
- Determinar los patrones de distribución espacio temporal de casos de Rabia Parálítica Bovina.
- Ajustar en un modelo estadístico los factores de riesgo de transmisión por rabia.
- Identificar zonas potenciales de presentar nuevos casos de rabia en bovinos.

6. MATERIAL Y MÉTODOS

6.1. Área de estudio

El área de estudio se localiza en el suroeste del Estado de México en la porción central de la República Mexicana. Está comprendida entre los paralelos 18° 22' y 19° 19' de latitud norte y los meridianos 99° 40' y 100° 36' longitud oeste (Figura 4). Colinda al norte con el Estado de Michoacán y al oriente y sur con el Estado de Guerrero. Su extensión territorial total es de 5,098.66 km², lo que representa el 22.8% de la superficie estatal (53).

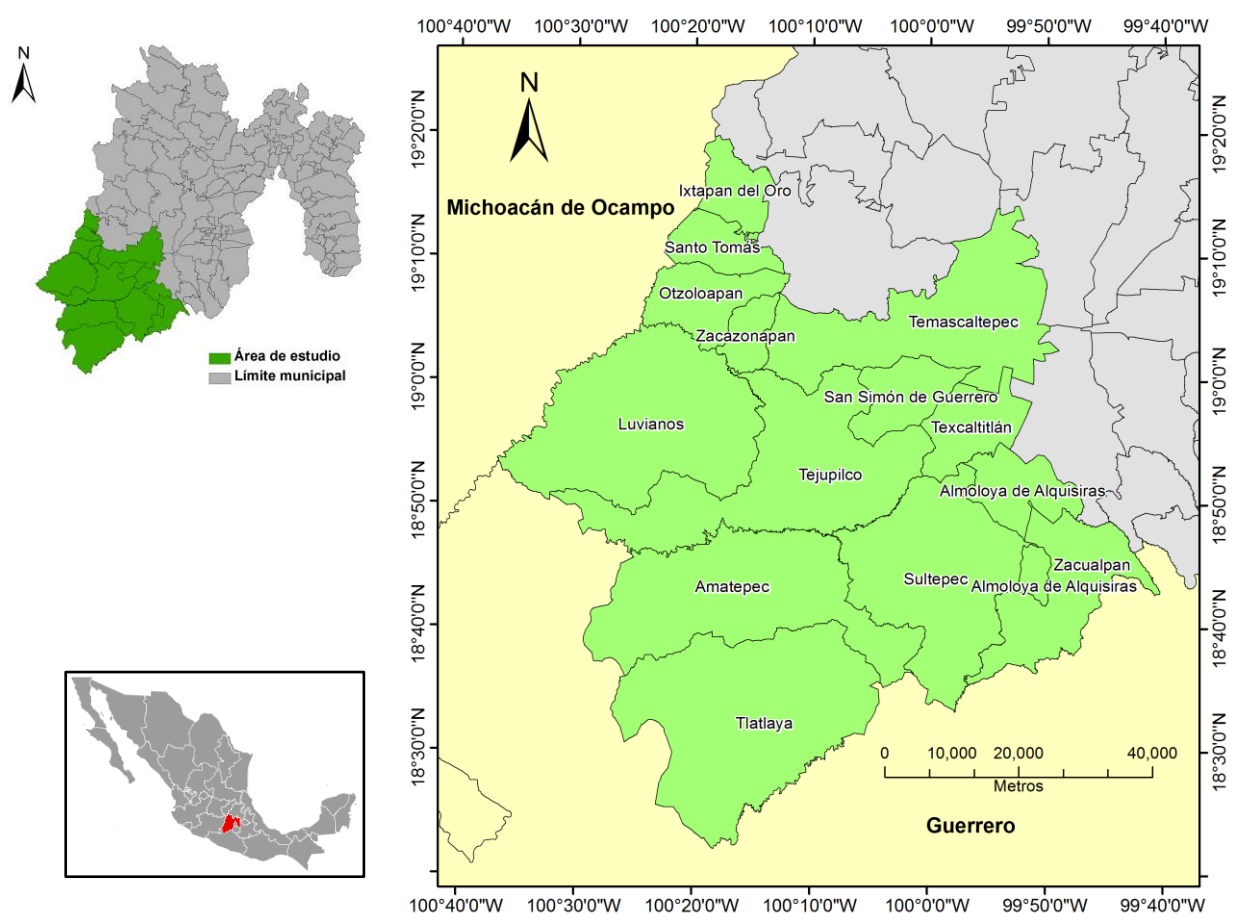


Figura 4. Área de estudio de zona endémica a rabia bovina, suroeste del Estado de México.

Fuente: INEGI. Marco Geoestadístico Nacional 2010 versión 5.0.A.

Comprende territorialmente a 14 municipios de 3 Jurisdicciones Sanitarias (Tejupilco, Valle de Bravo y Tenancingo), esto debido a que en esa zona la rabia

bovina es endémica y se encuentran en áreas de alto y mediano riesgo de transmisión. Los municipios presentan las siguientes características:

Tabla 2. Información geoestadística de los municipios en estudio.

| Municipio | Extensión km ² * | Localidades** | Población** Marginación*** | Temp. **** | Inventario ganadero ***** | Hatos ***** |
|---------------------------|--------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------------------------|----------------|
| Luvianos | 702.74 | 164 | 27,778 (Alto) | 20-26°C | 23,567 | 1,121 |
| Tejupilco | 668.15 | 165 | 71,077 (Medio) | 14-28°C | 21,582 | 1,434 |
| Amatepec | 634.04 | 178 | 26,334 (Alto) | 16-28°C | 33,717 | 1,171 |
| Tlatlaya | 788.3 | 169 | 32,997 (Alto) | 18-28°C | 38,440 | 1,530 |
| Zacazonapan | 66.67 | 10 | 4,051 (Medio) | 16-26°C | 4,935 | 195 |
| Santo Tomás | 104 | 36 | 9,111 (Medio) | 16-26°C | 2,263 | 148 |
| Temascaltepec | 567.98 | 63 | 32,870 (Medio) | 12-16°C | 4,195 | 335 |
| Almoleya de Alquisiras | 170.85 | 38 | 14,856 (Medio) | 14-20°C | 691 | 165 |
| Texcaltitlán | 149.14 | 34 | 17,390 (Medio) | 10-20°C | 833 | 198 |
| Sultepec | 565.85 | 80 | 25,809 (Muy alto) | 14-26°C | 8,889 | 1,107 |
| San Simón de Guerrero | 130.71 | 27 | 6,272 (Medio) | 12-22°C | 1,858 | 327 |
| Otzoloapan | 156.99 | 33 | 4,864 (Medio) | 14-26°C | 5,689 | 318 |
| Ixtapan del Oro | 99.3 | 18 | 6,629 (Alto) | 16-22°C | 136 | 946 |
| Zacualpan | 291.94 | 73 | 15,121 (Muy alto) | 14-26°C | 8,402 | 1,012 |

Fuente: *INEGI. Marco Geoestadístico Nacional 2010 versión 5.0.A.

**INEGI. Censo de Población y Vivienda 2010.

***CONAPO. Índice de Marginación por Entidad Federativa y Municipio 2010.

****Prontuario de información geográfica municipal de los Estado Unidos Mexicanos, 2009.

*****CFPPEM. Censo de explotaciones de ganado bovino 2007.

6.2. Construcción de la base de datos espaciales

En virtud de los diversos componentes de datos y metodologías, un flujograma principal resume los principales aspectos involucrados en la elaboración de la Base de Datos Geográficos (BDG):

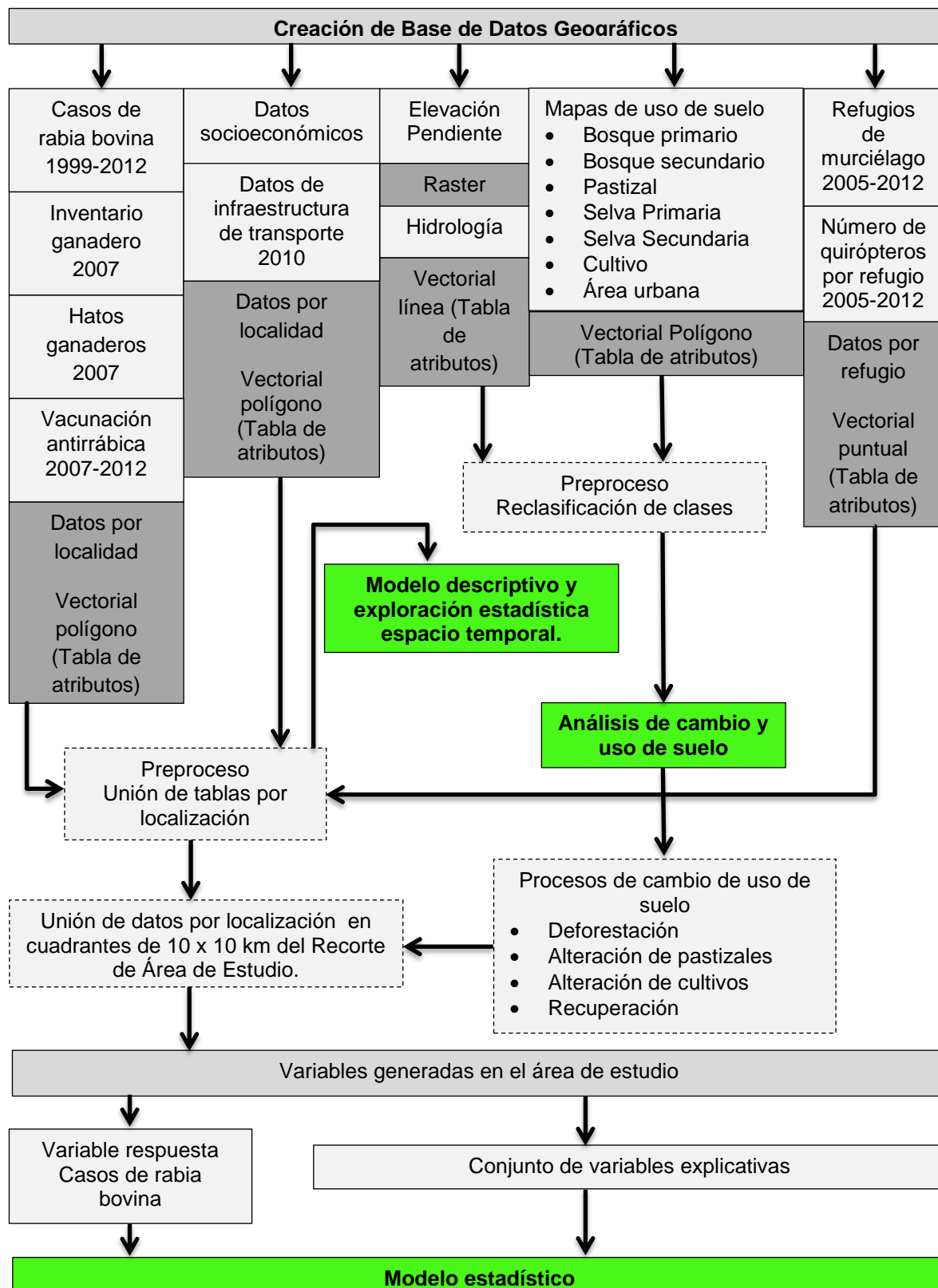


Figura 5. Flujograma de construcción de la Base de Datos Geográficos.

La BDG se desarrolló a partir del levantamiento, almacenamiento, procesamiento de datos y la generación de variables. Para la construcción de los modelos descriptivos y estadísticos, se emplearon los resultados de diagnóstico por Inmunofluorescencia Directa (IFD) de rabia en bovinos de 1999 a 2012 emitidos por el LESP y confirmados por el Instituto Nacional de Referencia Epidemiológica (InDRE), las actividades de control de la enfermedad realizadas por el CFPPEM de 2007 a 2012, los datos de los censo de población y vivienda 2005 y 2010 de INEGI. Cada uno de los datos obtenidos se vinculó espacialmente a la localidad correspondiente con el objetivo de mejorar la interpretación de la expansión de la enfermedad por el territorio.

La cartografía de Uso de Suelo y Vegetación serie III y IV de INEGI, fue cedida por la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMex. El resto de la cartografía de límites municipales y estatales, mapas de elevación, hidrografía y la ubicación de las localidades se descargó de la página oficial de INEGI y del Portal de Información Geográfico de CONABIO.

6.3. Área de estudio y su división en sistema de cuadrantes

Sobre la región, se realizó un Recorte de Área de Estudio (RAE) de los 14 municipios que fueron considerados para el análisis estadístico. Sobre este recorte se construyó una cuadrícula de 76 celdas de 10 x 10 km. Cada cuadrante o celda en el mapa representa una unidad espacial de análisis de información epidemiológica, siendo codificada de acuerdo con su localización (Figura 6).

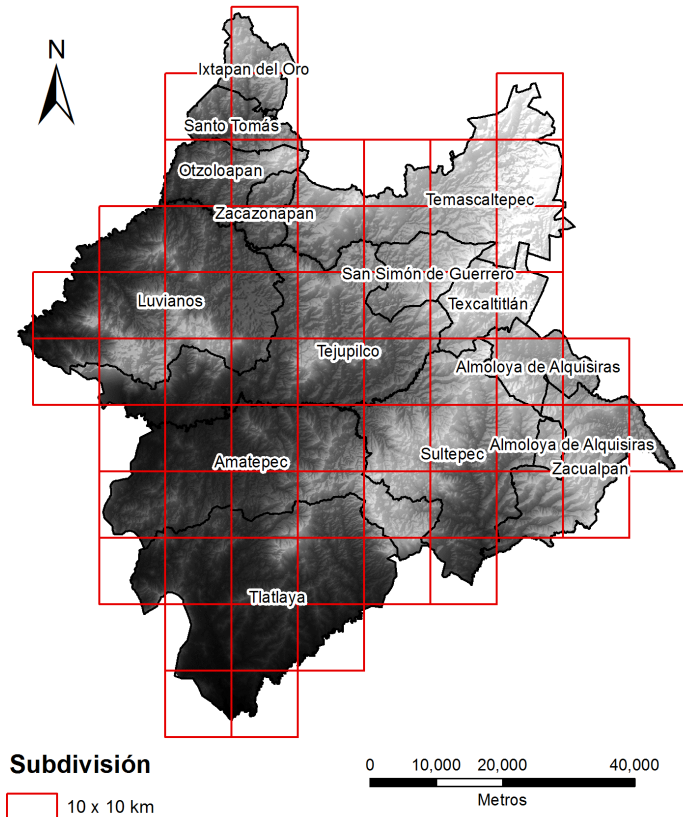


Figura 6. Representación del RAE para el análisis estadístico en sistema de cuadrantes divididos en celdas de [10x10] km.

Fuente: Adaptado de INEGI, Marco Geoestadístico Nacional y Modelo Digital de Elevación.

6.4. Modelos descriptivos

El objetivo principal de la construcción de los modelos descriptivos fue realizar un análisis exploratorio y evaluar la tendencia espacio temporal del progreso de la epizootia en la región, fundamentalmente para obtener y revisar nuevas hipótesis, así como comprender el fenómeno.

Los modelos descriptivos se desarrollaron por medio de mapas de coropletas, con la ubicación puntual de las localidades que se encuentran dentro del RAE, se dividió el área cubierta por las entidades de puntos en zonas de Thiessen o proximales. Estas zonas representan áreas completas donde cualquier ubicación

dentro de la zona está más cerca del punto de entrada de una localidad que de cualquier otra.

Se construyó la secuencia temporal anual de 2007 a 2012 con los casos positivos a rabia bovina. Se adicionó los datos del trabajo de prevención y control de la enfermedad llevado a cabo por el CFPPEM durante el mismo periodo, la vacunación antirrábica por localidad se representó en un mapa de densidad de puntos y se realizó un buffer de 5 km como área de influencia de los sitios de captura de murciélagos para la aplicación de vampiricidas.

6.5. Modelo de exploración estadística espacio temporal

La habilidad para visualizar datos espaciales permite una rápida identificación de cualquier patrón obvio, y en general, los patrones espaciales pueden ser clasificados como regulares, aleatorios o agrupados. El término “agrupación” o “*clustering*” es usado para describir la agregación espacial de la ocurrencia de una enfermedad; se define como la variación espacial residual en riesgo después de haber tomado en cuenta las influencias conocidas (54).

La agrupación de casos o individuos infectados puede ocurrir por una variedad de razones, incluyendo la diseminación de la enfermedad, la presencia de un vector específico, la agrupación y combinación de determinantes en áreas vecinas inmediatas creando un incremento del riesgo. La identificación y reporte de áreas con un aparente incremento en la incidencia de la enfermedad es conocido como una alarma de agrupación de enfermedad (55).

La interacción espacio temporal es interesante, particularmente cuando se trata de determinar si una enfermedad es infecciosa. Es necesario evaluar si los casos que están cercanos en el espacio, también son cercanos en el tiempo y viceversa (55).

El modelo espacio temporal se fundamentó en la metodología de exploración estadística espacial de Kulldorff (56); para su desarrollo se usó la paquetería del software libre SaTScan™.

Se empleó la ubicación geográfica de las 1,131 localidades presentes en el área de estudio como puntos de entrenamiento para construir una gran cantidad de ventanas de exploración (círculos de tamaños distintos). Se construyó un modelo probabilístico Bernoulli donde los casos y controles de RPB de 1999 a 2012 fueron comparados como variables booleanas (1/0). Para el modelo Bernoulli, la función de probabilidad (expr. 5.1) en cada ventana es proporcional a:

$$\left(\frac{c}{n}\right)^c \left(\frac{n-c}{n}\right)^{n-c} \left(\frac{C-c}{N-n}\right)^{C-c} \left(\frac{(N-n)-(C-c)}{N-n}\right)^{(N-n)-(C-c)} I() \quad (5.1)$$

Donde C es el total de número de casos, c es el número de casos observados dentro de la ventana y N es el número total de casos y controles en la base de datos. $I()$ es un indicador de función. Cuando se requiere buscar agrupaciones con rangos altos, $I()$ es igual a 1 cuando la ventana tiene más casos que los esperados bajo la hipótesis nula y 0 el área circundante.

Cada círculo incorporó las localidades cercanas con casos y controles que se encontraron dentro su radio y posteriormente aumentó de tamaño hasta cubrir máximo el 30% de la población hasta encontrar el de mayor razón de probabilidad tomando en cuenta un intervalo de tiempo de cada 3 meses para la ocurrencia de casos esperados de rabia bovina. Asimismo, se calcularon las agrupaciones secundarias basándose en no utilizar el mismo centro de círculo para otras agrupaciones.

6.6. Descripción de los cambios ocurridos en la ocupación y uso de suelo

Para realizar estudios de evaluación y análisis de cambios del uso y ocupación del suelo, normalmente se emplean datos obtenidos de imágenes de satélite multitemporales o bien se puede realizar mediante una comparación de mapas temáticos de diferentes fechas (57, 58).

En este trabajo se tomaron como base de referencia para el análisis de los cambios del uso y ocupación del suelo dos mapas temáticos digitales a escala 1:250,000 proporcionados por la Facultad de Planeación Urbana y Regional de la UAEMex. La base cartográfica original del estudio comprende dos mapas digitales vectoriales de vegetación y uso del suelo de 2002 y 2007, denominados serie III y IV respectivamente, elaborado por el INEGI.

Para definir la leyenda de los mapas fue necesario reclasificar y uniformar las bases de datos originales. Se delimitó un nivel de información temática por subformación de vegetación (Tabla 3). Este sistema jerárquico permitió examinar de manera global la dinámica de los procesos de la ocupación del suelo en el área de estudio.

Tabla 3. Niveles de información de las categorías de uso y ocupación de suelo.

| Recodificación | Subformación |
|----------------|-----------------------|
| 1 | Bosques |
| 2 | Bosques secundarios |
| 3 | Selvas |
| 4 | Selvas secundarias |
| 5 | Cultivos |
| 6 | Pastizal |
| 7 | Asentamientos humanos |
| 8 | Cuerpos de agua |

Una vez convertidos los datos a este formato se utilizó el módulo *Land Change Modeler* (LCM) del software IDRISI Selva™. Con el LCM se evaluó y cuantificó los cambios de ocupación del suelo que aportan cada una de las categorías de ocupación del suelo en cuestión.

Se calcularon las pérdidas, ganancias, cambios netos y transiciones sistemáticas entre las categorías que representan una modificación en el aprovechamiento agropecuario y se comparó su impacto con la ocurrencia de casos de rabia bovina (58).

Para obtener las pérdidas y ganancias de cada categoría se construyó una matriz de tabulación cruzada o matriz de cambios con el mapa del tiempo 1 (t1) y mapa del tiempo 2 (t2). En la tabla 4, las filas contienen la superficie de las categorías en t1, mientras que las columnas muestran la superficie en t2. Los cambios ocurridos en el paisaje entre t1 y t2 se expresan como P_{ij} . Por su parte las zonas estables se indican en la diagonal principal como P_{jj} . La superficie total de la categoría i en t1 (P_{i+}) está dada por (expr. 5.2.) donde n es el número total de categorías:

$$P_{i+} = \sum_{j=1}^n P_{ij} \quad (5.2)$$

Tabla 4. Tabulación cruzada para dos tiempos con pérdidas y ganancias.

| Tiempo 2 | | | | | Total t1 | Pérdidas |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|----------|-------------------|
| Categoría 1 | Categoría 2 | Categoría 3 | Categoría 4 | | | |
| Tiempo 1 | | | | | | |
| Categoría 1 | P_{11} | P_{12} | P_{13} | P_{14} | P_{1+} | $P_{1+} - P_{11}$ |
| Categoría 2 | P_{21} | P_{22} | P_{23} | P_{24} | P_{2+} | $P_{2+} - P_{22}$ |
| Categoría 3 | P_{31} | P_{32} | P_{33} | P_{34} | P_{3+} | $P_{3+} - P_{33}$ |
| Categoría 4 | P_{41} | P_{42} | P_{43} | P_{44} | P_{4+} | $P_{4+} - P_{44}$ |
| | | | | | | |
| Total t2 | P_{+1} | P_{+2} | P_{+3} | P_{+4} | 1 | |
| Ganancias | $P_{+1} - P_{11}$ | $P_{+2} - P_{22}$ | $P_{+3} - P_{33}$ | $P_{+4} - P_{44}$ | | |

Fuente: Modificado de Pontius y colaboradores (59).

De igual forma, la superficie total de la categoría j en t_2 (P_{+j}) está dada por (expr.5.3):

$$P_{+j} = \sum_{i=1}^n P_{ij} \quad (5.3)$$

La columna de pérdidas muestra la superficie de cada una de las categorías i que sufrieron pérdidas entre t_1 y t_2 , es decir, es la diferencia entre la fila del total del tiempo 1 (P_{j+}) y la persistencia (P_{jj}) (expr 5.4). La fila de ganancias muestra la superficie de cada una de las categorías j que tuvieron ganancias entre t_1 y t_2 , es decir, es la diferencia entre la columna del total del tiempo 2 (P_{+j}) y la persistencia (P_{jj}) (expr. 5.5):

$$L_{ij} = P_{j+} - P_{ij} \quad (5.4)$$

$$G_{ij} = P_{+j} - P_{ij} \quad (5.5)$$

Para entender mejor estos procesos se extrajo de la tabulación cruzada el cambio neto de cada categoría, los intercambios y la suma de los anteriores que es el cambio total. El cambio neto se define como el valor absoluto de la diferencia de las pérdidas y las ganancias de cada categoría (expr.5.6):

$$D_j = |L_{ij} - G_{ij}| \quad (5.6)$$

La comparación de estos dos mapas permitió calcular la superficie y localización de las transiciones sistemáticas en términos de ganancias, pérdidas y persistencias del pastizal, áreas de cultivo y zonas de recuperación del bosque y selva.

Se desarrolló la cartografía para cada categoría de cambios, y se calculó el área en función de su localización espacial correspondiente a cada cuadrante de estudio (RAE) para el desarrollo del modelo estadístico.

6.7. Análisis de factores asociados a la rabia paralítica bovina.

La presencia de murciélagos vampiro, existencia de abrigos, cambios agroproductivos, socioeconómicos y las actividades de control y prevención de la enfermedad se tomaron en cuenta como la serie de factores que se estiman relevantes para modelar y conocer las causas de infecciones por rabia en el área de estudio.

6.7.1. Variables utilizadas en el modelo estadístico

Para construir el modelo de regresión se utilizó como variable dependiente la agrupación de brotes de rabia paralítica bovina. Debido a que en algunas celdas de la cuadrícula de estudio no se tienen casos positivos, la variable dependiente fue normalizada mediante una función logarítmica $\ln(y+1)$, buscando con esta transformación una mayor certeza en la linealidad en el modelo (60-62).

Para las variables independientes, se buscó de manera exhaustiva información geográfica y estadística, entre los años 2000 y 2010. Las variables de cambio de uso de suelo y biofísicas fueron transformadas a valores de porcentaje en proporción al área de cada celda 10 x 10 km de la cuadrícula de estudio.

De acuerdo a la información obtenida, se seleccionaron 32 variables que representaran los factores relacionados con la ocurrencia de rabia paralítica bovina.

Se organizaron las variables en 6 categorías: a) socioeconómicos, b) actividad pecuaria, c) vacunación, d) presencia del reservorio, e) biofísicos y f) cambios en uso del suelo (Tabla 5).

Tabla 5. Descripción de las variables medidas a nivel de cuadrante en el RAE.

| Variable | Descripción | Fuente |
|--------------------------------|---|---------------------|
| <i>Socioeconómicas</i> | | |
| VARPOB | Variación de la población por localidad 2000-2010 | INEGI ¹ |
| INFRTRANP | Indicador de infraestructura para transporte | INEGI ² |
| ACTECO | Indicador de actividad económica primaria por localidad. | INEGI ² |
| TPEIA | Tasa de población económicamente inactiva por localidad. | INEGI ¹ |
| DENSIVIV | Densidad de viviendas habitadas | INEGI ¹ |
| <i>Actividad pecuaria</i> | | |
| DENSBOV | Densidad de población de ganado bovino | CFPPEM ¹ |
| DMIXTO | Densidad de población de ganado bovino en explotación mixta | CFPPEM ¹ |
| DLECHE | Densidad de población de ganado bovino en explotación leche | CFPPEM ¹ |
| DCARNE | Densidad de población de ganado bovino en explotación carne | CFPPEM ¹ |
| DENSHAT | Densidad de hatos de ganado bovino | CFPPEM ¹ |
| <i>Vacunación</i> | | |
| DVAC | Densidad de dosis de vacuna antirrábica aplicadas | CFPPEM ² |
| DHATVAC | Densidad de hatos vacunados | CFPPEM ² |
| DISCVAC | Discontinuidad en la vacunación | CFPPEM ² |
| <i>Presencia de reservorio</i> | | |
| REFUG | Refugios trabajados (2005-2012) | CFPPEM ³ |
| CAPTVAMP | Promedio de murciélago capturados (2005-2012) | CFPPEM ³ |
| <i>Biofísicos</i> | | |
| %AMEN2000 | Porcentaje de píxeles con altitud menor a 2000 m. | MDE |
| %A2001-3000 | Porcentaje de píxeles con altitud entre 2000 y 3000m. | MDE |
| %AMAY3000 | Porcentaje de píxeles con altitud mayor a 3000 m. | MDE |
| %PEND10 | Porcentaje de píxeles con pendientes menores a 10° | MDE |
| %PEND30 | Porcentaje de píxeles con pendientes entre 11 y 30° | MDE |
| %PEND60 | Porcentaje de píxeles con pendientes entre 31 y 60° | MDE |
| %PEND90 | Porcentaje de píxeles con pendientes entre 61 y 90° | MDE |
| SUMPERENNE | Distancia en km de ríos con corriente perenne | CONABIO |
| SUMINTERM | Distancia en km de ríos con corriente intermitente | CONABIO |
| <i>Uso de suelo</i> | | |
| PPPAST | Porcentaje de píxeles de pérdidas de pastizal | INEGI ³ |
| PGPAST | Porcentaje de píxeles de ganancias de pastizal | INEGI ³ |
| PPAPAST | Porcentaje de píxeles de persistencia de pastizal | INEGI ³ |
| PPCULT | Porcentaje de píxeles de pérdidas de cultivo | INEGI ³ |
| PGCULT | Porcentaje de píxeles de ganancias de cultivo | INEGI ³ |
| PPACULT | Porcentaje de píxeles de persistencia de cultivo | INEGI ³ |
| PDEFORST | Porcentaje de píxeles de deforestación | INEGI ³ |
| PVEGDENSA | Porcentaje de píxeles de vegetación densa | INEGI ³ |

Elaboración propia a partir de las siguientes fuentes:

INEGI¹: Censo y Conteo de Población y Vivienda 2000 y 2010; INEGI²: Resultados sobre infraestructura y características de las localidades con menos de 5 mil habitantes 2010; CFPPEM¹: Inventario ganadero, 2007; CFPPEM²: Reporte de vacunación antirrábica, 2007-2012; CFPPEM³: Reporte de operativos de captura de murciélago hematófago 2005-2012; MDE: Modelo Digital de Elevación; CONABIO: Portal de Información Geográfica; INEGI³: Uso de Suelo y Vegetación, Serie III y IV.

El primer grupo de variables independientes describen los aspectos socioeconómicos. Usando la variación que tuvo la población entre dos tiempos se evaluó la relación entre la pérdida de la superficie agropecuaria, la presión demográfica, económica y la aparición de la enfermedad.

El segundo grupo analizó la relación entre los sistemas de producción pecuaria y el riesgo de transmisión de la enfermedad. Con el tercer grupo se evaluó la densidad de vacunación antirrábica en bovinos y su relación con los brotes de rabia.

En el cuarto grupo, se analizó el número de refugios y la densidad de población de murciélagos vampiro con el riesgo de que ocurran brotes de rabia en sus poblaciones y que repercuten en el ganado.

Los aspectos biofísicos son considerados como factores que pueden condicionar de forma directa o indirecta la presencia de refugios y colonias de murciélagos, así como el uso del suelo y las actividades agropecuarias. En el caso de la elevación, se obtuvieron 3 rangos altitudinales de acuerdo a la fisiografía del Estado de México. Los rangos de pendiente se obtuvieron tomando en consideración las condiciones en que se desarrollan las actividades agropecuarias. La hidrografía se dividió en corrientes perennes e intermitentes y se calculó su densidad por cada cuadrante.

Finalmente las variables de cambio en el uso de suelo analizaron la relación de la fragmentación en los ecosistemas pecuarios con la distribución del murciélago hematófago y los casos positivos a rabia.

6.7.2. Método de análisis (Regresión Lineal Múltiple)

La RLM está basada en el ajuste de una expresión lineal (expr. 5.7) a un conjunto de datos y es una de las más empleadas y usuales en todas las ciencias (61, 62).

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e \quad (5.7)$$

Donde los subíndices muestran las distintas variables explicativas 1, 2 hasta n y e indica el término del error del modelo. Los signos de los parámetros b_1, b_2, \dots, b_n miden el sentido de la relación entre cada una de las variables explicativas y la variable dependiente, manteniendo constante la influencia de las restantes variables explicativas.

Antes de proceder a la construcción del modelo se realizó el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) para verificar la autocorrelación espacial de los factores y la variable dependiente (YLOG). En esta fase se usó el Índice Global de Moran bivariado, la gráfica Scatter Plot de Moran y el Mapa LISA del Índice Local de Asociación Espacial; se optó por un valor a 2 colas y valor $p < 0.05$ para alfa.

Con el fin de medir la intensidad de la asociación entre las variables explicativas, se realizó un análisis de correlación de *Spearman*. Se aceptaron como predictores aquellas que fueran estadísticamente significativas con YLOG y que no estuvieran correlacionadas entre sí.

Para seleccionar el mejor modelo se utilizó el software IBM SPSS *Statistics* v.20 y el algoritmo *forward* (eliminación hacia adelante). Este método prueba y determina las mejores regresiones contenidas en un cierto número de variables. La robustez del modelo fue validada de la siguiente manera: la multicolinealidad se verificó utilizando el índice de tolerancia y el factor de inflación de la varianza (FIV). Para verificar la correlación serial de los residuos se aplicó la prueba de Durbin Watson, que establece un valor cercano a 2 para evitar problemas de autocorrelación.

6.8. Identificación de áreas de riesgo con Getis Ord G_i^* (Hot spot)

La estadística $G_i^*(d)$ es un indicador de agrupación local que determina la concentración de la distribución espacial de un atributo por el territorio. La prueba estadística es calculada (expr. 5.8) como:

$$Gi(d) = \frac{\sum_j^n w_{ij}(d)(x_j - \bar{x}_i)}{\frac{s_i \sqrt{w_i(n-1-w_i)}}{n-2}}, j \neq i \quad (5.8)$$

Donde n es el número de áreas dentro de la región de interés y x_i es el valor observado para el área i y w_{ij} es una matriz de ponderación binaria. Al comparar las estimaciones locales de la autocorrelación espacial con el promedio global, la estadística $Gi(d)$ identifica los “puntos calientes” (hot spots) en los datos espaciales.

En el área de estudio se exploró los patrones espaciales de las variables explicativas que fueron incluidas en el modelo de RLM para identificar áreas potenciales de riesgo de presentación de nuevos casos de rabia bovina. Debido a la complejidad que representan su rango de vuelo en que los murciélagos vampiro buscan alimento, se estimaron las relaciones espaciales en el cálculo de bandas de distancias; en este proceso se calcula el valor z de cada entidad que se halla en el contexto de las entidades vecinas ubicadas dentro de la distancia específica. Se realizó el cálculo para cada variable en bandas de distancia cada 5,000 m. y se eligió la banda con el valor z más alto para desarrollar la cartografía.

6.9. Análisis estadístico

La estadística descriptiva de los casos de rabia se calculó mediante tasas y proporciones de acuerdo al municipio y la especie diagnosticada. La cartografía de temperatura media anual, estacionalidad y precipitación fue desarrollada a través de un modelo de interpolación espacial Kriging. El análisis espacio temporal se calculó en un modelo de probabilidad Bernoulli, el cluster más probable se construyó en base a un nivel de significancia de $p < 0.05$. Los cambios de uso de suelo fue calculado en base a una tabulación cruzada usando dos más mapas temporales de uso de suelo y vegetación (Serie III y serie IV). El modelo de regresión lineal múltiple fue calculado con un nivel de significancia de $p < 0.05$.

7. RESULTADOS

En el LESP-ISEM se recibió un total de 883 encéfalos de diferentes especies pecuarias y silvestres provenientes del área de estudio para diagnóstico de rabia por IFD durante el periodo de 1999 a 2012, de las cuales, el 7.9% (70) han sido positivas a rabia.

De las 70 muestras positivas, 64 (90%) fueron diagnosticados en bovinos correspondientes a los siguientes municipios: Luvianos 19, Amatepec 14, Tlatlaya 14, Tejupilco 5, Santo Tomás 4, Zacazonapan 4, Oztoloapan 3 y Temascaltepec 1. Los 6 casos restantes (10%) pertenecieron a especies silvestres, entre ellas se encuentran 3 *Desmodus rotundus*, 1 murciélago no hematófago y 2 zorrillos. Sin embargo, los quirópteros, especialmente *D. rotundus* son las especies más monitoreadas con 722 muestras (81.7% del total) que fueron remitidas y resultaron negativas.

7.1. Modelos descriptivos

De acuerdo a las variables geográficas, se encontró una relación positiva entre la altitud por debajo de 2000 m.s.n.m. y la frecuencia de casos a rabia bovina.

La hidrología también es un factor importante en la presentación de la enfermedad, puesto que, se encontró una relación positiva entre el número de casos a rabia y un predominio de ríos con corrientes intermitentes y escurrimientos.

El índice de marginación es una medida que permite diferenciar zonas según el impacto global de las carencias que padece la población, como resultado de la falta de acceso a la educación y servicio médico, la residencia en viviendas inadecuadas y la percepción de ingresos. Acorde a estas consideraciones, la población presente en el área de estudio, muestra rasgos muy evidentes de

pobreza y marginalidad. La ocurrencia de brotes por rabia bovina predomina en comunidades con alto grado de marginación.

Referente al tipo de ocupación del uso de suelo para actividades agropecuarias, el pastizal inducido se encuentra más involucrado con el reporte de brotes de rabia bovina que las áreas de cultivo; esto demuestra la asociación de la rabia a los ecosistemas pecuario.

En relación a la temperatura media anual registrada, se reconocen dos zonas de riesgo que presentan un clima cálido y que favorece la presencia del murciélago vampiro (21 a 27°C); una se encuentra al norte, en los municipios de Santo Tomás, Oztoloapan, Zacazonapan y parte de Ixtapan del Oro; la otra en el sur, comprendiendo los municipios de Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya. Por otro lado, se observan casos de rabia en la región de la Sierra de Nanchititla, municipio de Luvianos. Esta zona presenta una temperatura media entre 15 a 21 °C, no obstante, sus periodos cálidos durante la primavera llegan hasta los 32°C. La temperatura y la estacionalidad es un factor predominante de distribución del murciélago vampiro y por supuesto, de transmisión de la rabia.

Respecto a la precipitación anual se observó que los casos se presentaron en zonas donde se registra en promedio una precipitación de 1136 mm³, y alcanzando un mínimo de 924 mm³.

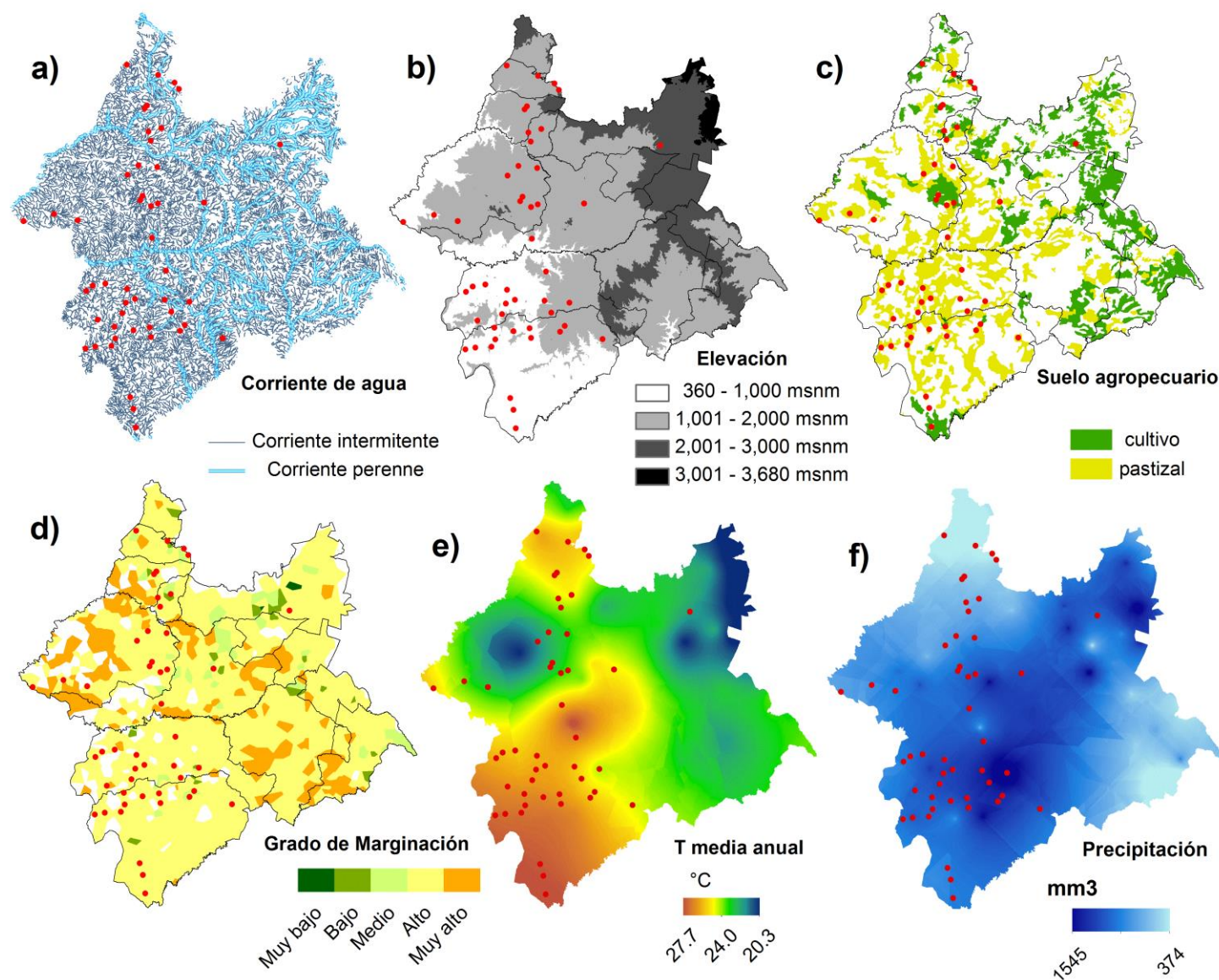


Figura 7. Modelo descriptivo en la ocurrencia de Rabia Paralítica Bovina. Localización de brotes (puntos rojos), a) hidrología, b) aspecto del relieve de la región de estudio, c) Ocupación del suelo agropecuario, d) Grado de marginación por localidad, e) temperatura media anual, f) Precipitación anual.

El análisis de la enfermedad de acuerdo a la densidad de vacunación y la influencia de los operativos de captura y eliminación de murciélago en localidades con presencia de rabia y su curso anual en la serie histórica de 2007 a 2012, fue respaldada por la Figura 8.

Con base en este análisis, durante el periodo de 2007 a 2009, los brotes se movilizaron desde el municipio de Luvianos hacia el sur del área de estudio, en los municipios de Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya, donde se reportó 19 casos de rabia bovina. Del mismo modo en 2009, se presentó 2 brotes en municipios del norte del área de estudio (Zacazonapan, Oztoloapan y Santo Tomás), prevaleciendo los casos en esta región hasta 2012, año en que la enfermedad se distribuyó por todo el territorio del área de estudio (Figura 8).

De acuerdo a las cifras analizadas en el control y prevención de la rabia, la aplicación de vacunas antirrábicas en el ganado ha aumentado progresivamente cada año, con un promedio de 37,572 dosis anuales, sólo con un año de reducción de la frecuencia con 19,179 dosis en 2010, y llegando a un máximo de 55,254 dosis aplicadas en 2012. Como puede observarse en la Figura 8, los brotes atendidos con la aplicación masiva de vacunación, no tiene una cobertura total en hatos vecinos.

Por otro lado, la aplicación de vampiricida en murciélagos vampiro capturados en refugios y corrales durante el periodo, se ha mantenido sostenida en los municipios del centro, y de forma intermitente en los municipios del norte.

El área de búsqueda de alimento por los murciélagos fue representada en un buffer de 5km, su impacto es positivo en el control de los brotes, previniendo la aparición de nuevos casos en su área de influencia; sin embargo, en 2012, 8 de los 13 casos reportados ocurrieron dentro del área de alimentación de refugios donde ya se habían aplicado medidas de control.

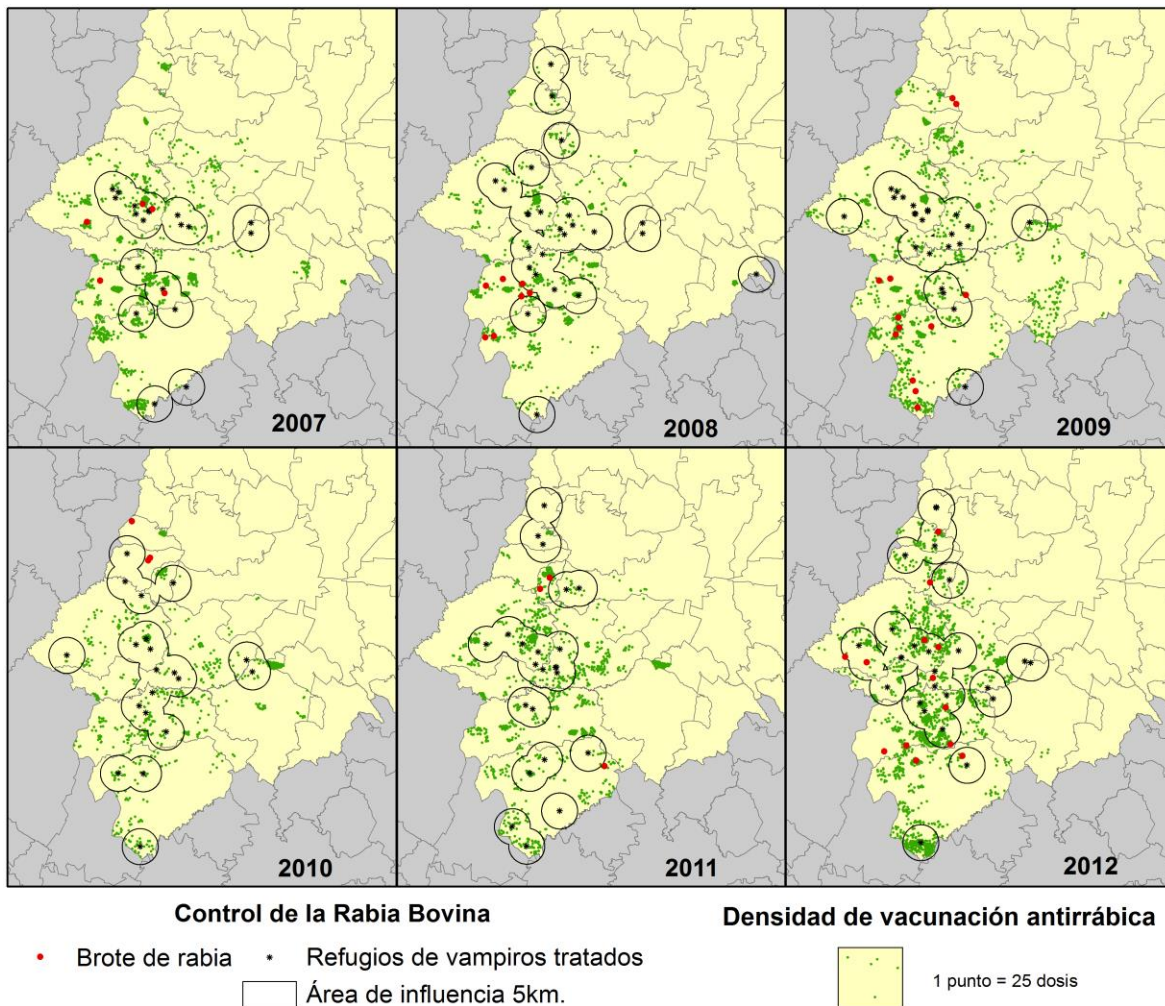


Figura 8. Distribución de localidades con presencia de rabia bovina y actividades de control y prevención de la enfermedad. La vacunación se expresa en densidad de puntos verdes y los refugios de murciélago hematófago (puntos negros) se representan con un área de influencia de 5 km.

7.2. Relación espacio temporal de brotes de rabia bovina.

El método estadístico aplicado a los datos sugiere la presencia de rabia en algunos hatos ganaderos que fueron agrupados en el espacio y tiempo, dada la distancia temporal de 3 meses, además, la estadística exploratorio definió al *cluster* “A” como el más probable; localizado en el municipio de Amatepec, muy cerca del límite con Guerrero (Figura 9). El *cluster* incluyó 14 casos (7.6 esperados) de una población en riesgo de 34,900 animales distribuidos en 1,088 hatos presentes en 138 localidades durante casi dos años. El riesgo relativo de ser

infectado un hato ganadero que se encontrara dentro del *cluster* más probable (453 km²) comparado con el área circundante fue estimado en 2.09 ($p = 0.05$).

Tabla 6. Resultados de la relación estadística espacio temporal.

| Agrupación | Radio (km) | inicio | final | LLR | Valor p | observados | esperados | Riesgo relativo |
|------------|------------|------------|---------------|-----|---------|------------|-----------|-----------------|
| A | 12.01 | Julio/07 | Septiembre/09 | 9.3 | 0.05 | 14 | 7.66 | 2.09 |
| B | 14.8 | Enero/10 | Marzo/12 | 3.7 | 0.33 | 6 | 3.28 | 1.92 |
| C | 10.8 | Octubre/11 | Diciembre/12 | 3.1 | 0.45 | 5 | 2.74 | 1.91 |

Se calcularon dos *cluster* secundarios (B y C) que se sobreponen entre sí, pero no con el *cluster* más probable (Tabla 6). El *cluster* “B” se presenta al norte del área de estudio abarcando un área de 688 km² desde enero de 2010 a marzo de 2012. El centro del *cluster* “C”, se localiza 20 kilómetros al sur del *cluster* “B”, y abarca una temporalidad entre octubre de 2011 a Diciembre de 2012, lo que supone el posible desplazamiento de la rabia durante 2012 a los municipios de Luvianos, Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya.

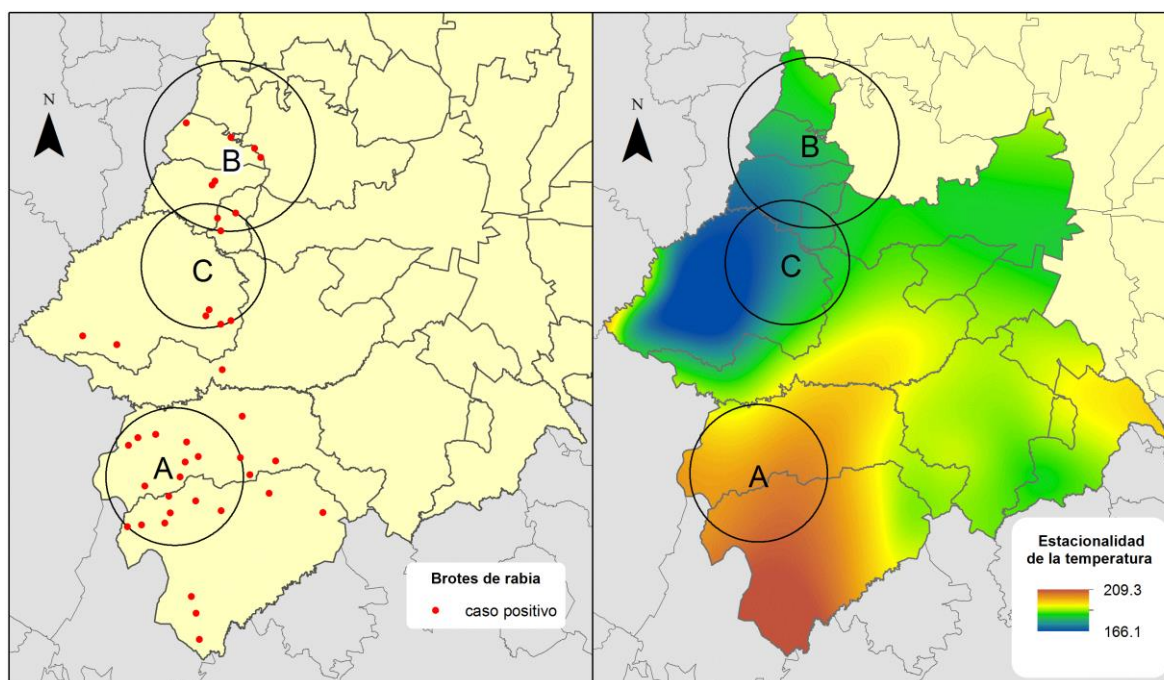


Figura 9. Análisis estadístico espacio temporal de casos positivos a rabia en el área de estudio y estacionalidad. El área más probable de agrupación espacio temporal es el círculo “A”, y los *cluster* secundarios son los círculos “B” y “C” durante el periodo de enero de 2007 a diciembre de 2012.

Con respecto a la temporalidad, los brotes de rabia ocurridos dentro del *cluster* "A", presentaron un comportamiento estacional, con un incremento de casos a principios del verano y finalizando en el invierno. Del mismo modo, los brotes en el *cluster* "B" tuvieron un comportamiento intermitente.

El *cluster* espacial "A", se sitúa en áreas que presentan mayor variación periódica de la temperatura a lo largo del año (Figura 9.B). Esta estacionalidad se caracteriza por presentar un marcado aumento de la temperatura, sequías periódicas y temporada de lluvias con elevada precipitación ($>1400 \text{ mm}^3$). Estos patrones influyen en las actividades pecuarias, los calendarios de siembra, cosecha, la migración de algunas especies silvestres, entre ellos el murciélago hematófago y también en la ocurrencia de nuevos brotes de rabia bovina.

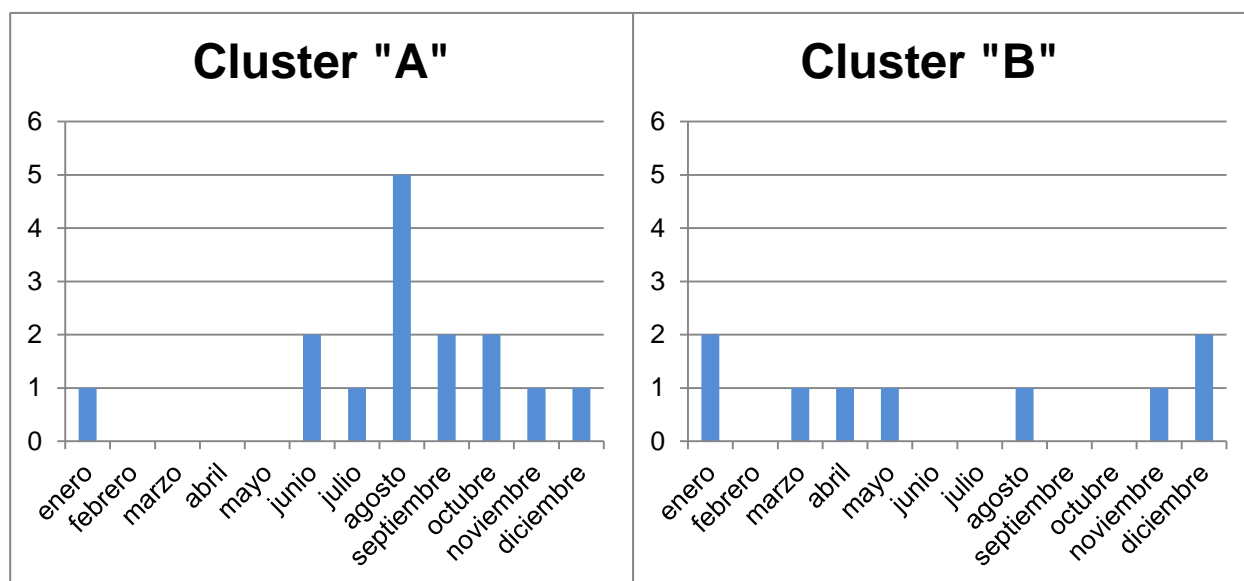


Figura 10. Reporte acumulado mensual de brotes de rabia para el *cluster* más probable "A" y el *cluster* secundario "B".

7.3. Relación de factores con los brotes de rabia paralítica bovina

Considerando el Análisis Exploratorio de Datos Espaciales y la correlación entre la ocurrencia de rabia bovina se consideraron en primera fase como variables predictores la densidad de bovinos, entre ellos los sistemas mixtos y carne, la densidad e inconstancia de la vacunación, de forma negativa los cambios en el uso de suelo agrícola y de forma positiva los correspondientes al uso pecuario, la presencia del murciélago hematófago, la elevación menor a 2000 m.s.n.m. y los ríos perenne con una correlación negativa.

El grupo de variables de vacunación, el uso de suelo pecuario y la elevación menor a 2000 metros fueron excluidos del análisis, porque esta capacidad explicativa fue remplazada por la densidad de bovinos presentes en la región (debido a los altos valores de ρ en la correlación de *Spearman* entre las variables). Esto demuestra un elevado impacto que tienen las actividades pecuarias en la modificación del paisaje y la fragmentación de la selva y el bosque.

El resultado del modelo ajustado de la RLM se muestra en la Tabla 8. En la primera columna se muestra el coeficiente estimado beta (β), en la segunda columna, y para poder comparar la intensidad de la relación entre las variables se muestra el mismo coeficiente pero estandarizado (βStd) en la tercera columna se indica el nivel de confianza de las variables seleccionadas ($p < 0.10$)

Tabla 7. Modelo propuesto para explicar la ocurrencia de rabia en el ganado bovino.

| Variables | YLOG | | | FIV |
|--|---------|-------------|------|-------|
| | β | βStd | Sig. | |
| DMIXTO | 0.024 | 0.484 | .000 | 1.256 |
| SUMPERENNE | 0.000 | -0.323 | .001 | 1.083 |
| %PEND10 | 0.001 | 0.209 | .029 | 1.182 |
| R^2 (ajustado)= 0.507. Durbin Watson=2.045 | | | | |

Se realizaron las pruebas estadísticas para determinar posibles problemas de autocorrelación y colinealidad entre las variables explicativas. En la tabla 7 se muestran los indicadores usados para este fin, el estadístico Durbin Watson (DW) y el factor de inflación de la varianza (FIV). Los cuales muestran valores aceptables.

Analizando los valores estandarizados del modelo, se observa que la ocurrencia de brotes se presentó principalmente por la alta densidad de bovinos en sistema de producción mixto, en zonas con pendientes menores a 10° (llanuras) y alejado de ríos perenne.

Comparado con el resto de los sistemas de producción presentes en el área de estudio, las explotaciones mixtas representan el 40.7% del total del inventario ganadero, cifra inferior a las explotaciones de carne que representan más de la mitad de ganado en el área de estudio (58.4%).

Sin embargo, el nivel de concentración de la distribución espacial del ganado mixto es más elevado que cualquier sistema de producción presente, llegándose a estimar por el estadístico global Getis Ord G_i^* un valor z de 13.1 en una distancia de 10,000 metros y conforme aumenta la distancia el valor z disminuye. A diferencia de los otros tipos de explotaciones ganaderas (carne y leche) donde la concentración se mantiene estable sobre el territorio (Figura 11).

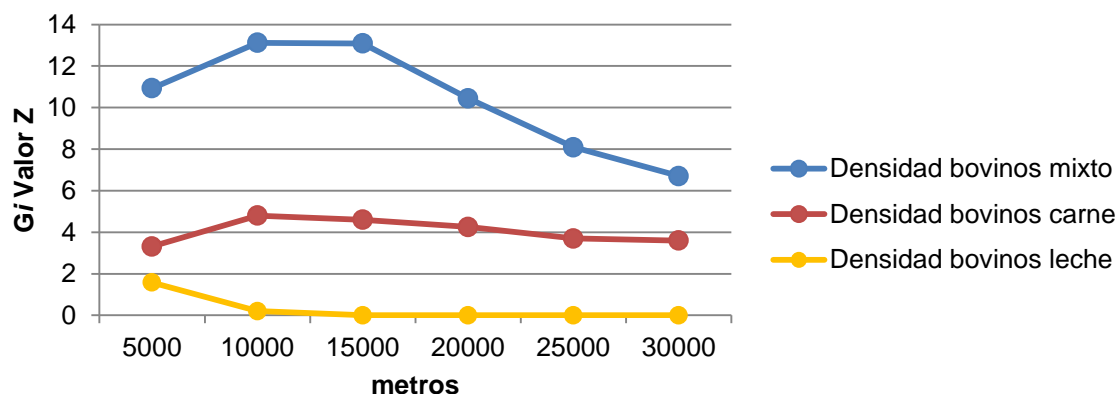


Figura 11. Autocorrelación espacial por distancia de las relaciones espaciales en el nivel de concentración de bovinos en sus diferentes sistemas de producción pecuaria.

De forma local, representado en un mapa *Hot Spots*, la concentración abarca 192 comunidades pertenecientes a los municipios de Amatepec, Tejupilco, Tlatlaya y en el norte, el municipio de Oztoloapan. Estas localidades agrupan 21 (36% del total) reportes de rabia confirmados entre 1999 a 2012; y la población de bovinos asciende aproximadamente a 20,374 animales en riesgo bajo un sistema mixto de producción, lo que representa el 32% de la población en el mismo sistema (Figura 12).

Del mismo modo, se observan localidades con bajos valores *z*, distribuidos en los municipios de Temascaltepec, Texcaltitlán, San Simón de Guerrero, Almoloya de Alquisiras, Sultepec y Zacualpan. Esta zona es caracterizada por un relieve agreste, pendientes pronunciadas e inviernos fríos, que condicionan el desarrollo de las actividades pecuarias y el hábitat del murciélago vampiro.

Por lo tanto, la densidad y concentración de bovinos en sus diversos sistemas de explotación pecuaria establece un factor de riesgo, ya que posibilita a los murciélagos hematófagos encontrar de forma repetida cada noche fuentes de alimento, aumentando las lesiones en el ganado y en consecuencia la presencia de casos positivos a rabia.

De acuerdo a los coeficientes estandarizados, la presencia de planicies (pendientes menores a 10°) en el espacio geográfico es un factor de riesgo asociado a la presencia de casos positivos. Debido al enclave del área de estudio en la Cordillera Central y la Sierra Madre del Sur, la irregularidad en el relieve está presente en más del 90% del territorio, por tanto, las planicies (pendientes <10°) están localizadas en varios fragmentos de aproximadamente 16 km² y se encuentran rodeados por cadenas montañosas en donde se han detectado refugios de murciélago hematófago. Esto representa un riesgo de transmisión debido a que estas planicies, en su mayoría han sido usadas como área de pastoreo (Figura 13).

Por otro lado, la mayor frecuencia de casos positivos se localiza lejos de donde se encuentran los ríos perennes. En el área de estudio se encuentran 7 subcuencas hidrográficas pertenecientes al río balsas, de las cuales, cuatro confluyen en el norte y oriente del área de estudio. Esto demuestra que los escurrimientos o ríos intermitentes y los árboles podría ser una opción de refugios satélites que participarían en el movimiento del murciélago en el oeste (Figura 14).

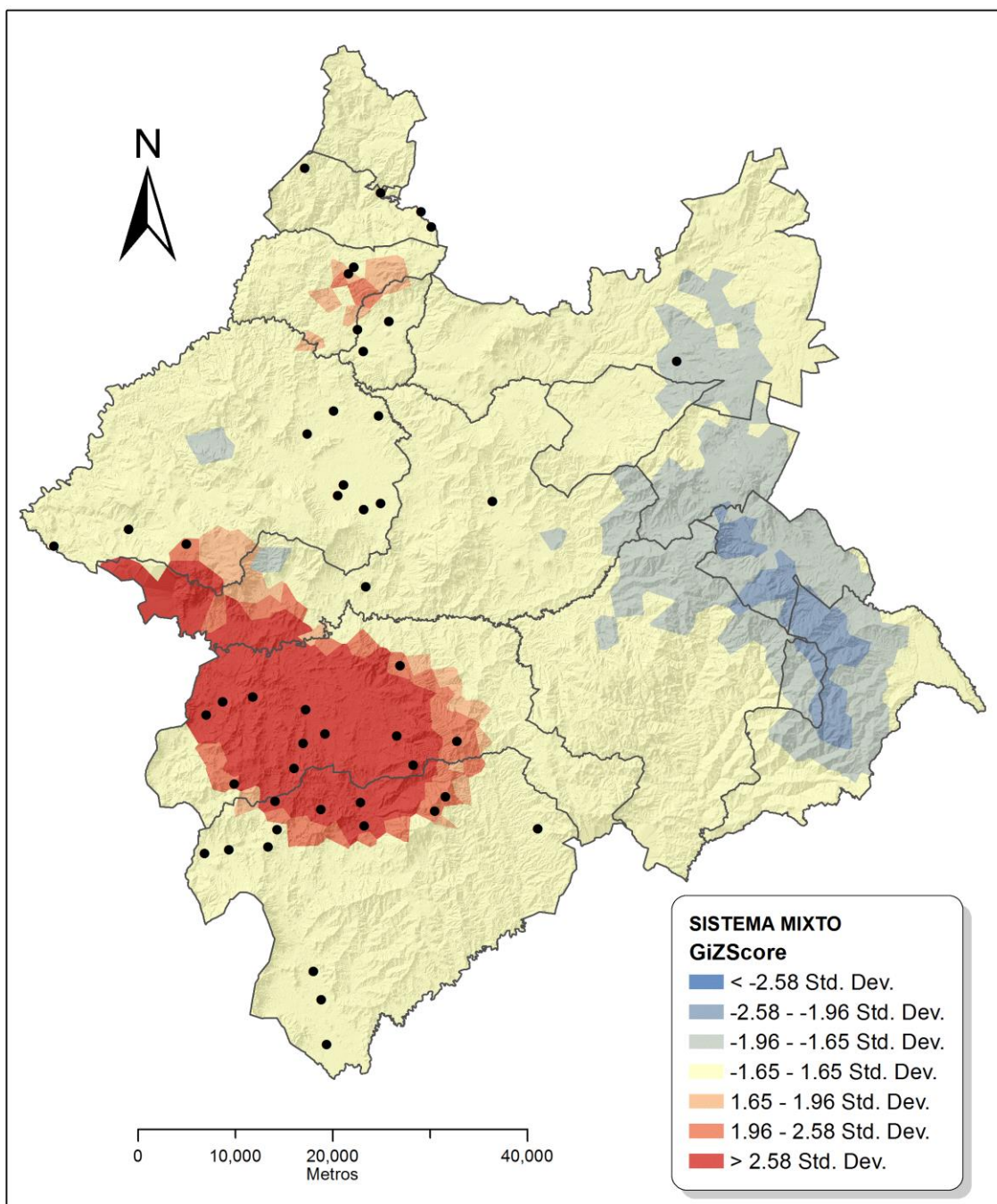


Figura 12. Análisis Hot Spot (Getis-Ord G_i^*) de la densidad de bovinos en sistema mixto de producción. Las zonas con alta concentración de bovinos se muestran en color rojo, las zonas con baja concentración de bovinos en color azul y las zonas sin patrón de agrupación en color amarillo ($p < 0.05$). Los brotes de rabia bovina se muestran en puntos negros.

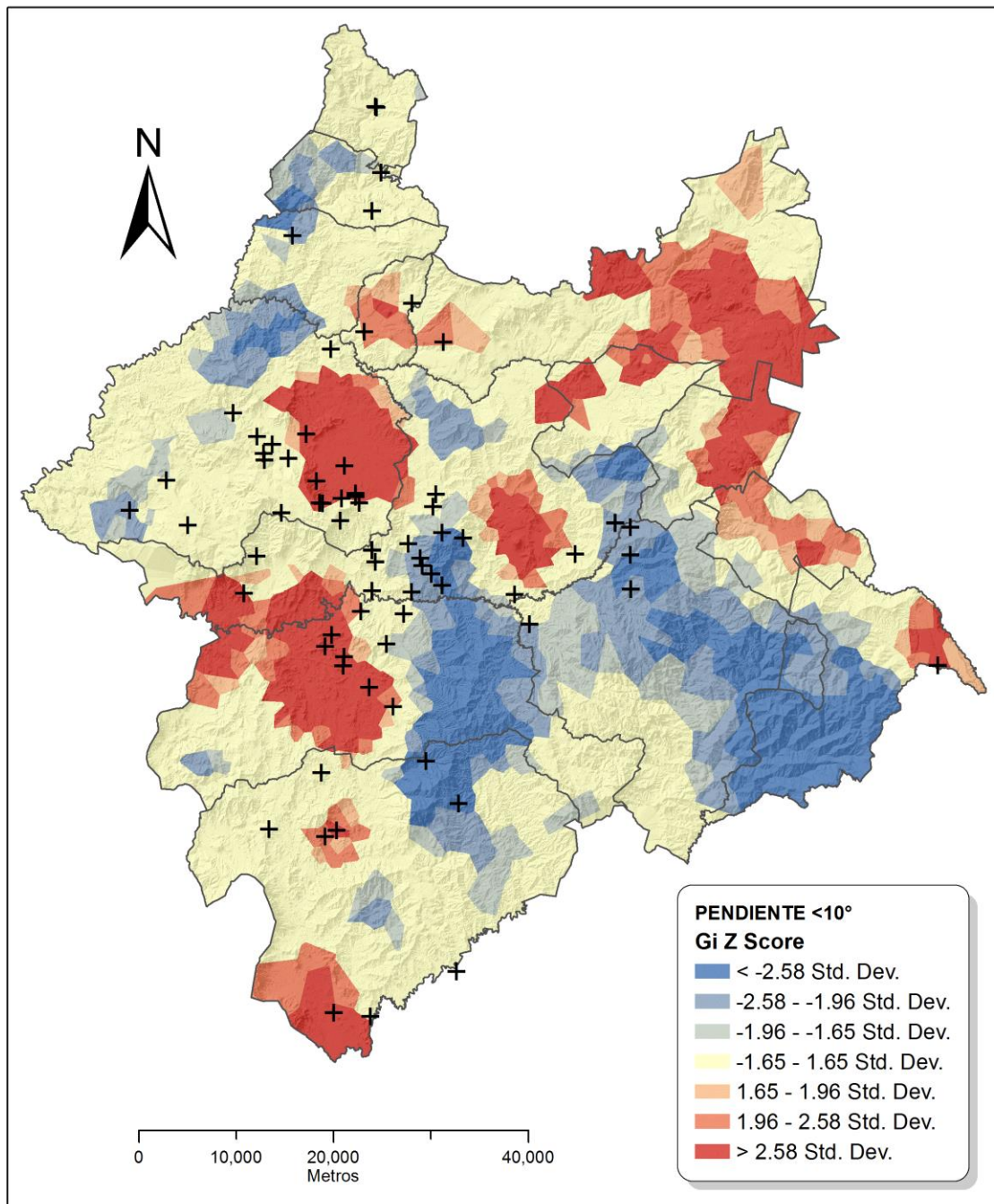


Figura 13. Análisis Hot Spot (Getis-Ord Gi) de planicies (pendiente <10°) y presencia de refugios de murciélagos vampiro. Las zonas con planicies se muestran en color rojo, las zonas sin presencia de planicies en color azul y las zonas sin patrón de agrupación en color amarillo ($p < 0.05$). La ubicación de refugios de murciélagos vampiro se muestra en cruces negras.

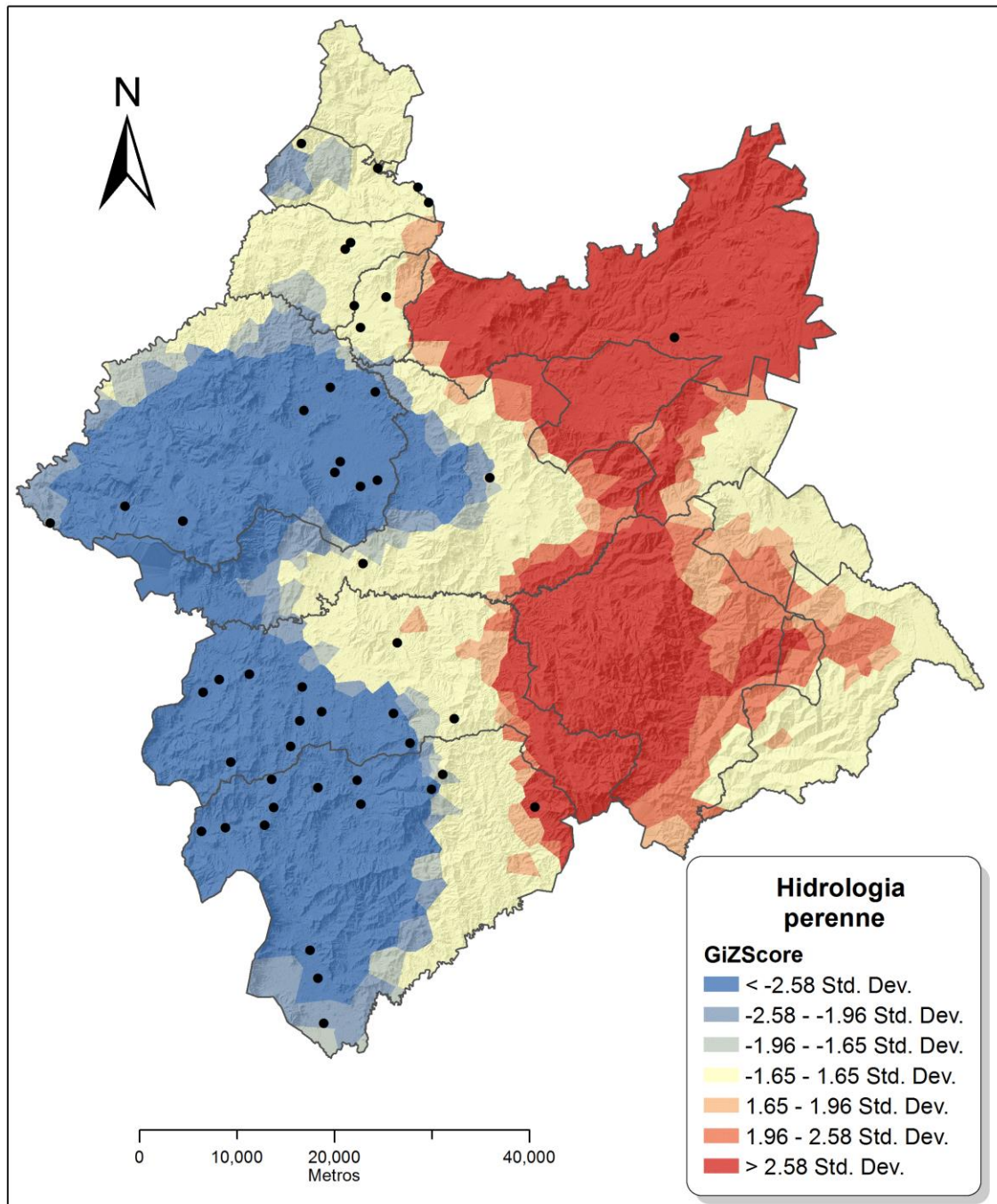


Figura 14. Análisis Hot Spot (Getis-Ord Gi*) de Corrientes perenne y presencia de brotes de rabia bovina. Las zonas con concentración alta de corrientes perenne se muestran en color rojo, las zonas con concentración baja en color azul y zonas sin patrón de agrupación en color amarillo ($p < 0.05$). Los brotes de rabia se localizan en puntos negros.

8. DISCUSIÓN

El virus de la rabia se encuentra presente en las poblaciones de ganado bovino, puesto que estos animales son la principal fuente de alimentación de los murciélagos vampiro, y donde también existe la circulación del virus. Esta situación demuestra que existe un ciclo de transmisión y que representa un riesgo importante para la salud pública y animal, además de provocar importantes pérdidas económicas para la ganadería de la región (5, 63-65).

El análisis de la distribución de la enfermedad demostrada en el modelo descriptivo evidenció principalmente una nítida interferencia de los aspectos biofísicos. Como se analiza en la Figura 7, los brotes no sobrepasan los 2000 m.s.n.m., y se distribuyen desde el norte al sur del área de estudio, con excepción del año 2004 donde un caso se presenta en el municipio de Temascaltepec a 2,200 m.s.n.m. Estas características topográficas se relacionan con el clima subtropical de la Sierra del Sur, que favorecen la presencia del murciélago *D. rotundus*, principal causante de los brotes; en contraposición, la meseta central localizada al norte y oriente del área de estudio, restringe de oeste a este el desplazamiento habitual de los murciélagos vampiro y también la aparición de nuevos casos de rabia bovina, por lo que los brotes terminan por ser autolimitantes. Estas restricciones espaciales en epizootias de rabia bovina han sido observadas por Lord, Taddei y Trajano, al describir la disminución de los rangos de vuelo de los murciélagos vampiro entre sus refugios en función de las limitantes biofísicas y climáticas (40, 66, 67).

La hidrografía intermitente podría considerarse otro factor biofísico que influye en la transmisión de la rabia bovina por la colonización estacional de los murciélagos vampiro en árboles huecos tales como ceibas, sabinos y encinos localizados a la orilla de los ríos en el área de estudio. Estos datos concuerdan con lo observado por Gomes y colaboradores al establecer que la proximidad a los ríos es un factor en el desarrollo de nuevos brotes epizooticos (68).

Estas condiciones biofísicas también determinan la localización de los pastizales dedicados a la ganadería predominando la localización del ganado por debajo de los 2000 m.s.n.m. y en consecuencia, la aparición de nuevos brotes de rabia bovina. Estas circunstancias demuestran el impacto de la ganadería tropical en el desarrollo de nuevas epizootias en el área de estudio, del mismo modo que se ha reportado en otros brotes de nuestro país y América Latina (44, 69)

Por otra parte, la población con alta marginalidad es una constante en las comunidades del área de estudio donde han ocurrido brotes de rabia bovina (70). Estas condiciones de pobreza, son además, un riesgo de transmisión de rabia en población humana por murciélago vampiro, tal como se ha observado en los brotes registrados en diversas regiones de México y América Latina, donde el riesgo de transmisión está relacionado a los cambios en los procesos productivos de la región, la vulnerabilidad en la vivienda y la falta de acceso a servicios de salud. (18, 71, 72). Por esta razón es importante desarrollar en los municipios del área de estudio nuevas estrategias en materia de salud pública que garanticen la promoción de la salud acerca del riesgo de transmisión por rabia, la atención oportuna en personas agredidas y el apoyo al desarrollo social y económico.

El *cluster* más probable “A” descrito en el municipio de Amatepec, demostró que la tasa de infecciones entre hatos fue mayor dentro de esta área que en otras partes circunvecinas de la zona de estudio durante casi tres años consecutivos (2007-2009). Igualmente, los *cluster* secundarios “B y C” se presentaron en el norte del área de estudio, en los municipios que colindan con el Estado de Michoacán, de 2009 a 2012, indicando la aparición de un nuevo brote epizoótico y que durante 2012 se extendió por el territorio de los municipios de Luvianos, Tejupilco, Amatepec y Tlatlaya.

La estacionalidad en la ocurrencia de nuevos brotes de rabia fue demostrada por el *cluster* “A”. Taddei y colaboradores reportaron que los desplazamientos de los murciélagos vampiro a refugios más húmedos y la reorganización de sus colonias

durante la estación seca pueden desencadenar nuevas epizootias (40). Del mismo modo, Silva y colaboradores observaron un mayor número de diagnósticos positivos durante la estación seca en el Estado de Minas Gerais, Brasil entre 1976 y 1997 (49). Lord consideró que el reporte de casos de rabia bovina durante la estación lluviosa se debía a los patrones estacionales de reproducción de *D. rotundus* y el desplazamiento de individuos entre los refugios satélite, caracterizado principalmente por la expulsión de los murciélagos vampiro jóvenes nacidos en la temporada anterior (34).

En cambio, los clusters secundarios presentaron un patrón irregular en los reportes acumulados mensuales de casos positivos. Una hipótesis que se desprende de esta investigación sugiere que los casos comprendidos por los *cluster* “B” y “C” (que se encuentran ubicados en la región norte del área de estudio), no tienen una estacionalidad evidente debido que es un área con menor precipitación, y rangos de temperatura menos variable durante el año. Estos datos concuerdan con lo descrito por Lord al señalar que la estacionalidad en la transmisión desaparece en regiones con menor variabilidad climática, y aquellos próximos al ecuador con mayor precipitación durante la época de lluvias, los brotes de rabia bovina ocurren de forma estacional. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Delpietro y Russo en el norte de Argentina donde la estacionalidad no fue observada en los casos diagnosticados (73).

La hipótesis se puede afirmar, puesto que el principal argumento utilizado por los investigadores para explicar la estacionalidad de las epizootias es el desplazamiento de los murciélagos vampiro y el cambio en la organización poblacional de los refugios; sin embargo, si consideramos el rango de vuelo limitado de los murciélagos vampiro entre sus refugios (10 a 20 km) y la dificultad en desplazarse entre los lugares más secos o más húmedos de ida y vuelta, los casos de rabia no serían estacionales.

Los hatos en donde se presentaron brotes de rabia bovina y no fueron incluidos en alguno de los *cluster*, se sugiere que pudo haberse realizado un cambio en el mecanismo de transmisión de la enfermedad debido a los vuelos erráticos de los murciélagos enfermos, la reintroducción del virus por otras colonias de murciélago vampiro, la comercialización y movilización de ganado (74, 75)

Otro factores por considerar es que podría haber existido un sesgo de la información en el resultado final de la prueba, debido a que el reporte oficial de casos de rabia eleva el conocimiento de la enfermedad entre los ganaderos y médicos veterinarios locales, y a su vez se incrementan las acciones de control de la enfermedad por las autoridades de la campaña, interrumpiendo la transmisión del virus entre el ganado bovino (24, 25, 66).

El modelo construido con las variables explicativas: DMIXTO, SUMPERENNE y %PEND10, tiene una calidad baja de ajuste, ya que sólo explica el 50% de la variabilidad de los datos; estas limitaciones se deben a que los resultados obtenidos se aplican a nivel “global”; esto significa que el conjunto de relaciones entre las variables se comportan de manera similar en todo el territorio, sin embargo, las variables seleccionadas no poseen la misma distribución homogéneas sobre el área de estudio. Esto coincide con lo observado por Lord, al reconocer que cada región tiene diferentes atributos que favorecen la presencia del murciélago vampiro, además destaca, su capacidad de adaptación a los cambios en su hábitat (66).

De acuerdo a lo descrito por la correlación espacial, la elevada densidad de ganado bovino también explica la fragmentación de la vegetación provocada por el incremento de nuevas área de pastizal en los últimos años sobre la región centro y oeste del área de estudio. De acuerdo con Pineda-Martínez, estos patrones espaciales de perturbación son los de mayor impacto en todo el territorio del Estado de México, siendo los municipios de Tlatlaya y Tejupilco los que han sufrido la alteración más severa con 18,963 hectáreas de bosque y selvas bajas

perturbadas, esto es un indicativo de la fuerte presión medioambiental que existe en esta zona (58).

Las áreas fragmentadas provocan el aislamiento de planicies y pastizales con una elevada densidad de población de ganado bovino. Estos cambios en la configuración del ecosistema, según Formes y colaboradores, favorecen la transmisión del virus en los bovinos al facilitar a los murciélagos vampiro realizar recorridos de vuelo entre las zonas fragmentadas, elevando de este modo el riesgo de infección y el avance de la epizootia a través del territorio (46)

Los datos analizados en el presente trabajo han sido confirmados por otras investigaciones que usan el análisis espacial y demuestran la influencia de la densidad de ganado y los cambios antropogénicos de la cobertura del suelo en la diseminación de la rabia bovina (49, 65, 68). Estas transformaciones en el paisaje, por las actividades agropecuarias, han rediseñado la historia natural de la rabia, creando nuevas condiciones favorable para la adaptación natural de los murciélagos vampiro (51)

Los factores de riesgo descritos por Taddei y colaboradores en la transmisión de rabia por la proximidad a los ríos fueron confirmados de forma parcial por el modelo estadístico al considerar que los ríos de corriente perenne no tienen una influencia positiva en la distribución de casos positivos a rabia, sin embargo, los ríos intermitentes tienen una mayor influencia de adaptación de nuevos refugios para los murciélagos vampiro y la diseminación de la enfermedad entre los bovinos (40).

Por otra parte, la vacunación antirrábica en el área de estudio se ha presentado en las regiones con alta densidad de bovinos (sitios donde han ocurrido el mayor número de brotes de rabia), aun la aplicación de biológico masiva en zonas de riesgo de transmisión del virus representa un reto económico y de logística para las autoridades de la campaña debido a la movilidad de ganado, la dificultad que

representa el tránsito por lo agreste del terreno y la preservación de la cadena fría de la vacuna.

El control de la población de *D. rotundus* es una estrategia que ha sido usada en la región para prevenir la rabia en el ganado, sin embargo, el presente estudio demostró que la exposición al virus de la rabia está presente en todas las poblaciones de murciélagos vampiro y se encuentra débilmente relacionada a la proporción de animales que han sido capturados por refugio. A pesar del bajo número de reportes de casos de rabia en poblaciones de *D. rotundus*, es probable que algunas colonias mantengan los ciclos de transmisión debido a la movilidad entre refugios y la inclusión de nuevos individuos susceptibles en las colonias (reproducción) que favorecen la aparición de nuevos brotes en sus poblaciones y que posteriormente repercuten en el ganado (76)

9. CONCLUSIONES

Las condiciones físico-geográficas y sociales presentes en el área de estudio son favorables para la distribución del murciélago vampiro (*Desmodus rotundus*), principal transmisor del virus de la rabia a los bovinos.

El trabajo ligado a una escala espacial, relacionado a una definición de celda con resolución de 10 x 10 km es adecuado para el estudio de determinantes epidemiológicos en la transmisión de la Rabia Paralítica Bovina, ayudando al establecimiento de área de riesgo de transmisión del virus para mejorar la capacidad de respuesta en la prevención y control de la enfermedad.

La Regresión Lineal Múltiple aplicada a la escala de resolución [10x10] km. contribuyó a entender, de manera global, el impacto de las variables explicativas en el desarrollo de brotes epizooticos originados por los murciélagos vampiro; sin embargo, debido a la gran heterogeneidad sobre el territorio, es importante realizar nuevos estudios que ponderen los factores de acuerdo a su variabilidad de una región a otra.

Los resultados obtenidos en el modelo estadístico espacio temporal demostraron que las regiones donde se identificaron los clusters, son los principales centros de endemismo del virus de la rabia y también las zonas con mayor prevalencia de la enfermedad en el ganado bovino. Por otro lado, la investigación por agrupaciones puede generar y respaldar la hipótesis respecto a los patrones de transmisión y estacionalidad en las epizootias del virus de la rabia, pero aún se requieren más estudios que confirmen esta hipótesis.

La fuerte intervención antrópica y las modificaciones en la cobertura y uso de suelo ocasionadas por las actividades pecuarias en el área de estudio, han establecido condiciones favorables para la adaptación del murciélago vampiro y la transmisión del virus de la rabia a los bovinos.

La epidemiología espacial y los Sistemas de Información Geográfica constituyen un instrumento de análisis esencial en salud, perfeccionando el abordaje de los fenómenos para la gestión de nuevas estrategias de control de las enfermedades.

10. RECOMENDACIONES

El presente trabajo procura aportar elementos que ayuden a explicar los determinantes epidemiológicos que están relacionados con los procesos de transmisión de la rabia bovina. La aplicación conjunta de métodos estadísticos y de tecnología SIG, algunos de ellos novedosos en esta temática, podrían servir como base metodológica en futuros procedimientos de prevención y control de la enfermedad en la región.

Los resultados de esta investigación arrojan la necesidad de establecer nuevos estudios enfocados en la dinámica de las poblaciones de murciélago vampiro, movilización de ganado bovino e impacto ambiental en la cobertura y uso de suelo de las actividades pecuarias.

11. BIBLIOGRAFIA

1. Baer GM. The Natural history of rabies. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 1991. 620 p. p.
2. Acha PN. Epidemiology of paralytic bovine rabies and bat rabies. Bulletin - Office international des epizooties. 1967;67(3):343-82. Epub 1967/03/01.
3. Pawan JL. The transmission of paralytic rabies in Trinidad by vampire bat (*Desmodus rotundus murinus*, Wagner, 1840). *Ann Trop Med Parasitol*. 1936;30(101).
4. Carini A. Sur une grande epizzotie de rage. *Ann Inst Pasteur (Paris)*. 1911;25:843.
5. WHO Expert Consultation on rabies. World Health Organization technical report series. 2005;931:1-88, back cover. Epub 2006/02/21.
6. Badrane H, Tordo N. Host switching in Lyssavirus history from the Chiroptera to the Carnivora orders. *Journal of virology*. 2001;75(17):8096-104. Epub 2001/08/03.
7. Wunner WH. Rabies in the Americas. *Virus research*. 2005;111(1):1-4. Epub 2005/05/18.
8. Belotto A, Leanes LF, Schneider MC, Tamayo H, Correa E. Overview of rabies in the Americas. *Virus research*. 2005;111(1):5-12. Epub 2005/05/18.
9. Ceballos G, Oliva G. Los mamíferos silvestres de México. 1a. ed. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica; 2005. 986 p. p.
10. Schneider MC, Romijn PC, Uieda W, Tamayo H, da Silva DF, Belotto A, et al. Rabies transmitted by vampire bats to humans: an emerging zoonotic disease in Latin America? *Revista panamericana de salud publica = Pan American journal of public health*. 2009;25(3):260-9. Epub 2009/05/21.
11. Mayen F. Haematophagous bats in Brazil, their role in rabies transmission, impact on public health, livestock industry and alternatives to an indiscriminate reduction of bat population. *Journal of veterinary medicine B, Infectious diseases and veterinary public health*. 2003;50(10):469-72. Epub 2004/01/15.

12. Scheffer KC, Carrieri ML, Albas A, Santos HC, Kotait I, Ito FH. [Rabies virus in naturally infected bats in the State of Sao Paulo, Southeastern Brazil]. *Revista de saude publica*. 2007;41(3):389-95. Epub 2007/05/23. Virus da raiva em quiropteros naturalmente infectados no Estado de Sao Paulo, Brasil.
13. Campaña Nacional contra la Rabia Parálitica Bovina. Datos de Vigilancia. Periodo: enero - diciembre 2012. México D.F.: Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA), 2013.
14. Vargas GCJ. Epidemiología de la rabia: Situación actual en México. *Ciencia Veterinaria*. 1996;7:331-60.
15. Greenhall AM, Joermann G, Schmidt U, Seidel MR. *Mammalian Species, Desmodus rotundus*. American Society of Mammalogists. 1983;202:1-6.
16. Sánchez-Hernández C, Romero-Almaraz ML, Flores-Oviedo A, García-Estrada C, Villagrán-Santa Cruz M. *Desmodus rotundus murinus* (Wagner1840) Vampiro. In: Noguera F, Vega-Rivera H, N. G-A, M. Q-A, editors. *Historia Natural de Chamela*. México D.F.: Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma del México; 2002. p. 568.
17. Situación actual de la Campaña Nacional para la Prevención de la Rabia Parálitica en Bovinos y Especies Ganaderas. Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA); 2013 [cited 2013 08/09]; Available from: <http://www.senasica.gob.mx/?id=4407>.
18. Programa de acción específico 2007-2012. Rabia y otras zoonosis. México D.F.: Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud. , 2008.
19. Norma Oficial Mexicana NOM-067-ZOO-2007. Campaña nacional para la prevención y control de la rabia en bovinos y especies ganaderas, (2011).
20. Fernandez C. Situación epidemiológica de la rabia parálitica bovina en México. XIII reunión Internacional sobre Avances en la Investigación y Control de la Rabia en las Américas; Oaxaca, México.2002. p. 58.
21. Velasco-Villa A, Orciari LA, Juarez-Islas V, Gomez-Sierra M, Padilla-Medina I, Flisser A, et al. Molecular diversity of rabies viruses associated with bats in Mexico and other countries of the Americas. *Journal of clinical microbiology*. 2006;44(5):1697-710. Epub 2006/05/05.

22. De Mattos CC, De Mattos CA, Loza-Rubio E, Aguilar-Setien A, Orciari LA, Smith JS. Molecular characterization of rabies virus isolates from Mexico: implications for transmission dynamics and human risk. *The American journal of tropical medicine and hygiene*. 1999;61(4):587-97. Epub 1999/11/05.
23. Flores Crespo R. La rabia, los murciélagos y el control de los hematófagos. *Ciencia Veterinaria*. Programa de Control de Vectores Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias, SARH. 1978;2:70.
24. Lord RD. Guía sobre estrategia ecológica para controlar la rabia bovina. *Ciencia Veterinaria*. 1981;2:78-101.
25. Thompson RD, Mitchell GC, Burns RJ. Vampire bat control by systemic treatment of livestock with an anticoagulant. *Science*. 1972;177(4051):806-8. Epub 1972/09/01.
26. Delpietro H, Nader AJ. La rabia de los hervíboros transmitida por vampiros en el noreste argentino. *Rev sci tech Off int Epiz*. 1988;8:177-87.
27. Schneider MC. Comments on models for studying human rabies outbreaks from bats. *Cad Saúde Públ*. 1995;11:291-304.
28. Mistry S, Moreno-Valdez A. Climate change, vampire bats, and rabies: Modelling range shifts on the US-Mexico border. 94th Ecological Knowledge and Society Annual Meeting; Albuquerque, New Mexico 2009.
29. Jiménez RJA. Alteraciones en la etología de los murciélagos hematófagos del género *Desmodus rotundus* y su papel en la transmisión de la rabia en México. XVI Reunión Internacional de Rabia en las Américas; Ontario, Canadá. 2005.
30. Quintana N H, Pacheco T V. Identificación y distribución de los murciélagos vampiros del Perú. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. 2007;24:81-8.
31. Crespo JA, Vanella BJ, Blood BJ, de Carlo JM. Observaciones ecológicas del vampiro *Desmodus rotundus* (Geoffroy) en el noroeste de Córdoba. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia"*. 1961:131-60.
32. Langguth A, Achaval F. Notas ecológicas sobre el vampiro *Desmodus rotundus* en el Uruguay. *Neotrópica*. 1972;18:45-53.

33. Arellano-Sota C. Control of bovine paralytic in Latin American and the Caribbean. *World Review Animal*. 2004;76:14.
34. Lord RD. Seasonal reproduction of vampire bats and its relation to seasonality of bovine rabies. *Journal of wildlife diseases*. 1992;28(2):292-4. Epub 1992/04/01.
35. Smith RL, Smith TM. *Ecology & field biology*. 6th ed. San Francisco: Benjamin Cummings; 2001. xviii, 771, 18, 31, 4, 19 p. p.
36. Bredt A, Araújo FA, Caetano-Jr J, Rodrigues MGR, Yoshikawa M, Silva MM. *Morcegos em áreas urbanas e rurais: manual de manejo e controle*. 2 ed: Brasília: Fundação Nacional de Saúde.; 1998. 117 p.
37. Gomes MN, Uieda U, Latorre MRDO. Influencia do sexo de individuos da mesma colonia no controle químico das populações do morcego hematófago *Desmodus rotundus* (Phyllostomidae) no Estado de Sao Paulo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2005;26(4):38-43.
38. Carter GG, Wilkinson GS. Food sharing in vampire bats: reciprocal help predicts donations more than relatedness or harassment. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society*. 2013;280(1753):20122573. Epub 2013/01/04.
39. Wilkinson GS. Food sharing in vampire bats. *Scientific American*. 1990;262:76-82.
40. Taddei AV, Goncalves CA, Pedro WA, Tadei WJ, Kotait I, Arieta C. Distribuição do morcego vampiro *Desmodus rotundus* no Estado de Sao Paulo e a raiva dos animais domésticos. Campinas: Coordenadoria de Assistencia Técnica Integral. 1991:107.
41. Dias RA, Nogueira-Filho VS, Telles ICO, Marques GHF, Ferreira F, Amaku M, et al. Modelo de risco circulação do vírus da raiva em herbívoros no Estado de São Paulo, Brasil. *Rev Panam Salud Pública*. 2011;30(4):370-6.
42. Sterner RT, Graham CS. Modelling wildlife rabies: Transmission, Economics, and Conservation. *Biological Conservation*. 2006;131:163-79.
43. Brito-Hoyos DM, Brito-Sierra E, Villalobos-Álvarez R. Distribución geográfica del riesgo de rabia de origen silvestre y evaluación de factores asociados con su incidencia en Colombia, 1982-2010. *Rev Panam Salud Pública*. 2013;33(1):8-14.

44. Delpietro HA, Lord RD, Russo RG, Gury-Dhomen F. Observations of sylvatic rabies in Northern Argentina during outbreaks of paralytic cattle rabies transmitted by vampire bats (*Desmodus rotundus*). *Journal of wildlife diseases*. 2009;45(4):1169-73. Epub 2009/11/11.
45. Brass DA. Rabies in bats : natural history and public health implications. 1st ed. Ridgefield, Conn.: Livia Press; 1994. xv, 335 p. p.
46. Fornes A, Lord RD, Kuns ML, Larghi OP, Fuenzalida E, Lazara L. Control of bovine rabies through vampire bat control. *Journal of wildlife diseases*. 1974;10(4):310-6. Epub 1974/10/01.
47. Lord RD. Observaciones sobre la epizootiología de la rabia en vampiros. *Boletim de la Oficina Sanitaria Panamericana*. 1977;82(2):498-505.
48. Greenhall AM, Schmidt U. Natural history of vampire bats. Boca Raton, Fla.: CRC Press; 1988. 246 p., 1 p. of plates p.
49. Silva JA, Moreira EC, Haddad JPA, Sampaio IBM, Modena CM, Tubaldini MAS. Uso de terracomo terminante da distribuição da raiva bovina em Minas Gerais, Brasil. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 2001;53(3):273-83.
50. Gomes MN, Monteiro AM, Nogueira VS, Goncalves CA. Áreas propícias para o ataque de morcegos hematófagos *Desmodus rotundus* em bovinos na região de São João da Boa Vista, Estado de São Paulo. *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2007;27(7):307-13.
51. Gomes MN, Monteiro AM, Lewis N, Goncalves CA, Filho Vde S. Landscape risk factors for attacks of vampire bats on cattle in São Paulo, Brazil. *Preventive veterinary medicine*. 2010;93(2-3):139-46. Epub 2009/12/17.
52. Hernández-Martínez J, Rebollar-Rebollar S, González-Razo FJ, Guzmán-Soria R, Albarrán-Portillo A, García-Martínez A. La cadena productiva de ganado bovino en el sur del Estado de México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 2011;15(29):672-80.
53. Geografía. INdEy, cartographer Marco Geoestadístico Nacional 2010 versión 5.0.A.: Instituto Nacional de Estadística y Geografía.; 2010.

54. Wakefield JC, Kelsall JE, Morris SE. Clustering, cluster detection and spatial variation in risk. In: Elliot P, Wakefield JC, Best NG, Briggs DJ, editors. Spatial epidemiology - Methods and applications. Oxford.: Oxford University Press.; 2000. p. 128-52.
55. Pfeiffer DU, Robinson TP, Stevenson M, Rogers DJ, Clements ACA. Spatial analysis in epidemiology. Oxford ; New York: Oxford University Press; 2008. xii, 142 p. p.
56. Kulldorff MA. A spatial scan statistic. Commun Statist Theory Meth. 1997;26(6):1481-96.
57. Mass JF, Velásquez JR, Díaz-Gallegos EF, Mayorga-Saucedo A, Alcántara C, Bocco G, et al. Monitoreo de los recursos forestales de México en las tres últimas décadas. Aplicaciones de geotecnologías para la ingeniería forestal. In: Disperati AA, dos Santos JR, editors. VI Seminario de actualización en sensores remotos y SIG aplicados a la ingeniería forestal 2004. p. 41-9.
58. Pineda-Jaimes NB, Bosque-Sendra J, Gómez-Delgado M. Cambios de la ocupación del suelo y análisis de transiciones sistemáticas en el Estado de México (México) mediante Tecnologías de la Información Geográfica. Comunicaciones del XI Coloquio Ibérico de Geografía; Alcalá de Henares, Madrid. España. 2008.
59. Pontius RG, Shusas E, McEachern M. Detecting important categorical land change while accounting for persistence. Agriculture, Ecosystems & Environment. 2004;101:251-68.
60. Montgomery D, Peck E, Vining G. Introducción al Análisis de Regresión Lineal. México D.F.: Compañía Editorial Continental.; 2005.
61. Pérez LC. Métodos estadísticos Avanzados con SPSS. Madrid, España.: Thomson.; 2005.
62. Thrusfield MV. Veterinary epidemiology. London ; Boston: Butterworths; 1986. viii, 280 p. p.
63. Turmelle AS, Jackson FR, Green D, McCracken GF, Rupprecht CE. Host immunity to repeated rabies virus infection in big brown bats. The Journal of general virology. 2010;91(Pt 9):2360-6. Epub 2010/06/04.

64. Voigt CC, Kelm DH. Host preference of the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) assessed by stable isotopes. *Journal of mammalogy*. 2006;87:1-6.
65. Delpietro HA, Marchevsky N, Simonetti E. Relative population densities and predation on the common vampire bat (*Desmodus rotundus*) in natural and cattle-rising areas in north-east Argentina. *Preventive veterinary medicine*. 1992;14(13-20).
66. Lord RD. Control of vampire bats. In: Greenhall AM, Schmidt U, editors. *Natural history of vampire bats*. Florida: CRC Press.; 1988. p. 215-26.
67. Trajano E. Movements of cave bats in southeastern Brazil, with emphasis on the population ecology on the common vampire bat, *Desmodus rotundus*. *Biotropica*. 1996;28(1):131-29.
68. Gomes MN, Uieda W. Abrigos diurnos, composição de colônias, dimorfismo sexual e reprodução do morcego hematófago *Desmodus rotundus* (E. Geoffroy) (Chiroptera, Phyllostomidae) no Estado de São Paulo, Brasil. . *Revta Bras Zool*. 2004;21:629-38.
69. Martinez-Burnes J, Lopez A, Medellin J, Haines D, Loza E, Martinez M. An outbreak of vampire bat-transmitted rabies in cattle in northeastern Mexico. *The Canadian veterinary journal La revue veterinaire canadienne*. 1997;38(3):175-7. Epub 1997/03/01.
70. Zaldivar-Gómez A, Arteaga-Troncoso G, Velázquez-Quiroz IR, Delgado-Urbina C, Ramírez-Hernández MD, Jiménez-Estrada JM. Space-time dynamics of attacks by hematophagous bats and geographic access to health care in a region of México. *XXIII Reunión Internacional de Rabia en las Américas*; Sao Paulo, Brasil 2012.
71. Human rabies from exposure to a vampire bat in Mexico --- Louisiana, 2010. *MMWR Morbidity and mortality weekly report*. 2011;60(31):1050-2. Epub 2011/08/13.
72. Malaga Alba A, Campillo Sainz C. [Human rabies transmitted by bats; confirmation of the first case in Mexico]. *Boletin de la Oficina Sanitaria Panamericana Pan American Sanitary Bureau*. 1957;42(6):567-70. Epub

1957/06/01. Rabia humana transmitida por murcielagos; confirmacion del primer caso en Mexico.

73. Delpietro HA, Russo RG. [Ecological and epidemiologic aspects of the attacks by vampire bats and paralytic rabies in Argentina and analysis of the proposals carried out for their control]. *Revue scientifique et technique*. 1996;15(3):971-84. Epub 1996/09/01. Aspectos ecologicos y epidemiologicos de la agresion del vampiro y de la rabia paralitica en la Argentina y analisis de las propuestas efectuadas para su control.

74. Ferraz C, Achkar SM, Kotait I. First report of rabies in vampire bats (*Desmodus rotundus*) in an urban area, Ubatuba, Sao Paulo state, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de Sao Paulo*. 2007;49(6):389-90. Epub 2007/12/25.

75. Condori-Condori RE, Streicker DG, Cabezas-Sanchez C, Velasco-Villa A. Enzootic and epizootic rabies associated with vampire bats, peru. *Emerging infectious diseases*. 2013;19(9). Epub 2013/08/24.

76. Streicker DG, Recuenco S, Valderrama W, Gomez Benavides J, Vargas I, Pacheco V, et al. Ecological and anthropogenic drivers of rabies exposure in vampire bats: implications for transmission and control. *Proceedings Biological sciences / The Royal Society*. 2012;279(1742):3384-92. Epub 2012/06/15.