



AGOSTO 2003

AGROFAZ

ISBN: 968-6404-65-1

Calibración de modelos para estimar la radiación solar. 359
Ma. Magdalena Villa Castorena y Ernesto A. Catalán Valencia

IV. EXPLOTACIÓN RACIONAL Y MONITOREO DE ECOSISTEMAS

Predicción de la biomasa aérea de cuatro especies arbustivas del semidesierto en la Comarca Lagunera. 365
Celso Manuel Valencia Castro, Humberto Sánchez Martínez, Jesús José Quiñones Vera y Juan José Martínez Ríos

Modelo probabilístico de la distribución geográfica del matorral subterme en la reserva de la biósfera de Mapimí, Durango, México. 373
Juan José Martínez Ríos, Celso Manuel Valencia Castro, Edmundo Castellanos Pérez y Alejandro Martínez Ríos

V. INDUSTRIALIZACIÓN DE PRODUCTOS AGROPECUARIOS

Elasticidad, rendimiento y nivel de agrado en queso asadero con diferentes concentraciones de leche de soya. 381
Claudia Recio G. y Patricia Ramírez Baca

VI. FISIOLOGÍA VEGETAL

Micromorfología de la epidermis foliar de *Agave tequilana* Weber. 387
Rosa Elia Margarita Hernández Valencia, Rosamaria López Franco y Adalberto Benavides Mendoza

Bacillus subtilis inmovilizado en espumadas biodegradables para modificar las respuestas al estrés salino en hortalizas. 397
Gabriela Padrón Gamboa, Marcos González Castro, Adalberto Benavides Mendoza y Jorge Romero García

VII . RECURSOS FORESTALES

Sobrevivencia y crecimiento de cinco especies de pino bajo tratamientos a la vegetación en Arteaga, Coahuila. 407
José Luis Sámano Díaz, Luis Mario Torres Espinoza, Antonio Cano Pineda, Eduardo Aldrete Menchaca y Eladio Heriberto Cornejo Oviedo

VIII . EDUCACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA

Fundamentos técnicos y lingüísticos para la redacción de artículos científicos. 415
Raquel Anguiano Gallegos, Rodolfo Jasso Ibarra, Rafael Zúñiga Tarango y María Concepción Silos Calzada

MODELO PROBABILÍSTICO DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DEL MATORRAL SUBINERME EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA DE MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO

Geographical Distribution and Probability Model of Desert Schrubbs at Mapimi Biosphere Reserve

Juan José Martínez Ríos¹, Celso Manuel Valencia Castro¹, Edmundo Castellanos Pérez¹ y Alejandro Martínez Ríos¹

¹Universidad Juárez del Estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Apartado Postal 1-142, Gómez Palacio, Durango, México, C. P. 35000. Tel. (871) 7-11-89-18. E-mail: martinez@taipan.nmsu.edu

RESUMEN

Las especies arbustivas del altiplano semidesértico de México son un componente esencial del ecosistema árido que contribuyen a la estabilidad del mismo, y auxilian en la fijación del carbono en estas regiones en forma de calcita (CaCO_3) ayudando en cierta forma a mitigar el efecto de invernadero que se presenta de manera alarmante en algunas áreas del globo terráqueo. El objetivo de este trabajo fue el de obtener un mapa probabilístico de ocurrencia de matorral subinorme en base a variables edáficas, así como de la pendiente topográfica y el aspecto, mediante un sistema de información geográfica (GIS) y un modelo de regresión logística múltiple (LMR). El estudio se realizó en la reserva de la biosfera de Mapimí, Durango, México. El área de trabajo se centró a los 26°37' N y a los 103°50' W, considerando una extensión de 15' de latitud por 20' de longitud (extensión carta INEGI a escala 1:50,000 clave G13B64). Se utilizaron los resultados de los análisis de suelo de 36 puntos de muestreo georreferenciados (distribuidos dentro del área de estudio) mediante un sistema de información geográfica, y se calcularon los valores para toda el área mediante interpolación basados en la técnica IDW (Inverse Distance Weighted). A partir de esto se generaron mapas digitales de superficies continuas (raster a 30 m por píxel) en los temas: Porcentaje de sodio Intercambiable (PSI), conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica, calcio, magnesio, potasio, fósforo, arena, limo y arcilla. También se incluyó la profundidad de suelo, la pendiente y el aspecto, calculando estas últimas mediante un modelo digital de elevación (DEM). Posteriormente, se generaron 200 puntos de muestreo aleatorio en el

mapa digital de vegetación para aquellas zonas clasificadas como 'matorral subinorme'; de la misma forma se seleccionaron otros 200 puntos al azar en las áreas clasificadas como 'no subinormes'. Se construyó una matriz con 400 observaciones conteniendo las 14 variables, señalando de manera dicotómica (1 presencia; 0 ausencia) la ocurrencia de matorral subinorme dentro de los puntos de muestreo. Los resultados mostraron que las únicas variables independientes que lograron el nivel de significancia en el modelo ($P < 0.05$) fueron la materia orgánica (<0.0001), el fósforo (0.0001) y el pH (0.0239). Los valores de los parámetros estimados del modelo de regresión fueron: intercepto (10.5748); pH (-1.5583); materia orgánica (2.3055) y el fósforo (0.1550). El modelo resultante para estimar la ocurrencia de orégano fue $p = \frac{e^{10.5748 - 1.5583[\text{pH}] + 2.3055[\text{M.O.}\%] + 0.1550[\text{Fósforo}]}}{1 + e^{10.5748 - 1.5583[\text{pH}] + 2.3055[\text{M.O.}\%] + 0.1550[\text{Fósforo}]}}$. El modelo anterior fue aplicado, en el GIS, a los mapas digitales respectivos para obtener el mapa de probabilidad de ocurrencia de matorral subinorme, seleccionando aquellas regiones con $p > 0.8$ dentro del área de estudio como las factibles de encontrar los matorrales en cuestión, mostrando buena concordancia con lo observado en campo. Con base en lo anterior, es posible concluir que los sistemas tipo GIS son una herramienta útil para determinar la probabilidad de ocurrencia de una especie vegetal en base a determinaciones de parámetros de suelo, de pendiente y aspecto. Señalando que la implementación y la utilización de este tipo de sistemas se convierte en una prioridad para la toma acertada de decisiones en la planeación y manejo de los recursos terrestres.

Palabras clave: GIS, regresión logística, mapa de probabilidad.

SUMMARY

The shrub species from Mexico's arid lands are an essential part of the arid ecosystem that helps in the carbon sequestration process (e.g. calcite -CaCO₃) in the soil, helping to mitigate the greenhouse effect that is present in dangerous levels in some parts of the globe. This research, focuses on developing a Logistic Multiple Regression (LMR) model for predicting the occurrence of shrubland. This model used a geographic information system (GIS) to analyze some soil and terrain variables that influence the shrubland growth and distribution. The research was carried out at Mapimi Biosphere Reserve in Mexico (central coordinates 26°37' N and 103°50' W). The study area considered an extension of 15' latitude and 20' longitude, corresponding to the one that has the cartographic unit, scale 1:50,000, published by INEGI (key G13B64). The information of 36 georegistered soil samples distributed randomly in the study area were used to calculate, through the interpolation technique called IDW (30 m per pixel), the digital maps with continuous surfaces for 12 soil variables, that included: ESP, EC, pH, organic matter, calcium, magnesium, potassium, phosphorus, the content of sand, silt and clay, as well as soil depth. Additionally, terrain variables like slope and aspect were also considered, being calculated from a Digital Elevation Model. Furthermore, 200 sampling points were randomly generated in the GIS system on the vegetation map for those areas classified as 'shrubland'. Additionally, another 200 randomly generated points were created for those regions classified as 'no shrubland'. Finally, a matrix data was constructed containing the 400 observations that included the 14 variables above mentioned, where those points with the shrubland presence were coded as '1' whereas all those points where the shrubland was not found where coded as '0'. A regression analysis was performed using SAS Proc Logistic. The results established that the only independent variables that showed statistical significance ($P < 0.05$) were the organic matter (<0.0001); the phosphorus content (0.0001); and the pH (0.0239). The parameter estimated were: intercept (10.5748); pH (-1.5583); organic matter (2.3055); and the phosphorus (0.1550). The

resulting model to predict the occurrence of shrubland was the following:

$$p = \frac{e^{10.5748-1.5583[\text{pH}]+2.3055[\text{OM}\%]+0.1550[\text{Phosphorus}]}}{1+e^{10.5748-1.5583[\text{pH}]+2.3055[\text{OM}\%]+0.1550[\text{Phosphorus}]}}$$

This model was applied to the geographic database containing the digital maps to obtain a general map showing the probabilities of shrubland occurrence. Finally, a map query was performed to locate those regions where the probability was bigger than 0.80 showing good agreement to observations in field. Based upon these results, it is possible to conclude that GIS along with LMR are a good tools to estimate the probability to find some vegetal species, which can be helpful when taking decisions regarding the planning and management of natural resources.

Key words: GIS, logistic multiple regression, probability map.

INTRODUCCIÓN

Las especies arbustivas del altiplano semidesértico de México son un componente esencial del ecosistema árido que contribuyen a la estabilidad del mismo, y auxilian en la fijación del carbono en estas regiones en forma de calcita (CaCO₃) o 'caliche', ayudando en cierta forma a mitigar el efecto de invernadero que se presenta de manera alarmante en algunas áreas del globo terráqueo (Monger y Martínez, 2001).

Dentro del Desierto Chihuahuense existen especies naturales adaptadas a este tipo de condición climática, las cuales están sujetas a altas presiones de pastoreo y cuya explotación no controlada contribuye a desestabilizar el entorno ecológico (Lal, 2001).

Una asociación de vegetación muy común en el altiplano desértico de México es el matorral subinermes, definida ésta como una comunidad compuesta por plantas espinosas o inermes cuya proporción de unas a otras es mayor del 30 por ciento y menor del 70 por ciento (INEGI, 1990).

La distribución geográfica de estas arbustivas ha sido estudiada en forma aislada y sin considerar los diferentes factores que caracterizan su distribución (Castellanos, 1985; Valdés, 1989). Sin embargo, es bien sabido que la distribución espacial de algunas de estas plantas

está sujeta a varios factores entre los que destacan las propiedades físicas del suelo (textura, estructura y permeabilidad, entre otros) así como las características químicas del mismo, como la salinidad y sodicidad (Schlesinger, 1991).

Debido a lo anterior, en las zonas áridas y semiáridas del país es importante contar con inventarios de recursos naturales actualizados, por lo que se hace necesario generar información dinámica de la ubicación de estos recursos que permita su explotación racional y que coadyuven al desarrollo regional dentro de una perspectiva ecológica sin riesgos para el entorno natural.

El objetivo de este trabajo fue obtener un mapa probabilístico de ocurrencia de matorral subíbermo, considerando algunas determinaciones físicas y químicas del suelo, incluyendo el gradiente topográfico, con apoyo de un sistema de información geográfica (GIS) y un modelo de regresión logística múltiple (LMR).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se realizó durante el otoño de 2002 utilizando la base de datos geográfica conformada por información que se obtuvo desde 1997 en la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

Ubicación

La reserva se localiza en la parte norte de la República Mexicana, en la parte sur del Desierto Chihuahuense. Se ubica próxima al vértice formado por los límites de los estados de Durango, Chihuahua y Coahuila, entre los paralelos 26° 29' y 26° 52' latitud norte; y los meridianos 103° 32' y 103° 58' longitud oeste. El área de influencia comprende aproximadamente 108,000 ha, siendo el área principal de 38,000 ha (Breimer, 1984; Montaña, 1988).

Área de estudio

El área específica de este estudio comprendió un extensión de 919.36 km² (91,936 ha), se localiza al norte del estado de Durango, cercano al límite estatal con los estados de Chihuahua y Coahuila. La mayor parte del área se localiza dentro del municipio de Mapimí, Durango. Sus coordenadas geográficas (INEGI, 1991) son:

latitud 26°30' a 26°45' N; y longitud 103°40' a 104°00' W.

Clima

El Clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por E. García (CETENAL-UNAM, 1970) es tipo Bwhw(e) el cual es considerado como seco-desértico; el área presenta una precipitación media anual de 264.2 mm. El 72 por ciento de la precipitación anual se presenta de junio a septiembre, mientras que el número de días lluviosos por año es sólo de 47 (Breimer, 1984; Cornet, 1988).

Referente a la temperatura, el área de la reserva muestra una curva típica sinusoidal con su cresta máxima en junio/julio, y con su depresión (valle) en enero. De acuerdo con Cornet (1988) el área tiene una temperatura media anual de 20.3 °C, mostrando un promedio de temperatura de 12 °C en enero y de 28.1 °C en julio.

Geología

El material parental de suelo predominante es el aluvial, originado en el período cuaternario (INEGI, 1993). El material geológico de la zona consiste en rocas ígneas como la riolita y el basalto; así como rocas sedimentarias principalmente como la arenisca y la caliza (INEGI, 1981).

Según Breimer (1988) el área de la reserva puede dividirse geológicamente en cuatro áreas: el área calcárica del Este, la zona de areniscas del Norte, las zonas Oeste y central dominadas por rocas volcánicas y conglomerados, y finalmente el área de playa sedimentaria.

Suelos

De acuerdo al sistema de clasificación de suelos de la FAO-UNESCO, modificado por DETENAL, los tipos de suelos más comunes encontrados en el área son el Litosol, Regosol, Yermosol, Solonchak, Xerosol y el Fluvisol (INEGI, 1977).

Vegetación

Algunos estudios ecológicos realizados en el área (Martínez y Morello, 1977; Breimer, 1984; Montaña, 1988) establecen que la vegetación dominante en el área consiste de especies

arbustivas del desierto, entre las que destacan *Fouquieria splendens* (ocotillo), *Agave lechuguilla* (Lechuguilla), *Opuntia spp.* (nopal/cardenche), *Larrea tridentata* (gobernadora), *Prosopis spp.* (mezquite). Además, es posible encontrar en el área algunos pastos como *Hilaria mutica* (zacate toboso), y *Sporobolus airoides* (zacatón alcalino).

Metodología

Para la adquisición y ubicación de los datos edafológicos en el área de estudio se utilizó la información reportada previamente por el INEGI (carta La Flor, clave G13B64) como puntos de muestreo en sus cartas edafológicas, las cuales fueron ubicados y digitalizados como tema puntual dentro del GIS, generando a la vez su tabla de atributos. Asimismo, se realizaron muestreos de campo en el área de estudio para complementar la información de aquellas zonas con información limitada; los puntos de estos nuevos muestreos fueron ubicados geográficamente mediante el uso de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) marca Garmin modelo GPS45XL sin corrección diferencial. La digitalización de los mapas temáticos se realizó mediante el uso de una tableta digitalizadora del tipo Drawingboard II. Los puntos de muestreo resultantes fueron 36 y se presentan en la Figura 1.

Se utilizaron los resultados de los análisis de suelo de los 36 puntos de muestreo y se calcularon los valores para toda el área de estudio mediante interpolación con la técnica denominada IDW (ESRI, 1997). A partir de esto se generaron mapas digitales de superficies continuas (tipo raster a 30 m por píxel) en los temas: Porcentaje de sodio intercambiable (PSI %), conductividad eléctrica (CE en dSm^{-1}), pH, materia orgánica (%), calcio ($\text{cmol}[+]/\text{Kg}$), magnesio ($\text{cmol}[+]/\text{kg}$), potasio ($\text{cmol}[+]/\text{kg}$), fósforo ($\text{cmol}[+]/\text{kg}$), arena (%), limo (%) y arcilla (%). También se incluyó la profundidad de suelo (cm), la pendiente (grados) y el aspecto topográfico, calculando estas últimas en el sistema de información utilizando un modelo digital de elevación (DEM) adquirido del programa NALC (North American Land Characterization, del programa NASA/Pathfinder Program (Lunetta, et al., 1993)

La extensión de los mapas digitales en formato raster fue de 916 renglones por 1116 columnas. Posteriormente, se generaron 200 puntos de muestreo aleatorio en el mapa digital de vegetación para aquellas zonas clasificadas como 'matorral subinerme' (Figura 2); de la misma forma se seleccionaron otros 200 puntos al azar en las áreas clasificadas como 'no-subinerme' (Figura 3). Finalmente se construyó una matriz de datos conteniendo las 400 observaciones para las 14 variables, señalando de manera dicotómica (1 presencia; 0 ausencia) la ocurrencia de matorral subinerme dentro de los puntos de muestreo. El análisis de los datos se realizó utilizando el programa SAS® mediante el procedimiento LOGISTIC (Cody y Smith, 1997) con selección de variables.

Aplicación del Modelo de Predicción Basado en el Análisis de Regresión Logística Múltiple (LMR)

El análisis de regresión múltiple logística permite el uso de variables dicotómicas (binarias) y de valores escalares como variables independientes, lo cual permite el uso de aquellas variables que no son continuas o son derivadas cualitativamente. Además, debido a que la probabilidad estimada (P) siempre varía entre 0 y 1, es posible producir una superficie probabilística, a diferencia de los modelos de regresión lineal donde los valores de probabilidad pueden caer fuera del rango de 0 y 1.

La técnica de regresión múltiple logística permite obtener coeficientes para cada variable, basados en los datos obtenidos en los muestreos realizados a lo largo del área de estudio. Estos coeficientes sirven como 'ponderadores' en un algoritmo que puede utilizarse en una base de datos geográfica tipo GIS para producir un mapa que muestre la probabilidad de que la especie o vegetación de interés se desarrolle.

La regresión múltiple logística (LMR) permite identificar las variables importantes en la predicción de una ocurrencia, al definir la presencia o ausencia de tal ocurrencia como una variable dependiente dicotómica (Narumalani, et al., 1997).

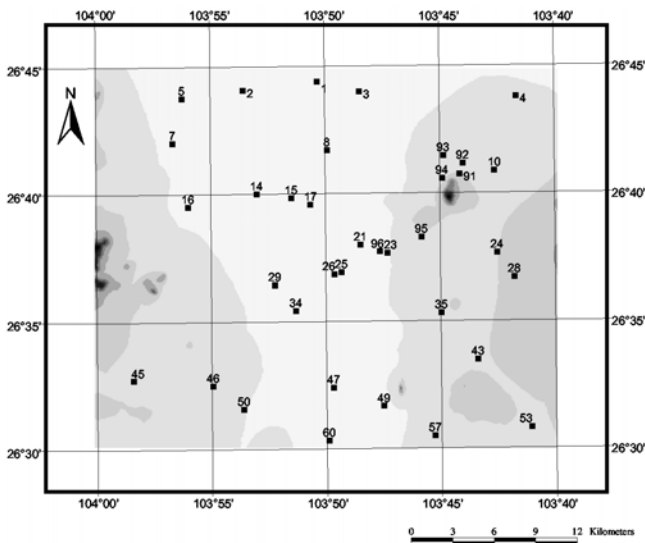


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo edafológicos dentro del área de estudio, 1997.

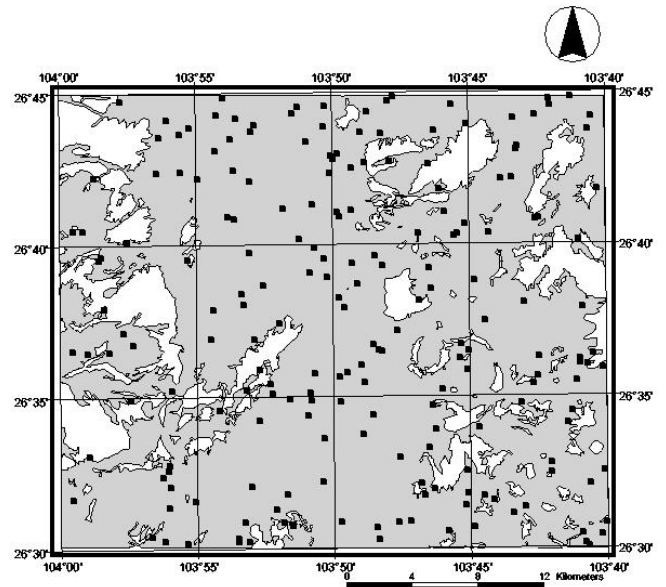


Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en las zonas con vegetación tipo 'no-subierme' dentro del área de estudio, 2002.

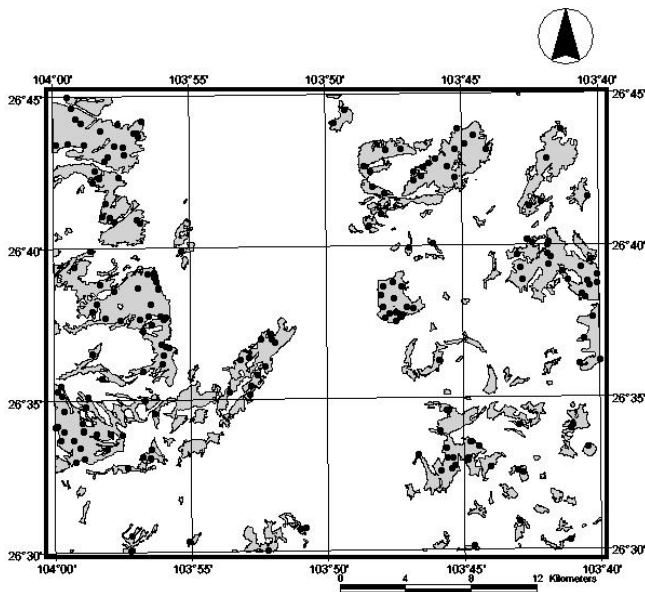


Figura 2. Ubicación de los puntos de muestreo en las zonas con vegetación del tipo 'matorral subierme' dentro del área de estudio, 2002.

Pereira e Itami (1991) utilizaron regresión múltiple logística para modelar el hábitat de la ardilla roja en el Monte Graham, Arizona, E.U.A. y obtuvieron buenos resultados en el desarrollo de modelos multivariados predictivos.

De la misma forma Luoto y Seppala (2002) utilizaron la técnica de regresión múltiple logística y GIS en Finlandia para ubicar geográficamente palsas (aglomeraciones de materia orgánica congeladas permanentemente) en base a variables ambientales derivadas de datos de uso del terreno y modelos de elevación digital, obteniendo un modelo probabilístico capaz de predecir la ocurrencia de palsas en un 97.67 por ciento en un área de 300 km². Entre otros estudios realizados que también han utilizado GIS y LMR para generar modelos predictivos de ocurrencia destacan Monkkonen *et al.* 1997; Mladenoff y Sickley 1998; Mace *et al.* 1999; Meyer y Martínez-Casanovas 1999; Koutsias y Karteris 2000; Loyn *et al.* (2001); Fleishman *et al.* (2001); Gross *et al.* (2002).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el análisis estadístico mediante el procedimiento LOGISTIC para obtener el modelo probabilístico con selección de variables, los resultados mostraron que las únicas variables independientes que lograron el nivel de significancia ($P > 0.05$) para ser incluidas en el

modelo final fueron la materia orgánica (<0.0001), el fósforo (0.0001) y el pH (0.0239). Los valores de los parámetros estimados del modelo de regresión fueron: intercepto (10.5748); pH (-1.5583); materia orgánica (2.3055) y el fósforo (0.1550).

En los resultados del análisis estadístico también se encontró que la tabla de clasificación obtenida arrojó un nivel de sensibilidad del 71.2 por ciento para un nivel de probabilidad de 0.5, es decir, el modelo obtenido que incluye el intercepto, el contenido de materia orgánica, el contenido de fósforo (P) y el pH puede predecir niveles de probabilidad de ocurrencia de matorral subierme al 0.6 con un 71.2 por ciento de confiabilidad.

El modelo probabilístico final quedó conformado de la siguiente manera:

$$p = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1(pH) + \beta_2(M.O.) + \beta_3(Fosforo)}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1(pH) + \beta_2(M.O.) + \beta_3(Fosforo)}}$$

$$p = \frac{e^{10.5748 - 1.5583(pH) + 2.3055(M.O.) + 0.1550(Fosforo)}}{1 + e^{10.5748 - 1.5583(pH) + 2.3055(M.O.) + 0.1550(Fosforo)}}$$

donde:

$$e = 2.7182818$$

Nota: el valor de la materia orgánica debe expresarse en porcentaje, y el contenido de fósforo en cmol/kg.

El modelo anterior fue aplicado, en el sistema de información geográfica GIS (ArcView® / Spatial Analyst®), a los mapas digitales de superficies respectivos con el fin de obtener el mapa digital que mostrase la probabilidad general de ocurrencia del matorral (Figura 4). Posteriormente se realizó una búsqueda en el mapa de probabilidad general para ubicar o seleccionar aquellas regiones con niveles de probabilidad > 0.8 dentro del área de estudio como factibles de encontrar la arbustiva de interés (Figura 5).

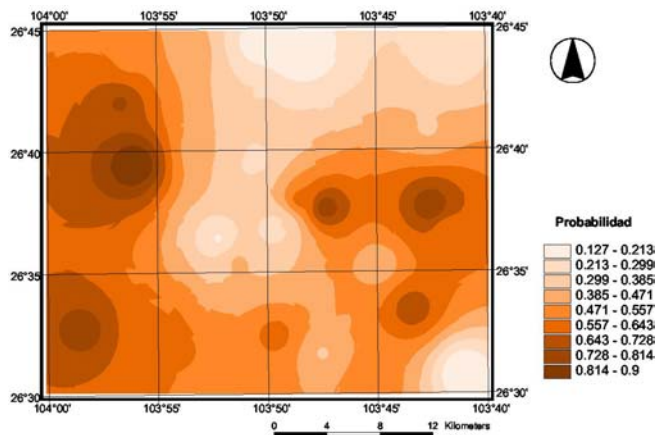


Figura 4. Mapa de probabilidad general en el área de estudio (las áreas más oscuras indican mayor probabilidad de localizar los matorrales), 2002.

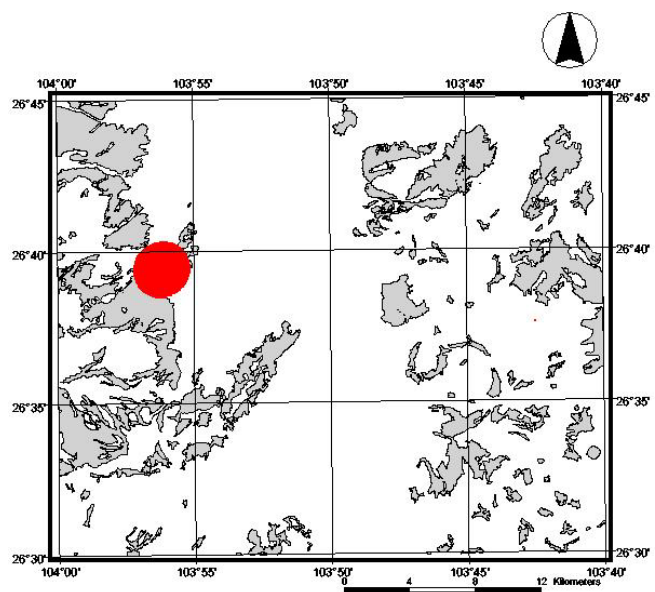


Figura 5. Mapa de probabilidad mayor a 0.80 en el área de estudio (área circular localizada a la izquierda del mapa digital), 2002.

CONCLUSIONES

El análisis de regresión logística múltiple (LMR) con selección de variables demostró ser una herramienta con potencial adecuado para obtener modelos de probabilidad mediante el uso de GIS al encontrar que, definitivamente en base a

las características fisiológicas de los matorrales subinermes (desarrollo radicular, biomasa aérea, etc). El modelo sugiere que estos se desarrollan preferentemente en aquellos lugares donde existe o se desarrolló pastizal nativo, lo que generalmente puede traer consigo un enriquecimiento con materia orgánica (m.o.) del horizonte superficial de suelo (Horizonte A) formando así un epipedon mólico (Soil Survey Staff, 1996). Lo cual también explicaría en cierta forma la modificación o reducción del nivel de pH que es netamente alcalino en esos sitios.

Si bien es cierto que en los recorridos de campo se pudo observar el desarrollo de estos matorrales también en suelos clasificados como Haplargids y Torriorthents (Soil Survey Staff, 1996) el modelo sólo toma en cuenta las variables mencionadas, además del contenido de fósforo, coincidiendo sus resultados en cierta medida con el mapa digital de vegetación para las zonas marcadas como con vegetación tipo matorral subinermes.

Referente al modelo final obtenido, pudo observarse que el número de muestreos realizados en el campo juega también un rol importante en el análisis, ya que entre mayor sea el número de muestras edáficas y mejor sea su distribución en el terreno de estudio, facilitará y ayudará a que el proceso de interpolación sea más fidedigno y apegado a la realidad. Se sugiere probar con otras técnicas de interpolación diferentes al IDW como el Krigging que pudiesen ofrecer otra perspectiva de análisis.

Finalmente se sugiere que el estudio podría beneficiarse al incluir un análisis multivariado o análisis de componentes principales (ACP) de la base de datos, con la finalidad de poder localizar y seleccionar los datos que más aportan a la varianza y, de esa forma, quitar u omitir aquellos datos que no aportan o revisten relevancia en el análisis y que por el contrario generan redundancia.

En base a lo anterior, es posible concluir que los sistemas de información geográfica (GIS) son una herramienta útil para determinar la probabilidad de ocurrencia de una especie vegetal en base a determinaciones de parámetros de suelo, de pendiente y aspecto. Señalando que la implementación y la utilización de este tipo de

sistemas se convierte en una prioridad para la toma acertada de decisiones en la planeación y manejo de los recursos terrestres.

LITERATURA CITADA

- Breimer, R.F. 1984. Soil and landscape survey of the Mapimi Biosphere Reserve, Durango, Mexico. UNESCO-MAB, Instituto de Ecología, A.C., México, 128 p.
- Castellanos P., E. 1985. Identificación, clasificación y descripción de las arbustivas del campo experimental Apantita, Durango. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.
- CETENAL-UNAM. 1970. Carta de climas, escala 1:500,000, Instituto de Geografía, México.
- Cody, R. P. and J.K. Smith. 1997. Applied statistics and the SAS programming language. Fourth edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 445 p.
- Cornet, A. 1988. Principales características climáticas, *In*: C. Montaña, ed., Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí: Instituto de Ecología, México, p. 45-76.
- ESRI. 1997. Working with the ArcView spatial analyst. ESRI Educational Services, 5, 12-5, 16.
- Fleishman, E., R. Mac Nally, J. P. Fay and D.D. Murphy. 2001. Modeling and predicting species occurrence using broad-scale environmental variables: an example with butterflies of the Great Basin Conservation Biology, 15 (6): 1674-1685.
- Gross, J.E., M.C. Kneeland, and D.F. Reed. 2002. GIS-based habitat models for mountain goats. *Journal of Mammalogy*, 83 (1): 218-228.
- INEGI. 1977. Carta edafológica: La Flor, clave G13B64, escala 1:50,000, 1a. impresión, México.
- INEGI. 1981. Carta geológica: La Flor, clave G13B64, escala 1:50,000, 1a. impresión, México.
- INEGI. 1990. Guías para la interpretación de Cartografía. Uso del suelo. 2da. Reimpresión. Ags. México. 48 p.
- INEGI. 1991. Carta topográfica: La Flor, clave G13B64, escala 1:50,000, 3a. impresión.
- INEGI. 1993. Carta geológica: Chihuahua, escala 1:1000,000, 1a. impresión, México.
- Koutsias, N. and M. Karteris. 2000. Burned area mapping using logistic regression model of a single postfire Landsat 5 Thematic mapper image. *International Journal of Remote Sensing*. 21 (4): 673-687.

- Lal, R. 2001. Soil erosion and carbon dynamics on grazing land, In: Follet, Kimble, and Lal, The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Soil Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, CRC Press. pp 231-247.
- Loynd, R.H., E. G. MacNabb, L. Volodina, R. Willig. 2001. Modelling landscape distributions of large forest owls as applied to managing forests in north-east Victoria, Australia. *Biological Conservation*. 97(3):361-376.
- Luotto, M. y M. Seppala. 2002. Modeling the distribution of palsas In: Finnish lapland with logistic regression and GIS. *Permafrost and periglacial processes*. 13 (1): 17-28.
- Lunetta, R.S., J. G. Lyon, J. A. Sturdevant. 1993. North American Landscape Characterization (NALC) Research Plan. EPA/600/R-93/135, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. 419 p.
- Mace, R.D., J.S. Waller, T.L. Manley, K. Ake, and W.T. Wittinger. 1999. Landscape evaluation of grizzly bear habitat in western Montana. *Conservation Biology*. 13(2):367-377.
- Martinez, O., y J. Morello. 1977. El medio físico y las unidades fisionómico-florísticas del Bolsón de Mapimí, Instituto de Ecología, Publicación 3. Méx.
- Meyer, A. and J.A. Martínez-Casnovas. 1999. Prediction of existing gully erosion in vineyards parcels of the NE Spain: a logistic modeling approach. *Soil & Tillage Research*. 50(3-4):319-331.
- Mladenoff, D.J. and T.A. Sickley. 1998. Assessing potential gray wolf restoration in the northeastern United States: A spatial prediction of favorable habitat and potential population levels. *Journal of Wildlife Management*. 62(1):1-10.
- Monger, H.C., and J. J. Martinez R. 2001. Inorganic carbon sequestration in grazing lands, In: Follet, Kimble, and Lal, The Potential of U.S. Grazing Lands to Sequester Soil Carbon and Mitigate the Greenhouse Effect. Lewis Publishers, CRC Press. pp 87-118.
- Monkkonen, L., P. Reunanen, A. Nikula, J. Inkeroinen and J. Forsman. 1997. Landscape characteristics associated with the occurrence of the flying squirrel *Pteromys volans* in old-growth forest of northern Finland. *Ecography*. 20(6):634-642.
- Montaña, C. 1988. Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimí. México. Instituto de Ecología, Publicación 23. México.
- Narumalani, S., J. Jensen, J. D. Althausen, S. Burkhalter, and H. E. Mackey. 1997. Aquatic macrophyte modeling using GIS and logistic multiple regression. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*. 63(1):41-49.
- Pereira, J.M.C. and R.M. Itami. 1991. GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression: A study of the Mt. Graham Red Squirrel. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 57(11):1475-1486.
- Soil Survey Staff. 1996. Keys to soil taxonomy, seventh edition. U.S. Dept. of Agriculture. National Resources Conservation Service. 644 p.
- Schlesinger, W.H. 1991. Biogeochemistry: an analysis of global change. Academic Press. 443 p.
- Valdés G., J. A. 1989. Atributos nutricionales de seis plantas arbustivas de Apantita, Durango. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Agricultura y Zootecnia. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.