

MODELO DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICO-ESPACIAL DEL ORÉGANO (*Lippia graveolens* H.B.K.) EN LA RESERVA DE LA BIÓSFERA DE MAPIMÍ, DURANGO, MÉXICO

Modeling and Spatial Distribution of Oregano (*Lippia graveolens* H.B.K.) at Mapimí Biosphere Reserve in Durango, Mexico

Juan José Martínez Ríos¹, Edmundo Castellanos Pérez¹, Celso Manuel Valencia Castro¹
y Jesús José Quiñones Vera¹

¹Maestros investigadores de la División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango, México. Apartado Postal 1-142, Gómez Palacio, Durango, México. CP 35000. Tel. (871)711-8918
E-mail: jmartinez_rios@prodigy.net.mx

RESUMEN

El Orégano es una planta del semidesierto de México utilizada con fines culinarios y medicinales. El objetivo fue obtener un mapa probabilístico de la distribución del Orégano basado en variables edáficas y del terreno, mediante un sistema de información geográfica (GIS) y un modelo de regresión logística múltiple. El trabajo se realizó en la reserva de la biosfera de Mapimí, Durango (26°37' N; 103°50' W) considerando una extensión de 919 km². Se realizaron muestreos edafológicos referenciados geográficamente para calcular los valores edáficos en toda el área mediante interpolación. Se generaron mapas para los temas: Porcentaje de Sodio Intercambiable, Conductividad eléctrica, pH, Materia orgánica, Calcio, Magnesio, Potasio, Fósforo, Arena, Limo y Arcilla, profundidad de suelo, se incluyó también la pendiente y el aspecto topográfico. Se levantaron 50 puntos de muestreo de vegetación aleatoriamente construyendo una matriz con 50 observaciones para las 14 variables señalando dicotómicamente la presencia (1) ó ausencia (0) de Orégano en el punto de muestreo. Las variables con significancia en el modelo ($P < 0.05$) fueron la pendiente (0.0037) y el contenido de arena (0.0171). Los valores de los parámetros estimados del modelo de regresión fueron: intercepto (5.2350); pendiente (0.2424); y la arena (-0.1632). El modelo resultante para estimar la ocurrencia de orégano fue $p = (e^{5.2350 + 0.2424[\text{pendiente}] - 0.1632[\text{arena \%}]}) / (1 + e^{5.2350 + 0.2424[\text{pendiente}] - 0.1632[\text{arena \%}]})$. En base a lo anterior se señala que la implementación y la utilización de estos sistemas son una prioridad para la toma acertada de

decisiones en la planeación y manejo de los recursos terrestres.

Palabras clave: Orégano, *Lippia*, GIS, Regresión logística, Mapa probabilístico.

SUMMARY

The Oregano is a desert shrub used in Mexico with several purposes. The objective of this research was to develop a Logistic Multiple Regression (LMR) model for predicting the spatial distribution of Oregano based upon some soil and terrain variables on a GIS system. The research was carried out at Mapimí Biosphere Reserve (26°37' N; 103°50' W) considering an extension of 919 km². The information of 36 georegistered soil samples randomly distributed was used to calculate the complete area by interpolation. The digital maps for the twelve soil variables 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 included. Fifty sampling points for vegetation were taken in the area to construct a matrix data containing the fifty observations for the 14 variables above mentioned. The presence/absence of Oregano was coded as '1' and '0' respectively. Finally, a Logistic regression analysis was performed. The results established that the only independent variables with statistical significance ($p < 0.05$) were the slope (0.0037) and the sand content (0.0171). The parameter estimated were: intercept (5.2367), slope (0.4271) and the sand (-0.1633). The resulting model to predict the

presence of Oregano was $p = (e^{5.2350 + 0.2424[\text{pendiente}] - 0.1632[\text{arena \%}]}) / (1 + e^{5.2350 + 0.2424[\text{pendiente}] - 0.1632[\text{arena \%}]})$. It is concluded that GIS and LMR are a good tools to estimate the spatial distribution of some vegetal species, which is helpful in decision making for natural resources management.

Key words: GIS, Oregano, Lippia, Logistic Multiple regression, Probability map.

INTRODUCCIÓN

En México la vegetación tipo matorral xerófilo ocupa aproximadamente un 40% de su territorio. Dentro de este tipo de vegetación, especialmente en la parte norte del país, predomina el matorral micrófilo, cuya extensión abarca el 20.7% de toda la superficie (Rzedowski, 1978). El Desierto Chihuahuense se extiende desde la parte norte-centro de México y centro-sur de Estados Unidos de América (Schmidt, 1979), en él 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). De entre estas especies vegetales, sobresale el Orégano (*Lippia graveolens*) como una planta de importancia, por sus múltiples usos culinarios, medicinales e industriales.

En México, la distribución geográfica de algunas arbustivas del desierto ha sido estudiada en forma aislada y sin considerar los diferentes factores que caracterizan su distribución en el paisaje (Castellanos, 1985; Valdés, 1989). Sin embargo, estudios completos sobre los factores edáficos y topográficos que determinan la distribución espacial de las comunidades vegetales como las de *Lippia graveolens* no han sido realizados.

Debido a lo anterior, en las zonas áridas y semiáridas de México es importante contar con inventarios de recursos vegetales actualizados, con el objeto de generar información dinámica de la ubicación de estas comunidades que permita su explotación racional, y que coadyuven al desarrollo regional sin riesgos ecológicos para el entorno. El objetivo del presente estudio fue el de obtener un modelo matemático-probabilístico que calculara con precisión la distribución espacial de *Lippia*

graveolens basado en variables edáficas y topográficas mediante un Sistema de Información Geográfica (GIS).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación Geográfica

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' Norte; y los meridianos 103° 32' y 103° 58' Oeste (Breimer, 1984; Montaña, 1988). El área del presente estudio comprendió un extensión de 919.36 km² (91,936 ha) dentro de la Reserva. Las coordenadas geográficas extremas son: latitud 26°30' a 26°45' N; y longitud 103°40' a 104°00' W. El Clima, de acuerdo con la clasificación de Köppen, modificado por E. García (CETENAL-UNAM, 1970) es tipo Bwhw(e) el cual es clasificado como seco-desértico. El área presenta una precipitación media anual de 264 mm (Breimer, 1984). Los tipos de suelos mas comunes encontrados en el área son Aridisoles y Entisoles, entre los que destacan el Haplargid, Calciargid, Torriorthent y Torrifluent (Martínez-Ríos, 1999; Soil Survey Staff., 1996). Estudios realizados en el área 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). (Breimer, 1984; Montaña, 1988; Martínez-Ríos, 1999).

Metodología

Para la adquisición y ubicación de los datos edafológicos en el área de estudio se utilizó la información cartográfica reportada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 1977) en su carta denominada 'La Flor' (escala 1:50,000 clave G13B64, con extensión de 15 por 20 minutos de latitud/longitud respectivamente). Los puntos de muestreo en la carta edafológica fueron ubicados y digitalizados como tema puntual dentro del GIS. En total se

utilizaron los resultados de los análisis de suelo de 36 puntos de muestreo (esto debido a la uniformidad que presentaba el área). Utilizando estos datos se calcularon los valores para toda el área de estudio mediante interpolación con la técnica denominada IDW (ESRI, 1997). Se generaron mapas digitales de superficies continuas (tipo raster a 30 m por pixel) en los temas: Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI %), Conductividad eléctrica (CE en dSm^{-1}), pH, Materia orgánica (%), Calcio ($cmol[+]/Kg$), Magnesio ($cmol[+]/Kg$), Potasio ($cmol[+]/Kg$), Fósforo ($cmol[+]/Kg$), Arena (%), Limo (%) y Arcilla (%). También se incluyó la profundidad de suelo (cm), la pendiente y el aspecto topográfico (grados), calculando éstas últimas a partir de un modelo digital de elevación (DEM). La extensión de los mapas digitales en formato raster fue de 916 renglones por 1116 columnas. Finalmente, se ubicaron 60 puntos de muestreo de vegetación realizados en el área de estudio (Figura 1), construyendo una matriz de datos con las 14 variables antes mencionadas como independientes, señalando de manera dicotómica (1 presencia; 0 ausencia) la ocurrencia de orégano dentro de los puntos de muestreo (variable dependiente). El análisis de los datos se realizó con el programa SAS® mediante el procedimiento LOGISTIC con selección de variables (Cody y Smith, 1997).

Aplicación del Modelo Predictivo 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 (Narumalani et al., 1997). Como ejemplo de su utilidad 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, Luotto 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% en un área de 300 km^2 .

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar el análisis estadístico con selección de variables (stepwise), 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 pendiente ($p = 0.0037$) y el contenido de arena ($p = 0.0171$). Los valores de los parámetros estimados del modelo de regresión fueron: intercepto (5.2350); pendiente (0.2424) y arena (-0.1632). Los resultados obtenidos en la selección de variables es destacable ya que considerando las características fisiológicas del Orégano, se señala que esta especie se distribuye principalmente en lugares con pendientes menores al 8% y cuyos suelos presentan gravas o fragmentos de rocas menores a 0.075 m de diámetro (Blanco y Ordóñez, 2003) por lo que lo anterior muestra concordancia con el modelo obtenido en el presente estudio. El Cuadro 1 muestra el análisis de máxima verosimilitud ($Pr > \chi^2$) para las variables incluidas en el modelo en forma individual, con selección y sin selección de variables respectivamente.

Cuadro 1. Análisis de estimación de máxima verosimilitud para las variables indicadas en el modelo predictivo final para *Lippia graveolens* en Mapimí, México, 2003.

Variable	Modelo individual	Modelo con selección de variables (Stepwise)	Modelo completo, sin selección de variables
	$Pr > \chi^2$	$Pr > \chi^2$	$Pr > \chi^2$
Pendiente	0.0194	0.0037	0.0222
Arena	0.0029	0.0171	0.0238

El análisis estadístico también indicó una sensibilidad del 50 % para un nivel de probabilidad de 0.30. Es decir, el modelo obtenido que incluye el intercepto, la pendiente y el contenido de arena pudo predecir niveles de la presencia del Orégano con una probabilidad de 0.30 obteniendo un 50% de confiabilidad. Lo cual puede considerarse como bueno, dadas las condiciones de la distribución espacial de especies en ecosistemas dinámicos (Narumalani, *et al.*, 1997). El Análisis logístico también incluye la obtención de parámetros que prueban el grado de concordancia y asociación entre las probabilidades calculadas y las observadas. Entre ellas destacan los parámetros Somer's D (0.639), el Goodman-Kruskal Gamma (0.643) y el c (0.820) los cuales mostraron niveles aceptables de concordancia y asociación en general. Finalmente, el modelo probabilístico quedó conformado de la siguiente manera:

$$P = \frac{e^{5.2367+0.4271(\text{pendiente})-0.1633(\text{arena})}}{1 + e^{5.2367+0.4271(\text{pendiente})-0.1633(\text{arena})}}$$

Donde:

p = probabilidad de encontrar la especie (valor entre 0 y 1)

e = base de los logaritmos naturales (2.7182818...)

Pendiente = inclinación del terreno en grados

Arena = contenido de arena en porcentaje

Nota: el valor de la pendiente debe expresarse en grados y el contenido de arena en porcentaje.

El modelo anterior fue aplicado, en el GIS (ArcView® / Spatial Analyst®), a los mapas digitales de las variables que probaron ser estadísticamente significativas obtenidos por interpolación para obtener el mapa de digital que mostrara la probabilidad general de la presencia del orégano (Figura 2).

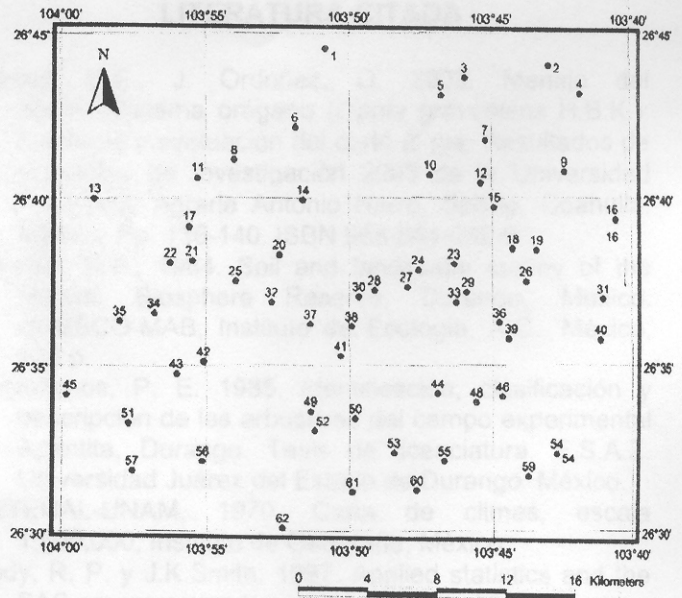


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo vegetativo en el área de estudio. (Latitud Norte, Longitud Oeste, Datum NAD27, Proyección UTM, Zona 13).

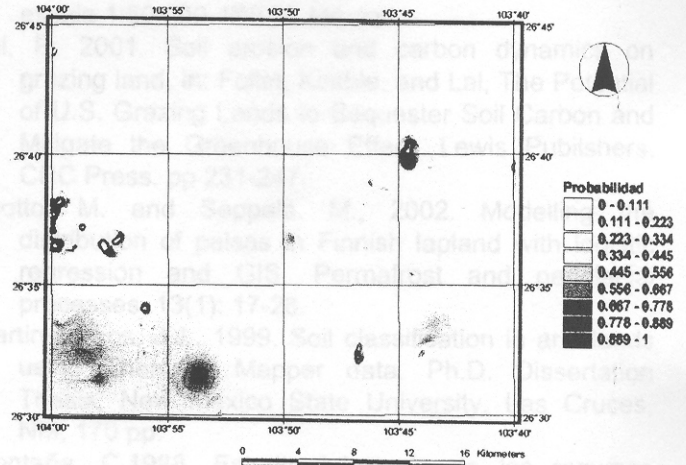


Figura 2. Mapa generado con el modelo probabilístico obtenido indicando los niveles probables de la presencia de *Lippia graveolens* nótese que las áreas mas oscuras indican mayores probabilidades de encontrar la arbustiva. (Latitud Norte, Longitud Oeste, Datum NAD27, Proyección UTM, Zona 13).

CONCLUSIONES

El análisis de regresión logística múltiple (LMR) con selección de variables demostró ser una herramienta útil en la obtención de mapas probabilísticos mediante GIS al encontrar que, definitivamente en base a las características fisiológicas del Orégano (especialmente en lo relativo a su desarrollo radicular) se ve beneficiado al crecer en los lugares con suelos poco profundos y en su mayoría con pendientes constantes, lo cual fue detectado por el modelo, por lo que la ubicación de esta arbustiva en la zona está acorde a lo observado en campo. Lo anterior refuerza el hecho de que es menos probable de que la misma arbustiva se ubique en zonas que muestran mayores profundidades de suelo, ubicándoseles generalmente en las áreas con elevaciones que generalmente son clasificados como Torriorthents.

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. Por otro lado, las observaciones de presencia y ausencia de las especies de interés pudieran realizarse mediante una técnica de muestreo específica tales como el sistemático o por conglomerados, procurando obtener un número de muestras mayor o igual a 100 en un área de 25 km², de esta manera se asegura que el análisis estadístico obtenga un modelo representativo del área de estudio con buenos niveles de confiabilidad.

Con 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

- Blanco, C.E., J. Ordoñez, O. 2003. Manejo del agroecosistema orégano (*Lippia graveolens* H.B.K.): fenología y evaluación del corte al ras. Resultados de proyectos de Investigación 2003 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 136-140. ISBN 968-844-032-9.
- 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. E.S.A.Z. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.
- CETENAL-UNAM, 1970. Carta de climas, escala 1:500,000, Instituto de Geografía, México.
- Cody, R. P. y J.K.Smith. 1997. Applied statistics and the SAS programming language. Fourth edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey. 445 p.
- ESRI, 1997. Working with the ArcView spatial analyst. ESRI Educational Services, 5,12-5,16.
- INEGI. 1990. Guías para la interpretación de Cartografía. Uso del suelo. 2da. Reimpresión. Ags. México. 48 p.
- INEGI, 1977. Carta edafológica 'La Flor' clave G13B64, escala 1:50,000. INEGI, México.
- 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.
- Luotto, M. and Seppala, M., 2002. Modelling the distribution of palsas in Finnish lapland with logistic regression and GIS. Permafrost and periglacial processes, 13(1): 17-28.
- Martinez-Rios, J.J., 1999. Soil classification in arid lands using Thematic Mapper data. Ph.D. Dissertation Thesis, New Mexico State University, Las Cruces, NM, 170 pp.
- Montaña, C.1988. Estudio integrado de los recursos vegetación, suelo y agua en la Reserva de la Biosfera de Mapimi. México. Instituto de Ecología, Publicación 23. México.
- Narumalani, S., Jensen, J., Althausen, J.D., Burkhalter, S. and Mackey, H.E., 1997. Aquatic macrophyte modeling using GIS and logistic multiple regression. Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, 63(1): 41-49.
- Pereira, J.M.C. and Itami., R.M., 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.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa, México.
- Schmidt, R.H., 1979. A climatic delineation of the 'real' Chihuahuan Desert. Journal of Arid Environments, 2: 243-250.
- Soil Survey Staff., 1996. Keys to soil taxonomy. U.S. Dept. of Agriculture, [Washington, D.C.], 644 pp.
- Valdés, G. J. A. 1989. Atributos nutricionales de seis plantas arbustivas de Apantita, Durango. Tesis de licenciatura. E.S.A.Z. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.