

ESTUDIO RACIONAL Y MONITORIO DE ECOSISTEMAS - AGROFAZ VOLUMEN IV NÚMERO 1, 2010

MODELO PREDICTIVO DE LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA CACTÁCEA *Astrophytum myriostigma* LEM. (1839) EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Predictive Model Andgeographical Distribution of Cactus *Astrophytum myriostigma* LEM. (1839) in The Comarca Lagunera, Mexico.

Ulises Romero Méndez¹, Hugo López Corrujedo¹, Juan José Martínez Ríos² y Rosa Elena Tavares Ruíz¹

¹Escuela Superior de Biología-UJED. Av. Universidad s/n, Frac. Filadelfia, Gómez Palacio, Durango.
E-mail: ulisesromero@yahoo.com.mx

²Facultad de Agricultura y Zootecnia-UJED, Apartado postal 1-142, Gómez Palacio, Durango. CP35000.

RESUMEN

La creación de un modelo predictivo mediante el método de extrapolación, nos permitió la localización de poblaciones desconocidas de la cactácea *A. myriostigma*. Con dicha extrapolación se generaron mapas predictivos de densidad y un patrón de distribución, los cuales podrían usarse en un futuro para planes de manejo y conservación. El objetivo fue determinar el patrón de distribución de la cactácea *A. myriostigma* con base a un modelo predictivo, tomando en cuenta cinco variables ambientales (altura, exposición, pendiente, vegetación y tipo de suelo) y la generación de mapas predictivos mostrando la densidad y distribución geográfica de *A. myriostigma* en las sierras de la Comarca Lagunera de Durango. La metodología consistió en registrar cada organismo mediante un GPS añadiendo, en cada punto geográfico, sus atributos geofísicos y bióticos. Los puntos geográficos se analizaron mediante un SIG y por la técnica de extrapolación se obtuvieron mapas de distribución predictiva y/o potencial. Para determinar cuál variable fue más importante en la distribución geográfica de *A. myriostigma*, se realizó un análisis multivariado. Se encontró que la variable elevación tiene una gran influencia en la distribución de la especie en estudio.

Palabras clave: *Astrophytum myriostigma*, Extrapolación, Modelo predictivo, Distribución geográfica.

SUMMARY

The creation of a predictive model using the

extrapolation method allowed us to locate unknown populations of the cactus *A. myriostigma*. With such extrapolation, prediction maps were generated from density and distribution pattern, which could be used for future management and conservation plans. The objectives of the present study were (1) to determine the distribution pattern of the cactus *A. myriostigma* based on a predictive model, taking into account five environmental variables (altitude, aspect, slope, vegetation and soil type) and (2) the generation of predictive maps considering density and geographic distribution of *A. myriostigma* in the sierras of The Comarca Lagunera in the state of Durango. The methodology consisted in recording each point using GPS and adding its geophysical and biotic attributes. The geographic locations were analyzed using a GIS and by extrapolation technique, a predictive map was obtained showing its potential distribution. To determine which variable was more important in the geographical distribution of *A. myriostigma*, multivariate analysis was performed. It was found that the elevation largely influence the distribution of the species under study.

Key words: *Astrophytum myriostigma*, Extrapolation, Predictive modeling, Geographic distribution.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los patrones de distribución en poblaciones vegetales ha sido de gran interés para la ecología vegetal, ya que ayuda a comprender los factores que determinan la presencia o ausencia de ciertas especies en algún

ecosistema en particular, y permite formular hipótesis sobre los mecanismos biológicos que contribuyen al ordenamiento espacial de los individuos en su ambiente (Greig-Smith, 1983). Sin embargo, se ha hecho muy poco al respecto en cuanto a cactáceas se refiere.

La creación de un modelo predictivo mediante extrapolación es determinante para establecer la distribución geográfica de *A. myriostigma* base en las dimensiones ecológicas que más influyen en su distribución, bajo la hipótesis de que al menos una de las variables medidas influencia fuertemente su distribución. Los mapas generados se podrían utilizar en un futuro para proponer estrategias de conservación fundamentadas en el conocimiento de la distribución y del deterioro de la especie.

La cactácea *Astrophytum myriostigma* es una especie catalogada como amenazada de extinción de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana (NOM-059-ECOL-2001) y por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UINC). Esta cactácea está siendo saqueada sistemáticamente de manera ilegal de las zonas donde se desarrolla naturalmente; su hábitat está siendo alterado significativamente por la extracción de materiales utilizados para la construcción, lo que hace urgente los trabajos de investigación en el norte de México para fundamentar la conservación de ésta y otras especies que cohabitan, y que también están en categoría de riesgo. El objetivo del presente trabajo fue Determinar la distribución geográfico-espacial de *Astrophytum myriostigma* en base a un modelo predictivo, tomando en cuenta cinco dimensiones: altura, exposición, pendiente, vegetación y tipo de suelo. Se partió de las hipótesis 1. El patrón de distribución de *A. myriostigma* tiene un asociación significativa con al menos una de las dimensiones consideradas. 2. $H_0: p > 0.05$. *A. myriostigma* tiene un patrón de distribución independiente de las dimensiones ecológicas consideradas. 3. $H_1: p < 0.05$. *A. myriostigma* tiene un patrón de distribución asociada al menos una de las dimensiones ecológicas consideradas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del Área de Estudio

El área de estudio comprende las sierras de La Laguna localizadas al noreste del estado de Durango y al suroeste de Coahuila. Está situada en la Altiplanicie Septentrional o Llanura Boreal del Norte dominada por climas BW de acuerdo al sistema de clasificación de Köppen, modificado por García (1981), donde los suelos predominantes de la parte montañosa son el Litosol, (Litosol- Regosol- Calcárico) y para valles bajos de playas Regosol, Xerosol y Yermosol (Velasco-Molina, 1991). El área de estudio se ubica entre los paralelos 27° 00' 01.12" y 24° 15' 45.88" N y entre los meridianos 105° 20' 27.12" y 101° 20' 19.70" W (FAO/UNESCO, 1970).

Los datos que se utilizaron para la extrapolación fueron tomados en el año 2004 y 2005 (Romero, 2006). Este trabajo se llevó a cabo en el cerro Las Palmas, en la sierra El Sarnoso, en el cual resultaron un total de 190 puntos registrados con GPS. Los puntos geográficos registrados correspondieron a cada una de los organismos encontrados durante el censo del Cerro Las Palmas. Los atributos geofísicos y bióticos que se tomaron en cada punto fueron: Altitud, pendiente, exposición, tipo de suelo, vegetación y densidad, con lo cual se diseñó la tabla de atributos que se trabajó en ArcView ® versión 3.2.

Se utilizaron imágenes de tipo raster MrSID escala 1:1000,000 (USGS, 2004) para delimitar el área de estudio y como referencia visual.

Las coberturas de edafología y vegetación se realizaron en el programa Arcview 3.2 utilizando la extensión digitizer, tomando como referencia para el nombre del tipo de suelo, la Carta Edafológica y Uso de Suelo y Vegetación escala 1: 1,000,000 publicada por INEGI (1988).

Modelos Digitales de Elevación

Se utilizaron modelos digitales de elevación (DEM) que son datos en formato 'raster' o de cuadrícula que representan elevaciones topográficas del terreno (Campbell, 1996) y se utilizan para una gran cantidad de estudios que

involucran el análisis digital del terreno (ERDAS, 1995), con los cuales se obtuvieron los parámetros de elevación, aspecto o exposición de la ladera y pendiente o inclinación, para cada planta registrada.

Los modelos (DEM) del área de estudio se adquirieron del sitio web (URL-Universal Resource Locator) <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp> e <http://www.INEGI.gob.mx>. Dichas imágenes se procesaron en formato *.BIL (Band Interleaved by Line) en el software denominado ENVI® v. 3.6.

Construcción del Modelo

Partiendo de la base de que un modelo es una representación simplificada de la realidad, primero se creó el modelo con las dimensiones geofísicas y bióticas, después se construyó la base de datos geográfica (tabla de atributos, mapas vectoriales y mapas raster) para representar el mundo real de manera digital mediante un sistema de información geográfica (GIS).

Para este modelo fue necesario contar con un sistema de información geográfica; para el cual se utilizó el programa Arcview v. 3.2[®] y sus extensiones Spatial analyst[®], mapas digitales tipo vector en el tema edafológico y vegetal del área y el modelo digital de elevación (DEM).

Con el sistema de información geográfica, y el DEM, se elaboró el mapa base tridimensional (con atributos geofísicos de pendiente, aspecto y elevación) que junto con los datos registrados con el sistema de posicionamiento global (GPS), permitió generar un mapa con los puntos de la distribución geográfica de la especie en estudio (Romero, 2006). A partir de estos puntos, se generó por extrapolación un mapa predictivo de distribución geográfica potencial (*.shp). Posteriormente a estas coberturas se les aplicó un análisis de densidad simple con radios de 1000 m y 250 m (Geoprocesamiento) que mostró áreas predictivas de distribución potencial de la cactácea en estudio (Figura 5).

Mapas Predictivos de Distribución Geográfica

Se tomaron puntos de control para realizar

pruebas piloto para asegurar que los mapas estuvieran lo más apegado a la realidad, es decir, además del área de estudio, se registraron varias localidades de distribución ya conocidas en la sierra El Sarnoso. De esta manera, cada vez que se generó un mapa de distribución se revisaron los puntos de control hasta lograr el mapa final lo más preciso posible (Figura 1).

Para visualizar la distribución predictiva de *A. myriostigma* se utilizaron como fondo imágenes satelitales tipo Landsat en formato MrSID con tres bandas (R,G,B/7,4,2) que dan una composición denominada infrarroja de "onda corta", la cual permite contrastar algunas características del terreno en diferentes tonalidades del área de estudio. A dicha imagen se superpusieron las áreas probables de distribución geográfica completando de esta manera un mapa predictivo de distribución geográfica del organismo estudiado con georreferencia visual.

Análisis Estadístico

Se realizó una prueba de ajuste de la distribución normal de los datos de campo para determinar si la altitud, la densidad, el aspecto y la pendiente se ajustaban a este tipo de distribución. Se realizó un análisis curvilíneo para encontrar la relación entre las variables y realizar el modelo de regresión por el método de mejor ajuste. Posteriormente, se realizó un análisis discriminante por medio de weighted last square (SPSS v. 10), con el propósito de encontrar aquel factor que mostró más peso en la distribución de la especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontró un total de 190 individuos a una elevación promedio de 1,223 msnm, con un aspecto promedio de 164.14° con respecto al norte geográfico, y una pendiente media de 22.87° de inclinación (Cuadro 1).

Altitud (msnm).

Se registraron 11 rangos de elevación donde se encontró la especie. La mayor densidad de individuos se registró entre los 1209 msnm y 1233 msnm, con 79 individuos (Figura 2).

Cuadro 1. Resumen estadístico de los datos geográficos.

	Pendiente	Aspecto	Elevación	N
N	190.00	190.00	190.00	190.00
Mínimo	11.00	8.00	1161.00	
Máximo	31.00	316.00	1340.00	
Media	22.87	164.14	1223.88	
Desviación estándar	4.08	85.79	29.03	

Pendiente:

Se encontraron 162 individuos con una pendiente entre los 19°, 24° y 26° (Figura 3)

Aspecto:

El número de individuos que se encontró fue de 166 entre los 78°, 96° y 245° marcando como máximas de orientación al suroeste y al sureste y como mínima al noreste. (Figura 4)

En el análisis de regresión se encontró que la elevación y el aspecto son altamente significativos ($\beta = 0.9677$, $p < 0.001$, 180 g. l.), sin embargo, la pendiente aunque significativa, el coeficiente de regresión fue muy bajo ($\beta = 0.3248$, $p < 0.001$, 180 g. l.). El Análisis de varianza para la regresión fue altamente significativa con un coeficiente de determinación que explica el 80.87 % de la variación del modelo ($R^2 = 80.87\%$, $p < 0.001$, 180 g. l.)

Densidad:

En el análisis de los sitios con mayor densidad de individuos, la elevación presentó tres grupos: de 1190 a 1260 msnm con 146 individuos; en la pendiente se encontraron tres grupos, destacando el de 15 a 26° de inclinación con 175 individuos y en el aspecto se registraron tres grupos, siendo el de mayor densidad de 153° a 300° de orientación, con 97 individuos. (Cuadro 2).

En el presente trabajo, el sustrato en el que se encontró la especie en estudio, presentó dos tipos de suelo, el de mayor área fue la asociación de suelo Litosol-Regosol Calcárico, con textura limo-arcillosa (Cuadro 3). Se encontraron tres tipos de vegetación en el área de "La Laguna" el más abundante fue el matorral desértico rosetófilo y éste fue el registrado para las áreas en que se

distribuye *A. myriostigma*. Los parámetros de vegetación y edafología se especificaron en un total de 16 sierras que cubren la denominada Región Lagunera (Figuras 5, 6 y 7).

Mapas Predictivos de la Distribución Geográfica de *Astrophytum myriostigma*

Se obtuvieron dos mapas de análisis de densidad simple de diferente radio: 1000 m y 250 m (Figuras 8 y 9). El mapa de distribución predictiva de 1000 m tiene una mejor resolución a una escala pequeña (1:1,000,000); y el mapa de 250m de radio, tiene una mejor resolución a una escala mediana (Cuadro 2. Densidad de organismos por dimensión ecológica. 1:100,000).

De los mapas obtenidos se realizó un acercamiento a la sierra de San Pedro con un radio de 250m para mostrar la resolución del análisis.

Discusión

Altitud. Con la altitud aumenta la humedad relativa, y por lo tanto a mayor altitud se presentan con más frecuencia nubes y brumas. Esta humedad relativa puede afectar a aquellas plantas sensibles a la humedad como lo es *A. myriostigma* y probablemente esto provoca que sus límites ambientales se encuentren entre 1,170 y 1,350 mns. *A. myriostigma* se encuentra en promedio a los 1,233 msnm y a los cerros donde se les encuentra se les clasifica como cerros bajos, por lo que los efectos derivados de la elevación se atenúan a estas alturas. Si se toma en cuenta, que este organismo no soporta altos niveles de humedad (Simón y Shuster, 1985). Probablemente, la especie prefiere áreas secas, estables y con poca vegetación (Figura 6 y 7), características de los cerros bajos.

Uno de los trabajos realizados por Sánchez-Mejorada (1979), quien trabajó sobre la distribución altitudinal de algunas cactáceas en la Sierra Madre Occidental, menciona que en México las cactáceas se encuentran desde el nivel del mar hasta poco más de 3000 msnm. En esta especie la distribución altitudinal presenta 11 sitios donde se encontró al organismo, que van desde 1160 hasta 1340 msnm. La mayor densidad de individuos se registró entre los 1,209 msnm a 1,233 msnm, con una densidad de 79 individuos (Figura 1). Según López (2004) y Romero (2006) en la Región Lagunera existió un gran paleolago durante el Pleistoceno-Holoceno; y en este trabajo se cree que fue el que pudo haber delimitado la distribución de *A. myriostigma* a las elevaciones en las que se encuentra, ya que la dispersión de la especie es mayormente hidroanemocórica, es decir, está adaptada para flotar y dispersarse a través de las corrientes de agua (Becerra, 2009).

Orientación o Aspecto. Se encontró que *A. myriostigma* tiene preferencia por las laderas Este, Oeste y Sur (Figura 4). Sánchez (2002) encontró que a esta especie se le encuentra más abundantemente en laderas con exposición Este, Hernández (sin publicar) reporta que *A. myriostigma* tiene una distribución bordeando la sierra El Sarnoso, Dgo. en la parte este, sureste y escasas localidades hacia el oeste. Se puede suponer que este organismo prefiere estas laderas para evitar los vientos fríos y los golpes de calor, ya que según Ahumada (2007) los vientos más fuertes, en el área de estudio, tienen dirección norte-sur con velocidad de 27 a 44 km hr⁻¹, a una temperatura media anual de 20 a 22°C, alcanzando mínimas de -2° y máximas de 42°. La

frecuencia de heladas es de 0 a 20 días y granizadas de 0 a 1 día, con vientos del norte-noroeste, sur-oeste. Se puede suponer que la distribución geográfica de esta especie está siendo configurada por la resistencia ambiental que en este caso, además de los factores tomados en cuenta para este estudio, se cuentan los factores climáticos como las temperaturas máximas y mínimas.

Pendiente o Inclinación. Según Ramos (2005) la pendiente es uno de los componentes físicos más importantes del medio ambiente y por ende, de la distribución de los organismos. Definida como el grado de inclinación del terreno, la pendiente modela las características de los paisajes; a medida que la pendiente aumenta el lugar empieza a recibir fuerzas y fenómenos relacionados con la altitud (la gravedad) y que tiene bajos rangos de alteración en un escenario plano. La distribución de agua, la topografía, y las características del suelo, entre otras variables ambientales, cambian debido a la pendiente. En trabajos anteriores (Hernández, sin publicar; Sánchez, 2002; Romero, 2006) concluyen que *A. myriostigma* presenta una distribución 100 por ciento vertical en la Región Lagunera (es decir, no se distribuye en la playa o valle); por lo que se puede suponer que es una especie adaptada a zonas elevadas, que presentan pendientes que van de 10 a 30° de inclinación (Cuadro 2). Según Britton y Rose (1937) *A. myriostigma* es sensible a la humedad prolongada y a temperaturas menores a 2°C. Se puede suponer que al establecerse en zonas altas e inclinadas evita la humedad y las heladas a lo cual es muy sensible.

Cuadro 2. Densidad de organismos por dimensión ecológica.

Elevación (msnm)	Ind.	Pendiente (°)	Ind.	Aspecto (°)	Ind.
1160 a 1180	27	10 a 12.5	9	0 a 45	13
1190 a 1260	146	15 a 26	175	46 a 152	80
1270 a 1340	17	27 a 31	6	153 a 300	97

Vegetación. Según Romero (2006) este organismo, en ciertas etapas de su crecimiento necesita grandes cantidades de radiación, por lo

que le favorece una vegetación de talla baja: como lo es el matorral desértico rosetófilo. Esta se puede considerar otra evidencia de que la especie

los 10 a 30°, y un aspecto con orientación preferente al suroeste (SW) y al sureste (SE), y de manera escasa al noreste (NE).

La aportación de este trabajo, estriba en la utilidad que se le puede dar en trabajos similares,

puesto que el modelo es sencillo y útil en trabajos de distribución predictiva, donde los mapas generados se pueden utilizar para seleccionar posibles áreas de conservación de alguna especie.



Figura 1. Puntos de control o testigo (localidades conocidas) utilizadas para evaluar la precisión del modelo. Área de estudio en círculo rojo.

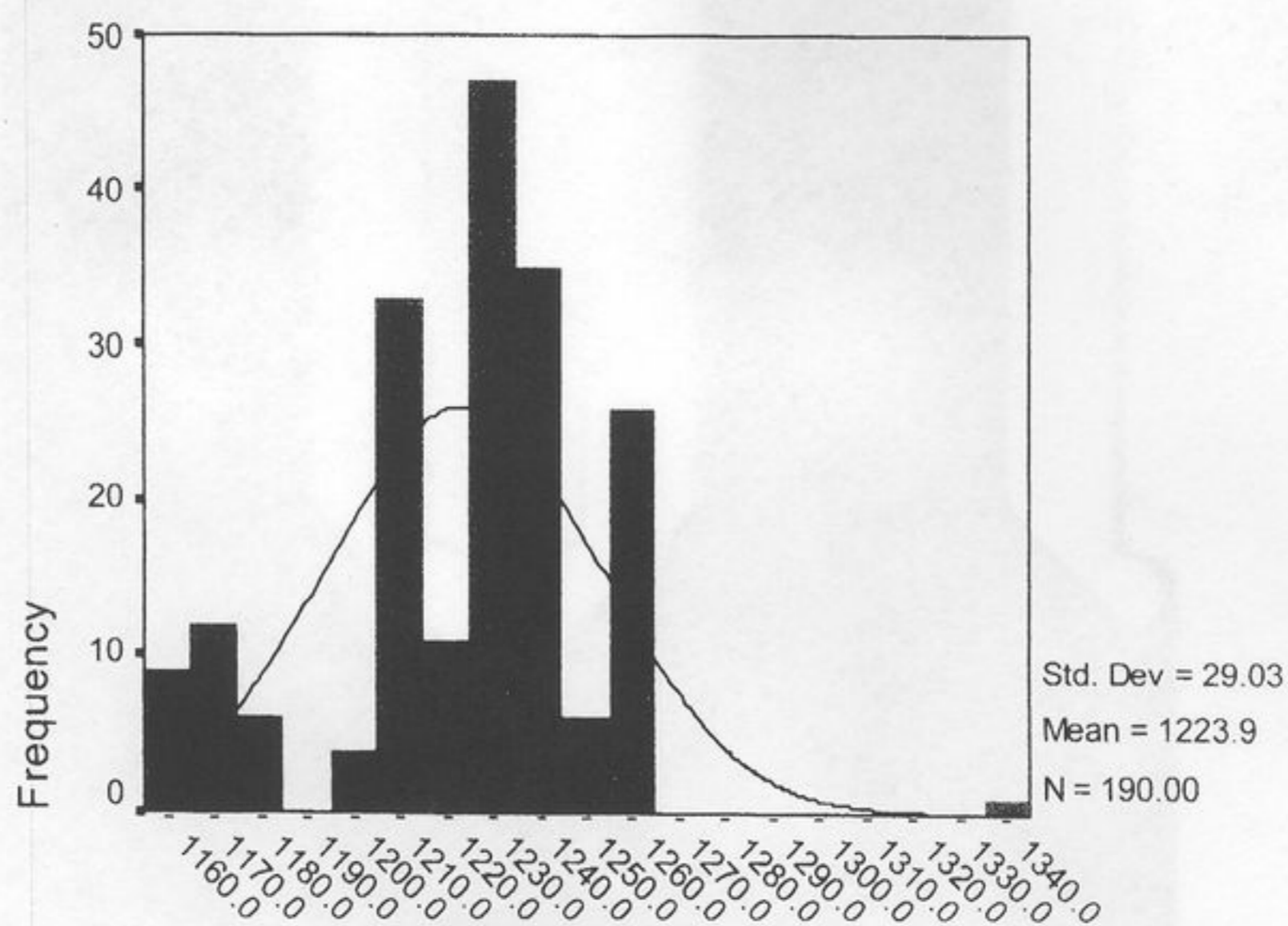


Figura 2. Análisis de la frecuencia de la presencia de la especie según la elevación.

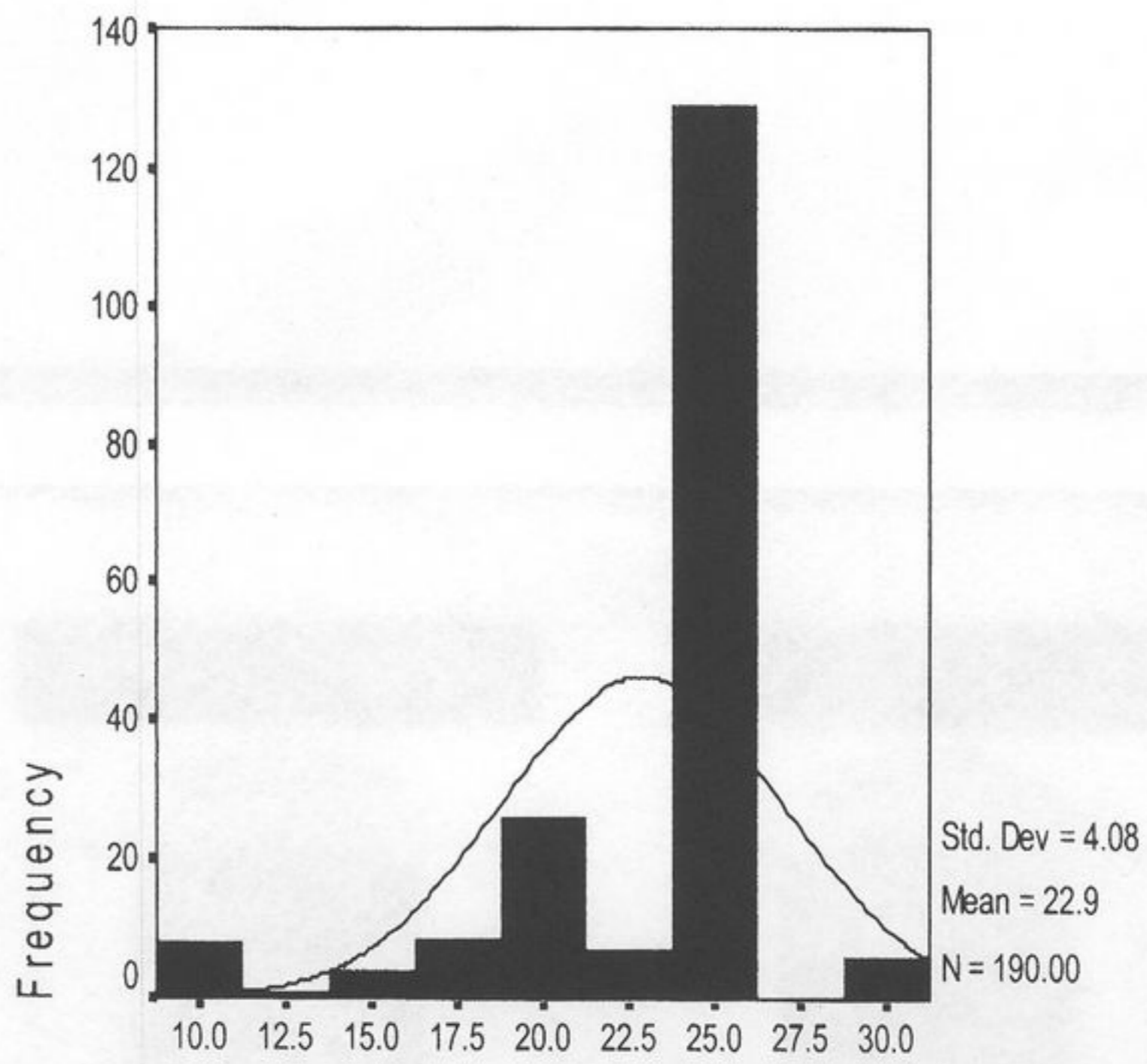


Figura 3. Análisis de la frecuencia de la presencia de la especie según la pendiente.

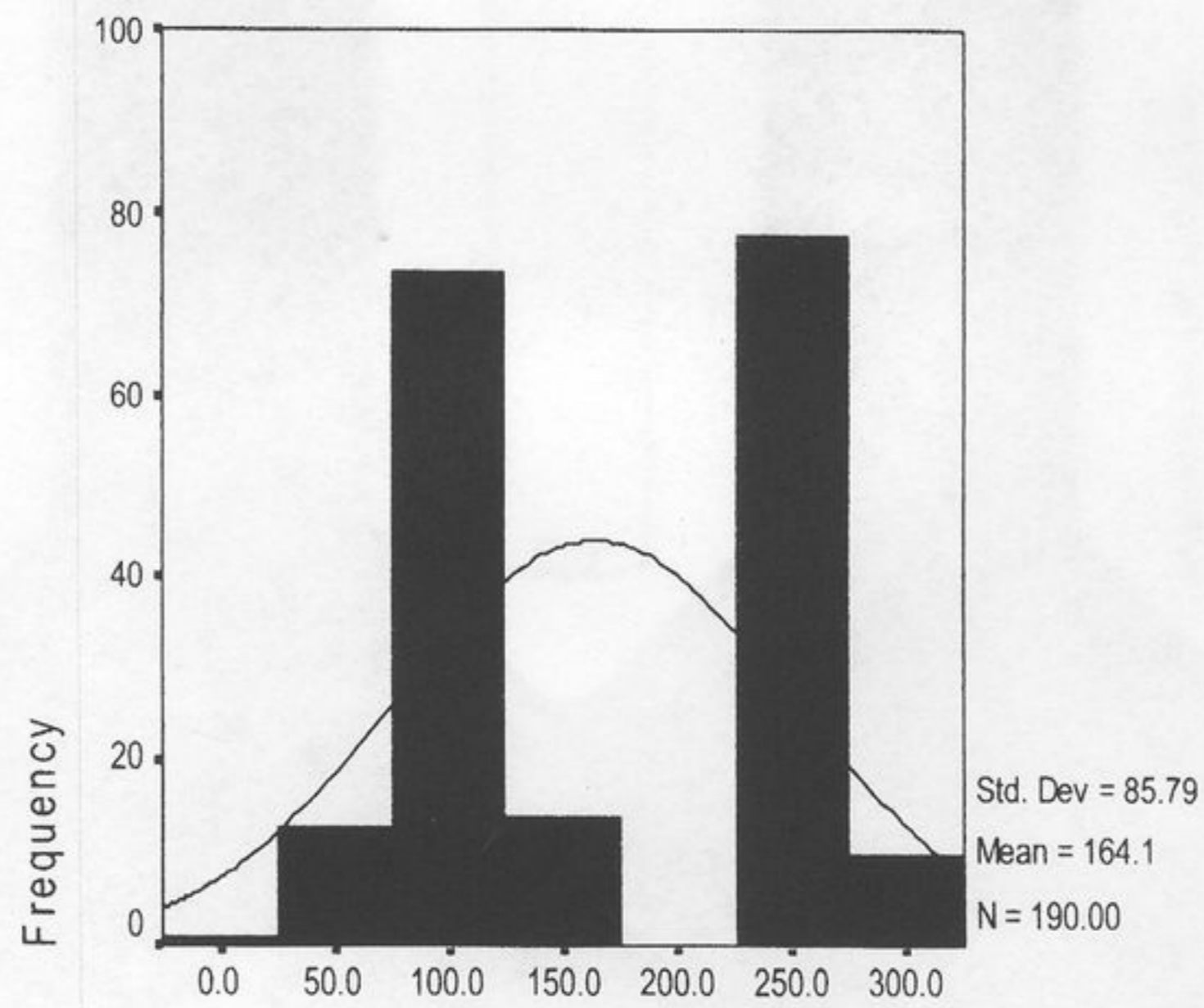


Figura 4. Análisis de la frecuencia de la presencia de la especie según el aspecto.

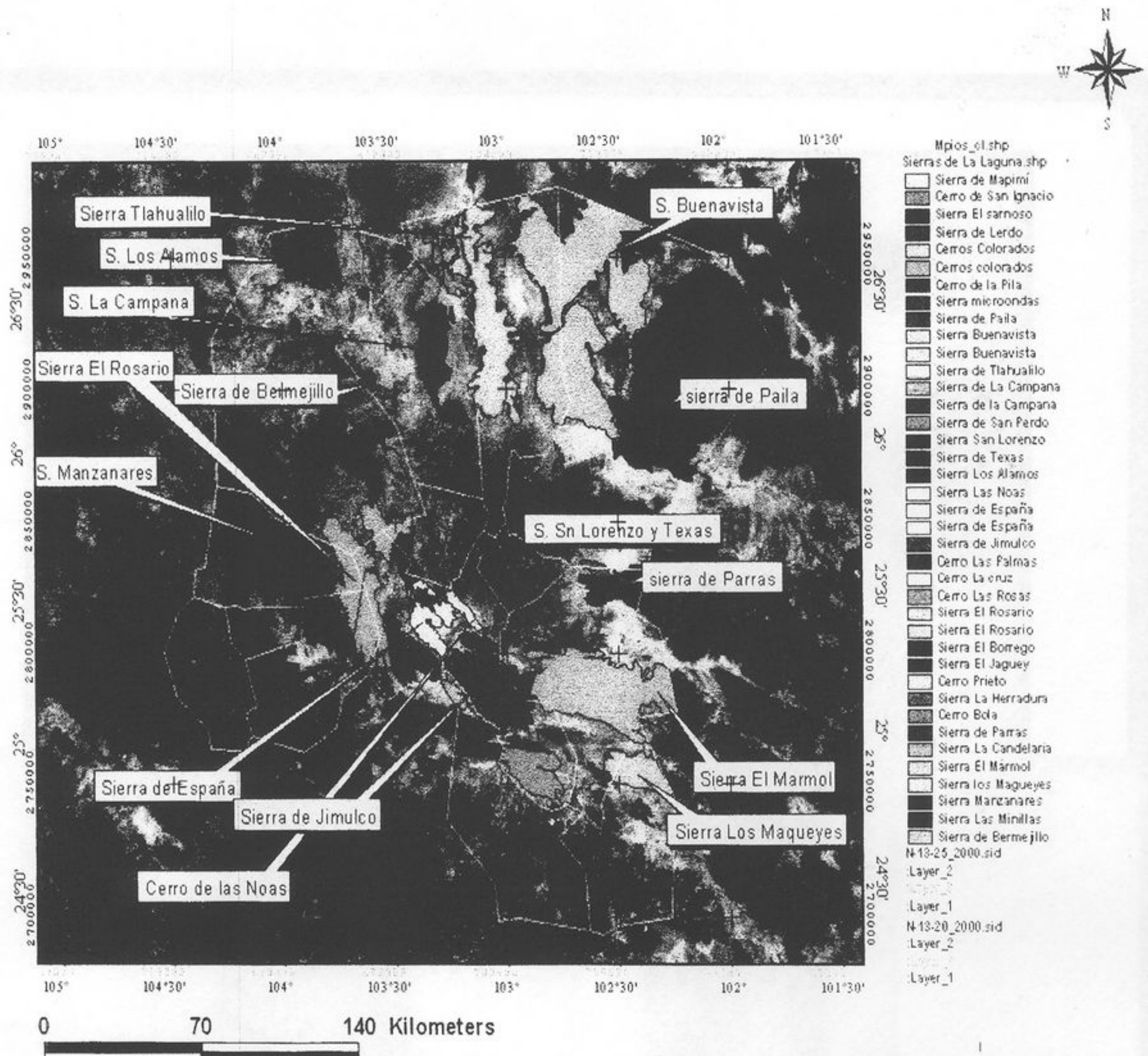


Figura 5. Grupo de sierras tomadas en cuenta para el estudio.

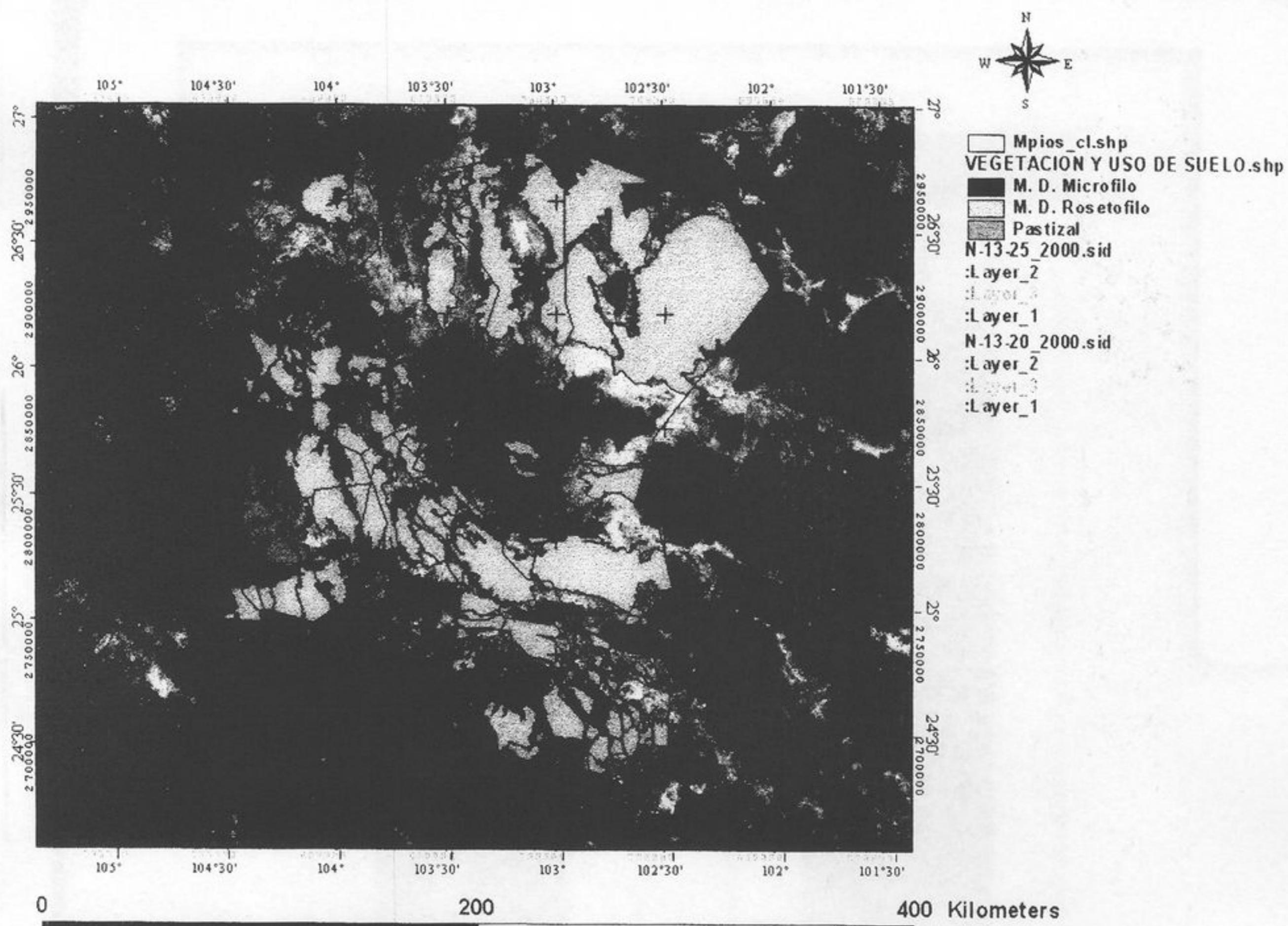


Figura 6. Vegetación y uso de suelo de la Región Lagunera, específico para el grupo de sierras en el estudio.

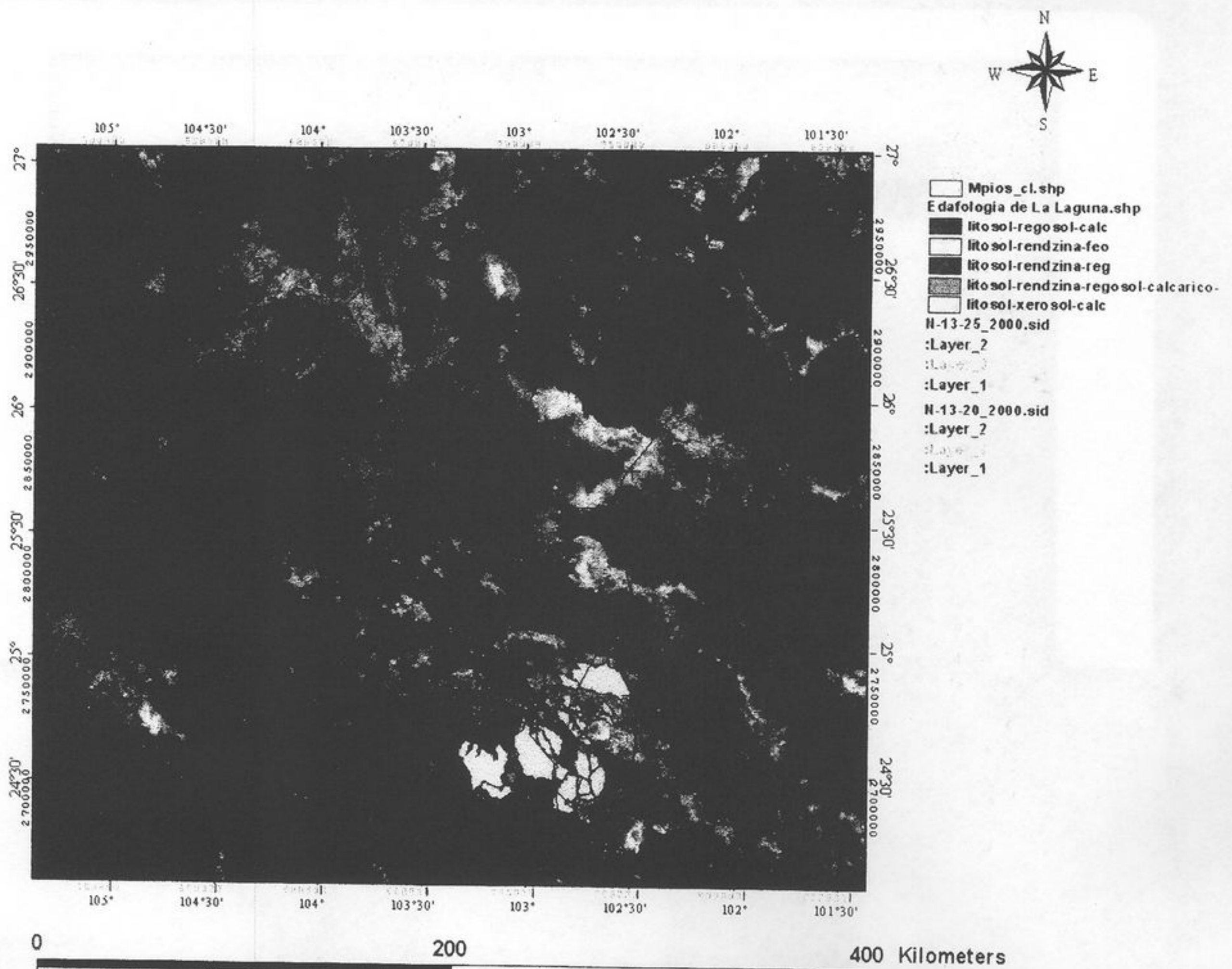


Figura 7. Edafología de la Región Lagunera, específico para el grupo de sierras.

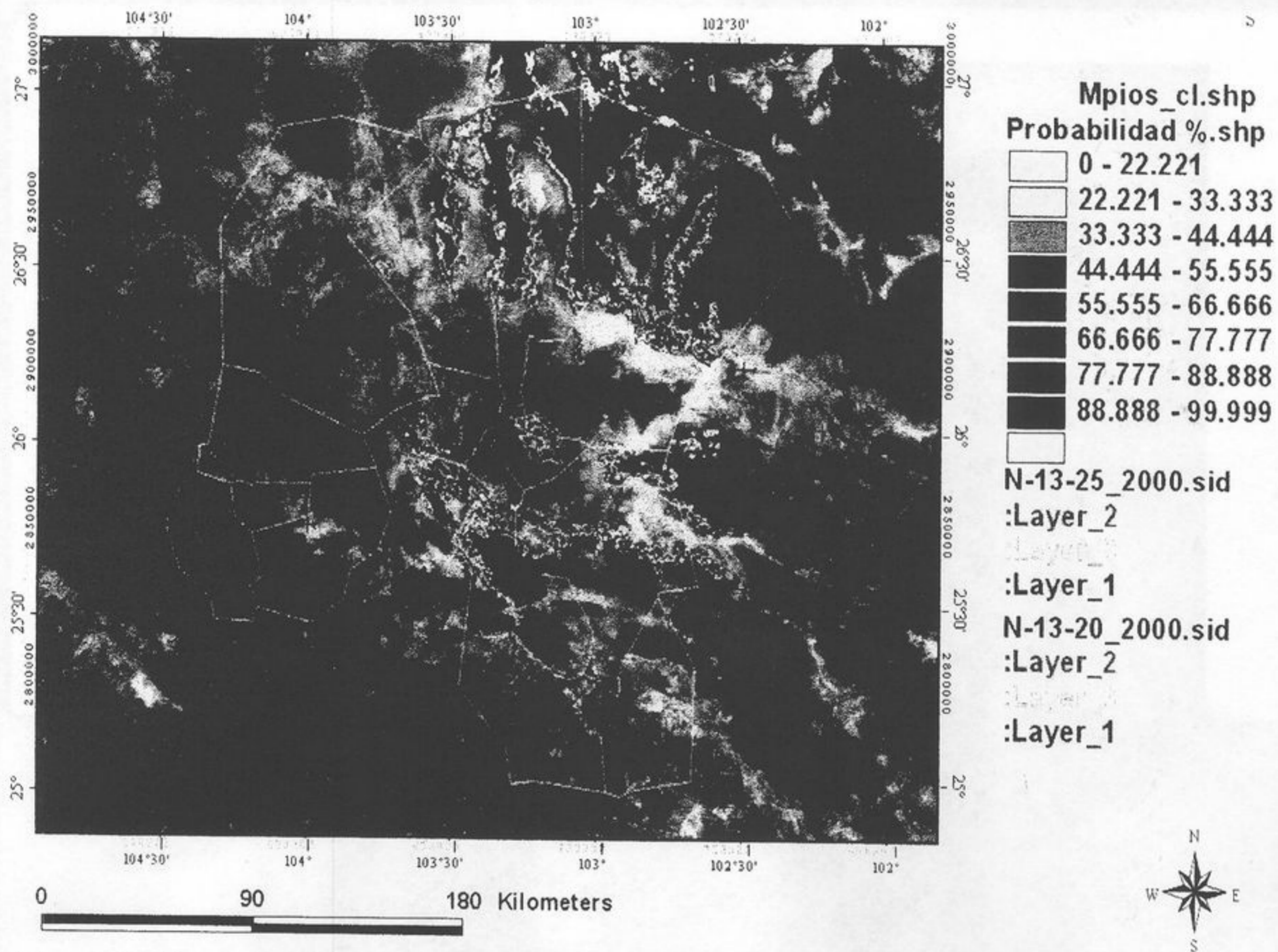


Figura 8. Mapa de distribución predictiva de *A. myriostigma* con un análisis de densidad simple y un radio de 1000 m.

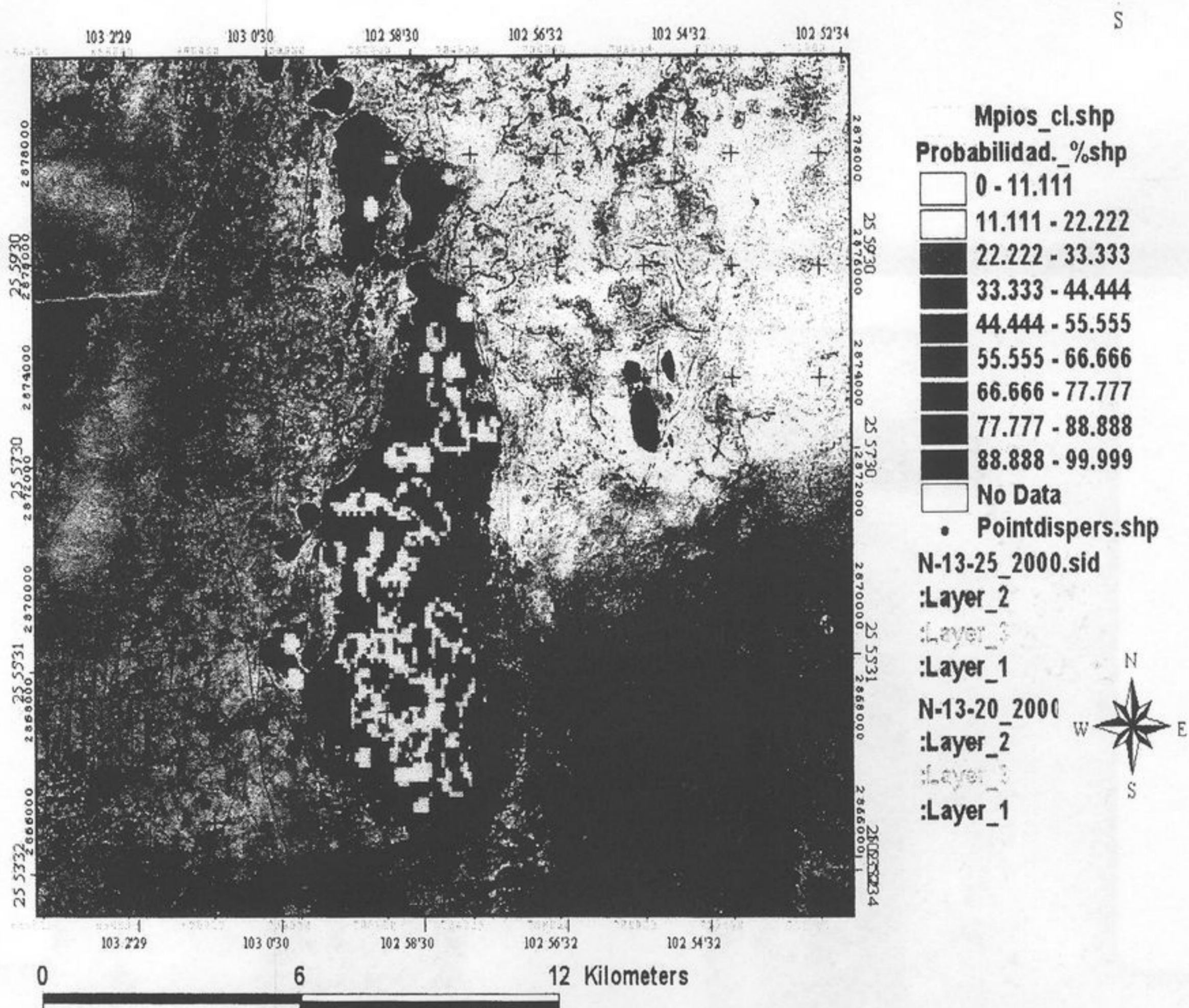


Figura 9. Acercamiento con un análisis de densidad simple y un radio de 250 m.

LITERATURA CITADA

Ahumada, A. "Estación Torreón". Disponible en <http://www.estaciontorreon.galeon.com/index.html>. [Consultado en el 2007].

Becerra, L. J. L. 2009. "Análisis de las características de flotabilidad de la semilla de *Astrophytum myriostigma* Lem. (1839)." Tesis de Licenciatura. Escuela Superior de Biología-UJED.

Britton, N. L. y Rose, J. N. 1937. The Cactaceae: Descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Dover Publications, Inc. New York. 182 – 183 p.

Campbell, J. B., 1996. Introduction to remote sensing. 2nd ed., The Guilford Press, New York, p 622.

Del Castillo, R. F. 1996, Ensayo sobre el fenómeno calcícola-calcífuga en cactáceas mexicanas. Cact.suc.mex.41 (1): 3 - 10

ERDAS, 1995. ERDAS field guide. 3rd Edition. ERDAS, Inc. Atlanta, Georgia, p 627.

FAO/UNESCO. 1970. unidad de clasificación de suelo. Modificada por DGGTENAL 1981. República Mexicana.

García, E. 1981. Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) Instituto de Geología. Universidad Autónoma de México. 3a. Edición. México, D.F. pp. 46-58

Greig-Smith, P. 1983. Quantitative plant Ecology. (3a. ed.). Blackwell Sci. Publ. Oxford Butterworth, London.

INEGI.1988. Atlas Nacional del Medio Físico. Carta del uso del suelo y vegetación de Chihuahua. Escala 1:1'000,000. 224 p.

INEGI. 2006. "MDM. v 2.0". [En línea]. Disponible en <http://galileo.inegi.gob.mx/website/mexico/viewer.ht>

- m?sistema=1&c=423&md=d&s. [consultado en 2007]
- Levin, S. A. 1991. The Mathematics of Complex Systems. p.p 215. Ecosystem Experiments. SCOPE 45. Edit. Harold A. Mooney, Medina E., Schindler D, Ernst- Detlef Schulze y Brian H. Walker. Canada.
- López C., H. 2004. Variabilidad Espacial y Temporal de los Sistemas de Dunas en el Suroeste de Coahuila, México. Tesis de Maestría. Facultad de Agricultura y Zootecnia- UJED. Pp.49-53.
- Ramos M., C. 2005. ¿La pendiente modifica el efecto borde en fragmentos de Bosque Montano? Seminario: ecosistemas fragmentados. Programa de Magíster en Ciencias EBE. Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias. Universidad de Chile. 1-3 p.
- NASA, 2000. Imágenes Geocover Circa 2000, disponibles en <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/>. Consultados el 24 enero del 2007.
- Romero, M. U. 2006. Modelo Probabilístico de la Distribución Geográfico-Espacial de la Cactácea *Astrophytum myriostigma* Lem. (1839) En la Sierra "El sarnoso", Dgo., México. Tesis de Maestría. FAZ-UJED. Ej. Venecia, Durango.
- Rzedowsky, J. 1986. Vegetación de México. Limusa. México, D. F. 431 p.
- Sánchez, S. J. 2002. Distribución geográfica de la flora Cactológica con estatus de conservación, de la sierra El Sarnoso, Durango, México. Tesis de licenciatura. Escuela Superior de Biología. Universidad Juárez del Estado de Durango. 77 pp.
- Sánchez-Mejorada, H. 1979. Observaciones sobre la distribución altitudinal de algunas cactáceas en la Sierra Madre Occidental. Cact.Suc. Mex. Soc. Cactológica Mexicana 26(2): 31-34 p.
- Simon y Schuster's. 1985. Cacti and Succukents, Guide. 1ª Edición. Arnoldo Mondadori SPSS. 2000. Scatter plot/SPSS User's guide, 2:1071-1126.
- USGS. 2004. 1 Arc Second SRTM Elevation Data, Reprocessed to GeoTIFF. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility. University of Maryland. v. 1.0. [En línea]. Disponible en <http://www.landcover.org>. [consultado en 2007].
- Velasco-Molina, H. A. 1991. Las zonas áridas y semiáridas: sus características y manejo. Primera edición. Ed. Limusa. México. 101 p.