

Caracterización espacial de *Agave lechuguilla* Torr. en un ecosistema de matorral desértico rosetófilo de Coahuila

Spatial characterization of *Agave lechuguilla* Torr. in a rosetophil desert scrub ecosystem of Coahuila

Adrián Hernández-Ramos^{1,2*}, Antonio Cano-Pineda¹, Jonathan Hernández-Ramos³, Julio C. Ríos- Saucedo⁴, Enrique Buendía-Rodríguez⁵ y Juan Carlos Tamarit-Urias⁶

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo.

²Posgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados.

³INIFAP-Campo Experimental Bajío.

⁴INIFAP Campo Experimental Valle de Guadiana.

⁵INIFAP-Campo Experimental Valle de México.

⁶INIFAP-Campo Experimental San Martinito.

*Autor para correspondencia: adrian.hernandezr90@gmail.com

RESUMEN

Agave lechuguilla Torr. es una especie abundante en el matorral desértico rosetófilo del norte de México. Su cuantificación y evaluación se realiza mediante inventarios forestales tradicionales costosos y tardados de implementar. El objetivo fue modelar la distribución espacial de la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla*, en un matorral desértico rosetófilo mediante métodos de interpolación y regresión lineal. Con datos de cobertura arbustiva (Cob, m²) de 74 unidades muestrales con arreglo sistemático en 183 ha, se modeló la distribución espacial mediante los métodos determinísticos de polígonos de Voronoi, interpolación IDW (lineal, cuadrático y cúbico); estocásticos de regresión lineal múltiple de 1° y 2° orden; y geoestadísticos con un semivariograma simple y la técnica de remuestreo Kriging. Los métodos de Voronoi e IDW modelaron de forma eficiente los patrones espaciales de la cobertura, en la totalidad de la superficie no inventariada. En especial el IDW cuadrático o cúbico presentan mejor estimación que los generados por Voronoi y IDW lineal, debido a que el detalle de análisis en estos dos últimos es más fino. En general, ambos conjuntos de interpolaciones modelaron de forma adecuada la distribución espacial de la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla* en la zona de estudio porque presentaron predicciones lógicas en las áreas no muestreadas.

Palabras clave. Áridos-Semiáridos, forestales no maderables, inventario forestal.

ABSTRACT

Agave lechuguilla Torr., is an abundant species in the rosetophilous desert scrub of northern Mexico. Its quantification and evaluation are carried out through traditional forest inventories that are expensive and take time to implement. The objective was to model the spatial distribution of the shrub cover of *A. lechuguilla*, in a rosetophilous desert shrubland using interpolation and linear regression methods. With shrub cover data (Cob, m²) from 74 sample units with a systematic arrangement in 183 ha, the spatial distribution is modeled using deterministic methods of Voronoi polygons, IDW interpolation (linear, quadratic, and cubic); 1st and 2nd order multiple linear regression stochastics; and geostatistics with a simple semivariogram and the Kriging resampling technique. The Voronoi and IDW methods efficiently modeled the spatial patterns of cover, over the entire non-inventory area. In particular, the quadratic or cubic IDW present a better estimate than those generated by Voronoi and linear IDW, because the analysis detail in the latter two is finer. In general, both sets



of interpolations adequately modeled the spatial distribution of *A. lechuguilla* shrub cover in the study area because they presented logical predictions in the unsampled areas.

Key words. Arid-Semiarid, non-timber forests, forest inventory..

INTRODUCCIÓN

Agave lechuguilla Torr. es una especie abundante en el matorral desértico rosetófilo del norte de México, la fibra (ixtle) que se extrae de esta planta es aprovechado como producto comercial no maderable por la población local que vive en este tipo de ecosistemas. La fibra se usa como materia prima para elaborar cuerdas, tapetes, brochas y cepillos, además de emplearse de forma medicinal para aminorar dolores musculares (Tapia-Tapia y Reyes-Chilpa, 2008). La cuantificación y evaluación de las existencias volumétricas para su aprovechamiento se realiza mediante inventarios forestales tradicionales, que representan para los dueños o poseedores de predios forestales una alta inversión en tiempo y costos, debido a que las superficies bajo manejo de estos recursos son extensas (Hernández-Ramos *et al.*, 2019), haciendo a esta actividad poco costeable. Por a ello, es necesario que se generen nuevas técnicas o bien se mejoren las ya existentes para hacerlas más eficientes en términos de costo y tiempo para la evaluación y cuantificación a nivel predial o regional de los recursos forestales no maderables (PFNM) en estos ecosistemas (Pérez-Vázquez *et al.*, 2021). De acuerdo con esta problemática y al limitado desarrollo de técnicas y métodos para realizar inventarios no maderables y a la falta de herramientas técnicas aplicables al manejo de los PFNM, se considera que es posible aprovechar las nuevas tecnologías de modelación espacial y la inercia de la globalización de los sistemas de información geográfica (SIG) en el desarrollo, adaptación y aplicación de alternativas que contribuyan satisfactoriamente a la evaluación de los recursos en regiones áridas y semiáridas del norte de México, lo que permitirá la elaboración correcta de programas de manejo y apoyo en la toma de decisiones en la gestión forestal.

Debido a ello, el objetivo del trabajo fue realizar la modelación de la distribución espacial de la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla*, en un matorral desértico rosetófilo del norte de México mediante métodos de interpolación y regresión lineal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio. Se definió una superficie de 183 ha dentro del Sitio Experimental La Saucedá del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila, México; en las coordenadas extremas de 25° 51' 21.98" y 25° 51' 5.30" de latitud norte y 101° 23' 10.40" y 101° 24' 33.99" de longitud oeste, una altitud promedio de 1,245 m. La vegetación corresponde a un matorral desértico rosetófilo, el clima es de tipo BW_{hw}(x') que corresponde a muy seco semicálido, con una precipitación anual de 200 mm; el suelo es de tipo litosol en la parte alta y Xerosol para la parte baja del área (INEGI, 2016).

Toma de datos. Se establecieron 74 unidades de muestreo (UM) cuadradas de 400 m², con un arreglo sistemático, separadas a una distancia de 150 m entre unidades y líneas (Figura 2), se referenciaron espacialmente. En cada UM a todos los individuos de *A. lechuguilla* se les midió el diámetro de la cobertura (DCP, m). Para calcular la cobertura a nivel individuo (Cob, m²), se utilizó la fórmula $\frac{(\pi * DCP)^2}{4}$, correspondiente al área de un círculo.

Posterior a ello, se sumó la cobertura de todos los individuos para obtener valores por UM y se extrapolaron a nivel de hectárea.

Análisis estadístico. Se calcularon las estadísticas descriptivas de localidad, variabilidad y forma para la variable Cob; la normalidad se analizó con la prueba de Kolmogorov-Smirnov bajo la hipótesis nula (H₀): las muestras pertenecen a una distribución normal. El modelado espacial se realizó mediante los métodos determinísticos de polígonos de Voronoi, interpolación IDW (ponderación de distancia inversa) en sus modalidades lineal, cuadrático y cúbico; estocásticos a partir de regresión lineal múltiple de 1° y 2° orden; y geoestadística con un semivariograma simple y la técnica de remuestreo Kriging. Para estos dos últimos métodos se emplearon las coordenadas de longitud y latitud como variables predictoras de la distribución espacial de cobertura arbustiva.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las medidas de localidad muestran una media de $1,487.4 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, con máximo de $4,322.34 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$, mínimo de $30.23 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ y una mediana de $1,313.48 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Los parámetros de variabilidad: desviación estándar ($892.92 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$), varianza ($797,301.1$), rango ($4,292.1$) y coeficiente de variación (0.60), indican alta variación espacial de las UM, ya que presentan valores altos y bajos (ceranos a cero) en poca distancia. Esto significa que la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla* es heterogénea en la zona de estudio. En cuanto a las medidas de forma: skewness (0.87) y curtosis (1.44) revelan que los datos tienen una distribución asimétrica positiva con cola larga a la derecha. La prueba de normalidad indica que la muestra pertenece a una normal (p -valor de 0.3993) y puede ser analizada mediante métodos estadísticos paramétricos.

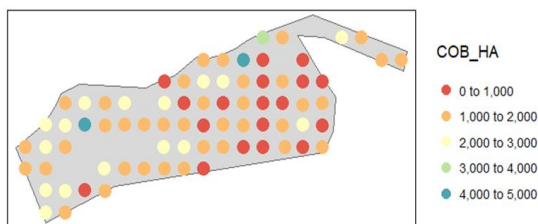


Figura 1. Distribución de las unidades de muestreo en el terreno y clarificación por cobertura arbustiva.

Al representar gráficamente la Cob por UM obtenida a partir del inventario en campo, se observa un ligero patrón que indica que la cobertura disminuye con dirección al este del terreno (suelo Xerosol), menor pendiente o plana y mayor valor hacia el oeste (suelo Litosol), característico de la especie en tener poco desarrollo en terrenos planos o suelos con poco drenaje (Figura 1). Los métodos de Voronoi e IDW modelaron de forma eficiente los patrones de la distribución espacial de la Cob, en la totalidad de la superficie no inventariada (Figura 2a, b, c, d). En especial el IDW cuadrático o cúbico presentan mejor estimación que los generados por Voronoi y IDW lineal (Figura 2c y 2d), debido a que el detalle de análisis en estos dos últimos es más fino.

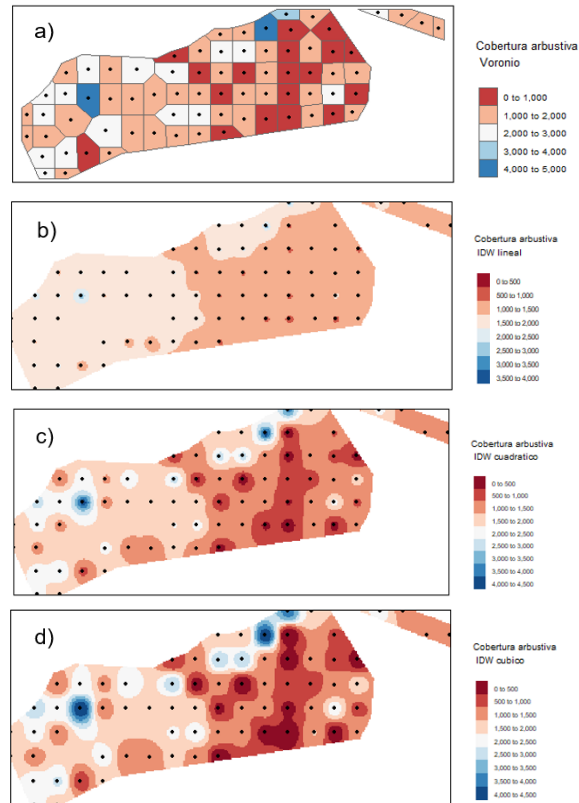


Figura 2. Distribución espacial de cobertura arbustiva de *Agave lechuguilla* mediante Voronoi (a), IDW lineal (b), IDW cuadrático (c) e IDW cúbico (d).

En los métodos estocásticos, las interpolaciones a partir de modelos lineales de regresión e 1° y 2° orden no estiman con detalle la distribución espacial de la cobertura; solo son útiles para determinar de forma general los patrones, ya que hace una representación espacial uniforme en el terreno acorde a las coordenadas de ubicación. Este comportamiento puede no ser lógico al representar comunidades vegetales, como es el caso de estudio (Figura 3a y 3b). Finalmente, el modelo generado mediante Kriging presenta una adecuada representación gráfica de la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla* en el área de estudio (Figura 3c).

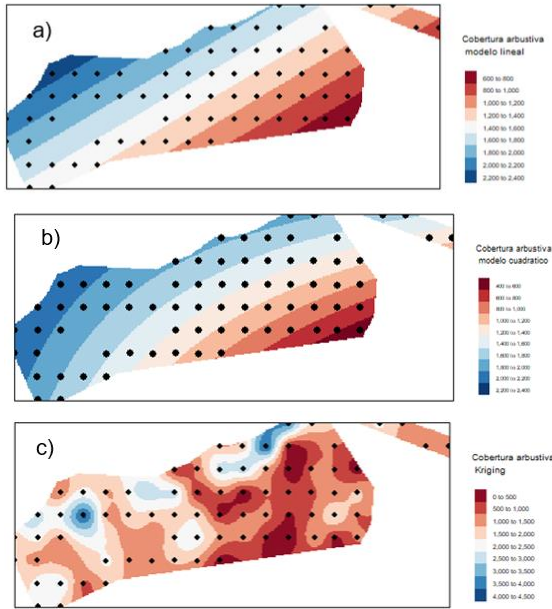


Figura 3. Distribución espacial de cobertura arbustiva de *Agave lechuguilla* mediante regresión (a, b) y Kriging (c).

La comparación gráfica de las interpolaciones indicaron que los métodos IDW cubico y Kriging modelan la distribución espacial de la cobertura arbustiva de *A. lechuguilla* más probable en la superficie de forma fina y lógica, adecuada al comportamiento natural observada en el inventario en campo. De acuerdo con la diferencia de medias globales, el primero presenta menor error. Esto se debe a que IDW se basa en los vecinos más cercanos, con valores locales cambiantes a distancias cortas (Toro y Melo, 2009), característico de esta especie. De igual manera, Fortis-Hernández *et al.* (2010) obtuvieron como mejores métodos de interpolación al IDW y Kriging, determinístico y estocástico, respectivamente. Por otra parte, la inclusión de variables predictoras mejora las estimaciones (Castro *et al.*, 2017), en este caso las coordenadas ayudaron a predecir patrones espaciales de esta variable en el terreno en los métodos geoestadísticos. Con respecto a esto Hernández *et al.* (2017) mencionan que algunos atributos de localización o de sitio describen variantes en las condiciones ambientales que delimitan la presencia o ausencia de una especie, como fue el caso en este trabajo, donde la cobertura de *A. lechuguilla* es mayor en zonas noroestes o de mayor altitud dentro del área de estudio, que además está asociada a diferentes tipos de suelo.

CONCLUSIONES

Los métodos de interpolación determinísticos y estocásticos modelaron de forma adecuada la distribución espacial de la cobertura arbustiva de *Agave lechuguilla* en la zona de estudio porque presentaron predicciones lógicas en las áreas no muestreadas, como las diferencias que presenta esta variable de acuerdo con el tipo de suelo y la altitud dentro del área de estudio.

AGRADECIMIENTOS

Al INIFAP por financiar el proyecto de investigación 14464435064 - Estimación de variables forestales en ecosistemas áridos y semiáridos mediante datos de sensores remotos para el aprovechamiento de recursos forestales no maderables (Etapa 1 de 2); y al CONAHCYT por el apoyo de beca doctoral.

LITERATURA CITADA

- Castro F. M., García R. D. Y. y Jiménez L. A. F. 2017. Comparación de técnicas de interpolación espacial de propiedades del suelo en el piedemonte llanero colombiano. *Tecnura*, 21(53): 78-95.
- Fortis-Hernández M., Huerta-García A., ... Valdez-Cepeda R. 2010. Validación de cuatro modelos de interpolación para cartografiar nitrato y amonio en suelo. *Terra Latinoamericana*, 28(4): 371-379.
- Hernández F. J., Navarro M. C. B., Peña M. R. y Nájera L. A. 2017. Patrón de distribución espacial de las especies arbóreas de la región de El Salto, Durango. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47): 169:186. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.161>
- Hernández-Ramos A., Cano-Pineda A., Flores-López C., Hernández-Ramos J., García-Cuevas X. y Martínez-Salvador M. 2019. Modelos para estimar biomasa de *Euphorbia antisiphilitica* Zucc. en seis municipios de Coahuila. *Madera y Bosques*, 25(2): e2521806. Doi: <https://doi.org/10.21829/myb.2019.2521806>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI)
2016. Carta de uso del suelo y vegetación.
Disponible en internet:
<https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>. Consultado 8 de julio de 2023.

Pérez-Vázquez Z., Ángeles-Pérez G., Chávez-Vergara B., Valdez-Lazalde J. R. y Ramírez-Guzmán M. E. Enfoque espacial para modelación de carbono en el mantillo de bosques bajo manejo forestal maderable. *Madera y Bosques*, 27(1): e2712122. Doi: 10.21829/myb.2021.271212

Tapia-Tapia E. C. y Reyes-Chilpa R. 2008. Productos forestales no maderables en México: Aspectos económicos para el desarrollo sustentable. *Madera y Bosques*, 14(3): 95-112.

Toro G. y Melo C. E. 2009. Aplicación de métodos de interpolación geoestadísticos para la predicción de niveles digitales de una imagen satelital con líneas perdidas y efecto sal y pimienta. *Tecnura*, 12(24): 55-67.