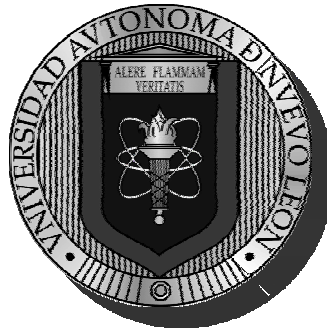


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



DISTRIBUCIÓN POTENCIAL Y ANÁLISIS ECOLÓGICO DE *TAXUS GLOBOSA* EN MÉXICO

POTENTIAL DISTRIBUTION AND ECOLOGICAL ANALYSIS OF *TAXUS GLOBOSA* IN
MEXICO

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTOR EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
MANEJO DE RECURSOS NATURALES

PRESENTA:

MARIO ALBERTO GARCÍA ARANDA

LINARES, NUEVO LEÓN

FEBRERO, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO



Distribución potencial y análisis ecológico de *Taxus globosa* en México

Potential distribution and ecological analysis of *Taxus globosa* in Mexico

Tesis

Que para obtener el grado de doctor en ciencias con especialidad en manejo de
recursos naturales

Presenta:

Mario Alberto García Aranda

Linares, Nuevo León

Febrero, 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
SUBDIRECCIÓN DE POSGRADO

Distribución potencial y análisis ecológico de *Taxus globosa* en México

Comité de tesis:



Dr. Andrés Eduardo Estrada Castellón

Director



Dr. César M. Cantú Ayala

Primer vocal



Dr. Enrique Jurado Ybarra

Segundo vocal



Dra. Marisela Pando Moreno

Tercer vocal



Dr. José A. Villarreal Quintanilla

Cuarto vocal

ÍNDICE GENERAL

	Página
Índice de Cuadros y Tablas	iii
Índice de Figuras	iv
Resumen General	1
General Summary	2
Capítulo 1 Introducción General	3
2. Objetivos Generales	4
3. Hipótesis General	4
4. Referencias	5
Captítulo 2. Análisis de once poblaciones naturales de <i>Taxus globosa</i> en la Sierra Madre Oriental	8
Resumen	8
Abstract	8
Introducción	9
Objetivo	10
Metodología	10
Resultados	13
Discusión y conclusiones	18
Referencias	20
Capítulo 3. Clasificación de nueve sitios de bosque mixto de coníferas con presencia de <i>Taxus globosa</i> en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México	22
Resumen	22
Abstract	22
Introducción.....	23
Materiales y métodos	24
Resultados	26
Discusión	28
Agradecimientos	30
Literatura citada	30
Capítulo 4. Modelación en Maxent para la generación del área potencial de distribución -	

- de <i>Taxus globosa</i> Schlecht. en México.....	35
Resumen	36
Summary	36
Introducción	37
Material y métodos	37
Resultados y discusión	39
Conclusión	48
Referencias bibliográficas	49
Anexo	51
Capítulo 5. Conclusión general	54

ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

	Página
Cuadro 1. Valores de χ^2 y probabilidades en las once poblaciones de <i>Taxus globosa</i> estudiadas	13
Cuadro 2. Coeficientes de correlación (r) entre variables altura, cobertura y diámetro	14
Cuadro 3. Cálculos de Media (μ), Error Típico de la Media (ETM) de las variables altura, diámetro y cobertura aérea en individuos de 11 poblaciones de <i>Taxus globosa</i> del Noreste de México.....	15
Cuadro 4. Densidad de <i>Taxus globosa</i> en 11 poblaciones del Noreste de México.....	18
Cuadro 1. Resultados de prueba t en dos bloques (norte y sur) de variables bióticas en 40 cuadrantes con presencia de <i>Taxus globosa</i>	26
Cuadro 2. Resultados de pruebas t en dos bloques (norte y sur) de variables abióticas en 40 cuadrantes con presencia de <i>Taxus globosa</i>	26
Cuadro 3. Índices de diversidad para nueve sitios con presencia de <i>Taxus globosa</i>	27
Apéndice 1. Listado de especies y sus valores de importancia en nueve sitios con presencia de <i>Taxus globosa</i>	32
Apéndice 2. Arreglo en grupos de variables bióticas en 40 cuadrantes en nueve sitios con presencia de <i>Taxus globosa</i>	33
Apéndice 3. Arreglo en grupos de variables abióticas en 40 cuadrantes en nueve sitios con presencia de <i>Taxus globosa</i>	34
Tabla 1. Síntesis de resultados en las pruebas de validación internas Maxent	51
Tabla 2. Listado de las variables ambientales Bioclim2 y topográficas usadas en la modelación Maxent y su porcentaje de contribución en los modelos de distribución generados para <i>Taxus globosa</i> en México	51
Tabla 3. Análisis de superficie y porcentaje por deciles de probabilidad del hábitat potencial de <i>Taxus globosa</i> en México para los modelos Bioclim y BioClim + Topografía	44
Tabla 4. Valores de probabilidad de hábitat potencial (0.1-1.0) para 42 registros de <i>Taxus globosa</i> no usados en la modelación y los valores registrados de precisión > 70% en cada modelación	45
Tabla 5. Distribución de la superficie generada de hábitat potencial para <i>Taxus globosa</i> -	

- (0.8-1.0) de acuerdo al mapa uso del suelo y vegetación (INEGI, 2005)	47
Tabla 6. Relación de superficies en km ² por estado de los percentiles 0.8-0.9 y 0.9-1.0 de probabilidad de presencia de hábitat potencial para <i>Taxus globosa</i> en México según el modelo Bioclim+Topografía	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de ubicación de 11 poblaciones de <i>Taxus globosa</i> en el Noreste de México. 1.El Tejocote, 2. Potrero Redondo, 3. El Arroyo de las Cuevas, 4. Curva de la Raíz, 5. El Rancho, 6 Ej. La Camotera, 7. La Trinidad, 8. Agua Fría, 9. Brecha de Zaragoza, 10. Las Tinajas y 11 Julilo.....	10
Figura 2. Tipos de curva por clase de altura de <i>Taxus globosa</i>	15
Figura 3. Tipos de curva por clase de cobertura de <i>Taxus globosa</i>	16
Figura 4. Tipos de curva por clase de diámetro de <i>Taxus globosa</i>	17
Figura 1. Área de estudio	24
Figura 2. Clasificación de los nueve sitios con base en los valores de importancia de las especies asociadas con <i>Taxus globosa</i> del noreste de México	28
Figura 1. Mapa de modelación de hábitat potencial para <i>Taxus globosa</i> en México, usando variables Bioclim	39
Figura 2. Mapa de modelación de hábitat potencial para <i>Taxus globosa</i> en México, usando variables Bioclim y topográficas	40
Figura 3. Detalle diferencial de modelos: A Bioclim y B Bioclim+Topografía	41
Figura 4. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de <i>Taxus globosa</i> con relación a la variable ambiental Topo03 (grados de pendiente).....	42
Figura 5. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de <i>Taxus globosa</i> con relación a la variable ambiental Bio14 (precipitación promedio del mes más seco)	42
Figura 6. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de <i>Taxus globosa</i> con relación a la variable ambiental Topo01 (elevación en msnm)	43
Figura 7. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de <i>Taxus globosa</i> con relación a la variable ambiental Bio06 (temperatura mínima del mes más frío)	43
Figura 8. Gráfico que muestra los porcentajes de superficie de hábitat potencial para -	

- <i>Taxus globosa</i> en los modelos generados en Maxent: Bioclim y Bioclim +Topografía ...	46
Figura 9. Modelo 1 Bioclim	52
Figura 10. Modelo 2 Bioclim + topografía	53

RESUMEN GENERAL

Inicialmente se evaluaron once poblaciones de *Taxus globosa* en una fracción de la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas, México. Con un muestreo total se contabilizaron individuos, registrando su altura, cobertura, DAP y densidad. Se organizaron en bases de datos en intervalos de clase, seis para altura, siete para cobertura y siete para diámetro. Una prueba χ^2 indicó que las poblaciones tienen una distribución normal. Cobertura y diámetro mostraron valores más altos de correlación ($r= 0.9$). La tendencia de curvas poblacionales indica que los sitios Las Tinajas, Julilo y La Camotera poseen una proporción de individuos juveniles mayor que el resto de las poblaciones del noreste. Posteriormente, se evaluaron nueve comunidades de bosque mixto de coníferas con *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, Nuevo León y Tamaulipas. Se cuantificaron las variables área basal, densidad, cobertura, altura, diversidad de especies asociadas, altitud, exposición y pendiente. Estos nueve sitios de bosque fueron divididos en sitios norte y sitios sur para ser evaluados mediante una prueba de t . Se calculó el valor de importancia (V.I.) de cada especie por sitio. La información fue evaluada en análisis de conglomerados, utilizando la matriz de datos de V.I. de especies con $V. I. \geq 5 \%$. La prueba t muestra que área basal y altura son diferentes entre los sitios norte y sur así como con las variables altitud y pendiente. El sitio El Butano tiene la mayor diversidad de especies mientras que La Camotera tiene los índices de diversidad menores. De acuerdo con el dendrograma y las especies en común entre en los nueve sitios, se reconocen tres grupos de sitios. Finalmente, fué se generó el área de distribución potencial de *Taxus globosa* Schltdl. para México, con el método modelación de distribución de máxima entropía (Maxent), basados en 40 registros de campo y 39 obtenidos del REMIB CONABIO. Se probaron dos escenarios con cubiertas ambientales, climáticas y topográficas. El escenario Bioclim con Topografía es el modelo con mas precisión (probabilidad 0.9 a 1.0 y 55% de coincidencia, AUC= 0.985). La variable de pendiente tiene mayor influencia en la modelación del hábitat potencial, seguida por la precipitación del mes más seco. Las principales comunidades vegetales en el área potencial son bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña; Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas son los estados donde, potencialmente se puede distribuir *Taxus globosa* en México.

GENERAL SUMMARY

Eleven populations of *Taxus globosa* in a northeastern portion of Sierra Madre Oriental, Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico were evaluated. With a sampling of all the individual of *T. globosa* in each population was carried out, recording also the variables height, canopy cover, diameter, and density. The information was organized on databases in several intervals of class: six for height, seven for canopy cover and seven for diameter. A χ^2 test showed that all the evaluated populations has a normal distribution. Canopy cover and diameter showed the highest correlation value ($r=0.9$). The population graphic curves tendencies indicates that Las Tinajas, Julilo and La Camotera has the highest juvenile proportion than the rest of the northeastern *Taxus* populations. Later, nine mixed conifer forests communities with *Taxus globosa* in Sierra Madre Oriental, Nuevo Leon and Tamaulipas were evaluated. Variables like basal area, density, canopy cover, height and diversity of associated species were quantified, also the abiotic variables altitude, slope and topographic exposition. Data of this nine sites were divided in north and south blocks for a statistical *t* test. Importance Value were calculated for each species in all sites. The information was organized in a matrix and evaluated by means of a Cluster Analysis using the I.V. ≥ 5 % matrix data. The *t* test showed that elevation, slope, basal area and height are different for the north and south blocks. El Butano is the site with major diversity and La Camotera has the lowest diversity index. According to the dendrogram and the common species among sites, we recognized three main groups. Finally, a potential distribution area for *T. globosa* in Mexico was generated with a modelling of distribution method of maximum entropy (Maxent) based on 40 field records and 39 records from REMIB CONABIO. Two scenarios with environmental coverages, climatic and topographic coverages were tested. The Bioclim scenario with topographic data was the most accurate model (probability range 0.9-1.0 and 55% of coincidence, AUC=0.985). Slope was the variable with major influence in the model followed by rain of the driest month. The main vegetal communities distributed in the potential area are pine-oak forest, oak-pine forest, pine forest and cloud forest; Hidalgo, Nuevo Leon, Veracruz, Puebla and Tamaulipas are the main states where *Taxus globosa* could be distributed in Mexico.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Taxus globosa es una conífera de la cual aún se tiene poco conocimiento sobre su ecología y distribución, principalmente para la región del Noreste de México, donde habita de manera escasa bajo doseles de bosques mixtos de coníferas, generalmente en cañadas o laderas de exposición húmeda a elevaciones que oscilan entre los 1,800 y 2,300 m.s.n.m (Estrada et al, 2006). Condiciones que la vuelven una especie rara o de distribución discontinua y restringida. Estas condiciones la hacen una especie tolerante a áreas sombreadas. Es una especie longeva y de lento crecimiento, por tales condiciones ambientales, se la ubica en comunidades de bosques mixtos de coníferas al norte, y más al sur cerca de la línea tropical, se le encuentra en bosques mesófilos de montaña.

Dentro de las comunidades vegetales donde se le puede localizar, esta planta forma parte del dosel medio o bajo, ya que su altura, rara vez llega a ser competitiva entre las especies dominantes y codominantes de tales comunidades.

La importancia económica que han recibido las especies de este género en todo el mundo es debido a que es una planta productora de fitoquímicos útiles en tratamientos contra la enfermedad del cáncer (paclitaxel o taxol) como *Taxus brevifolia* de la región Pacífico Noroeste y *Taxus canadensis*. Donde el aprovechamiento excesivo que han tenido las ha llevado a ponerlas en peligro de extinción. Por estudios recientes se ha establecido la calidad de estos fitoquímicos en la especie mexicana *T. globosa*, sin embargo no se ha logrado una reproducción comercial exitosa.

Las bases de datos sobre registros de la especie en México no son abundantes, lo que hace necesario desarrollar estudios que faciliten la ubicación de nuevas poblaciones o bien de zonas con las características climáticas adecuadas para el desarrollo de la especie.

Siendo *T. globosa* una especie que requiere condiciones ambientales muy particulares, se hace necesario realizar estudios sobre su distribución geográfica potencial, con el objetivo de apoyar el monitoreo y conservación de las poblaciones naturales, así como también lograr estrategias de restauración de poblaciones y su posible reproducción masiva para planeación a largo plazo.

2. OBJETIVOS GENREALES

1. Ubicar y hacer inventario del estado poblacional de *Taxus globosa* en localidades del Noreste de México.

- Establecer las relaciones existentes entre variables de los individuos como cobertura arbórea, diámetro y la altura de sus individuos.

- Con base en conteos y la extensión de sus poblaciones, calcular la densidad existente de sus poblaciones.

2. Clasificar las comunidades que presentan *Taxus globosa* en el noreste de México

- Analizar la influencia de algunas variables bióticas y abióticas relacionadas con las comunidades vegetales con presencia de *Taxus globosa* en el noreste de México.

- Establecer el índice de diversidad entre nueve comunidades con presencia de *Taxus globosa* en el Noreste de México.

- Clasificar estas comunidades con presencia de *Taxus globosa* en relación a los Valores de Importancia de las especies presentes en el estrato superior.

3. Modelar el hábitat potencial de *Taxus globosa* para Mexico.

- Establecer un modelo adecuado de distribución potencial para *Taxus globosa* con base en variables bioclimáticas y topográficas presentes en México.

- Con base en el modelo de distribución potencial generado, analizar el comportamiento de las variables ambientales involucradas en dicha modelación.

- Hacer un análisis de superficie de la zona potencial con base en su distribución de uso del suelo y vegetación actual y la división por estados de la Republica Mexicana.

3. HIPÓTESIS

Las poblaciones de *Taxus globosa* del noreste de México guardan una condición poco estable debido a las presiones de uso del suelo y manejo de la zona noreste.

Las variables asociadas a la presencia de *Taxus globosa* cambian a lo largo de su rango de distribución en el noreste de México.

Por sus requerimientos ambientales particulares, *Taxus globosa* presenta una superficie reducida de hábitat potencial en México.

4. REFERENCIAS

- Alanís G., C. Velazco, R. Foroughbakhch, V. Valdéz y M. Alvarado. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. *CIENCIA UANL* 7 (2):209-218.
- Anónimo. 1986. *Síntesis geográfica de Nuevo León*. INEGI, SPP. México, DF.
- Anónimo. 2003. *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) escala 1: 50 000*. INEGI.
<<http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977>> (Consultado 27 julio 2010).
- Anónimo. 2005. *Uso del Suelo y Vegetación*, México [cd-rom].
- Bonilla-López L. y P. B. Canchola-García. 2008. Fitogeografía de *Taxus globosa* en la región centro-oriente de México. Tesis profesional, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. México.
- Boratynski A., Didukh Y. and M. Lucak. 2001. The yew (*Taxus baccata* L.) population in Knyazhdvir Nature Reserve in the Carpathians (Ukraine). *Dendrobiology* 46: 3-8.
- Contreras M.R. y Luna I. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schltdl. (Taxaceae) en el estado de Chiapas, México. *Polibotánica* 12:51-55.
- DeLong E.R., DeLong D.M. and Clarke-Pearson D.L. 1988. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 44(3):837-845.
- Dovčiak M. 2002. Population dynamics of the endangered english yew (*Taxus baccata* L.) and its management implications for biosphere reserves of the Western Carpathians. MAB Secretaria. Division of Ecological Sciences, UNESCO. 22 p.
- Estrada E. C.G. Salazar, J.A. Villarreal, J.P. García y M. A González. 2006. Cuantificación de *Taxus globosa* en el Noreste de México. The Southwestern Naturalist. 53rd. Annual meeting abstatcts. Colima, Colima, México. pp. 136-137.
- Flaspohler, D.J. and P. Hurley. 2005. Proceedings of: Forests and whitetails, striving for balance, Michigan Society of American Foresters annual meeting, St. Ignace, MI 9-10 June.
- García M. R. 2008. Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal, comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. *Ph. D. Tesis. Facultad de Ciencias*

- Biológicas, Depto. De Biología Vegetal, Universidad Complutense de Madrid. España. 187 p.*
- García S.F. y Castillo P.L. 2000. Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schltdl. en las Mesas de San Isidro, Municipio de Rioverde, San Luis Potosí. *BIOTAM* **11(3)**:11-18.
- Gauch H.G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G. and Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* **25**: 1965-1978.
- Iszkuło G., A. Boratyński, Y. Didukh, K. Romaschenko, and N. Pryazhko. 2005. Changes of population structure of *Taxus baccata* L. during 25 years in protected area (Carpathians, Western Ukraine). *Polish Journal of Ecology* **53** (1): 13-23.
- Kovach W.L. 1999. *MVSP – Multivariate Statistical Package for Windows, Version 3.1*. Kovach Computing Services. Pentreath, Wales, UK.
- Kumar S. and Stohlgren T. J. 2009. Maxent modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment* **1**(4): 094-098.
- Leal-Nares O.A. 2009. Aspectos y patrones de distribución de *Pinus martinezii* Larsen en la cuenca del lago de Cuitzeo, México: Un modelo de distribución potencial aplicado a la conservación. *Tesis Posgrado en Geografía, UNAM*. Mexico, DF. 180 p.
- Loraie R.S., Philip B.D., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B. and Ackerly D.D. 2009. The velocity of Climate Change. *Nature* **462**:1052-1057.
- Moreno C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España.
- Mueller D. D. and H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. The Blackburn Press Caldwell New Jersey, U. S. A. 547 p.
- Phillips J.S., R.P. Anderson and Schapire R. E. 2006. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* **190**: 231-259.
- Rikhari H. C., S. Sharma, M. Nadeem and L. M. S. Palmi. 2000. The effect of disturbance levels, forest types and associations on the regeneration of *Taxus baccata*: Lessons from the Central Himalaya. *Current Science* **79** (1): 88-90.

- Sedesol. 1994. "Norma Oficial Mexicana NOM-59-ECOL-1994, que determina las especies de flora y fauna silvestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazada, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. Diario Oficial de la Federación 488: 2-59. México.
- Shemluck M., Estrada E., Nicholson R. and Brost S.W. 2003. A preliminary study of the taxane chemistry and natural history of the Mexican yew, *Taxus globosa* Schltld. *Bol. Soc. Bot. Mex.* **72**:119-127.
- Soto H. M., Sanjurjo M., González T., Cruz D. y Giral F. 2005. El tejo mexicano (*Taxus globosa* Schltld.). Potencial de su aprovechamiento en taxol. *Ciencia* **7(3)**: 277-279.
- Spjut R.W. 2007. Taxonomy and nomenclature of *Taxus* (TAXACEAE). *J. Bot. Res. Inst. Texas* **1(1)**: 203-289.
- Ward D.F. 2007. Modelling the potencial Geographic distribution of invasive ant species in New Zeland. *Biol. Invasions* **9**:723-735.
- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *American Statistical Association Journal* **58**: 236-44.
- Wheeler, N. C. y M. T. Henhen. 1993. Taxol, a study in technology Commercialization. *Journal of Forestry* **91(10)**: 15-18.
- Zamudio S. 1992. Familia Taxaceae. En: *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. **9**: 1-7.
- Zavala-Chávez F., Soto-Hernández M. y Rodríguez-González T. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Chapingo Serie Horticultura* **7(1)**: 77-94.
- Zavala-Chávez F. 2001. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schltld. en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. I: Población de adultos y algunas características del hábitat. *CIENCIA* **8 (2)**: 169-174.
- Zavala-Chávez F. 2002. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. II: Población de juveniles y algunos datos de semillas. *Ciencia* **9 (2)**: 177-183.

CAPÍTULO 2

ANÁLISIS DE ONCE POBLACIONES NATURALES DE *TAXUS GLOBOSA* EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL₁

Mario A. García Aranda, A. Eduardo Estrada Castellón, Enrique Jurado Ybarra, y Dino U. González Uribe

Sometido el la revista Madera y Bosques, Instituto de Ecología A. C.: MB34-09

Resumen

Se ubicaron y estudiaron once poblaciones de *Taxus globosa* a lo largo de la Sierra Madre Oriental en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, México. A través de muestreo total se contabilizaron todos los individuos en las poblaciones, registrando además altura, cobertura aérea, diámetro y densidad de esta especie. Las poblaciones se organizaron en bases de datos en intervalos de clase, en seis categorías para altura, siete categorías para cobertura y siete categorías para diámetro. La prueba de χ^2 indica que todas las poblaciones tienen una distribución normal. La cobertura y el diámetro mostraron valores altos de correlación ($r=0.9$). La tendencia de las curvas poblacionales indica que las poblaciones mas aisladas a centros de población o de sitios inaccesibles como Las Tinajas, Julilo y La Camotera son las que poseen una proporción de individuos juveniles mayor que el resto de las poblaciones del noreste.

PALABRAS CLAVE: Cuantificación, distribución, noreste de México, *Taxus globosa*

Abstract

Eleven populations of *Taxus globosa* were located and evaluated along the Sierra Madre Oriental in the State of Nuevo Leon and Tamaulipas, Mexico. A complete inventory of the individuals in all *Taxus globosa* populations was recorded; also data of height, diameter, canopy cover and density was evaluated. The population data were organized in databases on rank classes into six height categories, seven canopy cover categories and seven diameter categories. A χ^2 test indicates that all the populations showed a normal distribution. The canopy cover and diameter variables shown higher values in correlation test ($r=0.9$). The population curve tendency on height, canopy cover and diameter shows that isolated or

inaccessible populations of *Taxus globosa* Las Tinajas, Julilo and La Camotera are the populations with more young individuals than the rest of the northeastern populations.

KEYWORDS: Quantification, distribution, northeastern Mexico, *Taxus globosa*.

Introducción

El género *Taxus* se compone de 24 especies y 55 variedades, de éstas, *Taxus globosa* var. *globosa* es la única que se distribuye en México (Spjut, 2007). Las poblaciones de *T. globosa* en la región noreste de México se caracterizan por ocurrir de manera escasa en los doseles de bosques mixtos, localizados generalmente en cañadas o laderas, con exposición húmeda y en altitudes que oscilan entre los 1800-2300 m.s.n.m (Estrada et al, 2006). Es una especie de lento crecimiento, tolerante a la sombra, asociado a bosques de condición climax (Dovčiak M. 2002). El conocimiento de su distribución tiene importancia económica debido a que de ésta especie se extraen fitoquímicos útiles en tratamientos contra el cáncer (Shemluck et al., 2003; Soto H.M. et al., 2005). La presencia de taxol en *T. globosa* es comparable a los niveles encontrados en especies europeas (Soto H. M. et al. 2005). A pesar de lo anterior, aun existen pocos estudios sobre la especie en territorio mexicano y específicamente en la región noreste, lo que justifica el estudio en un intento por aportar información sobre su ecología y dinámica poblacional que contribuya a un manejo sustentable de la especie. *Taxus globosa* tiene una distribución discontinua y restringida a micro-hábitat muy particulares y es considerada como rara en las categorías oficiales de conservación de especies en México (García y Castillo 1999; Alanis et al. 2004). Debido a que en el noreste de México nunca se habían realizado conteos de individuos de la especie, no se conocían registros de cuantas poblaciones existen, además de la información bibliográfica sobre ecología de *Taxus* es aún escasa, especialmente sobre la especie mexicana y su distribución en el noreste de México. Se ha localizado en una zona montañosa del municipio de Ríoverde, San Luis Potosí (García, 1999); Zamudio (1992) considera que esta especie tiene una distribución aparentemente disyunta; se ha localizado en el estado de Chiapas, específicamente en laderas húmedas con bosque de *Pinus* y bosque de *Abies* (Contreras y Luna, 2001). En el estado de Hidalgo (Zavala et al. 2001), estableció perspectivas para su posible uso y hace un estudio demográfico en el Parque Nacional El Chico (Zavala et al. 2002). De acuerdo a observaciones directas hechas en

sitio, en Tamaulipas se le ha ubicado en el bosque nublado de la Reserva El Cielo y en Nuevo León, se encuentra en el dosel bajo de comunidades boscosas de *Quercus-Pinus* y *Picea-Abies*, (Obs. Pers.).

Objetivo

Ubicar e inventariar las poblaciones de *Taxus globosa* en el Noreste de México y la determinar la distribución por clases de altura, diámetro y cobertura aérea de los individuos con la finalidad de conocer su cantidad y distribución.

Metodología

El área de estudio esta ubicada en una porción de la Sierra Madre Oriental, entre los 23°02'31" y 25 °19'56" Latitud Norte; y los 98°57'39.5" a los 100°14'58" de Longitud Oeste (Figura 1).

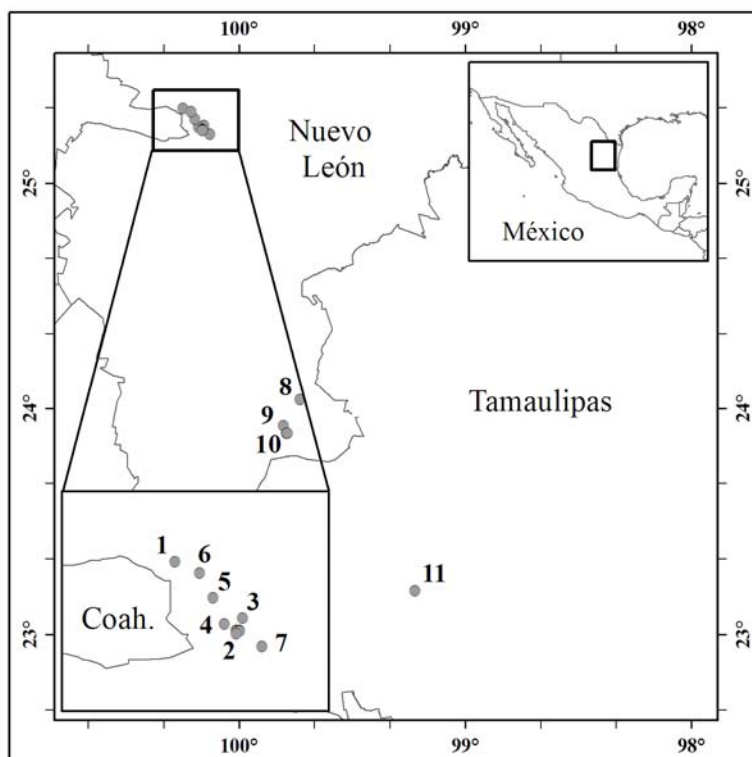


Figura 1. Mapa de ubicación de 11 poblaciones de *Taxus globosa* en el Noreste de México. 1.El Tejocote, 2. Potrero Redondo, 3. El Arroyo de las Cuevas, 4. Curva de la Raíz, 5. El Rancho, 6 Ej. La Camotera, 7. La Trinidad, 8. Agua Fría, 9. Brecha de Zaragoza, 10. Las Tinajas y 11 Julilo.

Las poblaciones de *Taxus globosa* registradas en este estudio fueron: (1) El Tejocote, Santiago, N. L., 25° 19' 56" -100° 14' 58"; (2) Potrero Redondo, Santiago, N. L. 25° 14' 21" - 100° 09' 54", Arroyo de la Pila, Santiago, N. L., 25° 14' 20" -100° 09' 39", La Mesa Larga, Santiago, N. L., 25° 14' 18"- 100° 09' 52", Arroyo de la Pila, Montemorelos, N. L., 25° 14' 17" -100° 09' 39" y La Guayamenosa, Montemorelos, N. L., 25° 14' 03"- 100° 09' 54"; (3) El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L., 25° 15' 21" - 100° 09' 23", (4) Curva de la Raíz, Santiago, N. L. 25° 14' 52" - 100° 10' 54"; (5) El Rancho, Santiago, N. L. 25° 17' 01" - 100° 11' 49"; (6) Ej. La Camotera, Santiago, N. L. 25° 19' 02" - 100° 12' 54"; (7) La Trinidad, Montemorelos, N. L. 25° 13' 01" - 100° 07' 47"; (8) Agua Fría, Aramberri, N. L. 24° 02' 28" - 99° 43' 57"; (9) Brecha de Zaragoza, N. L. 23° 55' 23" - 99° 48' 20"; (10) Las Tinajas, Zaragoza N. L., 23° 53' 28" - 99° 47' 29", 23° 53' 24.7" - 99° 47' 28.6", 23° 53' 26" - 99° 47' 17" y 23° 53' 24" - 99° 47' 18"; (11) Julilo, Jaumave, Tamaulipas 23° 11' 44" - 99° 13' 23"; El Cielo, Gómez Farías, Tamaulipas 23° 02' 31.9" - 99° 14' 6.6"; Cerro del Diente, San Carlos, Tamaulipas 24° 31' 42.4" - 98° 57' 39.5", (Figura 1).

Al ubicar las poblaciones en un Sistema de Información Geográfica, se determinó que algunas poblaciones consideradas en un principio independientes, estaban relacionadas espacialmente en pequeños complejos, por lo que se decidió agruparlas y manejarlas como una sola, como el caso de Potrero Redondo, al que se le sumaron los conteos de La Guayamenosa, La Mesa Larga y Arroyo de la Pila; de igual forma, también fueron reagrupados en una sola población cuatro conteos realizados en Las Tinajas, Zaragoza.

En los conteos de las poblaciones El Diente, en la Sierra de San Carlos y San José, localizada en la Reserva de La Biosfera El Cielo, Municipio Gómez Farías, solo se registró la presencia de uno y dos árboles de *Taxus globosa* respectivamente, por lo que fueron descartados de los análisis posteriores debido a la escasez de información. En total al final se tuvieron once poblaciones.

En cada población de *Taxus globosa* se cuantificaron todos los individuos observables, para cada individuo localizado se midió su altura total (con cinta métrica), cobertura de copa (con cinta métrica en largo y ancho, calculada multiplicando largo x ancho) y usando una forcípula se registró el diámetro normal (basal para individuos de baja talla o de fuste no recto). Estas variables fueron analizadas primero mediante la prueba de χ^2 de Pearson ($\chi = Z_I^2$

$+...+ Z_k^2$; donde Z_i son variables aleatorias normales independientes de media cero y varianza uno) para determinar si existía normalidad en la distribución de los datos registrados.

Con el propósito de analizar y observar variantes entre poblaciones, se realizaron estimaciones del Promedio ($\sum xi/N$) y Error Típico de la Media de las tres variables considerando la totalidad de individuos en cada población.

Para conocer la relación proporcional existente entre altura, cobertura aérea y diámetro en las poblaciones, se establecieron pruebas en Excel® del coeficiente correlación de Pearson ($r = \sigma_{XY}/\sigma_X * \sigma_Y$; donde σ_{XY} es la covarianza de (X,Y) y σ_X y σ_Y las desviaciones típicas de las distribuciones marginales), entre las combinaciones, altura-cobertura, altura-diámetro y cobertura-diámetro.

Una vez determinada la normalidad en los datos, posteriormente éstos fueron organizadas en tallas de intervalos de acuerdo con al criterio de estructura de sitios (Muller-Dumbois y Ellenberg, 1974). Para altura se consideraron seis intervalos de clase: I (0.1 a 2.0 m), II (2.1-4.0 m), III (4.1-6.0 m), IV (6.1-8.0 m), V (8.1-10 m) y VI (> 10 m). Para cobertura aérea se consideraron siete intervalos I (0.1-1.0 m²), II (1.1-10.0 m²), III (10.1-20.0 m²), IV (20.1-30.0 m²), V (30.1-50.0 m²), VI (50.1-100 m²) y VII (> 100 m²). Para diámetro se consideraron siete intervalos: I (0.1-6.0 cm), II (6.1-10.0 cm), III (10.1-14.0 cm), IV (14.1-20.0 cm), V (20.1-25 cm), VI (25.1-30 cm) y VII (> 30 cm). Individuos con altura de 2 m o menores, cobertura de 1.0 m² y diámetro de 6.0 cm o menores se consideraron como jóvenes, dentro del intervalo I (donde quedaron incluidas también las plántulas).

La tendencia en la distribución de las clases de altura, diámetro y cobertura (Método de sitio cuantitativo, Muller-Dumbois y Ellenberg, 1974) fue interpretada a partir de gráficos de valores porcentuales de las frecuencias de clase en cada una de las tres variables para determinar el estatus poblacional a través de porcentajes de individuos en cada clase dentro de los intervalos de clase ya establecidos, considerando una población normal aquella que se muestra una típica curva de tipo descendente.

Para hacer la estimación de densidad de *Taxus globosa* se calculó de manera directa a través de un Sistema de Posicionamiento Global (GPS) la superficie total muestreada (ha) en cada una de las poblaciones y mediante el uso del software Arview GIS se crearon los polígonos de cada sitio, los cuales, se proyectaron en unidades de mapa UTM zona 14 con el

DATUM de Norteamérica de 1927. Posteriormente se observó la relación en cociente del número de individuos en la superficie muestreada de cada población para obtener un valor de densidad expresado en individuos de *Taxus globosa* por hectárea (Densidad= N/Área, donde N representa en numero de individuos en la población).

Resultados

Las pruebas de χ^2 realizadas a las series de datos de las tres variables medidas en once poblaciones de *Taxus globosa* mostraron que estas se distribuyen de manera normal teniendo valores de χ^2 significativos con probabilidad <0.001, considerando que los valores de χ^2 obtenidos para las tres variables fueron muy diferentes entre las poblaciones (Cuadro 1).

Cuadro 1. Valores de χ^2 y probabilidades en las once poblaciones de *Taxus globosa* estudiadas

Población	χ^2		χ^2		χ^2	
	Altura	<i>p</i>	Diámetro	<i>p</i>	Cobertura	<i>p</i>
El Tejocote, Santiago N. L.	7.330	<0.001	2.267	<0.001	16.033	<0.001
Potrero Redondo Santiago, N. L.	47.976	<0.001	377.870	<0.001	1537.300	<0.001
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	38.936	<0.001	57.272	<0.001	1264.000	<0.001
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	404.310	<0.001	86.328	<0.001	236.620	<0.001
El Rancho, Santiago N. L.	2.492	<0.001	5.475	<0.001	2.763	<0.001
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	16.251	<0.001	102.790	<0.001	258.500	<0.001
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	2.343	<0.001	3.714	<0.001	5.771	<0.001
Agua Fría, Aramberri N. L.	142.430	<0.001	11.117	<0.001	27.527	<0.001
Brecha de Zaragoza, N. L.	5.838	<0.001	9.351	<0.001	131.410	<0.001
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3316.900	<0.001	6912.900	<0.001	4057.200	<0.001
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	2.492	<0.001	5.475	<0.001	2.763	<0.001

La correlación entre las variables altura-cobertura muestra valores de correlación significativos en cinco poblaciones: Las poblaciones de El Arroyo de las Cuevas, Potrero Redondo, Ej. La Camotera, La Trinidad y El Rancho tienen un valor de $r > 0.75$. La relación de variables altura-diámetro muestra cuatro poblaciones con valores de correlación significativos ($r > 0.77$): Julilo, El Arroyo de las Cuevas, Potrero Redondo y Ej. La Camotera. La relación de variables cobertura-diámetro mostró cuatro poblaciones con valores de correlación significativos ($r > 0.77$): El Arroyo de las Cuevas, Ej La Camotera, Julilo y El Rancho, (Cuadro 2).

Cuadro 2. Coeficientes de correlación (r) entre variables altura, cobertura y diámetro.

Población	N	Alt-Cob	Alt-Diam	Cob-Diam
El Tejocote, Santiago N. L.	91	0.618	0.721	0.624
Potrero Redondo Santiago, N. L.	3460	0.765	0.691	0.682
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	540	0.804	0.807	0.900
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	1000	0.634	0.585	0.673
El Rancho, Santiago N. L.	59	0.736	0.660	0.770
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	203	0.764	0.786	0.827
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	70	0.747	0.610	0.570
Agua Fría, Aramberri N. L.	273	0.150	-0.118	0.603
Brecha de Zaragoza, N. L.	148	0.604	0.697	0.642
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3035	0.221	0.067	0.003
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	0.695	0.870	0.785

Altura

En el Cuadro 3 muestran los valores de Media y Error Típico de la Media de la variable altura, donde Agua Fría es la población con mayor altura promedio mientras que el Ej. La Camotera presenta la altura menor entre las 11 poblaciones de *Taxus globosa*.

La tendencia en distribución en los valores porcentuales de altura mostró cuatro tipos de curva: **1.** Una curva de tipo descendente, donde predominan porcentajes de las clases iniciales I y II; los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales IV hasta VI, como el caso de Las Tinajas (Figura 2) y Ej. La Camotera. **2.** Donde los valores porcentuales de la clase I son menores a la clase II y posteriormente los valores porcentuales van disminuyendo de manera gradual hacia las clases II a la VI como en las poblaciones de La Trinidad (Figura 2), Brecha de Zaragoza, El Tejocote, Potrero Redondo, El Arroyo de las Cuevas, Curva de la Raíz y El Rancho. **3.** Donde la curva tiene pocos individuos en la clase I y tiene los valores porcentuales más altos en la clase intermedia II, como en Agua Fría (Figura 2). Y **4.** Donde la curva tiene una forma de tipo campana invertida debido a que los valores porcentuales de las clases I y VI son más altos que los porcentajes de las clases intermedias (II a V) como en la población de Julilo, (Figura 2).

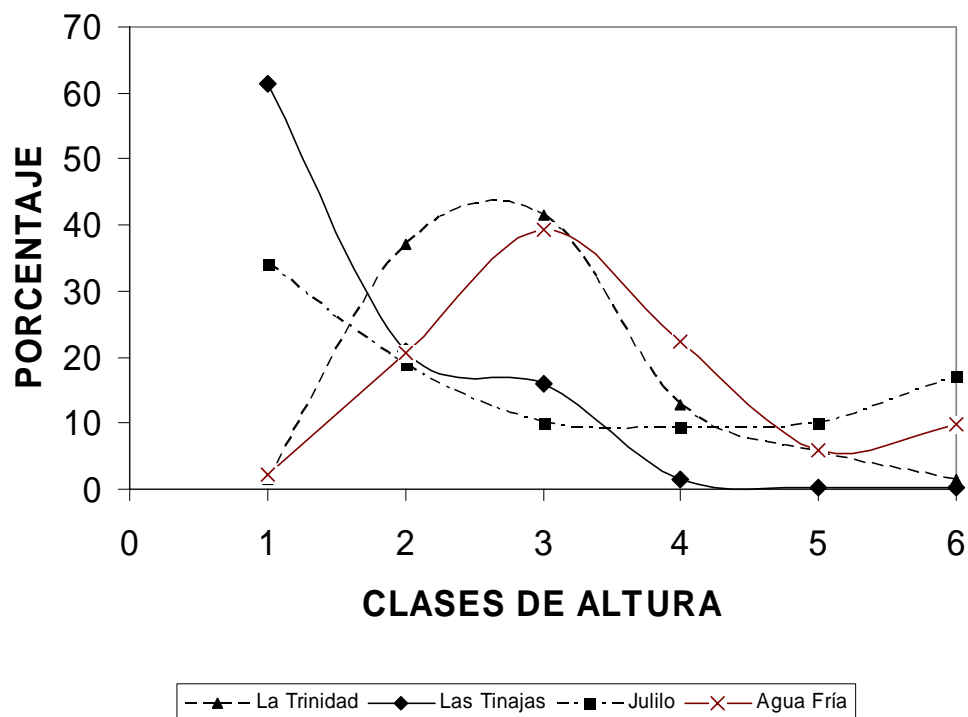


Figura 2. Tipos de curva por clase de altura de *Taxus globosa*.

Cobertura aérea

La población con mayor cobertura aérea promedio por individuo de *Taxus globosa* es El Arroyo de Las Cuevas mientras que la menor cobertura aérea promedio se presentó en el Ej. La Camotera (Cuadro 3).

Cuadro 3. Cálculos de Media (μ), Error Típico de la Media (ETM) de las variables altura, diámetro y cobertura aérea en individuos de 11 poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste de México.

Población	N	μ Altura	ETM	μ Diámetro	ETM	μ Cobertura	ETM
El Tejocote, Santiago, N.L.	91	3.42	0.14	5.63	0.36	14.13	1.36
Potrero Redondo, Santiago, N.L.	3460	2.95	0.03	5.65	0.12	14.46	0.35
El Arroyo de las Cuevas, Santiago, N.L.	540	3.50	0.05	10.93	0.23	30.34	3.73
Curva de la Raíz, Santiago, N.L.	1000	3.57	0.10	9.93	0.26	25.08	0.88
El Rancho, Santiago, N.L.	59	3.11	0.18	5.26	0.34	11.43	0.97
Ej. La Camotera, Santiago, N.L.	203	2.01	0.12	3.60	0.35	6.01	0.77
La Trinidad, Montemorelos, N.L.	70	4.85	0.23	12.94	1.01	30.02	2.93
Agua Fría, Aramberri, N.L.	273	6.83	0.29	11.81	0.46	20.06	1.13
Brecha de Zaragoza, Nuevo León	148	3.31	0.11	4.18	0.24	7.84	0.85
Las Tinajas, Zaragoza, N.L.	3035	2.31	0.09	2.93	0.40	14.06	3.88
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	5.45	0.31	9.33	0.72	14.15	1.30

En los valores porcentuales de cobertura se observó una tendencia expresada en tres tipos de curva: **1.** Donde la curva es de tipo descendente, pues predominan los porcentajes de las clases iniciales I a II y los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales III a VI, como el caso de Las Tinajas (Figura 3). **2.** Donde los valores porcentuales de la clase I son menores a la clase II, posteriormente, los valores porcentuales van disminuyendo de manera gradual hacia las clases III a VI como en las poblaciones de Brecha de Zaragoza, El Tejocote, Potrero Redondo (Figura 3), El Arroyo de las Cuevas, Curva de la Raíz, Agua Fría y El Rancho. Y **3.** Donde la curva es de tipo bimodal pues presenta pocos individuos en la clase I y tiene los valores porcentuales más bajos en la intermedia clase IV menores a los de la clase V y termina disminuyendo de manera gradual hacia las clases VI – VII en la población de La Trinidad (Figura 3).

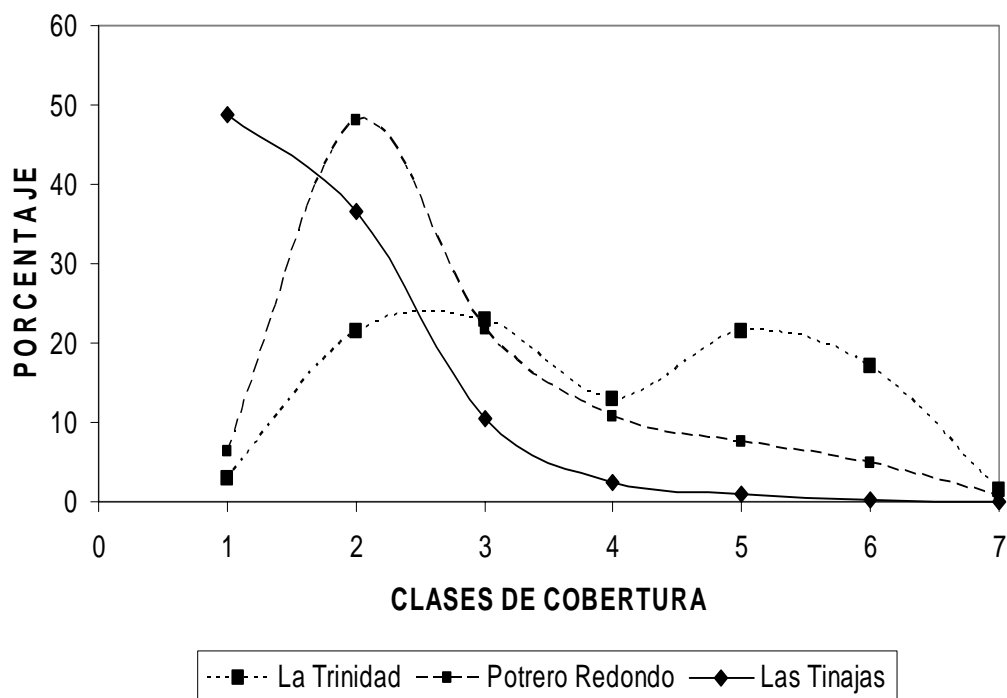


Figura 3. Tipos de curva por clase de cobertura de *Taxus globosa*.

Diámetro

La población que presenta el diámetro promedio mayor es La Trinidad mientras que en la población de Las Tinajas se presenta el diámetro promedio menor entre las once poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste, (Cuadro 3).

La tendencia observada en la variable diámetro mostró tres tipos de curva: **1.** Una curva descendente gradual, donde predominan los porcentajes de las clases iniciales I y los valores porcentuales van disminuyendo hacia clases medias y finales II hasta VI, como el caso de El Tejocote, Potrero Redondo, El Arroyo de Las Cuevas, Curva de La Raíz (Figura 4) y Agua Fría. **2.** Con una curva descendente, donde los valores porcentuales de la clase I son altos en comparación a los valores porcentuales en las clases II hasta VII donde disminuyen fuertemente como en las poblaciones de Brecha de Zaragoza, Las Tinajas, El Rancho, Ej. La Camotera (Figura 4) y Julilo. Y **3.** Donde la clase I tiene un menor porcentaje de individuos que la clase II, posteriormente los valores porcentuales van disminuyendo gradualmente de las clases III hasta VII como en la población de La Trinidad. (Figura 4).

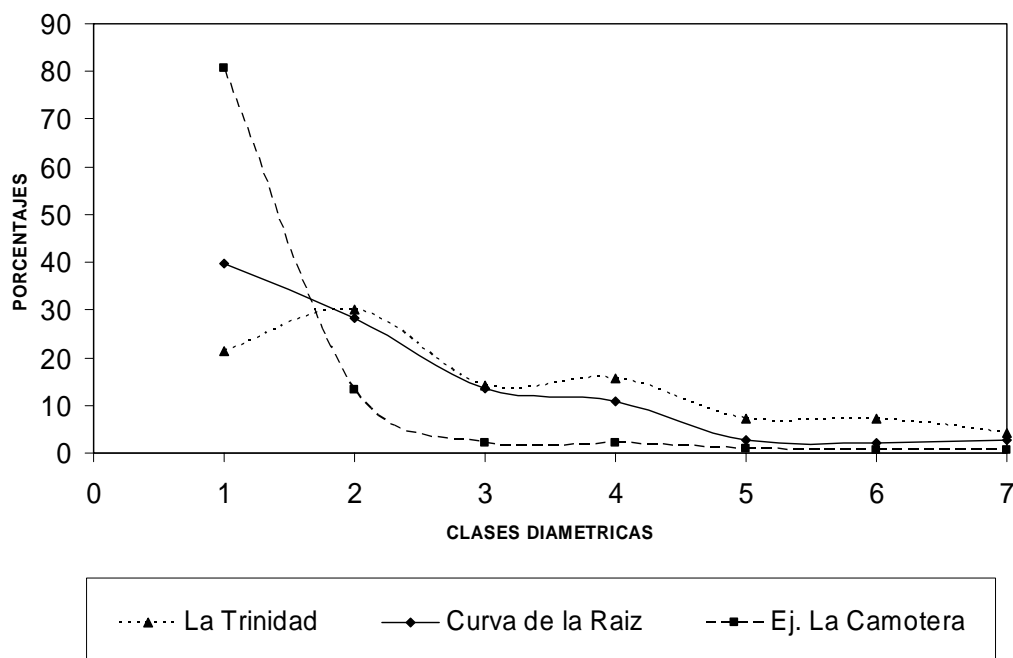


Figura 4. Tipos de curva por clase de diámetro de *Taxus globosa*.

Densidad

El Cuadro 4 muestra los valores de superficie muestreada, número total de individuos y densidad de individuos en las 11 poblaciones de *Taxus globosa* del Noreste de México. Las poblaciones más extensas en superficie y con mayor densidad fueron Potrero Redondo con 96.72 hectáreas y 35.77 individuos por hectárea y Las Tinajas con 76.24 hectáreas y 39.81 individuos por hectárea. Mientras que las poblaciones menores en superficie y densidad fueron El Rancho con una superficie de 10.86 ha, densidad de 5.43 individuos por hectárea y La Trinidad con una superficie de 5.61 ha y densidad de 5.61 individuos por hectárea. El Tejocote fue la población mas pequeña en superficie con 4.11 ha pero que tiene una densidad cercana al promedio con 22.13 individuos por hectárea.

Cuadro 4. Densidad de *Taxus globosa* en 11 poblaciones del Noreste de México.

Población	No. de Individuos por población	Superficie (ha)	Densidad (Ind/ha)
El Tejocote, Santiago N. L.	91	4.11	22.13
Potrero Redondo Santiago, N. L.	3,460	96.72	35.77
El Arroyo de las Cuevas, Santiago N. L.	1,000	57.16	17.49
Curva de la Raíz, Santiago, N. L.	1,000	43.14	23.18
El Rancho, Santiago N. L.	59	10.86	5.43
Ej. La Camotera, Santiago N. L.	203	17.89	11.35
La Trinidad, Montemorelos, N. L.	70	12.48	5.61
Agua Fría, Arramberi N. L.	273	20.71	13.18
Brecha de Zaragoza, N. L.	148	9.07	16.32
Las Tinajas, Zaragoza, N. L.	3,035	76.24	39.81
Julilo, Jaumave, Tamaulipas	237	16.14	14.68
TOTAL	9,576	364.52	26.27

Discusión y conclusiones

Como parte del sotobosque, las poblaciones de *Taxus globosa* presentan coberturas homogéneas en el gradiente altitudinal y latitudinal estudiado. En términos de densidad de individuos, aquellas áreas más aisladas, alejadas de asentamientos humanos (Potrero Redondo y Las Tinajas) y con menor impacto antropogénico directo (tala furtiva) o indirecta (manejo de ganado vacuno y caprino) ostentan una mayor densidad de individuos. Las áreas Julilo y La Camotera, aunque no poseen una gran densidad como las dos anteriores poblaciones de *Taxus*,

presentan una proporción mayor de individuos juveniles que de adultos, Julilo se encuentra cercada, lo cual impide el acceso de ganado, lo que ha evitado que los individuos jóvenes sean consumidos o pisoteados, mientras que La Camotera posee un relieve escarpado, con pendientes pronunciadas, con alta pedregosidad, lo que impide el acceso de ganado a esta área, una alta concentración por hectárea de plántulas es indicativo de estabilidad y durabilidad de la población de la especie (Boratynski A., Y. Didukh and Lucak M. 2001; Iszcuro G. et al. 2005). Las poblaciones de *Taxus* en El Rancho y La Trinidad son las más pequeñas en extensión y poseen en promedio una menor densidad de *Taxus globosa*, ambas áreas presentan un alto impacto antropogénico, lo cual puede interpretarse como un indicador del disturbio en relación a la densidad promedio registrada para esta especie.

De acuerdo con la Sedesol (1994), *Taxus globosa* está catalogada en México como especie “rara” dado que sus poblaciones son viables biológicamente, aunque se presenta en escasas cantidades en su medio natural con áreas de distribución restringida y en hábitats particulares, con base en esto, se confirma el estatus de este taxón para el estado de Nuevo León, con escasas localidades donde ocurre, áreas relativamente aisladas y especialmente en condiciones particulares de relieve, suelo y climatología. Desde el punto de vista médico, varias especies de *Taxus* han sido estudiadas respecto a sus compuestos químicos para el tratamiento de diversas enfermedades de cáncer (Wheeler y Henhen, 1993; Hansen et al., 1994; Soto et al., 2000; Shemluck et al., 2003), esto ha permitido una explotación comercial de varias especies en América, especialmente en Canadá y Estados Unidos, donde la venta del pseudoalcaloide (taxol) extraído de esta planta alcanza los \$3,000 millones de dólares en Estados Unidos (Shemluck et al., 2003). *Taxus globosa* presenta mayores concentraciones de taxol que todas las especies americanas (Shemluck et al., 2003), sin embargo, es la especie con distribución más restringida y la que menor superficie ocupa. Esta panorámica del tejo mexicano puede ser considerada para llevar a cabo más investigación en el aspecto de sus compuestos químicos como un medio para cura de ciertas enfermedades cancerosas, sin afectar las poblaciones actuales, pues la extracción del taxol implica corta de hojas, ramas, ramillas y corteza del árbol, lo que implica su muerte; lo recomendable sería realizar pruebas preliminares con podas o reproducción vegetativa en invernadero para observar su desarrollo y cuantificar si hay variantes en la producción y concentración de los compuestos químicos que se pretenden aislar.

Por su dureza y durabilidad, la madera de *Taxus globosa* se utiliza regionalmente como leña, en postes para cerca y especialmente para columnas para sostener paredes de casas rurales; en el aspecto religioso, en semana santa se confeccionan ramos de muertos con hojas y ramas de esta planta; estos usos no han tenido un impacto dramático en las poblaciones de *Taxus* del noreste de México, pues muchos de ellos conocen la especie y saben que está protegida, con lo cual su permanencia, al menos por el momento, se puede garantizar.

Referencias

- Alanis G., C. G. Velazco, R. Foroughbakhch, V. Valdez y M. A. Alvarado. 2004. Diversidad florística de Nuevo León: especies en categoría de riesgo. CIENCIA UANL. (7) 2: 209-218.
- Boratynski A., Didukh Y. y M. Lucak. 2001. The yew (*Taxus baccata* L.) population in Knyazhdvir Nature Reserve in the Carpathians (Ukraine). Dendrobiology, (46):3-8.
- Contreras M. R. y I. Luna. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schlecht. (TAXACEAE) en el estado de Chiapas, México. Polibotánica (12): 51-55.
- Dovčiak M. 2002. Population dynamics of the endangered English yew (*Taxus baccata* L.) and its management implications for biosphere reserves of the Western Carpathians. MAB Secretaria. Division of Ecological Sciences, UNESCO. 22 p.
- Estrada E., C.G. Salazar, J.A. Villarreal, J.P. García y M. A González. 2006. Cuantificación de *Taxus globosa* en el Noreste de México. The Southwestern Naturalist. 53rd. Annual meeting abstracts. Colima, Colima, México. pp. 136-137.
- Flaspohler D.J. and P. Hurley. 2005. The ecology of Canada yew and associated vertebrate communities, in: Proceedings of Forests and whitetails, striving for balance, Michigan Society of American Foresters annual meeting, St. Ignace, MI 9-10 June.
- García S. F. y P. Castillo. 1999. Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schlecht. en las Mesas de San Isidro, municipio de Ríoverde, San Luis Potosí. BIOTAM. (11) 3:11-18.
- Iszkuło G., A. Boratyński, Y. Didukh, K. Romaschenko, and N. Pryazhko. 2005. Changes of population structure of *Taxus baccata* L. during 25 years in protected area (Carpathians, Western Ukraine). Polish Journal of Ecology 53 (1): 13-23..

- Mueller D. D. and H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. The Blackburn Press Caldwell New Jersey, U. S. A. 547 p.
- Rikhari H. C., S. Sharma, M. Nadeem and L. M. S. Palmi. 2000. The effect of disturbance levels, forest types and associations on the regeneration of *Taxus baccata*: Lessons from the Central Himalaya. *Current Science* 79 (1): 88-90.
- Sedesol. 1994. "Norma Oficial Mexicana NOM-59-ECOL-1994, que determina las especies de flora y fauna silvestres y acuáticas en peligro de extinción, amenazada, raras y las sujetas a protección especial y que establece especificaciones para su protección. *Diario Oficial de la Federación* 488: 2-59. México.
- Shemluck M., Estrada E., Nicholson R. and Brost S.W. 2003. A preliminary study of the taxane chemistry and natural history of the Mexican yew, *Taxus globosa* Schltld. *Bol. Soc. Bot. Mex.* 72:119-127.
- Soto H. M., Sanjurjo M., González T., Cruz D. y Giral F. 2005. El tejo mexicano (*Taxus globosa* Schltld.). Potencial de su aprovechamiento en taxol. *Ciencia* 7(3): 277-279.
- Spjut R.W. 2007. Taxonomy and nomenclature of *Taxus* (TAXACEAE). *J. Bot. Res. Inst. Texas* 1(1): 203-289.
- Wheeler, N. C. y M. T. Henhen. 1993. Taxol, a study in technologyCommercialization. *Journal of Forestry* 91(10): 15-18.
- Zamudio S. 1992. Familia Taxaceae. En: Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. 9: 1-7.
- Zavala-Chávez F. 2002. Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schlecht en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. II: Población de juveniles y algunos datos de semillas. *Ciencia* 9 (2): 177-183.
- Zavala-Chávez F., Soto-Hernández M. y Rodríguez-González T. 2001. El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Chapingo Serie Horticultura* 7(1): 77-94.

CAPÍTULO 3

CLASIFICACIÓN DE NUEVE SITIOS DE BOSQUE MIXTO DE CONÍFERAS CON PRESENCIA DE *TAXUS GLOBOSA* EN LA SIERRA MADRE ORIENTAL, NUEVO LEÓN Y TAMAULIPAS, MÉXICO

MARIO A. GARCÍA-ARANDA, A. EDUARDO ESTRADA-CASTILLÓN, CESAR M. CANTÚ-AYALA Y
MARISELA PANDO-MORENO

Sometido el la revista Boletín de la Sociedad Botánica de México: MS1021

Resumen: Se muestrearon 40 cuadrantes distribuidos en nueve sitios con bosque mixto de coníferas que presentan tejo mexicano (*Taxus globosa*) en la Sierra Madre Oriental, en los estados de Nuevo León y Tamaulipas. En estos cuadrantes se cuantificaron diferentes variables como área basal, densidad, cobertura, altura, diversidad de especies asociadas, altitud, exposición y pendiente. Los bosques estudiados fueron divididos de acuerdo con su distribución en norte y sur para su análisis y evaluados mediante una prueba de *t*. Se calculó el valor de importancia (V.I.) de cada especie por sitio. La información obtenida de estos nueve sitios fue evaluada mediante análisis de conglomerados, utilizando la matriz de datos de V.I. de las especies con valores $\geq 5\%$ en al menos uno de los sitios. La prueba estadística *t* muestra que el área basal y la altura son diferentes entre los sitios norte y sur así como con las variables altitud y pendiente. El área El Butano es el sitio con mayor diversidad mientras que el área La Camotera tiene los índices de diversidad menores. Basados en el resultado del dendrograma y las especies en común entre en los nueve sitios, se reconocen tres grupos de sitios.

Abstract: A study of 40 quadrants distributed in nine mixed-conifer forests where the Mexican yew (*Taxus globosa*) inhabits in the Sierra Madre Oriental, at the States of Nuevo León and Tamaulipas was carried out. We quantified the basal area, density, canopy cover, height and plant diversity of the involved associate species. Other variables were also considered and analysed, i.e. altitude, topographic aspect, and slope. The sampled sites were divided in northern and southern sites according to their distribution in the study area and analyzed by a *t* test analysis. The importance value (I.V.) for each species in each site was

calculated. The information of the nine forest sites communities was evaluated by means of cluster analysis, using a matrix of species with I.V. The statistical *t* test showed that the basal area, plant height, altitude and slope were different between the northern and southern sites. El Butano is the site with the high diversity index, whereas La Camotera has the smaller diversity value index. According to the I.V. and the dendrogram obtained, three main site groups are formed.

23

El género *Taxus* se compone de 24 especies y 55 variedades en todo el mundo. De entre estas, *Taxus globosa* Schltldl. var. *globosa* y *T. globosa* Schltldl. var. *floridanus* (Nutt. ex Champ.) Spjut. se distribuyen en México (Spjut, 2007). Las poblaciones de *T. globosa* en la región noreste de México se caracterizan por aparecer de manera escasa bajo el dosel de bosques mixtos, localizados generalmente en cañadas o laderas, con mayor incidencia de humedad, en altitudes que oscilan entre los 1800-2300 m. En Europa, el tejo es una planta de lento crecimiento, tolerante a la sombra, presente generalmente en sitios asociado con bosques climáticos (Dovčiak, 2002). Su importancia en la extracción de fitoquímicos útiles en tratamientos contra el cáncer es también conocida (Shemluck et al., 2003; Soto et al., 2005). La presencia de taxol en *T. globosa* es comparable a los niveles encontrados en especies europeas (Soto et al., 2005). A pesar de lo anterior, aún existen pocos estudios sobre la especie en territorio mexicano y específicamente en la región noreste, lo que justifica su estudio en un intento por aportar información sobre su ecología encaminada a un manejo sostenible de la especie. En México, *T. globosa* tiene una distribución discontinua y restringida a micro hábitats particulares y es considerada como rara en las categorías oficiales de conservación de especies (García y Castillo, 2000). La información bibliográfica sobre la especie mexicana no es abundante, especialmente sobre la especie mexicana. Se ha localizado en el estado de Chiapas, específicamente en laderas húmedas con bosque de *Pinus* y bosque de *Abies* (Contreras y Luna, 2001). Se ha localizado en la zona montañosa del municipio de Rioverde, San Luis Potosí (García y Castillo, 2000). En Tamaulipas aparece bajo el dosel del bosque mesófilo de montaña de la Reserva de El Cielo, Gómez Farías. En Nuevo León, se encuentra bajo el dosel de las comunidades boscosas de *Picea-Abies* cercanas a La Trinidad, N. L. (Obs. Pers.). El propósito de este estudio es clasificar las comunidades vegetales donde se desarrolla

T. globosa mediante análisis cuantitativo de variables bióticas y abióticas para conocer cuáles son las principales especies con las que se asocia.

Materiales y métodos

Área de estudio. El área de estudio se localiza en los estados de Nuevo León y Tamaulipas, en la Sierra Madre Oriental, entre las coordenadas geográficas 23°02'31"-25°19'56" N y 98°57'39.5"-100°14' 58" W (Figura 1). Se ubica en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre Oriental, subprovincia de la Gran Sierra Plegada, con clima tipo C(w) templados y subhúmedos (Anónimo, 1986). En la ecorregión de los bosques de Encino-Pino de la Sierra Madre Oriental.

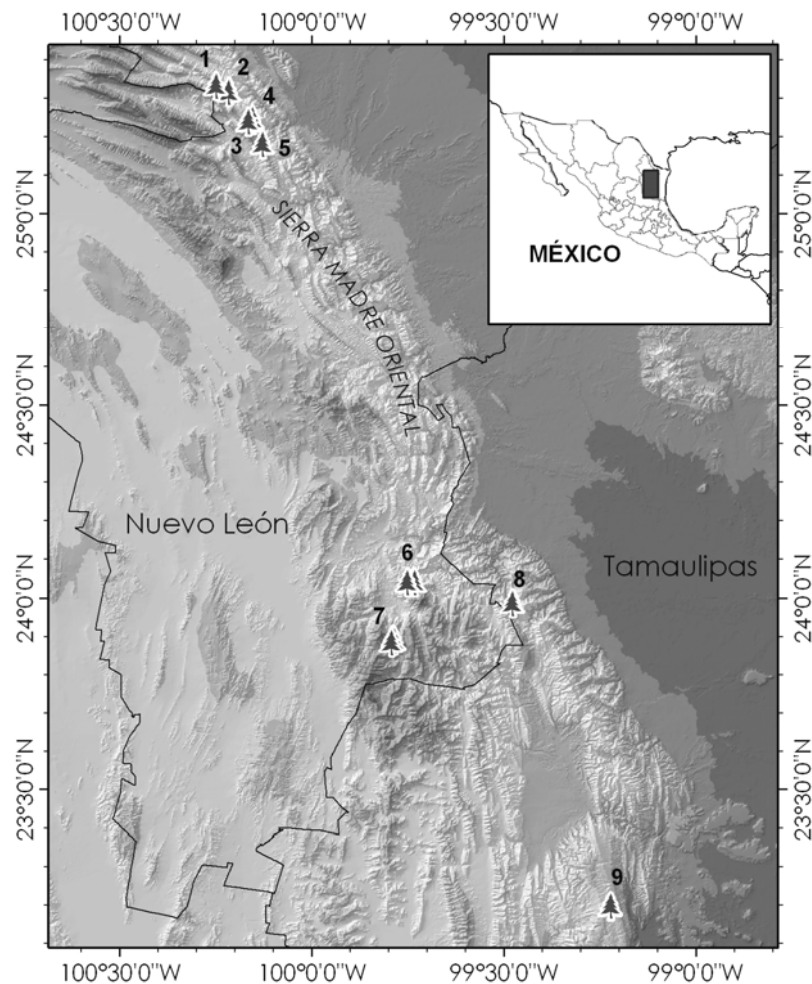


Figura 1. Área de estudio: 1. El Tejocote, Santiago, N. L.; 2. La Camotera, Santiago, N. L.; 3. Potrero Redondo, Santiago, N. L.; 4. Cañón El Rumbadero, Montemorelos, N. L.; 5. El Butano, Montemorelos, N. L.; 6. Agua Fría, Aramberri, N. L.; 7. Las Tinajas, Gral. Zaragoza, N. L.; 8. Puerto Purificación, Hidalgo, Tamaulipas; 9. Julilo, Jaumave, Tamaulipas.

Mediciones en campo. Se muestrearon nueve sitios de bosque mixto donde se localiza *T. globosa* (Figura 1), siete de ellas en el estado de Nuevo León y dos en el estado de Tamaulipas. En cada sitio se establecieron cuadrantes de 20x20 m, cuantificando entre dos y cinco repeticiones por sitio, dependiendo del tamaño de cada población de *Taxus*.

En total se analizaron 40 cuadrantes en ambos estados. En cada uno de ellos se registraron las siguientes variables bióticas: diversidad de especies, altura total, cobertura aérea, cobertura basal, cobertura de plantas herbáceas y densidad de *Taxus globosa* y de las especies asociadas. Con base en las repeticiones de cada sitio, para cada especie se calcularon los valores relativos de cobertura, densidad y frecuencia que posteriormente fueron transformados a valores de importancia (V.I.).

De la lista total de especies en los nueve sitios, se seleccionaron aquellas de tipo arbustivo y arbóreo con $V.I. \geq 5\%$ (Apéndice 1). Las variables abióticas registradas fueron pendiente, exposición y altitud. Estas tres variables fueron registradas tanto en campo como a partir de interpolaciones de las coordenadas geográficas de los cuadrantes con un modelo digital de elevación (Anónimo, 2003).

Pruebas de t para dos muestras suponiendo varianzas desiguales: Una vez comprobada la normalidad de los datos, para determinar la significancia en las variables bióticas (diversidad de especies arbóreas acompañantes, altura, cobertura aérea, cobertura basal y densidad) y abióticas (pendiente, exposición y altitud), estas variables se organizaron en matrices. Los datos obtenidos fueron organizados en dos grandes grupos, sitios aglomerados en la zona norte y sitios del sector sur del área de estudio (Apéndices 2 y 3).

Análisis de diversidad: Se utilizó el índice de diversidad de Shannon-Weiner (Moreno, 2001), para lo cual se construyó una matriz con datos sobre la densidad de cada especie registrada en los nueve sitios de muestreo.

Clasificación: Con la información de las variables bióticas, se utilizó la matriz con datos cuantitativos de V. I. (cobertura, densidad y altura) de las especies registradas en los nueve sitios de muestreo (Apéndice 1). Para la clasificación de sitios se utilizó el programa MVSP ver. 3.1 (Kovach, 1999), usando la técnica jerárquica politética aglomerativa (Gauch, 1982), mediante el procedimiento de varianza mínima (Ward, 1963). Para la construcción de matrices

y clasificación de los sitios de bosque se aplicó el Índice de Similitud de Sorensen y la técnica de WPGMA (Mueller-Dumbois y Ellenberg, 1974) respectivamente.

Resultados

Prueba de t. Las pruebas de *t* realizadas para las variables bióticas indican que el área basal ($t = 2.04, p = 0.02$) y la altura de las plantas ($t = 2.02, p = 0.05$) son significativamente diferentes entre los sitios norte y sur, con una significancia del 0.05, mientras que el resto de las variables bióticas no mostró diferencia entre los dos grupos, asumiendo que son iguales con una $p > 0.05$ (Cuadro 1). Con relación a las variables abióticas, la altitud ($t = 2.78, p = 0.0003$), pendiente ($t = 2.87, p = 0.006$) y porcentaje de cobertura de plantas herbáceas ($t = 2.797, p = 0.00007$) tomados en campo, éstas mostraron diferencias significativas entre los dos grupos con una probabilidad de 0.001. El resto de las variables de campo no mostró diferencias significativas entre los grupos norte y sur (Cuadro 2).

Cuadro 1. Resultados de prueba *t* en dos bloques (norte y sur) de variables bióticas en 40 cuadrantes con presencia de *Taxus globosa*. * = significativo al 95.0 %, ** = significativo al 99.0 %, ns = no significativo.

Variable	Valor crítico de <i>t</i> (dos				Alfa	
	colas)	<i>P</i>	$1 - p$			
Área basal	2.040	0.023	0.980	0.05	*	
Altura	2.028	0.052	0.950	0.05	*	
Cobertura	2.040	0.100	0.900	0.05	ns	
Densidad	2.110	0.095	0.900	0.05	ns	
% Cobertura herbáceas	2.797	0.00008	0.000077	0.010	**	
Diversidad	2.052	0.0770	0.920	0.05	ns	

Cuadro 2. Resultados de pruebas *t* en dos bloques (norte y sur) de variables abióticas en 40 cuadrantes con presencia de *Taxus globosa*. ** = significativo al 99.0 %, *** = significativo al 99.9 %, ns = no significativo.

Variable	Valor crítico de <i>t</i> (dos				α	
	colas)	<i>P</i>	$1 - p$			
Altitud en campo	3.725	0.00037	0.99963	0.001	***	
Exposición en campo	2.045	0.71003	0.28996	0.050	ns	
Pendiente en campo	3.922	0.00660	0.99339	0.001	***	
% Cobertura pedregosidad	2.037	0.85800	0.857932	0.050	ns	
Altitud del MDE	3.689	0.00061	0.99930	0.001	***	
Pendiente del MDE	2.030	0.56344	0.436560	0.050	ns	
Exposición del MDE	2.037	0.05654	0.94346	0.050	ns	

Análisis de diversidad. En relación al análisis de diversidad calculado con el índice de Shannon-Weinner (Moreno, 2001), El Butano, N. L. (2.11) es el sitio de mayor diversidad, seguido por El Rumbadero, Montemorelos N. L. (2.063), y Puerto Purificación, Hidalgo Tamaulipas (1.92), mientras que El Tejocote, Santiago N. L. (0.87), La Camotera, Santiago N. L. (1.02) y Aramberri, N. L. (1.07) son los sitios con los valores de diversidad menor (Cuadro 3).

Cuadro 3. Índices de diversidad para nueve sitios con presencia de *Taxus globosa*

Comunidad	No. Taxa	Densidad Ha	Shannon H
El Butano, Montemorelos, N.L.	11	250	2.12
El Rumbadero, Montemorelos, N.L.	14	480	2.06
Puerto Purificación, Hidalgo Tamps.	10	2441	1.93
Las Tinajas, Zaragoza, N.L.	12	1140	1.86
Julilo, Jaumave, Tamps.	17	1540	1.70
Potrero Redondo, Santiago, N.L.	7	791	1.29
Agua Fría, Aramberri, N.L.	7	2526	1.07
La Camotera, Santiago, N.L.	11	2285	1.02
El Tejocote, Santiago, N.L.	6	299	0.88

Clasificación. El análisis de conglomerados arroja la existencia de tres grupos (Figura 2), dos de ellos conformados por cuatro sitios cada uno y un tercer grupo aislado con un sólo sitio. El grupo 1, el más compacto de los tres, está formado por dos subgrupos: 1A, que incluye las áreas Potrero Redondo (POT), El Rumbadero (RUM) y La Camotera (CAM) y el subgrupo 1B, constituido sólo por el área Puerto Purificación (PPU). En el subgrupo 1A, los sitios El Rumbadero (RUM) y La Camotera (CAM) son los sitios más afines, pues comparten entre sí seis especies (*Abies vejarii* subsp. *mexicana*, *Tilia mexicana*, *Juglans mollis*, *Quercus rysophylla*, *Pinus pseudostrobus* y *Croton cortesianus*), con un coeficiente de similitud de 0.73 (73%); a estos dos sitios se les une el sitio Potrero Redondo (POT), compartiendo con ambos las especies *T. mexicana*, *J. mollis*, *Q. rysophylla* y *P. pseudostrobus* con un coeficiente de similitud de 0.62 (62%); finalmente se une el subgrupo 1B, Puerto Purificación (PPU), que comparte sólo una especie con el resto de los sitios del grupo (*T. mexicana*), de ahí su bajo nivel de similitud (0.42 o 42%) con los restantes sitios de este grupo.

El grupo 2 está formado por dos subgrupos, el subgrupo 2C con los sitios El Butano (BUT), El Tejocote (TEJ) y Agua Fría (ARA), y el subgrupo 2D formado por el sitio Las Tinajas (ZAR); en el subgrupo 2C, los sitios El Tejocote (TEJ) y El Butano (BUT) son los más afines ya que comparten tres especies (*Abies vejarii* subsp. *mexicana*, *Juglans mollis* y

Quercus polymorpha) con una índice de similitud de 0.57 (57%); a este subgrupo se une el sitio de Agua Fría (ARA) que comparte con el anterior grupo dos especies (*Abies vejarii subsp. mexicana* y *Juglans mollis*), con un coeficiente de similitud de 0.49 (49%); finalmente el sitio 2D, Las Tinajas (ZAR), se fusiona al resto de los subgrupos con un coeficiente de similitud de 0.38, pues comparte con el resto de estos subgrupos solo una especie, *Abies vejarii*.

El tercer grupo está formado por un único sitio, Julilo (JUL), el más disímil de todos los grupos, con un coeficiente de similitud de 0.27 (27%), compartiendo con el resto de los sitios sólo una especie, *Abies vejarii subsp. mexicana*.

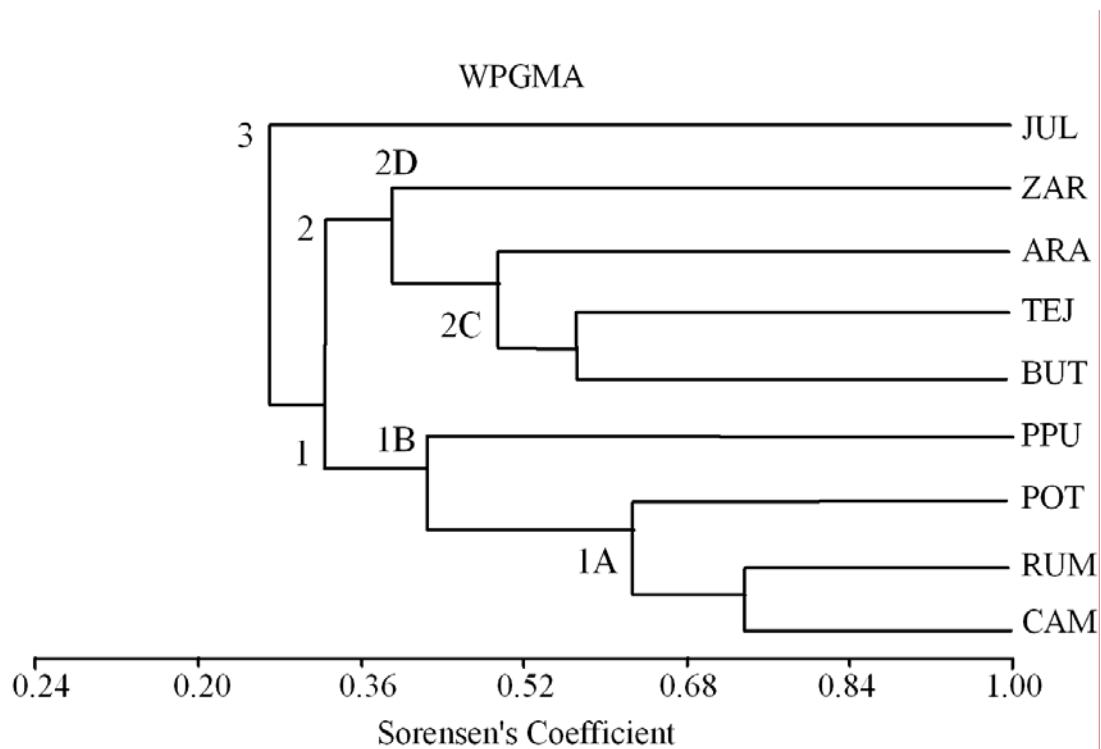


Figura 2. Clasificación de los nueve sitios con base en los valores de importancia de las especies asociadas con *Taxus globosa* del noreste de México.

Discusión

Los dos grupos de bosques mixtos con presencia de *Taxus globosa* de la Sierra Madre Oriental analizados presentan diferencias en cuanto a la altura y el área basal; las especies de los sitios del grupo sureño son más altas y tienen valores mayores de área basal que los del grupo norte. El resto de las variables analizadas como cobertura, densidad y diversidad no tuvieron

diferencias significativas (Cuadro 1). Se observó que la morfología arbórea de *Taxus globosa* cambia en relación con su distribución, presentando árboles de mayor altura y área basal en la zona sur que en los sitios de la zona norte; posiblemente esto se deba a que los sitios del sur están más influenciados a la del Trópico de Cáncer donde se presentan condiciones más cálidas y húmedas.

La cobertura y densidad de las especies asociadas con *Taxus globosa* no cambia significativamente en el intervalo de distribución estudiado, siendo estadísticamente igual en el norte y en el sur. La diversidad de especies arbóreas en los bosques mixtos con presencia de *Taxus globosa* no cambia de manera significativa en el intervalo de distribución analizado. La altitud y la pendiente tomadas en campo mostraron diferencias significativas ($p=0.00037$ y 0.0066) entre los sitios norte y sur, siendo los sitios del sur de mayor elevación (2,404 m promedio) y pendiente (16.2° promedio) que los sitios del norte (1,783 m promedio) y pendiente (8.11° promedio). El porcentaje de cobertura de plantas herbáceas también mostró diferencia entre los sitios ($p=0.00008$), siendo los sitios del norte los que poseen una mayor cobertura (36.3% promedio) que los sitios del sur (8.1% promedio) (Apéndice 3) Esto se explica debido a que en promedio el arbolado en los sitios del norte presenta un menor porcentaje de cobertura dejando abierto el dosel a un mayor crecimiento del estrato herbáceo.

El análisis de diversidad de Shannon-Weinner muestra que los sitios El Butano y El Rumbadero, Montemorelos N.L., ubicados al norte del área de estudio, son los más diversos y equitativos en relación a su número de especies y densidad; basados únicamente en riqueza florística, los sitios Julilo Tamaulipas y El Rumbadero N.L. son los más diversos con relación al número de especies acompañantes de *T. globosa* con V. I. $> 5\%$. El índice de diversidad de especies acompañantes de *T. globosa* es mayor en los sitios El Butano y El Rumbadero, Montemorelos N.L.; la riqueza de especies es mayor en Julilo, sitio con remanentes de bosque mesófilo de montaña.

En relación al análisis de conglomerados, los valores de similitud más altos se dieron entre sitios geográficamente cercanos entre sí, como fueron El Rumbadero (RUM) y la Camotera (CAM), agrupándose a ellos el sitio Potrero Redondo (POT), siendo estos tres sitios los que guardan mayor relación por el número de especies con V.I. $>5\%$ que comparten.

Aunque los sitios El Tejocote (TEJ) y El Butano (BUT) están geográficamente cerca al subgrupo 1A, están aislados en términos de similitud de cobertura y diversidad. El sitio de

Puerto Purificación (PPU) está más relacionado al subgrupo norte 1A, aunque está geográficamente separado, pues es el sitio con distribución más al sur. Los sitios de Agua Fría (ARA) y Las Tinajas (ZAR) ubicados en la zona sur tienen poca relación al subgrupo 2C, de ubicación norte. El sitio Julilo (JUL) es el más disímil de todos, debido a su separación geográfica del resto de los sitios y sus especies presentes; es el sitio más al sur del área estudiada y presentó una mayor diversidad de especies. Las especies más frecuentes en los sitios con presencia de *T. globosa* son *A. vejarii* subsp. *mexicana*, *J. mollis*, *T. mexicana* y *Q. rysophylla*. De acuerdo con el análisis de conglomerados, los sitios más afines entre sí son El Rumbadero, La Camotera y Potrero Redondo, así como El Butano y El Tejocote, mismos que mostraron una mayor similitud en relación en especies arbóreas presentes. El sitio Julilo, ubicado al extremo sur del área de estudio, presenta un bosque con mayor diversidad arbórea que el resto de los sitios con presencia de *Taxus globosa*, esta última especie con un valor de altura, diámetro y cobertura mayores al resto de los sitios.

Las especies más características en los bosques con presencia de *T. globosa* en el noreste de México son *A. vejarii* subsp. *mexicana*, *J. mollis*, *T. mexicana* y *Q. rysophylla*, pues son las especies más frecuentes, sin embargo, los valores de importancia de estas son menores en la región norte que en el sur.

Agradecimientos

A Dino Ulises González Uribe por sus sugerencias y revisión de los análisis estadísticos realizados en el presente documento. A Rafael Cruz Alonso y Antonio Conde Vázquez por su apoyo en el muestreo de campo.

Literatura citada

Anónimo. 1986. *Síntesis geográfica de Nuevo León*. INEGI, SPP. México, DF.

Anónimo. 2003. *Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) escala 1: 50 000*. INEGI.

<<http://mapserver.inegi.org.mx/DescargaMDEWeb/?s=geo&c=977>> (Consultado 27 julio 2010).

- Contreras M.R. y Luna I. 2001. Presencia de *Taxus globosa* Schltdl. (Taxaceae) en el estado de Chiapas, México. *Polibotánica* **12**:51-55.
- Dovčiak M. 2002. Population dynamics of the endangered English yew (*Taxus baccata* L.) and its management implications for biosphere reserves of the Western Carpathians. *MAB Secretaria. Division of Ecological Sciences, UNESCO*. 22 p.
- García S.F. y Castillo P.L. 2000. Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schltdl. en las Mesas de San Isidro, Municipio de Rioverde, San Luis Potosí. *BIOTAM* **11(3)**:11-18.
- Gauch H.G. 1982. *Multivariate Analysis in Community Ecology*. Cambridge Studies in Ecology. Cambridge University Press, Cambridge, NY, USA.
- Kovach W.L. 1999. *MVSP – Multivariate Statistical Package for Windows, Version 3.1*. Kovach Computing Services. Pentreath, Wales, UK.
- Moreno C.E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M&T-Manuales y Tesis SEA, vol. 1. Zaragoza, España.
- Mueller-Dombois, D. y Ellenberg H. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. The Blackburn Press. NJ, USA.
- Shemluck M., Estrada E., Nicholson R. and Brost S.W. 2003. A preliminary study of the taxane chemistry and natural history of the Mexican yew, *Taxus globosa* Schltdl. *Bol. Soc. Bot. Mex.* **72**:119-127.
- Soto H. M., Sanjurjo M., González T., Cruz D. y Giral F. 2005. El tejo mexicano (*Taxus globosa* Schltdl.). Potencial de su aprovechamiento en taxol. *Ciencia* **7(3)**: 277-279.
- Spjut R.W. 2007. Taxonomy and nomenclature of *Taxus* (TAXACEAE). *J. Bot. Res. Inst. Texas* **1(1)**: 203-289.
- Ward J.H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *American Statistical Association Journal* **58**: 236-44.
- Zamudio S. 1992. Familia Taxaceae. En: *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. **9**: 1-7.

Apéndice 1. Listado de especies y sus valores de importancia en nueve sitios con presencia de *Taxus globosa*. La Camotera (CAM), Potrero Redondo (POT), El Butano (BUT), El Tejocote (TEJ), Cañón El Rumbadero (RUM), Agua Fría (ARA), Las Tinajas (ZAR), Julilo (JUL) y Puerto Purificación (PPU).

Especie / Sitio	CAM	POT	BUT	TEJ	RUM	ARA	ZAR	JUL	PPU
<i>Abies vejarii</i> subsp. <i>mexicana</i> (Martínez)									
Farjon	3.09	0.00	33.83	99.09	33.21	74.04	40.51	8.37	9.76
<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.00	0.00	0.00
<i>Carpinus caroliniana</i> Walter	0.00	0.00	18.90	0.00	0.00	8.07	0.00	0.00	0.00
<i>Carya ovata</i> (Mill.) K. Koch var. <i>mexicana</i> (Engelm. ex Hemsl.) W. E. Manning	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	16.20	20.78
<i>Celtis laevigata</i> Spreng.	0.00	0.00	0.00	0.00	22.16	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Cornus florida</i> Hook.	0.00	62.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.51
<i>Croton cortesianus</i> Kunth	88.45	0.00	0.00	0.00	3.54	0.00	0.00	0.00	22.25
<i>Fraxinus</i> sp.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.88	0.00
<i>Garrya laurifolia</i> Hartw. ex Benth.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.98	0.00	0.00
<i>Garrya ovata</i> Benth.	7.69	0.00	0.00	0.00	11.51	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ilex discolor</i> Hemsl.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18.32	0.00
<i>Ilex opaca</i> Ait.	0.00	0.00	16.97	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Ilex rubra</i> S.Watson	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	24.63	0.00	0.00	0.00
<i>Ilex</i> sp.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.05
<i>Juglans mollis</i> Engelm.	33.66	26.95	19.72	41.44	67.09	4.64	0.00	0.00	0.00
<i>Litsea pringlei</i> Bartlett	0.00	33.89	0.00	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	5.31
<i>Magnolia tamaulipana</i> A.Vázquez	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	23.76	0.00
<i>Ostrya virginiana</i> Britton, Sterns & Poggenb.	0.00	8.30	0.00	0.00	0.00	33.53	0.00	0.00	11.12
<i>Picea martinezii</i> T.F. Patterson	0.00	0.00	35.08	0.00	0.00	72.81	10.84	0.00	0.00
<i>Pinus flexilis</i> A. Murr.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.86	0.00	0.00
<i>Pinus patula</i> Schiede & Deppe ex Schltldl.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	20.41
<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl.	30.29	6.19	0.00	0.00	8.49	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Platanus mexicana</i> Torr.	0.00	0.00	0.00	15.54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Prunus serotina</i> Poir.	10.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Quercus canbyi</i> Trel.	0.00	0.00	0.00	0.00	13.05	0.00	72.25	0.00	10.46
<i>Quercus mexicana</i> Benth.	0.00	0.00	15.63	0.00	0.00	0.00	16.25	27.60	0.00
<i>Quercus polymorpha</i> Schltldl. & Cham.	0.00	0.00	35.11	9.87	0.00	0.00	23.02	0.00	0.00
<i>Quercus rysophylla</i> Weath.	64.37	88.29	0.00	0.00	3.95	0.00	5.23	0.00	0.00
<i>Quercus</i> sp.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.87	0.00	0.00	0.00
<i>Taxus globosa</i> Schltldl.	37.34	66.10	43.93	115.41	94.29	39.39	67.66	61.88	147.28
<i>Ternstroemia sylvatica</i> Cham. & Schltldl.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	70.04	0.00
<i>Tilia mexicana</i> Benth.	9.16	4.02	22.56	0.00	9.29	0.00	0.00	7.77	5.43

Apéndice 2. Arreglo en grupos de variables bióticas en 40 cuadrantes en nueve sitios con presencia de *Taxus globosa*.

Grupo	Sitio		Área basal (m ²)	Altura (m)	Cobertura ha	Densidad ha	% Cobertura plantas herbáceas	No. Taxa Arbórea
Norte	La Camotera	1	22.50	5.56	9277.53	15625	35.00	6
		2	12.21	6.75	8070.75	23125	40.00	8
		3	15.57	5.15	13269.50	31875	25.00	8
		4	34.40	5.59	23586.00	146250	80.00	8
		5	26.01	7.08	23362.45	79375	85.00	6
	Potrero Redondo	1	2.50	3.50	3305.45	7500	10.0	4
		2	8.41	4.95	15680.02	30000	30.0	5
		3	11.10	7.57	9801.57	23750	10.0	8
		4	6.93	5.04	12967.12	28125	5.0	6
		5	9.14	7.68	17524.88	47500	30.0	6
		6	20.85	10.60	18790.26	11250	5.0	3
	El Butano	1	16.61	7.87	12763.11	23125	34.3	8
		2	24.80	5.84	20015.48	63750	41.3	6
		3	56.52	8.20	33035.22	33125	70.0	11
		4	24.82	6.50	22603.56	31250	70.0	11
		5	38.05	7.80	35937.46	51875	60.0	8
	El Tejocote	1	10.58	4.60	11602.49	14375	70.0	5
		2	17.34	9.07	20254.63	20000	70.0	4
		3	7.14	4.85	7449.31	16250	70.0	5
	Cañón El Rumbadero	1	1.23	3.29	7397.08	23125	5.0	11
		2	1.82	4.97	11217.65	19375	10.0	6
		3	1.63	4.16	10353.71	14375	0.0	4
		4	14.55	6.56	12104.16	18125	5.0	6
		5	26.83	5.36	9012.15	24375	10.0	8
	Sur	Agua Fría	1	17.78	6.31	20730.98	51250	10.0
2			21.02	8.37	38398.51	110000	5.0	7
3			30.43	7.02	21201.82	87500	15.0	7
4			11.03	8.49	11566.36	39375	15.0	7
1			39.47	7.21	21721.36	43750	5.0	8
Las Tinajas		2	22.11	6.66	11248.28	43125	5.0	10
		3	27.35	7.69	13622.93	35625	5.0	6
		4	60.61	9.76	36868.95	440000	5.0	6
		5	21.29	5.67	16770.80	43125	5.0	4
		6	10.26	5.53	9494.09	34375	5.0	5
		7	18.15	4.96	16506.81	48750	5.0	7
		1	43.84	9.61	20021.71	53125	10.0	12
Julilo		2	12.96	8.31	14600.61	31250	5.0	10
		3	41.99	8.30	27478.11	53125	15.0	15
Puerto Purificación		1	34.16	6.65	14588.77	90625	10.0	9
		2	29.89	5.26	23655.60	46250	10.0	11

Apéndice 3. Arreglo en grupos de variables abióticas en 40 cuadrantes en nueve sitios con presencia de *Taxus globosa*. ^a = Datos registrados en campo, ^b = Datos registrados de un modelo digital de elevaciones.

Grupo	Sitio	Altitud m ^a	Exposición grados ^a	Pendiente grados ^b	% Pedregosidad	Altitud m ^b	Exposición grados ^b	
Norte	La Camotera	1	1598	-1.00	0.0	73.33	1572	48.07
		2	1561	260.00	15.0	55.00	1581	47.86
		3	1523	-1.00	2.0	70.00	1574	50.71
		4	1523	310.00	5.7	70.00	1591	66.80
		5	1574	310.00	5.7	30.00	1599	56.31
	Potrero Redondo	1	1417	340.00	6.0	40.0	1420	340.28
		2	1400	355.00	6.0	20.0	1431	340.74
		3	1421	8.00	12.0	25.0	1444	342.32
		4	1442	1.00	12.0	30.0	1460	6.34
		5	1456	32.00	5.0	29.0	1492	13.32
		6	1414	338.00	6.0	30.0	1415	22.01
	El Butano	1	2148	356.00	10.3	25.0	2202	355.73
		2	2122	330.00	7.0	20.0	2177	357.06
		3	2181	297.00	15.0	10.0	2299	10.36
		4	2165	328.00	12.0	10.0	2299	10.36
		5	2131	144.00	7.0	15.0	2134	350.28
	El Tejocote	1	1936	287.00	5.0	3.0	1905	214.99
		2	1928	279.00	8.0	3.0	1913	248.33
		3	1949	1.00	6.0	3.0	1922	244.49
	Cañón El Rumbadero	1	1774	90.00	10.0	70.0	1811	47.95
		2	1794	90.00	8.0	65.0	1845	72.41
		3	1795	90.00	15.0	70.0	1904	83.83
		4	1790	90.00	10.0	75.0	1811	84.94
		5	1786	90.00	6.0	70.0	1798	91.50
	Sur	Agua Fría	1	2200	359.00	20.0	60.0	2194
2			2209	359.00	20.0	75.0	2190	348.85
3			2207	303.00	25.0	60.0	1982	344.17
4			2205	330.00	35.0	70.0	1911	327.17
1			2547	352.00	15.0	50.0	2539	19.13
Las Tinajas		2	2533	352.00	20.0	50.0	2547	296.92
		3	2537	338.00	25.0	50.0	2544	309.64
		4	2536	24.00	8.0	50.0	2558	350.75
		5	2564	316.00	30.0	50.0	2583	348.05
		6	2553	338.00	20.0	50.0	2583	338.69
		7	2690	14.00	10.0	50.0	2738	313.25
Julilo		1	1618	-1.00	0.0	0.0	1673	125.46
		2	1610	-1.00	0.0	5.0	1662	105.42
		3	1590	2.00	5.0	2.0	1632	83.42
Puerto Purificación		1	1844	135.00	15.0	5.0	1873	18.76
	2	1832	12.00	12.0	5.0	1855	48.45	

CAPÍTULO 4

MODELACIÓN EN MAXENT PARA LA GENERACIÓN DEL ÁREA POTENCIAL DE DISTRIBUCIÓN DE *TAXUS GLOBOSA* SCHLECHT. EN MÉXICO

Mario A. García-Aranda₁, César Cantú-Ayala₁, Eduardo Estrada-Castillón₁, Marisela Pando-
Moreno₁ y Antonio Moreno-Talamantes

₁Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León. Km 145 Carr.
Nacional, Apartado Postal 41, C. P. 67700, Linares, N. L., México.

Teléfonos: (821)212-4895 EXT. 102; (821)212-4251 EXT. 102; (821)214-3010 EXT. 102

Correo electrónico: mgarcia_20@yahoo.com.mx

Sometido el la revista Investigaciones Geográficas, UNAM: 19344

Modelación en Maxent para la generación del área potencial de distribución de *Taxus globosa* Schlecht. en México.

Resumen

Se generó el área de distribución potencial de *Taxus globosa* Schlecht., una especie de conífera con distribución restringida y amenazada de extinción (NOM-059-SEMARNAT-2001) con el método denominado modelación de distribución de máxima entropía o Maxent con base en 40 registros obtenidos directamente en campo y 39 registros del REMIB CONABIO. Se probaron estadísticamente dos escenarios con cubiertas ambientales, climáticas y topográficas. El escenario Bioclim con Topografía resultó ser el modelo con mayor precisión en el rango de probabilidad de 0.9 a 1.0 con un 55% de coincidencia y fue estadísticamente significativo (AUC= 0.985). La variable de pendiente resultó la de mayor influencia en la modelación del hábitat potencial, seguida por Bio14 (precipitación del mes más seco). De acuerdo al análisis Maxent, las 19 cubiertas Bioclim y 3 cubiertas topográficas, las principales comunidades vegetales son bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña; Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas son los estados donde, potencialmente se puede distribuir *Taxus globosa* en México.

PALABRAS CLAVE: distribución geográfica, *Taxus globosa*, Maxent, México.

Summary

Potential distribution area for *Taxus globosa* Schlecht. a threatened species of conifer with restricted distribution area (NOM-059-SEMARNAT-2001) was generated using a procedure named Maximum Entropy Modeling or Maxent, using 40 species records taken in field and 39 records from REMIB CONABIO data bases. Two different scenarios with environmental coverages were proved statistically. The Bioclim scenario with topography data results the more accurate model in the range of 0.9 to 1.0 of probability with a 55% of coincidence in test data records and that was statistically significant at (AUC=0.985). Slope results the environmental variable with more influence in potential modeling, followed by Bio14 (Precipitation of Driest Month). According to the Maxent analysis with 19 Bioclim and 3 topographic covers, the main plant communities in the modeling resulting area are pine-oak forest, oak-pine forest, pine forest and cloud mesic forest; Hidalgo, Nuevo León, Veracruz,

Puebla and Tamaulipas are the main states where, potentially *Taxus globosa* could be distributed in Mexico.

KEYWORDS: geographic distribution, *Taxus globosa*, Mexico, Mexico.

Introducción

La predicción de la distribución geográfica potencial para especies de distribución restringida, raras o en riesgo de extinción es de gran relevancia para establecer estrategias de monitoreo y conservación ya que generan información sobre áreas de distribución desconocidas y proporcionan un punto de partida en estrategias de restauración de sus condiciones ambientales o del establecimiento de áreas de replantación, (Leal, 2009). Desafortunadamente, la información de registros de especies raras, tales como *Taxus globosa*, en las bases de datos o publicaciones, no es abundante; aún más escasa es la información sobre el conocimiento actual de las áreas de distribución tanto local como regional, (Zamudio, 1992; García y Castillo, 2000; Contreras y Luna, 2001; Zavala, 2001; Zavala et al, 2001; Bonilla y Canchola, 2008). Existen diversos métodos para la modelación de dichas áreas de distribución potencial (Phillips S. J. et al, 2004; Ward D. F., 2007; Phillips S. J. and Didík M., 2008; Rivera V. J. et al, 2008; Hernández P.A. et al, 2008; García M. R., 2008), algunos de ellos usados en plantas en riesgo de extinción o de distribución restringida, (Engler et. al., 2004 in Kumar and Stohlgren, 2009).

El propósito del presente estudio fue modelar el área de distribución potencial actual de *Taxus globosa*, principalmente de las poblaciones del noreste de México para aportar información útil a futuros planes de conservación, rehabilitación o el establecimiento de plantaciones comerciales.

Materiales y métodos

Se obtuvieron cuarenta registros de *Taxus globosa* directamente de recorridos en campo procedentes de nueve localidades en la región de Nuevo León y Tamaulipas, México y posteriormente integrados a la base de datos.

Una serie de 39 registros fueron obtenidos de la consulta base de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB, CONABIO, http://www.conabio.gob.mx/remib/doctos/remib_esp.html).

Se utilizaron 42 registros de colecta adicionales obtenidos en campo para posteriormente realizar pruebas de validación de los modelos por porcentaje de coincidencias.

Del sitio web de WorldClim (Hijmans et al., 2005; <http://www.worldclim.org/bioclimate>) se obtuvo una serie de cubiertas ambientales actuales (1960 – 1990) en formato raster de 1 km² de resolución. La base de datos Bioclimate consta de 19 cubiertas ambientales, la cual fue combinada con un grupo de tres variables topográficas: altitud, exposición y pendiente, que fueron calculadas a partir de la cubierta ‘altitude’ de WorldClim (Hijmans et al., 2005; <http://www.worldclim.org/bioclimate>). Todas estas cubiertas fueron recortadas en ArcGIS versión 9.2 a los límites de 118°20'3.42" a 86°25'3.42" W y 34° 01'0.08" a 12° 55'30.76" N correspondiente al territorio nacional mexicano; las capas se transformaron en ArcGIS versión 9.2 a formato ASCII Grid.

Se utilizó la modelación denominada Maximum Entropy Distribution o Maxent, la cual es un método que modela mejor que otros comúnmente utilizados (Kumar and Stohlgren, 2009). Además de tolerar bases de datos con pocos registros (Hernández et al., 2006; Pearson et al., 2007 in Kumar and Stohlgren, 2009). Es un método basado en un mecanismo de aprendizaje que estima la probabilidad de ocurrencia de las especies basado en requerimientos ambientales que genera una estimación de probabilidad de presencia de la especie con valores de 0 al 1, donde 0 se considera como la mínima y 1 para la máxima probabilidad (Phillips et al. 2006). Solamente requiere de datos de presencia de la especie (no ausencias) y capas de variables ambientales de las áreas de análisis (continuas o categóricas). El software utilizado es de libre uso, Maxent versión 3.3.2 (<http://www.cs.princeton.edu/~schapire/maxent/>).

La base de datos compilada de 110 registros con *Taxus globosa* y los cuatro grupos de variables ambientales fueron usadas para la modelación de un escenario climático actual (periodo 1950-2000). El programa generó imágenes logísticas acumulativas y corrió a un máximo de 500 iteraciones.

Los dos modelos generados se sometieron a las pruebas curvas de respuesta (análisis del umbral de omisión y comisión) y Jackknife para medir el efecto de cada variable utilizadas en la generación de los modelos. Para ello, se dividió la base de datos de 110 registros en un subgrupo de 55 registros (50%) para la modelación de hábitat potencial y otro de 55 (50% Random test) para pruebas estadísticas de validación.

Con una base de 42 ocurrencias adicionales de *Taxus globosa*, a través del módulo Point Analyst 1.0 para Arcview, se registró el valor de los dos modelos de hábitat potencial generados en formato raster los cuales presentan valores de probabilidad de hábitat de 0.1 a 1.0, de manera que se contabilizaron únicamente los registros con valores entre 0.8 y 1.0 para expresarlos en porcentaje de ocurrencias >80 % de probabilidad de tener un hábitat potencial para *Taxus globosa*. Se realizó un análisis distribución de la superficie de hábitat potencial (entre los píxeles de 0.8 a 1.0 probabilidad) generado en el mejor modelo de acuerdo al uso actual del suelo y vegetación (INEGI, 2005). Asimismo, se determinó su área de distribución por estados en México.

Resultados y discusión

La Figura 1, muestra el Modelo de hábitat potencial para *Taxus globosa*, considerando únicamente las 19 capas Bioclim sin la capa de topografía. Este mapa tiene una alta tasa de éxito en su predicción, El valor del área bajo la curva (AUC) = 0.987, (Tabla 1; Anexo, Figura 9). En comparación, el mapa del modelo de hábitat potencial para *T. globosa* considerando las 19 capas Bioclim y las tres capas de topografía (Figura 2), produjo una tasa de éxito mayor en su predicción con un valor de área bajo la curva (AUC) = 0.985, (Tabla 1; Anexo, Figura 10).

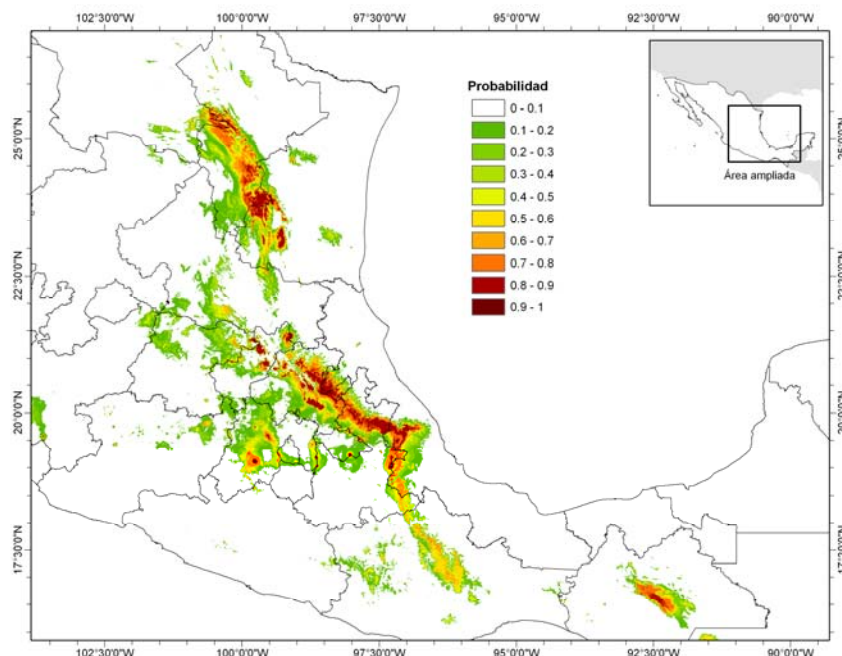


Figura 1. Mapa de modelación de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México, usando variables Bioclim, las áreas en rojo entre 0.8 y 1.0 son las de mayor probabilidad.

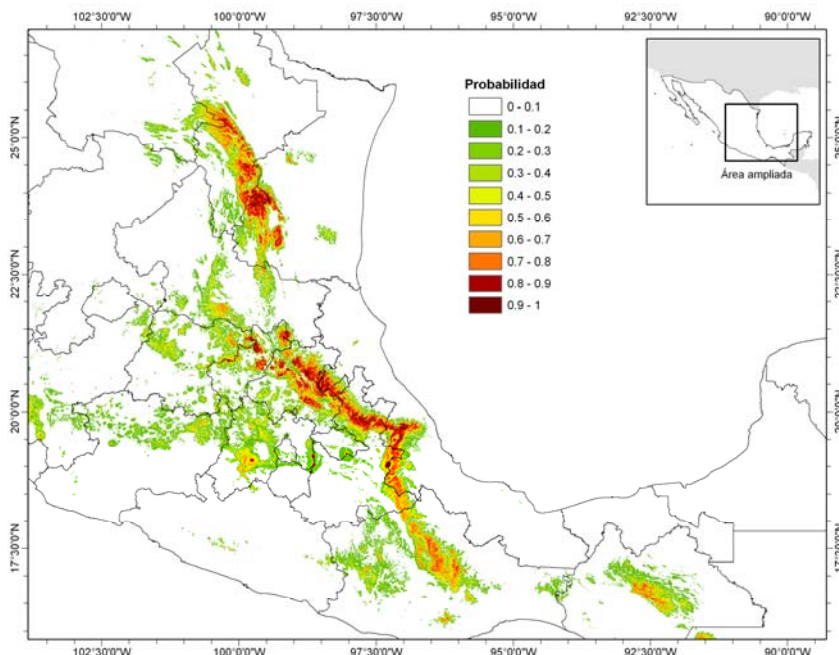


Figura 2. Mapa de modelación de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México, usando variables Bioclim y topográficas; las áreas en rojo entre 0.8 y 1.0 son las de mayor probabilidad.

De acuerdo a los análisis de validación de Maxent (Tabla 1, Anexo figuras 9 y 10), los dos modelos generados tuvieron altos valores de precisión, no obstante que las variables que generan sus respectivos modelos son distintos.

Las variables que tuvieron mayor peso para la generación de los modelos, fueron, para el modelo Bioclim: temperatura máxima del mes más cálido (Bio05) 39.4%, isothermalidad [P2/P7] [*100] (Bio03) 19.2%, precipitación del mes más seco (Bio14) 15.3% y temperatura mínima del mes más frío (Bio06) 10.3%; para el modelo Bioclim con topografía: Pendiente (Topo03) 39.8%, precipitación del mes más seco (Bio14) 25.5%, elevación (Topo01) 14.0% y temperatura mínima del mes más frío (Bio06) 7.5%, mostrando que la pendiente del terreno tiene relevancia en una de las dos modelaciones, seguida de la precipitación en el mes más seco y elevación. Esto significa que el segundo modelo produjo áreas más específicas que discriminan zonas por topografía (Figura 3, tabla 2).

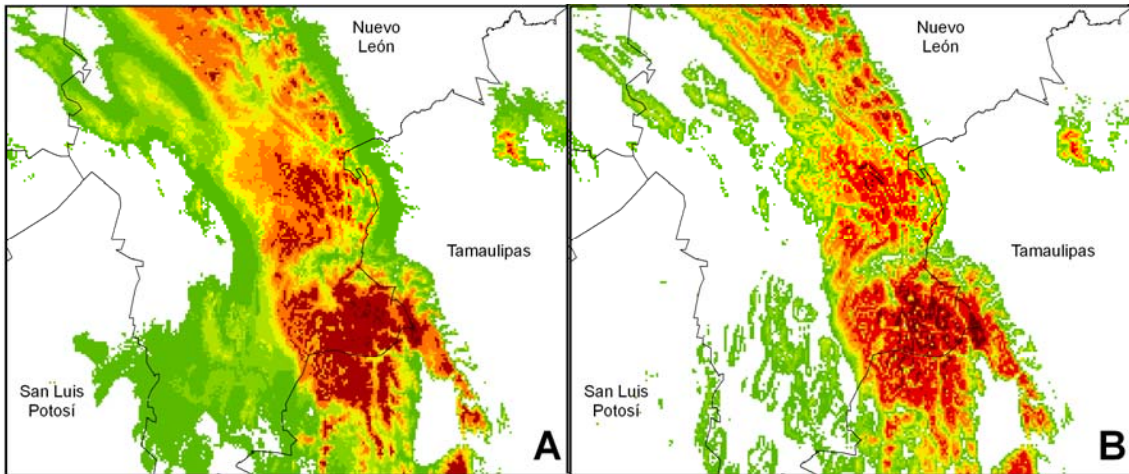


Figura 3. Detalle diferencial de modelos: A Bioclim y B Bioclim+Topografía que muestran efecto de distribución diferenciado entre valores de probabilidad de hábitat potencial por las variables usadas en ambos, las áreas en rojo entre 0.8 y 1.0 muestran la mayor probabilidad de presencia de la especie.

Los patrones de distribución geográfica de plantas y animales están cambiando en respuesta a recientes alteraciones del clima, como lo establece un índice que mide la velocidad de cambio de la temperatura (km año^{-1}) y la velocidad de cambio varía en los distintos biomas del Mundo (Loarie et al., 2009). En relación a la influencia de la topografía, dicho índice establece que el efecto topográfico, influye de manera importante en la velocidad de cambio de la temperatura, siendo menor (0.11 km año^{-1}) en el bioma de montaña de bosques de coníferas tropicales y subtropicales, bioma donde se distribuye *Taxus globosa*. Además, el tiempo de residencia (tiempo que permanece un bioma establecido en una región) de este bioma es mayor (63.6 años) respecto a otros biomas analizados (Loraie et al, 2009).

La figura 4 muestra la distribución de los registros usados en la modelación de hábitat potencial con la variable Topo03 (pendiente), donde se observa que los datos se concentran entre los 89.99 y los 90.00 grados de pendiente, lo cual indica que la especie prefiere principalmente áreas encañonadas. En la Figura 5 se muestra la distribución de los registros en la variable Bio14 (precipitación del mes más seco), concentrándose los datos entre los 8.0 y los 32 mm de precipitación (mes más seco del año), lo que nos indica zonas con períodos de sequía. La figura 6, indica la distribución de los registros para la variable Topo02 (elevación), en la que se observa una preferencia por elevaciones entre 1,200 y 3,000 m, ubicando la condición del hábitat en zonas elevadas. En la Figura 7, se muestra la distribución de los

registros en la variable Bio06 (temperatura mínima en mes más frío), aquí los datos se ubican entre los 24 y los 33 °C, lo que nos denota una preferencia por sitios templados.

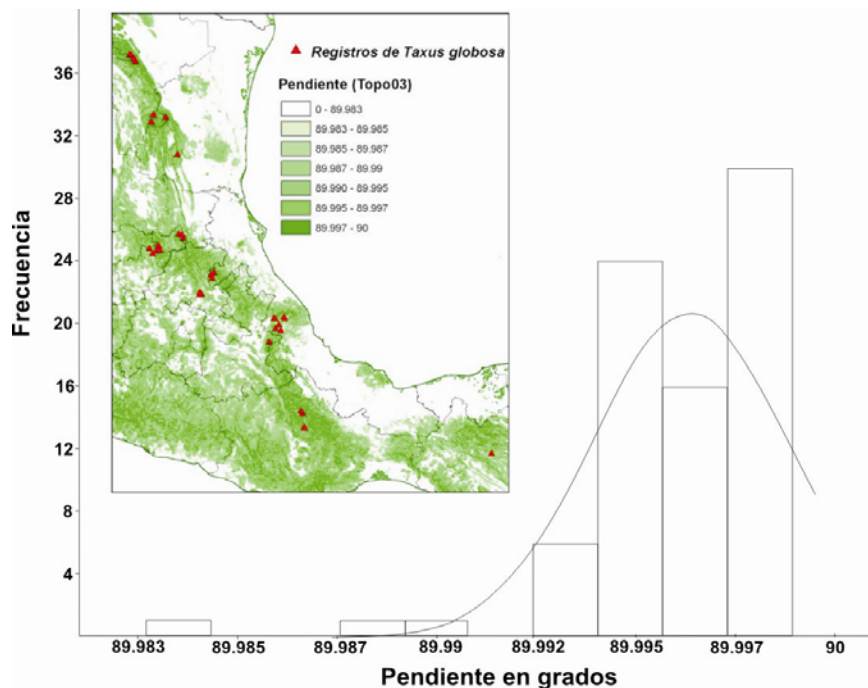


Figura 4. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* con relación a la variable ambiental Topo03 (grados de pendiente).

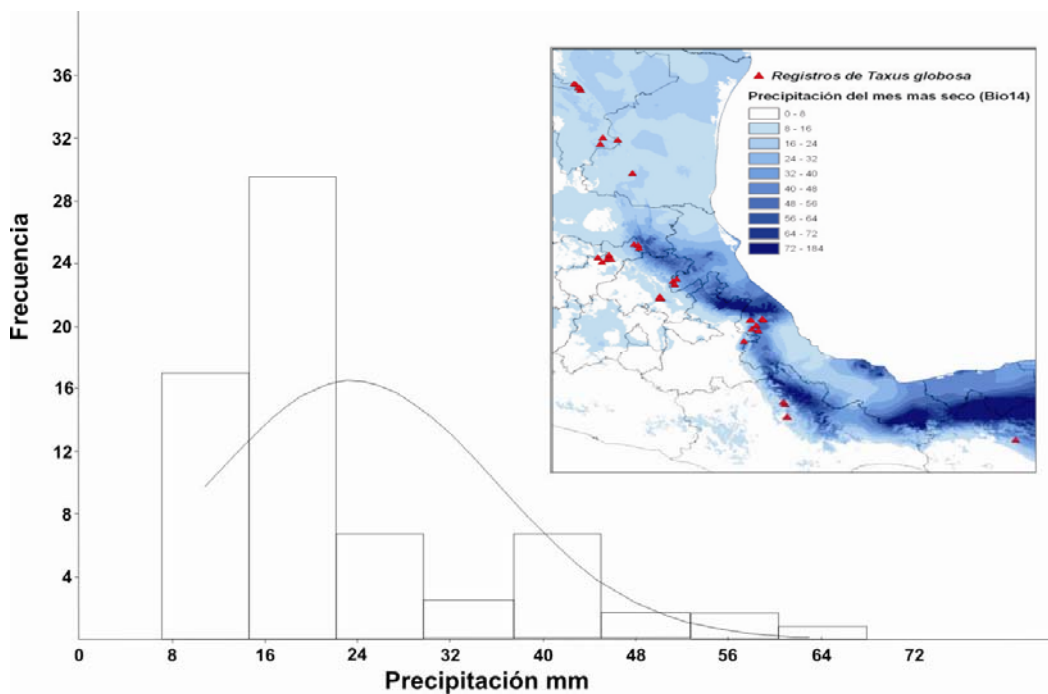


Figura 5. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* con relación a la variable ambiental Bio14 (precipitación promedio del mes más seco).

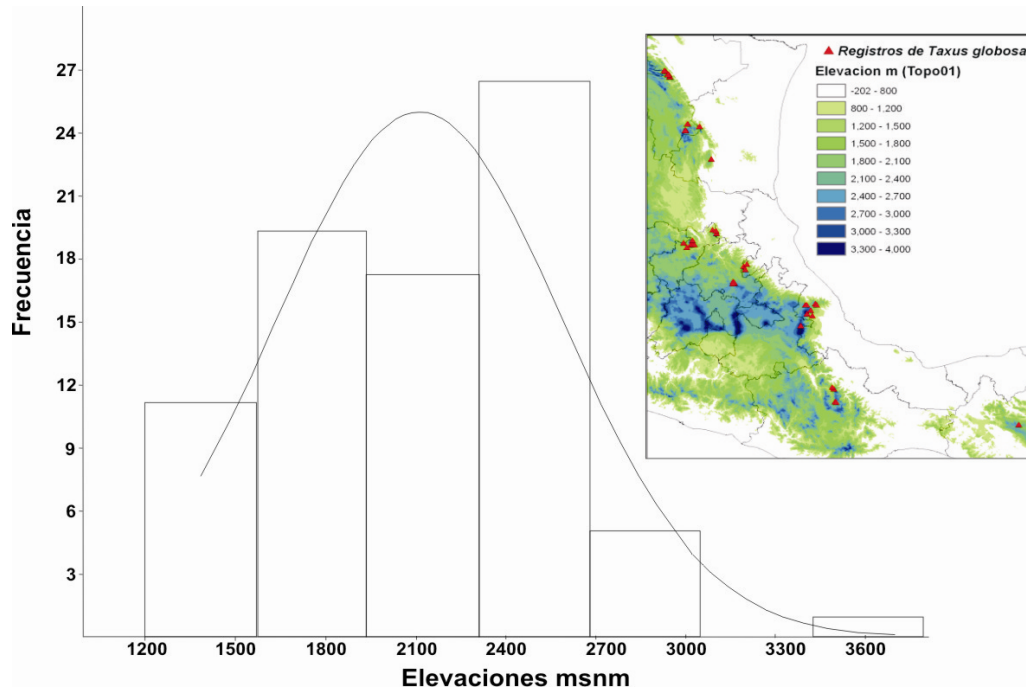


Figura 6. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* con relación a la variable ambiental Topo01 (elevación en msnm).

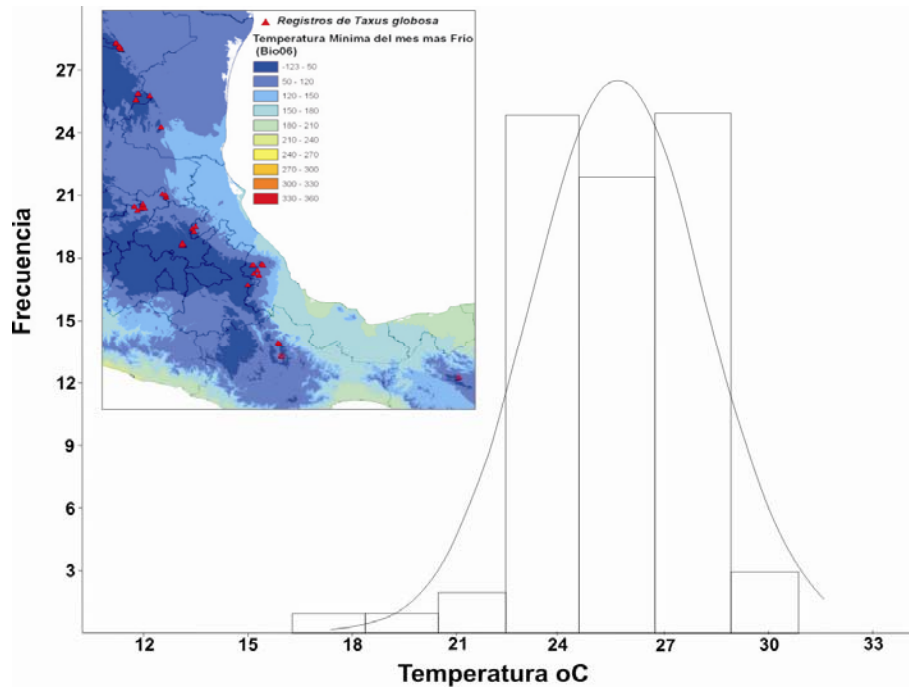


Figura 7. Gráfico y mapa de la distribución de 79 registros de *Taxus globosa* con relación a la variable ambiental Bio06 (temperatura mínima del mes más frío).

En el análisis de distribución por deciles de probabilidad (entre 0.1 y 1.0) de presencia de hábitat potencial de *Taxus globosa* en México para lo dos modelos, se observó que los últimos

dos deciles (0.8-0.9 y 0.9-1.0) representan las áreas donde existió mayor probabilidad de encontrar a la especie y siendo en esencia la zona núcleo del área potencial de distribución de la especie (Figuras 1 y 2).

Para el penúltimo decil de probabilidad (0.8-0.9), la superficie calculada para el hábitat potencial fue mayor en el modelo Bioclim con 9,299.38 km² que representa un 0.47% del territorio nacional en México, mientras que en el modelo Bioclim+Topografía generó una superficie de 8,581 km² que representan el 0.43% del territorio nacional (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de superficie y porcentaje por deciles de probabilidad del hábitat potencial de *Taxus globosa* en México para los modelos Bioclim y BioClim + Topografía.

Percentil de probabilidad	BioClim		Bioclim+Topografía	
	Km ²	Porcentaje	Km ²	Porcentaje
0-0 - 0.1	1,843,243.20	92.891	1,828,028.46	92.124
0.1 - 0.2	56,857.47	2.865	62,255.25	3.137
0.2 - 0.3	23,614.17	1.190	27,856.23	1.404
0.3 - 0.4	13,427.17	0.677	16,507.72	0.832
0.4 - 0.5	10,439.67	0.526	11,496.47	0.579
0.5 - 0.6	8,558.69	0.431	9,701.42	0.489
0.6 - 0.7	8,093.88	0.408	9,242.83	0.466
0.7 - 0.8	10,430.58	0.526	8,841.54	0.446
0.8 - 0.9	9,299.38	0.469	8,580.94	0.432
0.9 - 1.0	350.91	0.018	1,804.31	0.091

Por el contrario, en el decil de mayor probabilidad de distribución (0.9-1.0) el modelo de Bioclim presentó una superficie menor con 351 km² que representan el 0.02 % del territorio nacional, y el modelo Bioclim+Topografía generó una superficie de 1,804 Km² representando el 0.09% del territorio mexicano, siendo probable que la diferencia en tendencia sea resultado del efecto de la pendiente y elevación ya que los registros tomados en campo están ubicados en zonas de elevación mayores a 1,200 – 3,800 m y con pendiente pronunciada (Figura 4).

Utilizando un grupo de 42 registros adicionales de *Taxus globosa* se realizó una prueba de validación de los dos modelos generados, contabilizando aquellos registros que coincidieran geográficamente con las zonas de los modelos que marcaron valores de probabilidad entre los deciles 0.8-0.9 y 0.9-1.0, estos se expresaron en valores porcentuales de coincidencia con los modelos. Para el modelo Bioclim se obtuvo una precisión general de 52% (45% en el decil 0.8-0.9 y 2% en el decil 0.9-1.0) mientras que para el modelo Bioclim+Topografía se obtuvo una precisión de 55 % (36% en el decil 0.8-0.9 y 19% en el decil 0.9-1.0). Considerando el

total de valores de probabilidad de los píxeles, el modelo Bioclim tiene mayor precisión con 83%, mientras que si consideramos únicamente valores del decil de mayor probabilidad de ocurrencia de hábitat potencial para *Taxus globosa*, el modelo Bioclim+ Topografía tiene la mayor precisión con 55% (Tabla 4).

Tabla 4. Valores de probabilidad de hábitat potencial (0.1-1.0) para 42 registros de *Taxus globosa* no usados en la modelación y los valores registrados de precisión > 70% en cada modelación.

Registro	Bioclim	Bioclim + Topo	Registro	Bioclim	Bioclim + Topo
1	0.7-0.8	0.7-0.8	23	0.8-0.9	0.8-0.9
2	0.4-0.5	0.5-0.6	24	0.8-0.9	0.8-0.9
3	0.6-0.7	0.3-0.4	25	0.8-0.9	0.9-1.0
4	0.6-0.7	0.6-0.7	26	0.8-0.9	0.8-0.9
5	0.4-0.5	0.5-0.6	27	0.8-0.9	0.9-1.0
6	0.7-0.8	0.8-0.9	28	0.7-0.8	0.6-0.7
7	0.6-0.7	0.7-0.8	29	0.7-0.8	0.6-0.7
8	0.7-0.8	0.8-0.9	30	0.7-0.8	0.7-0.8
9	0.7-0.8	0.8-0.9	31	0.6-0.7	0.6-0.7
10	0.4-0.5	0.5-0.6	32	0.8-0.9	0.7-0.8
11	0.8-0.9	0.9-1.0	33	0.7-0.8	0.8-0.9
12	0.8-0.9	0.8-0.9	34	0.2-0.3	0.3-0.4
13	0.8-0.9	0.9-1.0	35	0.8-0.9	0.9-1.0
14	0.8-0.9	0.9-1.0	36	0.8-0.9	0.8-0.9
15	0.8-0.9	0.8-0.9	37	0.8-0.9	0.8-0.9
16	0.9-1.0	0.9-1.0	38	0.7-0.8	0.7-0.8
17	0.7-0.8	0.5-0.6	39	0.8-0.9	0.8-0.9
18	0.6-0.7	0.3-0.4	40	0.7-0.8	0.6-0.7
19	0.7-0.8	0.6-0.7	41	0.7-0.8	0.2-0.3
20	0.8-0.9	0.9-1.0	42	0.8-0.9	0.8-0.9
21	0.8-0.9	0.8-0.9	Prob. 0.8 a 0.9	45%	36%
22	0.8-0.9	0.8-0.9	Prob. 0.9 a 0.10	36%	19%
			Prob. 0.8 a 1.0	52%	55%

La prueba muestra que el modelo de Bioclim+Topografía tiene una mayor eficiencia en el último percentil de mayor probabilidad de ubicar *Taxus globosa* de 0.9-1.0, mientras que el modelo Bioclim es más preciso en un percentil de menor probabilidad de ubicación de *Taxus globosa*, 0.8-0.9 (Figura 8).

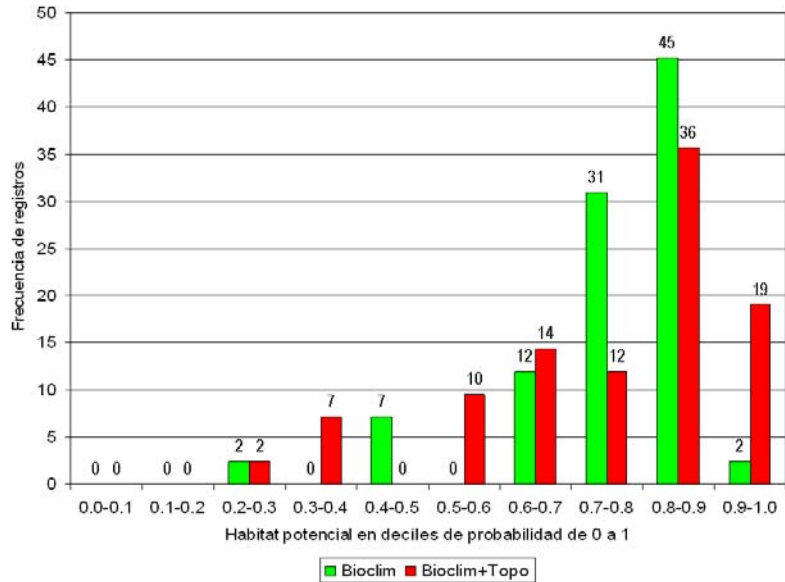


Figura 8. Gráfico que muestra los porcentajes de superficie de hábitat potencial para *Taxus globosa* en los modelos generados en Maxent: Bioclim y Bioclim +Topografía.

Se hizo un análisis de la superficie del hábitat potencial (0.8-1.0) para *T. globosa*, de acuerdo al uso del suelo y vegetación (INEGI, 2005), en la cruce de información se analizó la distribución de las 10,385 km² en relación a los tipos de vegetación y uso actual del suelo. De este análisis se observó que la comunidad que más superficie ocupa del área de hábitat potencial generada por del modelo es el bosque de pino-encino con 2,230 km², (21.48%), seguida por la comunidad de bosque de encino-pino con 1,638.5 km² (15.78%), la comunidad de bosque de pino con 1,244.75 km² (11.99%), existe un área abierta a la agricultura de temporal de 1,031.53 km² (9.93%), el bosque mesófilo de montaña con 1,027.12 km² (9.89%), el bosque de encino con 10,016 km² (9.78%), ver Tabla 5.

Tabla 5. Distribución de la superficie generada de hábitat potencial para *Taxus globosa* (0.8-1.0) de acuerdo al mapa uso del suelo y vegetación (INEGI, 2005).

Tipo de vegetación	Km ²	%
Bosque de pino-encino	2,230.25	21.48
Bosque de encino-pino	1,638.51	15.78
Bosque de pino	1,244.75	11.99
Agricultura de temporal	1,031.53	9.93
Bosque mesófilo de montaña	1,027.12	9.89
Bosque de encino	1,016.09	9.78
Matorral submontano	388.86	3.74
Pastizal inducido	253.77	2.44
Chaparral	246.99	2.38
Agricultura de temporal, pastizal inducido	230.37	2.22
Pastizal cultivado	203.56	1.96
Matorral crasicaule	157.59	1.52
Pastizal inducido, agricultura de temporal	132.19	1.27
Matorral desértico rosetófilo	123.52	1.19
Bosque de táscate	107.79	1.04
Pastizal cultivado, agricultura de temporal	98.82	0.95
Pradera de alta montana	91.33	0.88
Bosque de oyamel	73.38	0.71
Área sin vegetación	35.70	0.34
Agricultura de temporal, pastizal cultivado	22.75	0.22
Agricultura de riego	10.30	0.10
Área urbana	5.07	0.05
Bosque cultivado	4.81	0.05
Agricultura de riego eventual	3.98	0.04
Selva baja caducifolia	2.86	0.03
Selva alta perennifolia	1.42	0.02
Agricultura de temporal, vegetación secundaria de selva mediana subcaducifolia	0.86	0.01
Vegetación secundaria de selva alta perennifolia, agricultura de temporal	0.05	0.00
Pastizal gipsófilo	0.01	0.00
Agricultura de temporal, vegetación secundaria de selva alta perennifolia	0.01	0.00
Cuerpo de agua perenne interior	0.01	0.00
	10,384	100

En un posterior análisis de distribución de la superficie generada de hábitat potencial (0.8-1.0) para *T. globosa* por los estados de México de acuerdo al modelo Bioclim+Topografía, los estados con mayor superficie de hábitat potencial son Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas. En el percentil de mayor probabilidad (0.9-1.0) los estados de Veracruz (474.5 km²), Puebla (401.3 km²), Hidalgo (329.9 km²) y Nuevo León (310.1 km²) son los que tienen mayor superficie. En el percentil medio (0.8-0.9) los estados de Hidalgo (1,935.95 km²), Nuevo León (1,775 km²), Veracruz (1,342 km²), Puebla (1,258 km²) y Tamaulipas (1,173 km²) tienen más superficie (Tabla 6).

Tabla 6. Relación de superficies en km² por estado de los percentiles 0.8-0.9 y 0.9-1.0 de probabilidad de presencia de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México según el modelo Bioclim+Topografía.

	Probabilidad	Probabilidad	Suma km ²
	0.9-1.0	0.8-0.9	
Hidalgo	329.92	1,935.95	2,265.87
Nuevo León	310.15	1,775.02	2,085.17
Veracruz	474.52	1,341.83	1,816.35
Puebla	401.30	1,257.94	1,659.24
Tamaulipas	109.83	1,173.30	1,283.13
Querétaro	115.20	556.02	671.22
Oaxaca	0.00	229.28	229.28
Guanajuato	10.15	80.37	90.52
Chiapas	0.00	75.66	75.66
San Luis Potosí	8.54	57.35	65.89
Coahuila	0.00	62.60	62.60
Edo. de México	32.69	26.19	58.88
Tlaxcala	4.48	4.20	8.68
Morelos	6.66	0.98	7.64
Jalisco	0.70	2.95	3.65
Colima	0.11	0.29	0.40
	1,804	8,579	10,384

Conclusión

De acuerdo con los modelos desarrollados en Maxent para obtener el modelo de distribución de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México, el área potencial es muy reducida, se tiene una superficie potencial entre los 9.650 km² (Bioclim) y los 10,385 km² (Bioclim+Topografía) que representan entre el 0.49% al 0.52% del territorio nacional.

El modelo Bioclim (19 cubiertas climáticas) resulta tener el mejor porcentaje de precisión global en el percentil de probabilidad (0.8-0.9) de presencia de hábitat potencial para *Taxus globosa* en México.

Para el percentil de mayor probabilidad de presencia de la especie (0.9-1.0), el modelo Bioclim+Topografía resultó ser más preciso con el 55% en la prueba de validación. La variable de pendiente es la de mayor influencia en la modelación de hábitat potencial, seguida por Bio14 (precipitación del mes más seco).

La ubicación del hábitat potencial de *Taxus globosa* en zonas de montaña correspondientes al bioma bosque de coníferas tropical y subtropical indican que el hábitat presenta una baja velocidad de en cambio de temperatura por efecto global, así como un amplio rango en tiempo de residencia de este hábitat.

Los tipos de vegetación que se ubican en el hábitat potencial de los últimos dos percentiles de probabilidad (0.8-1.0) son bosque de pino-encino, bosque de encino-pino, bosque de pino y bosque mesófilo de montaña, existiendo para el 2005 un área abierta a la agricultura de 1,027 km² que representa casi un 10% de éste hábitat potencial en México.

De acuerdo al análisis Maxent utilizando las 19 cubiertas Bioclim y tres cubiertas topográficas, Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas son los estados con mayor superficie donde potencialmente, se puede distribuir *Taxus globosa* en México.

Referencias bibliográficas

- Bonilla-López L. y P. B. Canchola-García. (2008). Fitogeografía de *Taxus globosa* en la región centro-oriente de México. Tesis profesional, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. México.
- Contreras-Medina R. y Luna I. (2001), Presencia de *Taxus globosa* Schltdl. (TAXACEAE) en el estado de Chiapas, México, *Polibotánica* 12:51-55.
- DeLong E.R., DeLong D.M. and Clarke-Pearson D.L. (1988). Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics* 44(3):837-845.
- García M. R. (2008). Modelos predictivos de riqueza de diversidad vegetal, comparación y optimización de métodos de modelado ecológico. *Ph. D. Tesis. Facultad de Ciencias Biológicas, Depto. De Biología Vegetal, Universidad Complutense de Madrid*. España. 187 p.
- García S., F.; P. Castillo L. (2000). Aspectos ecológicos de *Taxus globosa* Schltdl. en las Mesas de San Isidro, Municipio de Rioverde, San Luis Potosí. *BIOTAM* 11(3):11-18.
- Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L., Jones P. G. and Jarvis A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.* 25: 1965-1978.
- INEGI (2005). *Uso del Suelo y Vegetación*, México [cd-rom].
- Kumar S. and Stohlgren T. J. (2009). Maxent modelling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia. *Journal of Ecology and Natural Environment* Vol. 1(4), pp. 094-098.

- Leal-Nares O.A. (2009). Aspectos y patrones de distribución de *Pinus martinezii* Larsen en la cuenca del lago de Cuitzeo, México: Un modelo de distribución potencial aplicado a la conservación. *Tesis Posgrado en Geografía, UNAM*. Mexico, DF. 180 p.
- Loraie R.S., Philip B.D., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B. And Ackerly D.D. (2009). The velocity of Climate Change. *Nature* 462:1052-1057.
- Phillips J.S., R.P. Anderson and Schapire R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling* 190: 231-259.
- Ward D.F. (2007). Modelling the potencial Geographic distribution of invasive ant species in New Zeland. *Biol. Invasions* 9:723-735.
- Zamudio, S. (1992). Familia TAXACEAE. En: *Flora del Bajío y de regiones adyacentes*. Instituto de Ecología. Pátzcuaro, Michoacán, México. Fascículo 9. 7p.
- Zavala-Chávez F. (2001). Análisis demográfico preliminar de *Taxus globosa* Schltdl. en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. I: Población de adultos y algunas características del hábitat. *CIENCIA*. Vol. 8 No. 2. pp. 169-174.
- Zavala-Chávez F., Soto-Hernández M. y Rodríguez-González T. (2001). El romerillo (*Taxus globosa* Schlecht.): biología, dificultades y perspectivas de su uso. *Chapingo Serie Horticultura* 7(1):77-94.

ANEXO

Tabla 1. Síntesis de resultados en las pruebas de validación internas Maxent

	Modelo BioClim	Modelo BioClim + Topografía
Aumento Regularizado de puntos de entrenamiento	4.094	4.090
Área bajo la curva (AUC) de puntos de entrenamiento	0.998	0.998
Aumento No Regularizado de puntos de entrenamiento	4.536	4.558
Aumento de Prueba no Regularizada	5.082	5.365
Prueba de prueba de Área bajo la curva (AUC)	0.998	0.999
Desviación estándar ₁	0.001	0.000
Algoritmo terminado despues de	500 iterations	500 iterations

₁. calculado de acuerdo con la ecuación dos De Long (DeLong & Clarke-Pearson, 1988).

Tabla 2. Listado de las variables ambientales Bioclim₂ y topográficas usadas en la modelación Maxent y su porcentaje de contribución en los modelos de distribución generados para *Taxus globosa* en México.

Variable ambiental	Bioclim	Bioclim+Topo
BIO_01 = Temperatura media anual	2.9	3.8
BIO_02 = Intervalo medio diurno (Media por mes [Temp.Max - Temp.Min])	0.3	0.2
BIO_03 = Isotermalidad (P2/P7) (* 100)	19.2	0.0
BIO_04 = Temporalidad de la temperatura (desviación estándar *100)	4.1	1.1
BIO_05 = Temperatura máxima del mes mas cálido	39.4	2.5
BIO_06 = Temperatura mínima del mes más frío	10.3	7.5
BIO_07 = Intervalo de temperatura anual (P5-P6)	2.9	0.9
BIO_08 = Temperatura media del ¼ anual mas húmedo	1.5	0.1
BIO_09 = Temperatura media del ¼ anual mas seco	0.0	1.4
BIO_10 = Temperatura media del ¼ más cálido	0.0	0.2
BIO_11 = Temperatura media del ¼ más frío	0.1	0.2
BIO_12 = Precipitación anual	0.0	1.1
BIO_13 = Precipitación del mes mas húmedo	0.0	1.1
BIO_14 = Precipitación del mes más seco	15.3	25.5
BIO_15 = Temporalidad de la precipitación (Coeficiente de variación)	0.5	0.0
BIO_16 = Precipitación del ¼ anual más húmedo	1.6	0.1
BIO_17 = Precipitación del ¼ anual mas seco	0.4	0.0
BIO_18 = Precipitación del ¼ anual mas cálido	0.1	0.0
BIO_19 = Precipitación del ¼ anual más frío	0.0	0.2
TOPO_01 = Elevación	n/a	14.0
TOPO_02 = Exposición	n/a	0.4
TOPO_03 = Pendiente	n/a	39.8

₂. Fuente: WorldClim (Hijmans et al, 2005).

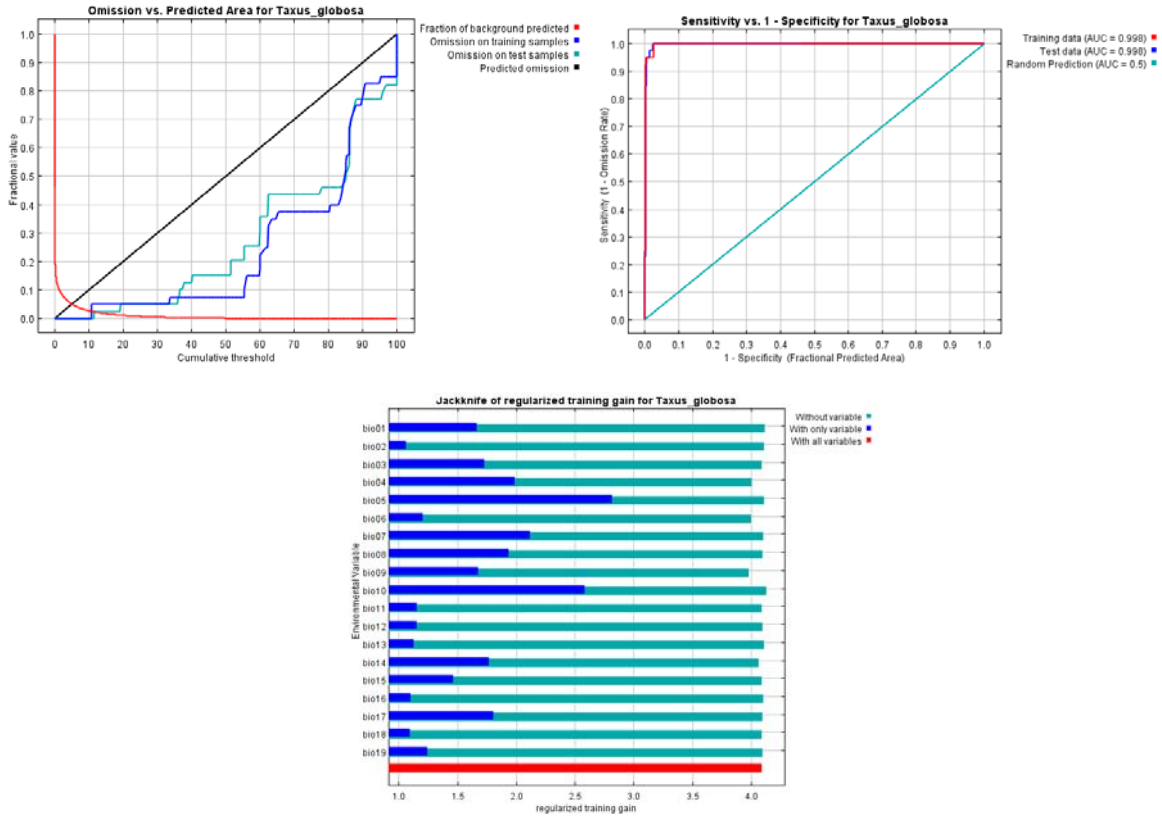


Figura 9. Modelo 1 Bioclim. La imagen 1 muestra la tasa se omisión y área predicha como una función del umbral acumulativo. La tasa de omisión es calculada con los registros de presencia y de entrenamiento, y (si se usan datos de prueba) en los registros de prueba. La tasa de omisión debe ser cercana a la omisión predicha, por la definición del umbral acumulativo. La imagen 2 es la curva ROC para los mismos datos. Notar que la especificidad es definida usando área predicha, más que de la comisión verdadera (ver el artículo de Phillips, Anderson y Schapire citado en la página de ayuda de discusión de su significado). Esto implica que la máxima AUC posible es menor a 1. Si los datos de prueba se trazan de la distribución Maxent misma, entonces la máxima valor AUC será de 0.987 en relación a 1. en la práctica la prueba AUC puede exceder este limite. La imagen 3 muestra los resultados de la prueba Jackknife de importancia de las variables. La variable ambiental con mayor incremento cuando es usada de manera aislada es Bio05, la cual por consiguiente parece tener la mayor cantidad de información útil por si misma. La variable ambiental que disminuye su incremento mayormente cuando se omite es Bio09, que parece por lo tanto tener la mayoría de la información no presente en las otras variables.

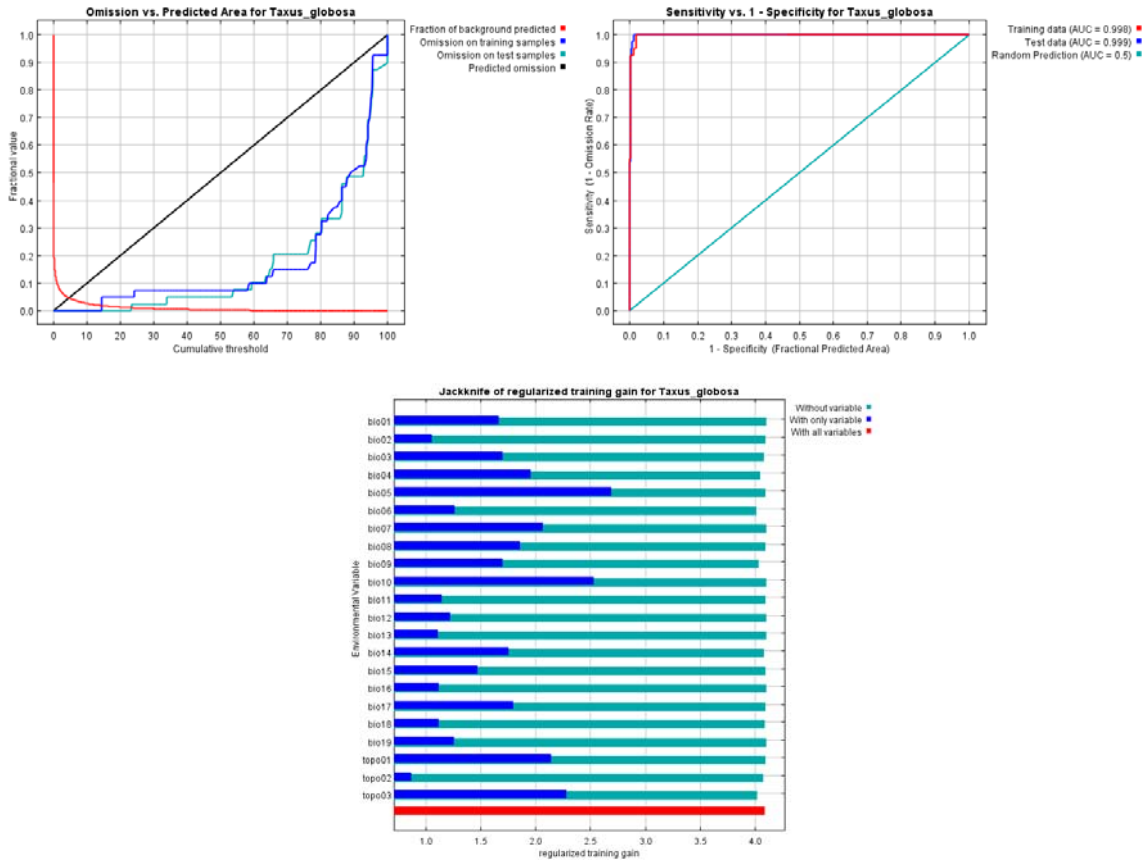


Figura 10. Modelo 2 Bioclim + topografía. La imagen 1 muestra la tasa de omisión y área predicha como una función del umbral acumulativo. La tasa de omisión es calculada con los registros de presencia y de entrenamiento, y (si se usan datos de prueba) en los registros de prueba. La tasa de omisión debe ser cercana a la omisión predicha, por la definición del umbral acumulativo. La imagen 2 es la curva ROC para los mismos datos. Notar que la especificidad es definida usando área predicha, más que de la comisión verdadera (ver el artículo de Phillips, Anderson y Schapire citado en la página de ayuda de discusión de su significado). Esto implica que la máxima AUC posible es menor a 1. Si los datos de prueba se trazan de la distribución Maxent misma, entonces la máxima valor AUC será de 0.985 en relación a 1. En la práctica la prueba AUC puede exceder este límite. La imagen 3 muestra los resultados de la prueba Jackknife de importancia de las variables. La variable ambiental con mayor incremento cuando es usada de manera aislada es Bio05, la cual por consiguiente parece tener la mayor cantidad de información útil por si misma. La variable ambiental que disminuye su incremento mayormente cuando se omite es Bio06, que parece por lo tanto tener la mayoría de la información no presente en las otras variables.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIÓN GENERAL

Los parámetros morfológicos de individuos de *Taxus globosa* como la altura, diámetro y cobertura en las poblaciones del noreste se muestran como una distribución normal lo que nos indica la peresencia de poblaciones naturales conformadas en algunos bosques del noreste. Existe a su vez una mayor correlación entre la cobertura de estas plantas y sus diámetros. La tendencia de las curvas de distribución por intervalos nos muestra que en el noreste hay poblaciones de alta densidad y superficie como Las Tinajas y Potrero Redondo, sitios donde la proporción de individuos de las clases jóvenes es mayor, como el caso de Ej. La Camotera, Santiago, Las Tinajas, Zaragoza N.L. y Julilo, Jaumave, Tamaulipas, indicándonos poblaciones con mayor estabilidad; caso contrario a la ocurrencia de pequeñas poblaciones con baja densidad como La Trinidad y El Rancho, y sitios con desproporción de individuos jóvenes en relación a los adultos como por efecto del disturbio causado por la cercanía a zonas altamente pobladas.

En la porción noreste de la Sierra Madre Oriental, las comunidades del sur con presencia de *T. globosa* son de mayor altura y área basal que las comunidades ubicadas al extremo norte de su distribución, esto debido a la influencia de la cercanía a zonas tropicales de influencia húmedo-cálida; estas comunidades del sur están además ubicadas en sitios de mayor elevación y pendiente que las comunidades norteñas con *T. globosa*. La cobertura de plantas herbáceas es mayor en la porción norte que en las zonas del sur debido a que hay mayor apertura de la vegetación proporcionando mayor entrada de luz y dando oportunidad a el desarrollo de este estrato bajo. La diversidad de especies en comunidades con *T. globosa* es mayor en dos comunidades del norte como El Butano y El Rumbadero, probablemente por representar comunidades poco perturbadas debido a su inaccesibilidad. En Julilo se presentó la mayor riqueza de especies por ser una comunidad de bosque mesófilo de montaña. Las comunidades que presentaron mayor similitud son del norte, El Rumbadero y la Camotera, compartiendo entre ellas hasta cinco especies, mientras que Julilo únicamente comparte una especie en relación al resto de las comunidades analizadas. En el noreste de la Sierra Madre Oriental, las especies más frecuentes en los sitios con presencia de *T. globosa* son *Abies vejarii* ssp. *mexicana*, *Juglans mollis*, *Tilia mexicana* y *Quercus rysophylla*.

La modelación Maxent utilizando capas bioclimáticas y topográficas es la que mejores resultados ofrece para la generación de hábitat potencial de *Taxus globosa*, que resultó en una superficie de 10.38 km² en el territorio nacional. Las variables pendiente y precipitación del mes más seco fueron las que mayormente influyeron para la generación del modelo de hábitat potencial de *T. globosa*. Esta área potencial se distribuye principalmente en las comunidades orientales de los bosques de encino-pino, pino-encino, pino y mesófilo de montaña. Los estados de la República que se ven favorecidos por la presencia de éstas condiciones para presencia de *T. globosa* son Hidalgo, Nuevo León, Veracruz, Puebla y Tamaulipas.

Una vez que han sido ubicadas zonas con potencial bioclimático para la posible presencia de *T. globosa*, se hace necesario hacer recorridos de verificación para ver si existe la especie o bien poder establecer áreas de reproducción en sitio, principalmente en aquellas donde ha sido removida la vegetación nativa por cambio en el uso de suelo.