

Distribución potencial de dos especies de leguminosas en la microcuenca Tula, México

Mayra Clementina Zamora Elizalde¹

Julio Cesar Buendía Espinoza^{1§}

Arturo Morales García²

Pedro Arturo Martínez Hernández³

Rosa María García Nuñez¹

¹Maestría en Agroforestería para el Desarrollo Sostenible-Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera Texcoco-México km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (zamora.elizalde.231195@gmail.com; blondynunez@gmail.com). ²Ingeniería en Recursos Naturales Renovables-Departamento de Suelos-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (arturomgarcia09@gmail.com). ³Posgrado en producción animal-Departamento de Zootecnia-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México- Texcoco km 38.5, Texcoco, Estado de México. CP. 56230. (arturomrtz@hotmail.com).

§Autor para correspondencia: jcbuendiae@hotmail.com.

Resumen

Macroptilium atropurpureum (DC.) Urb y *Vicia sativa* L. son dos especies forrajeras con potencial para la rehabilitación de suelos que toleran la sequía, compiten con plantas indeseadas y fijan nitrógeno. Sin embargo, se desconoce su distribución potencial en México y las zonas convenientes para introducirlas. El objetivo del presente trabajo fue evaluar la distribución geográfica potencial de *M. atropurpureum* y *V. sativa*, en la microcuenca Tula, México mediante el modelo de nicho ecológico BIOCLIM, para determinar sus zonas de óptimo crecimiento, con fines de rehabilitación de suelos. Para la modelación, se utilizaron 15 variables bioclimáticas, así como 19 registros de presencia de la especie *V. sativa* y 219 de *M. atropurpureum*, obtenidos de las bases de datos REMIB y MEXU. Los resultados de la modelación indicaron que los modelos, para *M. atropurpureum* y *V. sativa*, tienen una buena capacidad de predicción, de acuerdo con los valores obtenidos del Área Bajo la Curva, AUC, con 0.801 y 0.967, respectivamente. La distribución potencial de la especie *V. sativa* osciló de bajo a muy bajo, 96% de la superficie de la microcuenca; mientras que 97% de la superficie para *M. atropurpureum* fue muy baja y registraron una regular supervivencia con 70% y 66%, respectivamente, en la validación experimental en campo. Debido al bajo potencial de distribución y su regular supervivencia, la introducción de las dos especies no se consideró una opción para la rehabilitación de suelos en la microcuenca Tula.

Palabras clave: *Macroptilium atropurpureum*, *Vicia sativa*, Bioclim.

Recibido: abril de 2020

Aceptado: julio de 2020

Introducción

En las últimas décadas, la población de los 14 municipios que conforman la microcuenca Tula ha incrementado en promedio un 2% anual, con una población de 288 196 habitantes en 2010 (INEGI, 2013a). Además, se incrementó la densidad de población 205 a 278 habitantes km⁻² (1990-2010), ubicándose por arriba de la media nacional 61 habitantes km⁻² (INEGI, 2013a). Lo que ha intensificado la presión sobre los recursos naturales de la región, debido a la demanda de bienes y servicios de parte de la sociedad (Zamora *et al.*, 2020).

En la zona se ha registrado un crecimiento desordenado de áreas urbanas, desplazando áreas agrícolas y forestales, además de un aumento en el área de extracción de materiales para construcción (INEGI, 2017a, 2017b, 2017c), lo que ha provocado un aumento en el cambio de uso del suelo.

De acuerdo a Zamora *et al.* 2020, en el periodo del año 2000 al 2017 hubo un incremento de áreas agrícolas de 4.17% en la microcuenca Tula, siendo esta una actividad económica que deterioran el recurso suelo, además en la microcuenca existen áreas abandonadas debido a la reducción o pérdida de su productividad, que de acuerdo a Zavala-Cruz *et al.* (2011) implica que el recurso suelo esta degradado. Por tal motivo, es necesario buscar alternativas de especies vegetales que tengan un óptimo crecimiento en la región y permitan además la rehabilitación de suelos degradados.

La especie *M. atropurpureum* se localiza desde el Sur de Estados Unidos de América y México hasta Centroamérica y Sudamérica, específicamente en Brasil, Colombia, Ecuador y Perú (McVaugh, 1987). Mientras que, *V. sativa* L. es originaria de Europa, el norte de África y el oeste de Asia y considerada una especie exótica, en México (Vibrans, 2009b).

Ambas especies pertenecen a la familia Fabaceae, a la sub familia Faboideae y son utilizadas para forraje, en México (Vibrans, 2009a, 2009b). De acuerdo con Lewis *et al.* (2005), la familia Fabaceae tiene una extensa distribución geográfica en el mundo; es decir, 727 géneros, con 19 327 especies de distribución cosmopolita, ubicadas principalmente en regiones cálidas y templadas. Mientras que, en México, 1 851 especies se han reconocido (Sousa *et al.*, 2001). *M. atropurpureum* y *V. sativa* son especies que se caracterizan por tolerar la sequía, competir con plantas indeseadas y fijar nitrógeno (La O *et al.*, 2006; Flores *et al.*, 2007).

Sin embargo, hasta la fecha, no existe información acerca de su distribución geográfica potencial a nivel regional a pesar de que por sus características es posible emplearlas como herbáceas de usos múltiples. En México, la especie *M. atropurpureum* se localiza principalmente en potreros y bordes de caminos y se ha registrado en 28 estados, mientras que *V. sativa* se sitúa especialmente en bosques de pino encino y tiene registro en 8 estados (Flores *et al.*, 2007; Vibrans, 2009a, 2009b).

Por otra parte, los factores que determinan la presencia de una especie en un área geográfica son, entre otros, las condiciones abióticas (clima, topografía, condiciones edáficas, etc.) es decir, son las que determinan su nicho ecológico (Austin, 2002; Soberon y Nakamura, 2009). En los últimos 15 años, el desarrollo de programas para la modelación de nichos ecológicos ha sido un campo nuevo de investigación con alto crecimiento (Kearney, 2006; Lobo *et al.*, 2010).

Estos programas realizan modelos, basándose en el concepto de nicho ecológico de Hutchinson (Hutchinson, 1957; Guisan y Zimmermann, 2000; Elith *et al.*, 2010) relacionando la información biológica de la especie (presencia-ausencia y abundancia) y la información ambiental (Soberón y Peterson, 2005; Soberón, 2007). BIOCLIM es uno de los primeros algoritmos usados para la modelación de nichos ecológicos, y está sustentado en funciones envolventes (Nix, 1986; Busby, 1991); es decir, identifica áreas con características climáticas similares a las áreas en donde se ha registrado la presencia de una determinada especie, generando un intervalo ecológico para la especie conforme a las variables predictivas (Palacios *et al.*, 2016).

La modelación de nichos con BIOCLIM ha sido empleada en varios estudios entre los que se encuentran el de Finch *et al.* (2006) con invertebrados en África, Aguirre-Morales *et al.* (2016) con *Passiflora* subgénero *Astrophea* (Passifloraceae) en Colombia y Palacios *et al.* (2016) con *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston, en cada estudio se determinó la distribución potencial de la especie. Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar la distribución geográfica potencial de dos especies leguminosas forrajeras: *Macroptilium atropurpureum* (DC.) Urb y *Vicia sativa* L., en la microcuenca Tula, México; a través, de la modelación de sus respectivos nichos ecológicos, usando el algoritmo BIOCLIM, para determinar si éstas pueden tener un óptimo crecimiento en esta región para emplearse como alternativa de rehabilitación de suelos.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

La microcuenca Tula se ubica entre las coordenadas geográficas: 19° 55' 31'' y 19° 34' 28'' latitud norte y 98° 39' 59'' y 98° 28' 16'' latitud oeste con una superficie de 1 037.66 km² (Zamora *et al.*, 2020). Está integrada por los estados de Hidalgo (77%), Estado de México (18.03%) y Tlaxcala (4.8%) con un total de 14 municipios.

La microcuenca Tula pertenece a la Región hidrológica 26. Cuenca del Río Panuco y a la provincia fisiográfica del eje Neovolcánico transversal, tiene un rango altitudinal de entre 2 333 m y 3 223 m snm. Presenta una precipitación media anual de 600 mm y una temperatura media anual de 14 °C. Los suelos predominantes son feozem háplico (65% de la superficie), litosol (11%) vertisol pelico (11%), cambisol éutrico (9%) (INEGI, 2017a, 2017b, 2017c).

Al poseer una amplia variedad climática y edáfica, permite la existencia de distintos tipos de vegetación entre los que destacan bosques de táscate, pino, encino, matorral crasicaule, vegetación secundaria, agricultura de temporal y agricultura de riego (INEGI, 2017d).

Obtención de datos de presencia

Los registros de presencia de las especies *M. atropurpureum* y *V. sativa* se obtuvieron de la base de datos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB) y del Herbario Nacional de México del Instituto de Biología, UNAM (MEXU), las cuales han sido utilizadas en una amplia cantidad de estudios de modelación de áreas de distribución potencial de especies y modelación de nichos ecológicos (Herrera y Cortés, 2009; Martínez-Méndez *et al.*, 2016; Palacios *et al.*, 2016; Reynoso *et al.*, 2018).

Los registros de ambas especies fueron depurados, con el propósito de eliminar registros repetidos o que no contenían sistema de coordenadas; a través, de Sistemas de Información Geográfica (SIG) (Guisan y Zimmermann, 2000; Broennimann *et al.*, 2012).

Variables ambientales

Para realizar los modelos de distribución de *M. atropurpureum* y *V. sativa*, se utilizaron 15 variables (Hijmans *et al.*, 2005). 14 de ellas fueron derivadas de los valores mensuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, obtenidas de la plataforma WorldClim Versión 1.4 (<http://www.worldclim.org/>), las cuales representan las condiciones de 1970 al 2000. Además del modelo digital de elevación de INEGI (INEGI, 2013b) con una resolución espacial de 120 m, como variable topográfica (Cuadro).

Cuadro 1. Variables incorporadas en la modelación de los nichos ecológicos de *V. sativa* y *M. atropurpureum*.

Clave	Variable ambiental
BIO1	Temperatura media anual
BIO2	Intervalo de temperatura diurna media (media mensual (temperatura máxima-temperatura mínima))
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7) (100)
BIO4	Estacionalidad de la temperatura (desviación estándar*100)
BIO5	Temperatura máxima del mes más calentamiento
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío
BIO7	Intervalo anual de temperatura (BIO5-BIO6)
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío
BIO12	Precipitación total anual
BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO15	Estacionalidad de precipitación (coeficiente de variación)
BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO17	Precipitación del trimestre más seco
Alt	Altitud (m)

Modelación con DIVA-GIS

El análisis de distribución geográfica potencial de ambas especies se realizó con el programa DIVA-GIS ver. 7.5.0, utilizando el algoritmo de BIOCLIM. Para emplear este programa fue necesario homogenizar las capas a un tamaño estándar de 21.16 km² y se recortaron con el límite preestablecido de la República Mexicana, utilizando el programa QGIS 2.14.3 (Martínez-Méndez *et al.*, 2016; Reynoso *et al.*, 2018). Ya realizada la modelación se cortó la capa con el límite de la microcuenca Tula. Para determinar la aptitud estimada para el desarrollo de ambas especies se empleó la escala propuesta por Palacios *et al.* (2016) que incluye 6 intervalos: nula, muy baja, baja, media, buena, óptima.

Validación estadística

La habilidad predictiva de un modelo se evalúa con un conjunto de datos de presencia independiente del que se ha usado para calibrar el modelo (Guisan y Zimmermann, 2000). La curva operada por el receptor (ROC) evalúa la habilidad predictiva de los modelos de distribución por medio del área bajo la curva (AUC), la cual mide la capacidad del modelo para clasificar correctamente a una especie como presente o ausente (Hanley y McNeil, 1982).

Los valores del AUC pueden ser interpretados como la probabilidad de que, cuando se seleccione al azar un punto de presencia y uno de ausencia, el punto de presencia tendrá un valor mayor de idoneidad o probabilidad sobre el modelo. De acuerdo con Araujo y Guisan (2006), los valores de AUC para clasificar la precisión de los modelos es: 0.5-0.6 = insuficiente; 0.61-0.7 = pobre; 0.71-0.8 = regular; 0.81-0.9 = bueno; 0.91-1 = excelente. Aunque, valores del AUC entre 0.7 y 0.9 se consideran modelos con buena precisión (Peterson *et al.*, 2001).

Evaluación de la supervivencia en campo

De acuerdo con Ramírez (2011), la evaluación de la supervivencia en campo permite obtener una medida cuantitativa del éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio. La evaluación de la supervivencia de las especies *V. sativa* y *M. atropurpureum* se llevó a cabo durante los años 2018 y 2019, en el Ejido de San Felipe Teotitlán, que abarca parte de los municipios de Axapusco y Nopaltepec, en el Estado de México, dentro de la microcuenca Tula (Figura 1), el experimento se realizó en un área de 20 x 55 m de ancho y largo, respectivamente, ubicada entre las coordenadas geográficas 19° 50' 24" y 19° 49' 00" de latitud norte y 98° 42' 00" de longitud oeste.

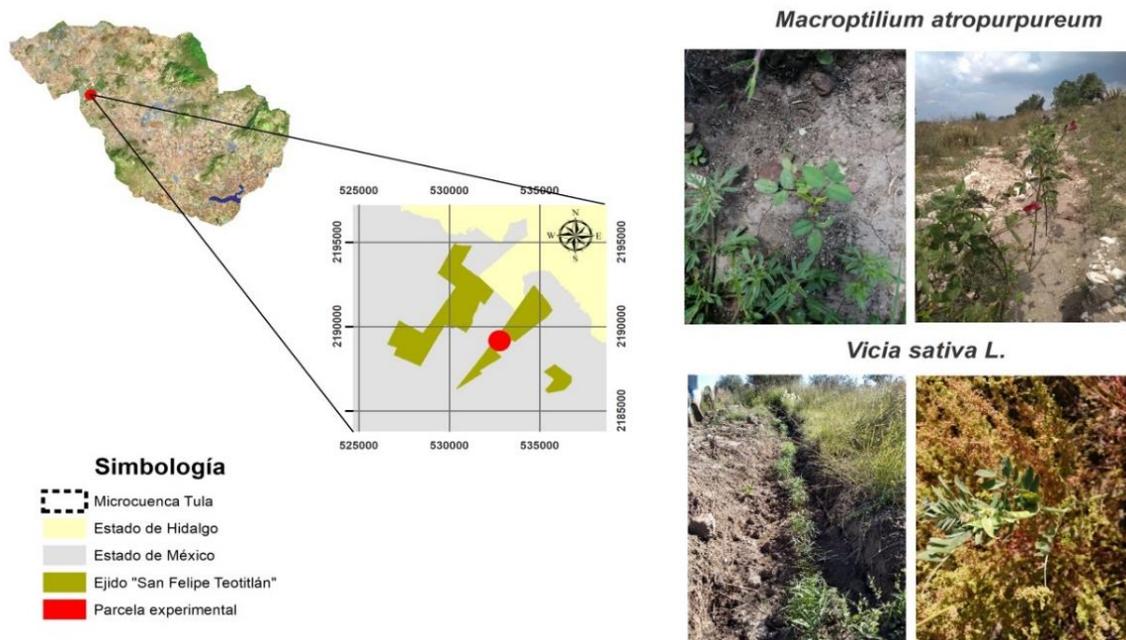


Figura 1. Localización del área experimental de la introducción de especies en Ejido San Felipe Teotitlán, México.

La implementación del experimento consistió en producir plántulas de *M. atropurpureum*, la cual es una especie perene, en el invernadero del Departamento de Zootecnia en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), durante el periodo de mayo a julio del 2018. También, se realizó la preparación del terreno, comenzando con la roturación del suelo a curvas de nivel con un espaciamiento de 11 m, y la apertura de zanjas de 20 x 0.3 x 0.2 m de largo, ancho y profundidad, respectivamente.

Posteriormente, las zanjas se rellenaron con suelo de la región y zeolita (0.5 kg planta⁻¹), debido a la presencia de piedra y tepetate en los primeros 0.15 m de profundidad. Finalmente, las plántulas de *M. atropurpureum* fueron trasplantadas durante la primera semana del mes de agosto a una distancia de 0.2 m entre cada planta, en los primeros 10 metros de la zanja. Cabe mencionar que *V. sativa*, la cual es una especie anual fue sembrada directamente en campo en los 10 metros restantes de la zanja, en el mismo periodo y a la misma distancia.

En el mes de diciembre de 2018, se evaluó la supervivencia, definida como el número de plántulas que sobrevivieron al final del control de seguimiento, respecto al número de plantas al inicio del estudio este valor es expresado en porcentaje (Ramos-Font *et al.*, 2015). En el mes de junio de 2019, se repusieron todas las plantas muertas, esta vez la siembra fue directa en ambas especies y se evaluó la supervivencia, en el mes de octubre de 2019.

Resultados y discusión

Los registros de presencia obtenidos de las bases de datos MEXU y REMIB, para la especie *M. atropurpureum* fueron de 219 después del proceso de depuración de los 856 registros con el software QGIS 2.14.3 y para la especie *V. sativa* se obtuvieron 19 registros después de la depuración de los 124 registros.

Los registros de presencia indicaron que *M. atropurpureum* posee una extensa distribución en México, y se le identificó principalmente en los estados de Oaxaca (68 registros), Puebla (29), Campeche (25) y Chiapas (20), lo cual coincide con lo que reportado por Vibrans (2009a). Mientras que *V. sativa* se registró en siete estados, siendo el Estado de México (9 registros) el que más tiene, lo cual coincide con lo que reportó Vibrans (2009b); Flores *et al.* (2007) (Figura 2).

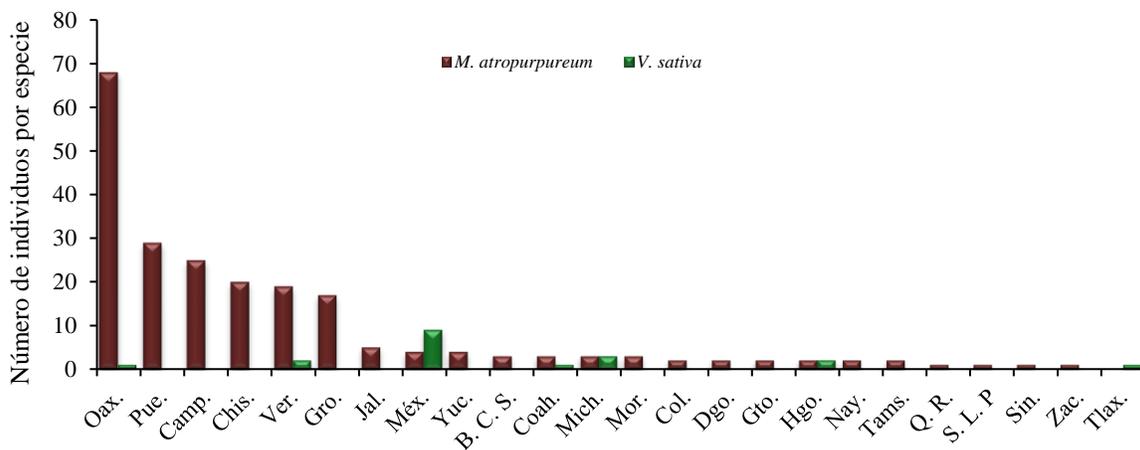


Figura 2. Estados con registros georreferenciados de *V. sativa* y *M. atropurpureum* en Méx.

De acuerdo con los valores obtenidos de los registros para *V. sativa* y *M. atropurpureum*, se obtuvieron los rangos de las variables ambientales en que se han reportado mayor número de individuos a nivel nacional. Para *V. sativa*, el intervalo de temperatura media anual obtenido fue de 13.8 a 17.3 °C (Cuadro), este rango indica que no tolera el frío para un crecimiento óptimo, tal como lo menciona Alfonso (2007).

Cuadro 2. Intervalos bioclimáticos de las zonas en las que se tiene registrada la presencia de *V. sativa* y *M. atropurpureum* en México.

Variable ambiental	<i>V. sativa</i>		<i>M. atropurpureum</i>	
	Intervalo	Int. mayor frecuencia	Intervalo	Int. mayor frecuencia
Temperatura media anual (°C)	6.9-24.1	13.8-17.3	12.3-27.6	24.5-27.6
Intervalo de t. diurna media (°C)	9.9-18.1	14.8-16.4	3.2-19.8	9.8-13.1
Isotermalidad	57.7-74.5	67.8-71.2	23.9-83.7	59.8-71.7
Estacionalidad de la t.	124.6-351.5	170-215.4	59.7-788	205.4-351
T. máx. mes más cálido (°C)	15.8-35.9	23.8-27.9	21.7-40	32.7-36.3
T. mín. mes más frío (°C)	-1.5-12	1.2-3.9	-2.9-20.1	15.5-20.1
Intervalo anual de t. (°C)	16.8-26	22.3-24.2	13.2-38.6	18.3-23.4
T. media trimestre más cálido (°C)	8.4-27.6	16.1-20	14-31.1	27.6-31.1
T. media trimestre más frío (°C)	5.4-21.3	8.6-11.8	6.8-26.5	18.6-22.6
P. total anual (mm)	531-1981	821-1111	70-3386	733.2-1396.4
P. del mes más húmedo (mm)	92-404	216.8-279.2	16-638	140.4-264.8
P. del mes más seco (mm)	2-45	2-10	0-99	0-19.8
Estacionalidad de p. (mm)	70.8-113.1	96.2-104.7	52.3-136.2	102.6-119.4
P. del trimestre más húmedo (mm)	266-1068	586.8-747.2	35-1693	366.6-698.2
P. trimestre más seco (mm)	17-142	17-42	0-327	0-65.4

Respecto al rango de precipitación de los sitios en los cuales obtuvo mayor frecuencia de presencia, éste fue de 821 a 1 111 mm, con un intervalo general de 531 a 1 981 mm, rango que difiere al reportado por Flores *et al.* (2007), quienes indican que crece y se desarrolla de 200 a 400 mm debido a que la especie soporta el estrés hídrico.

Para la especie *M. atropurpureum*, el mayor número de individuos se encontraron en una temperatura media anual de 24.5 a 27.6 °C, lo que indica que tiene menor tolerancia al frío que la especie *V. sativa*. Mientras que, el rango de precipitación anual fue de 733.2 a 1 396.4 mm, rango que está dentro del intervalo 650-1 500 mm reportado por Vibrans (2009a) para esta especie y entre el reportado por (Guerrero *et al.*, 2009) 650 a 1 750 mm, el rango general obtenido fue de 70 a 3 386 mm, lo cual explica su extensa distribución en México y su tolerancia al estrés hídrico.

Los rangos de las variables ambientales obtenidos para México y la información climática de la microcuenca Tula, la cual presenta una temperatura media anual de 14 °C y una precipitación media anual de 600 mm (INEGI, 2017a, 2017b, 2017c), indican que *V. sativa* de acuerdo con la temperatura si se puede tener un adecuado crecimiento. Sin embargo, en la microcuenca no se tiene

una óptima precipitación para el crecimiento óptimo de esta especie. En el caso de *M. atropurpureum* en la microcuenca no se tiene una temperatura media anual ni una precipitación media anual adecuada para su óptimo crecimiento.

Los resultados obtenidos de la distribución geográfica potencial mediante la modelación con BIOCLIM, para la especie *V. sativa*, indica que la microcuenca tiene una superficie total de 41.51 km² con nulo potencial, que equivale al 4% de la superficie, mientras que 996.15 km² (96%) tienen potencial; de esta superficie, 21% (209.19 km²) corresponde a bajo potencial y 79% (786.96 km²) a un potencial muy bajo (Figura 3).

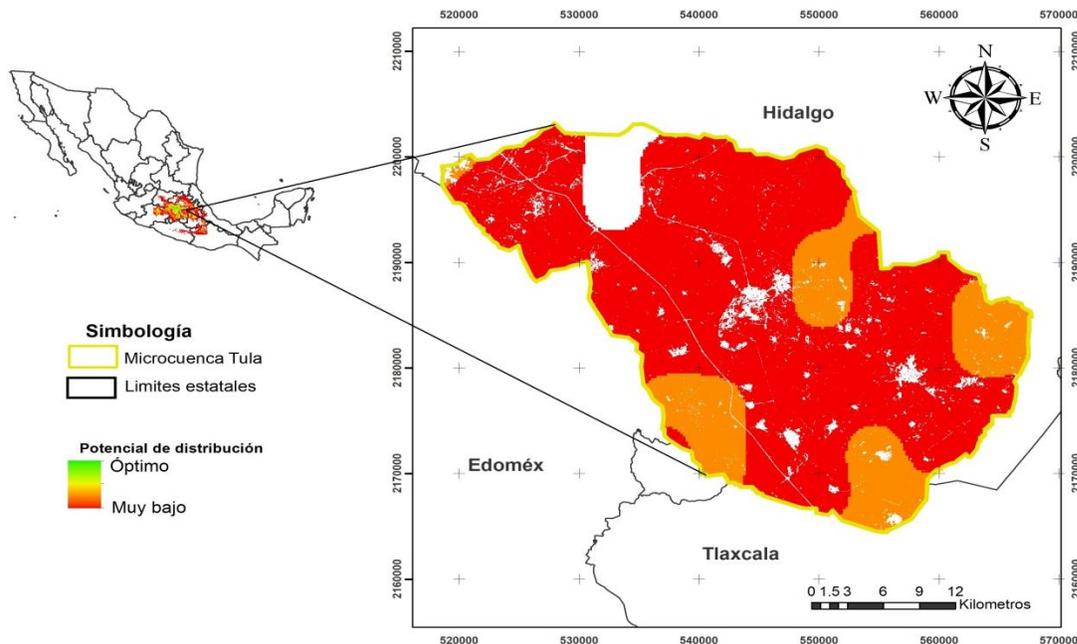


Figura 3. Distribución potencial de *V. sativa* en la microcuenca Tula, México.

Esto indica que en la microcuenca si se desarrollará la especie, pero no alcanzará su óptimo crecimiento y por ende rendimiento, ya que la especie requiere de una mayor precipitación media anual. La distribución geográfica potencial de la especie *M. atropurpureum* en la microcuenca, ésta fue de 3% (31.12 km²) con nulo potencial y de 97% (1 006.53 km²) con muy bajo potencial (Figura 4), lo que indica que la especie no tendrá un crecimiento óptimo en esta región, debido a que requiere de una mayor temperatura y precipitación media anual.

Respecto a la evaluación de la supervivencia de la especie en campo, la cual permite medir cuantitativamente el éxito de la plantación bajo la influencia de los factores del sitio (Ramírez, 2011), durante el año 2018, ésta fue de 100% para *M. atropurpureum* y de 0% *V. sativa*, éste último valor se adjudicó a la presencia de fauna silvestre. Sin embargo, en la evaluación del año 2019, ambas especies registraron una supervivencia regular, con 66% para la especie *M. atropurpureum* y 70% para *V. sativa*.

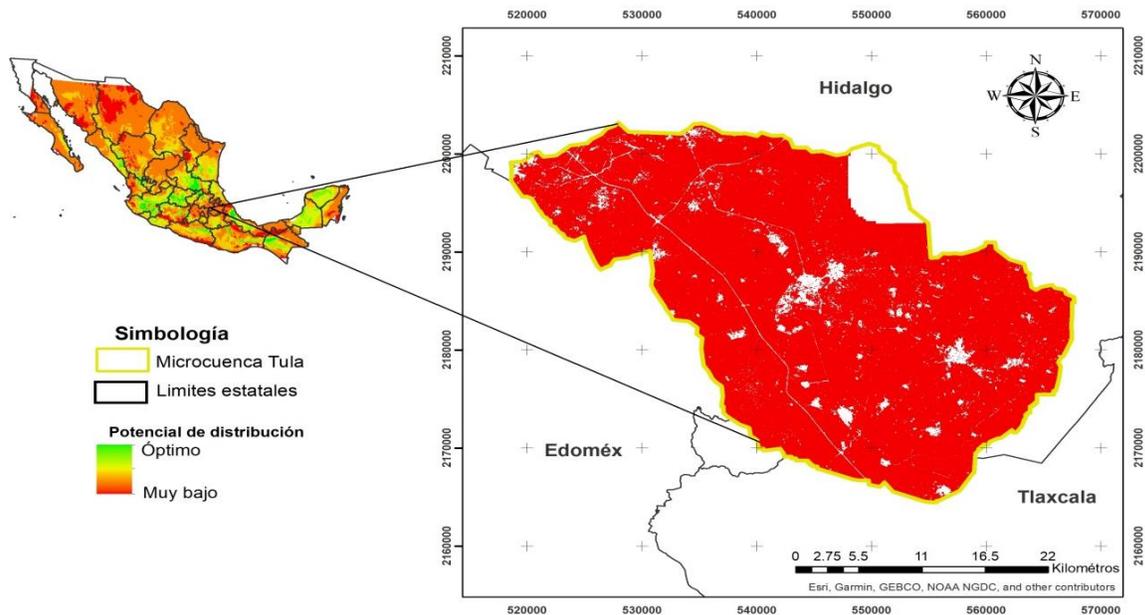


Figura 4. Distribución potencial de *M. atropurpureum* en la microcuenca Tula, México.

Ésta última especie compitió favorablemente contra las herbáceas anuales del sitio y alcanzó la formación de vainas, mientras que *M. atropurpureum* tuvo un crecimiento lento con una altura menor a 0.01 m en estado vegetativo. Cabe mencionar, que es posible mejorar su adaptación al mejorar los aspectos edáficos como lo hicieron en Zacatecas con la especie *V. sativa*, al aplicar riegos auxiliares, fertilizar y controlar malezas (Flores *et al.*, 2007; Flores *et al.*, 2016). Sin embargo, por los costos que implican no se recomienda sean utilizadas en proyectos para esta región.

Finalmente, los valores del AUC, obtenidos para la validación de la precisión de predecir de los modelos, para *M. atropurpureum* y *V. sativa*, fue de 0.801 y 0.967 respectivamente, valores que indicaron que los modelos tienen una buena precisión de predicción (Peterson *et al.*, 2001; Araujo y Guisan, 2006; Phillips y Dudík, 2008).

Conclusiones

Los modelos de nicho ecológico obtenidos con el algoritmo de BIOCLIM para las especies *M. atropurpureum* y *V. sativa* tienen una buena precisión de predicción para la obtención de la distribución potencial de las especies. El bajo potencial de distribución obtenido en la modelación y la regular supervivencia de las especies leguminosas *M. atropurpureum* y *V. sativa* indicó que estas especies no son las más aptas para introducirse en la microcuenca Tula; sin embargo, hace falta realizar estudios acerca de la adaptación de estas especies a la región al mejorar los aspectos edáficos del sitio de introducción.

Literatura citada

- Aguirre-Morales, A. C.; Bonilla-Morales, M. M. y Caetano, C. M. 2016. Evaluación de la diversidad y patrones de distribución de *Passiflora* subgénero *Astrophea* (Passifloraceae) en Colombia. Un reto para la investigación taxonómica, florística y de conservación de las especies. *Acta Agronómica*. 4(65):422-430. doi:10.15446/acag.v65n4.51444.
- Alfonso-S, M. A. 2007. Leguminosas de interés para la implantación de praderas. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 17 p.
- Araujo, M. B. and Guisan, A. 2006. Five (or so) challenges for species distribution modelling. *J. Biogeography*. 33(10):1677-1688. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x>.
- Austin, M. P. 2002. Case studies of the use of environmental gradients in vegetation and fauna modelling: theory and practice in Australia and New Zealand. *In: predicting species occurrences: issues of accuracy and scale*. Scott, J. M.; Heglund, P. J.; Morrison, M. L.; Haufler, J. B.; Raphael, M. G.; Wall, W. A. and Samson, F. B. (Eds.). Island Press. Washington. 73-82 pp.
- Broennimann, O.; Fitzpatrick, M. C.; Pearman, P. B.; Petitpierre, B.; Pellissier, L.; Yoccoz, N. G. and Guisan, A. 2012. Measuring ecological niche overlap from occurrence and spatial environmental data. *Global Ecol. Biogeography*. 4(21):481-497. doi: 10.1111/j.1466-8238.2011.00698.x.
- Busby, J. R. 1991. BIOCLIM-a bioclimate analysis and prediction system. *Plant Protection Quarterly*. 1(6):8-9.
- Elith, J.; Kearney, M. and Phillips, S. 2010. The art of modeling range-shifting species. *Methods in Ecol. Evol.* 4(1):330-342. doi: 10.1111/j.2041-210X.2010.00036.x.
- Finch, J. M. Samways, M. J.; Hill, T. R.; Piper, S. E. and Taylor, S. 2006. Application of predictive distribution modeling to invertebrates: Odonata in South Africa. *Biodiversity and Conservation*. 13(15):4239-4251. doi: 10.1007/s10531-005-3577-z.
- Flores-N, M. de J.; Sánchez-G, R. A.; Echavarría-C, F. G.; Gutiérrez-L, R.; Rosales-N, C. A. y Salinas-G, H. 2016. Producción y calidad de forraje en mezclas de veza común con cebada, avena y triticale en cuatro etapas fenológicas. *Rev. Mex. Cienc. Pec.* 3(7):275-291.
- Flores-O, M. Á.; Gutiérrez, L. R.; y Palomo, R. M. 2007. Veza común y *Lathyrus sativus* L.: alternativas para producir forraje en Zacatecas. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). DF., México. 40 p.
- Guerrero-R, J. de D.; Vargas, L. S.; Bustamante, G. A. y Castro, G. N. P. 2009. Leguminosas forrajeras: opciones para la producción de rumiantes en el Estado de Puebla. *Agroproductividad*. 3(2):16-22.
- Guisan, A. and Zimmermann, N. E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*. 2-3(135):147-186. doi: 10.1016/S0304-3800(00)00354-9.
- Hanley, J. A. and McNeil, B. J. 1982. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*. 143(1):29-36.
- Herrera, A. Y. y Cortés, O. A. 2009. Diversidad y distribución de las gramíneas (Poaceae) en el estado de Zacatecas. *The Botanical Research Institute of Texas, Inc.* 2(3):775-792.
- 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. *Inter. J. Climatol.* 15(25):1965-1978. doi:10.1002/joc.1276.
- Hutchinson, G. E. 1957. Concluding remarks. *Cold spring harbor symposium on quantitative biology*. 1(22):415-457.

- INEGI. 2013a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Censo de población y vivienda 2010. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>.
- INEGI. 2013b. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Continúo de elevaciones mexicano (CEM). <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>.
- INEGI. 2017a. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2017. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF.Docs/HGO-ANUARIO-PDF.pdf>.
- INEGI. 2017b. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de México 2017. <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=702825097912>.
- INEGI. 2017c. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Tlaxcala 2017. <https://www.datatur.sectur.gob.mx/ITxEF.Docs/TLAX-ANUARIO-PDF.pdf>.
- INEGI. 2017d. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Conjunto de datos vectoriales de uso de suelo y vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>.
- Kearney, M. 2006. Habitat, environment and niche: what are we modelling? *Oikos*. 1(115):186-191. doi: 10.1111/j.2006.0030-1299.14908.x.
- La-O, O.; Chongo, B.; Delgado, D. y Ruiz, T. 2006. Fraccionamiento proteico y digestión ruminal de nutrientes de siratro (*Macroptilium atropurpureum*). *Rev. Cubana Cienc. Agríc.* 3(40):315-320.
- Lewis, G.; Schrire, B.; MacKinder, B. and Lock, M. 2005. Legumes of the World. Royal Botanic Gardens. <https://www.cambridge.org/core/journals/edinburgh-journal-of-botany/article/legumes-of-the-world-edited-by-g-lewis-b-schrire-b-mackinder-m-lock-royal-botanic-gardens-kew-2005-xiv-577pp-colour-photographs-line-drawings-isbn-1-900-34780-6-5500-hardback/B150C09BB9224913D2CE31834394FA7A>.
- Lobo, J. M.; Jiménez-Valverde, A. and Hortal, J. 2010. The uncertain nature of absences and their importance in species distribution modelling. *Ecography*. 1(33):103-114. doi: 10.1111/j.11/j.1600-0587.2009.06039.x.
- Martínez-Méndez, N.; Aguirre-Planter, E.; Eguiarte, L. E. y Jaramillo-Correa, J. P. 2016. Modelado de nicho ecológico de las especies del género *Abies* (Pinaceae) en México: algunas implicaciones taxonómicas y para la conservación. *Botanical Sci.* 1(94):5-24. doi: 10.17129/botsci.508.
- McVaugh, R. 1987. Leguminosae. *In: Flora Novo-Galiciana*. Anderson, W. R. (Ed.). The University of Michigan Press. Ann Arbor, Michigan. 786 p.
- Nix, H. A. 1986. A biogeographic analysis of Australian elapid snakes. *In: atlas of elapid snakes of Australia*. Australian Flora and Fauna. Longmore, R. (Ed.). Australian Government Publishing Service. Canberra, Australia. 4-15 pp.
- Palacios, R. A.; Rodríguez, L. R. y Hernández, F. M. de la L. 2016. Distribución potencial de *Prosopis laevigata* (Humb. et Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston basada en un modelo de nicho ecológico. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 34(7):35-46. doi: 10.29298/rmcf.v7i34.81.
- Peterson, N.; Soberon, J.; Pearson, R. G.; Anderson, R. P.; Martinez-Mayer, E.; Nakamura, M. and Araujo, M. B. 2001. *Ecological Niches and Geographic Distributions*. Princeton University Press, New Jersey. 51-149 pp.
- Phillips, S. J. and Dudík, M. 2008. Modeling of species distributions with Maxent: new extensions and comprehensive evaluation. *Ecography*. 31(2):161-175. doi: 10.1111/j.2007.0906-7590.05203.x.

- Ramírez, D. M. 2011. Metodología para realizar y presentar informes (ISI) de las plantaciones forestales comerciales. Comisión Nacional Forestal. México. 19 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/ver.aspx?grupo=6&articulo=1564>.
- Ramos-Font, M. G.; González-R, J. L. y Robles-C, A. B. 2015. Dispersión endozoócora de leguminosas silvestres: desde la recuperación hasta el establecimiento en campo. *Ecosistemas*. 3(24):14-21. doi: 10.7818/ECOS.2015.24-3.03.
- Reynoso, S. R.; Pérez-H, M. J.; López, B. W.; Hernández, R. J.; Muñoz-F, H. J.; Cob-U, J. V. y Reynoso-S, M. D. 2018. El nicho ecológico como herramienta para predecir áreas potenciales de dos especies de pino. *Rev. Mex. Cienc. Forest.* 48(9):47-68. doi: 10.29298/rmcf.v8i48.114.
- Soberón, J. 2007. Grinnellian and Eltonian niches and geographic distributions of species. *Ecology Letters*. 12(10):1115-1123. doi: 10.1111/j.1461-0248.2007.01107.x.
- Soberón, J. and Nakamura, M. 2009. Niches and distributional areas: concepts, methods, and assumptions. *PNAS*. 2(106):1-7. doi: 10.1073/pnas.0901637106.
- Soberón, J. and Peterson, A. T. 2005. Interpretation of model of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversity Informatics*. 1(2):1-10. doi: 10.17161/bi.v2i0.4.
- Sousa, S. M.; Ricker, M. and Hernández, H. M. 2001. Tree species of the family Leguminosae in Mexico. *Harvard Papers in Botany*. 1(6):339-365.
- Vibrans, H. 2009a. Malezas de México: *Macroptilium atropurpureum* (Moc. & Sesse ex DC.) Urban. CONABIO-COLPOS-SEMARNAT. <http://www.conabio.gob.mx/malezasde/mexico/fabaceae/macroptilium-atropurpureum/fichas/ficha.htm>.
- Vibrans, H. 2009 b. Malezas de México: *Vicia sativa* L. CONABIO-COLPOS-SEMARNAT. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/fabaceae/vicia-sativa/fichas/ficha.htm>
- Zamora-E, M. C.; Buendía-E, J. C.; Martínez-H, P. A. y García-N, R. M. 2020. Diagnóstico del uso del suelo y vegetación en la microcuenca Tula, México. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 1(11):57-68. doi: 10.29312/remexca.v11i1.2213.
- Zavala-Cruz, J.; Palma-López, D. J.; Fernández-C, C. R.; López, C. A. y Shirma, T. E. 2011. Degradación y conservación de suelos en la cuenca del Río Grijalva, Tabasco. Colegio de Postgraduados. Secretaría de Recursos Naturales y Protección Ambiental y PEMEX. Tabasco, México, DF. 89 p.