



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**

---

**Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias**

**Estudio de la estructura poblacional y  
generación de un modelo de nicho ecológico  
para *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae)**

**Tesis  
que para obtener el grado de  
Maestra en Ciencias en Biosistemática  
y Manejo de Recursos Naturales y  
Agrícolas**

**Presenta**

**SONIA PÉREZ MAYORGA**

**Zapopan, Jalisco**

**Mayo del 2017**



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias

**Estudio de la estructura poblacional y  
generación de un modelo de nicho ecológico  
para *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae)**

**Tesis**

**que para obtener el grado de**

**Maestra en Ciencias en Biosistemática y Manejo  
de Recursos Naturales y Agrícolas**

**Presenta**

**Sonia Pérez Mayorga**

**DIRECTOR**

**Dr. Miguel Ángel Macías Rodríguez**

**CODIRECTOR**

**Dr. Eduardo Salcedo Pérez**

**Zapopan, Jalisco**

**Mayo del 2017**



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias


## Estudio de la estructura poblacional y generación de un modelo de nicho ecológico para *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. (Sapindaceae)

Por

SONIA PÉREZ MAYORGA

Maestría en Ciencias en Biosistemática y Manejo de Recursos  
Naturales y Agrícolas

Aprobado por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Miguel Ángel Macías Rodríguez  
Director de Tesis e integrante del jurado

27/Abril/2017  
\_\_\_\_\_  
Fecha

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Eduardo Salcedo Pérez  
Co-Director e integrante del jurado


27 ABRIL 2017  
\_\_\_\_\_  
Fecha

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Patricia Zarazúa Villaseñor  
Asesor del Comité Particular e integrante del jurado

27/Abril/2017  
\_\_\_\_\_  
Fecha

\_\_\_\_\_  
Dr. Fábio Suzart de Albuquerque  
Sinodal e integrante del jurado

\_\_\_\_\_  
Fecha

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ramón Rodríguez Macías  
Sinodal e integrante del jurado

27-abril-2017  
\_\_\_\_\_  
Fecha

## **DEDICATORIAS**

**A DIOS**

**A MIS PADRES**

**A MI ESPOSO**

**A MIS HIJOS**

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para poder llevar a cabo mis estudios de postgrado por la beca otorgada No. 637815.

A la Universidad de Guadalajara, en especial al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

A mi Director de Tesis, Dr. Miguel Ángel Macías Rodríguez, por guiarme y dirigirme en el proceso de esta investigación.

Al Dr. Eduardo Salcedo Pérez, por su apoyo y confianza. Y por sus atinados regaños y consejos académicos.

A la Dra. Paty Zarazúa Villaseñor su apoyo en todo momento y por ser parte de una fase tan importante en mi vida profesional.

Al Dr. Fábio Suzart de Albuquerque por aceptar ser mí sinodal; por su ayuda y orientación en el tema de Modelado.

Al Dr. Ramón Rodríguez Macías por aceptar ser mi sinodal y por el apoyo recibido.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>2. ANTECEDENTES</b> .....	3
2.1 Importancia de <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. ....	3
2.2 Estructura poblacional.....	4
2.3 Modelos de Nicho ecológico.....	6
<b>3. MARCO TEÓRICO</b> .....	9
3.1 Descripción de la Familia Sapindaceae A. L. de Jessieu. ....	9
3.1.1 Clasificación taxonómica según Killeen <i>et al.</i> , (1993).....	10
3.1.2 Descripción de <i>Dodonaea viscosa</i> . ....	10
3.1.3 Hábitat .....	12
3.1.4 Distribución geográfica de la especie.....	13
3.1.5 Características edafoclimaticas. ....	14
3.1.6 Importancia de <i>Dodonaea viscosa</i> . ....	15
3.2 Estructura Poblacional.....	16
3.2.1 Suelo.....	18
3.2.2. Clima .....	18
3.3 Modelo de Nicho Ecológico.....	19
3.3.1 Maxent.....	22
3.3.2 Modelos lineales generalizados (MLG) .....	23
3.3.3 Random Forest .....	23
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	24
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	25
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	25
<b>7. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	26
7.1 Descripción de la estructura poblacional en tres sitios de muestreo en el estado de Jalisco... 26	
7.1.1 Áreas de estudio .....	26
7.1.2 Área Natural Protegida Sierra de Quila.....	27
7.1.3 Huaxtla .....	27
7.1.4 Trojes.....	27
7.1.5 Descripción de la estructura poblacional en tres sitios de muestreo .....	27
7.1.6 Evaluación de la biomasa de las poblaciones.....	28
7.2 Evaluación del efecto edafo-climático sobre la estructura de la población.....	29

7.2.1 Colecta y preparación de muestras de suelo.....	29
7.2.2 Fase de laboratorio .....	29
7.2.3 Análisis fisico-químicos de las muestras de suelo .....	30
7.2.4 Evaluación climática .....	30
7.2.5 Localización de estaciones cercanas .....	30
7.3 Análisis estadístico.....	31
7.4 Modelo de nicho ecológico para la <i>Dodonaea viscosa</i> en de México. ....	31
7.4.1 Área de estudio.....	31
7.4.2 Construcción de la base de datos.....	31
7.4.3 Limpieza de los Datos .....	32
7.4.4 Background o Pseudoausencia .....	33
7.4.5 Selección de variables climáticas .....	34
7.5.4.1 Análisis de Clúster. ....	34
7.4.6 Calibración del modelo .....	35
7.4.7 Evaluación del modelo .....	35
<b>8. RESULTADOS.....</b>	<b>37</b>
8.1 Estructura poblacional de <i>Dodonaea viscosa</i> .....	37
8.2 Evaluación de las condiciones edáficas y climáticas de las localidades .....	41
8.2.1 Características Edáficas.....	41
8.2.2 Propiedades físicas .....	41
8.2.3 Propiedades químicas .....	42
8.2.4 Condiciones climáticas en las zonas de estudio .....	43
8.3 Modelo de nicho ecológico para <i>Dodonaea viscosa</i> para México. ....	44
8.3.1 Importancia de las variables en la curva de respuesta sobre la predicción de Maxent.....	48
<b>9. DISCUSIÓN.....</b>	<b>50</b>
9.1 Estructura poblacional.....	50
9.2 Efecto de las condiciones edáficas y climáticas sobre la estructura poblacional. ....	52
9.2.1 Condiciones edáficas.....	52
9.2.2 Condiciones climáticas.....	55
9.3 Generación de un modelo de nicho ecológico para la especie en México .....	56
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>60</b>
<b>11. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>62</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Ejemplo de la base de datos de <i>Dodonaea viscosa</i> creada con los registros de presencia de 170 ejemplares botánicos de distintos herbarios. SD=Sin dato. ....	32
<b>Cuadro 2.</b> Variables climáticas obtenidas en BIOCLIM .....	34
<b>Cuadro 3.</b> Clasificación de categorías por altura, edad y su descripción. ....	37
<b>Cuadro 4.</b> Porcentajes de arena-limo-arcilla .....	42
<b>Cuadro 5.</b> Propiedades químicas del suelo y su agrupación mediante la prueba LSD. Las letras en negritas indican diferencias significativas entre las localidades. ....	42
<b>Cuadro 6.</b> Datos climáticos de las estaciones meteorológicas cercanas de cada localidad estudiada .....	43
<b>Cuadro 7.</b> Sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) para las localidades en estudio.....	55
<b>Cuadro 8.</b> Localidades con presencia de <i>D. viscosa</i> distribuídas en el país.....	56



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Imágenes de <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. a) hábito, b) flores .....	11
<b>Figura 2.</b> <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. a) rama con hojas e inflorescencia; b) flor hermafrodita con estilo y ramas del estilo cortos; c) flor hermafrodita con estilos alargados; d) flor masculina; e) flor femenina con estambres estériles; f) flor femenina desprovista de estambres; g) fruto; h) semilla. Tomado de (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006). .....	12
<b>Figura 3.</b> Distribución geográfica de <i>Dodonaea viscosa</i> (Tomado de Liu & Noshiro, 2003). .....	14
<b>Figura 4.</b> Ubicación de los sitios de muestreo, en el estado de Jalisco. ....	26
<b>Figura 5.</b> Delimitación de parcela circular de muestreo en los sitios de estudio.....	28
<b>Figura 6.</b> Mapa de 351 puntos de presencia de <i>D. viscosa</i> en la República Mexicana. ....	33
<b>Figura 7.</b> Representación de <i>D. viscosa</i> de acuerdo a la clasificación por categoría. ....	37
<b>Figura 8.</b> a) Promedios de altura total de los individuos y b) número de individuos por localidad. 38	
<b>Figura 9.</b> Variables evaluadas en la estructura poblacional. a) Diámetro a la base, b) DAP, c) Número de ramas y d) Cobertura de copa. ....	40
<b>Figura 10.</b> Evaluación de la biomasa peso seco; a) Biomasa seca en hojas y b) Biomasa seca en ramas.....	41
<b>Figura 11.</b> Gráficas de distribución mensual de temperatura y precipitación en la estación de a) Tecolotlán, b) Cuixtla y c) Jocotepec. (Ruiz-Corral et al., 2012). ....	44
<b>Figura 12.</b> Dendograma de la correlación de variables climáticas del análisis de clúster.....	45
<b>Figura 13.</b> Representación de idoneidad de presencia de <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. en México, con software Maxent.....	46
<b>Figura 14.</b> Representación de idoneidad de presencia de <i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq. en México, con diferentes programas a) GLM y b) Random Forest. ....	47
<b>Figura 15.</b> Curvas de respuesta de las variables sobre la predicción Maxent, indican el valor de predicción que va de 0.0-1.0, sobre la idoneidad de <i>D. viscosa</i> . ....	49

## RESUMEN

La especie en estudio *Dodonaea viscosa* es un arbusto de regiones semiáridas de México que prefiere los lugares perturbados. El objetivo de este trabajo es estudiar la estructura poblacional en tres diferentes localidades de Jalisco (Huaxtla, Trojes y Quila) y generar un modelo de nicho ecológico para México. Se evaluó la estructura poblacional en tres sitios de muestreo, bajo diferente grado de perturbación, en ellos, se establecieron dos parcelas circulares de muestreo de 18 m de radio, se registró frecuencia de individuos por parcela, se clasificaron en 4 categorías por la altura, se tomaron los datos de las variables altura total, diámetro a la base, DAP, cobertura de copa y número de ramas. Se realizaron análisis de suelo como textura, densidad aparente, pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, % de nitrógeno total. Para cada variable se realizó un análisis de varianza ( $p < 0.5$ ) y para la prueba de comparación de medias se realizó la prueba LSD (Least Significant Difference). La mayor frecuencia de individuos se encuentra en la localidad Trojes y los de mayor altura en la localidad Quila; se encontraron diferencias significativas en el variable diámetro a la base y Diámetro altura pecho para la localidad Huaxtla, Quila mostró diferencias para las tres categorías en la variable cobertura de copa. Los análisis de varianza de las propiedades químicas del suelo, mostraron diferencias significativas para todas las variables estudiadas con excepción de la conductividad eléctrica.

Además, se generaron tres diferentes modelos de nicho ecológico de la especie para México, a través de los programas Random Forest, Modelos Lineales Generalizados y Maxent. Se correlacionaron las variables ambientales y se seleccionaron las que mayor umbral de correlación a 0.5. Las variables climáticas de mayor contribución al modelo fueron la precipitación del mes más seco, la Isotermalidad, huella humana y horas mínimas de sol. El método que arrojó mejores resultados fue Maxent con un AUC de 0.85.

### Palabras clave

*Dodonaea viscosa*, estructura poblacional, modelo de nicho ecológico, Maxent

## ABSTRACT

The species *Dodonaea viscosa* is a shrub of semi-arid regions of Mexico that prefers disturbed places. The goals of this work is to study the population structure in three different localities of Jalisco (Huaxtla, Trojes and Sierra de Quila) and to generate an ecological niche model for Mexico. The population structure was evaluated in three sampling sites, under different degrees of disturbance, in which two circular sampling plots of 18 m radius were established, frequency of individuals per plot was recorded, classified into 4 categories by height, data were taken from the variables total height, diameter at the base, DAP ( $P < 0.5$ ), and for the analysis of variance ( $p < 0.5$ ), and for the analysis of variance ( $p < 0.5$ ). The test of comparison of means was carried out the Test Least Significant Difference (LSD). The highest frequency of individuals is in the Trojes locality and those of greater height in Quila locality; Were found significant differences in the variable diameter at the base and diameter breast height for the Huaxtla locality, Quila showed differences for the three categories in the variable crown cover. The analyzes of variance of the chemical properties of the soil, showed significant differences for all the studied variables with the exception of the electrical conductivity. In addition, three different ecological niche models of the species were generated for Mexico through the Random Forest, Generalized Linear Models and Maxent models. The environmental variables were correlated and those with the highest correlation threshold were selected at 0.5. The climatic variables of greatest contribution to the model were the precipitation of the driest month, the isothermality, human footprint and minimum hours of sunshine. The method that yielded the best results was Maxent with an AUC of 0.85.

### Keywords

*Dodonaea viscosa*, population structure, ecological niche model, Maxent.

## 1. INTRODUCCIÓN

La especie *Dodonaea viscosa* es un arbusto de regiones semiáridas, crece y se desarrolla en la mayor parte de las regiones de México y en diversos tipos de suelos, prefiere los lugares perturbados como a orillas de caminos, terrenos agrícolas abandonados, pastizales deteriorados, terrenos erosionados; y se ha observado en varios ambientes (áridos, tropicales, subtropicales y en ecotonos) (Juan-Pérez *et al.*, 2010).

Su distribución espacial es heterogénea y está condicionada por la interacción e interrelación de factores geográficos y antropogénicos, tales como la altitud, geoformas, componentes climáticos, características del suelo, afloramientos rocosos, asociaciones vegetales e impacto de las actividades humanas. Las condiciones geográficas no son determinantes para su distribución espacial, pues se le encuentra a diferentes altitudes; desde el nivel del mar y hasta los 2 600 m (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001).

De acuerdo con Niembro (1986) actualmente hay un incremento en el desarrollo de las poblaciones de la especie, por la destrucción del bosque de *Quercus* y de las selvas bajas caducifolias, ya que a esta especie le favorece la perturbación.

Es importante llevar a cabo estudios de la estructura de las poblaciones, ya que ésta es el resultado de la acción de diferentes factores bióticos y abióticos a los cuales han estado sometidos, tanto los miembros actuales de la población, como su registro puntual de lo que ocurre en la dinámica poblacional, además permite describir a la población de forma objetiva (González, 2002).

Dichos estudios, son fundamentales para emitir criterios sobre el estado de conservación de las especies y dilucidar los eventos e interacciones que han dado origen a las poblaciones. Adicionalmente, proveen información esencial sobre los estados cruciales del ciclo de vida, la efectividad de diferentes tipos de manejo, así como restricciones impuestas por el ambiente al desarrollo de las poblaciones de las especies (Oostermeijer *et al.*, 1996; Silvertown *et al.*, 1996; Lennartsson & Oostermeijer, 2001).

Por lo anterior, y la falta de información sobre investigaciones científicas referentes a las propiedades, usos, y manejo de las poblaciones de la especie; los objetivos de este trabajo fueron evaluar la estructura poblacional de *Dodonaea viscosa* en tres localidades en el estado de Jalisco y generar un modelo de nicho ecológico de la especie para México.

Ya que el poder generar algunos modelos de nicho ecológico, nos proporcionará información sobre la distribución geográfica potencial y conocer nuevas y mejoradas técnicas de modelado. Estos modelos nos indicarán la idoneidad del hábitat para el desarrollo de poblaciones o el área en donde la especie tiene alguna probabilidad de estar presente.

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1 Importancia de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.

Es un arbusto que se utiliza para varios propósitos; su importancia botánica empezó en la década de los ochenta, cuando fue usada como planta ornamental en el establecimiento de setos del centro comercial Plaza Satélite de Naucalpan, en el Estado de México (Camacho *et al.*, 1991). Además es considerada una planta multifuncional para las familias campesinas ya que se ha documentado su uso en diversos procesos agrícolas, como tutor para cultivos de tomate, zarzamora, chile y jitomate (Martínez-Bustamante y Juan-Pérez 2005; Ramírez y Juan-Pérez, 2008). También es usada como material de construcción de viviendas (López-Moreno y Cedillo-Portugal, 2010).

En la parte ecológica toma real importancia ya que la especie ha mostrado ser útil para retener y disminuir la erosión del suelo (Colín y Juan Pérez, 2007) también protege el suelo contra la erosión hídrica y favorece el desarrollo de gramíneas cespitosas y fasciculadas (Torrice *et al.*, 1994); además, puede ser utilizada eficientemente en ecotecnias y programas de recuperación de suelos. Y por ser una planta que se adapta fácilmente a condiciones adversas como afloramientos rocosos, suelos someros y erosionados, es recomendable para obras de restauración ambiental, principalmente en áreas impactadas por actividades extractivas de material pétreo.

A lo largo del tiempo *D. viscosa* se ha usado como medicina tradicional para curar afectaciones del ganado y problemas post-parto. También se reporta que posee actividad antibacteriana para bacterias contra *Bacillus subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Salmonella typhi* y *Pseudomonas aeruginosa*, indicando la presencia de componentes antibacterianos (Khurram *et al.*, 2009); otros autores reportan que posee propiedades antidiabéticas, antifebriles, anti-reumática y antioxidante de las partes aéreas (Manfron *et al.*, 2010; Veerapur *et al.*, 2010; Monreal-García *et al.*, 2014), se comprobó la actividad

antidiabética y antioxidante en ratas diabéticas y exhibieron mayor porcentaje de reducción en los niveles de glucosa (Veerapur *et al.*, 2010).

## **2.2 Estructura poblacional**

La estructura poblacional estudia el comportamiento de las poblaciones en sus diferentes ámbitos, para identificar el número de individuos que la conforman, tanto a nivel poblacional o de comunidades; además permite conocer los aspectos útiles de las plantas y para tomar medidas de conservación en caso de ser necesario para especies en peligro de extinción. Ramos-López, (2007) realizó estudios sobre la estructura poblacional de *Mammillaria dixnthocentron*, una especie endémica del Valle de Tehuacán-Cuicatlán, además de estar en riesgo y categorizada a protección especial (aquellas especies que podrían llegar a encontrarse amenazadas por factores que inciden negativamente en su viabilidad NOM-059-SEMARNAT-2010) el objetivo del trabajo fue determinar la estructura poblacional, dentro de la cual se evaluó su ciclo de vida, las fases de vulnerabilidad y el estado actual.

Con el fin de garantizar el aprovechamiento de los recursos naturales y conocer el estado en que se encuentran las poblaciones de las plantas útiles), en el Valle de Tehuacán ubicado en el estado de Oaxaca; Godínez-Álvarez *et al.*, (2008), estudiaron cuatro especies (*Stenocereus stellatus* *Prosopis laevigata* *Castela tortuosa* y *Agave marmorata*), donde evaluaron la densidad, la estructura poblacional, la producción de frutos y semillas, la germinación y la supervivencia de las plántulas. Estos estudios demográficos permitieron obtener información sobre el manejo y los niveles adecuados de extracción de los recursos.

García-Aranda *et al.*, (2011) estudiaron 11 poblaciones de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental, con el objetivo de inventariar las poblaciones en el Noreste de México, esta especie es considerada rara por su viabilidad, dentro de las categorías oficiales de conservación de especies en México; y se utiliza regionalmente como leña por su durabilidad de la madera. Los resultados indicaron que la densidad de individuos en áreas más aisladas, alejadas de

asentamientos humanos y con menor impacto antropogénico, directo o indirecto, mostraron una mayor densidad de individuos.

Otro trabajo es el que realizaron Maza-Villalobos *et al.*, en 2014 para conocer la vegetación presente en la Cuenca del Cuitzeo, analizaron la variación estructural de comunidades de árboles y arbustos presentes en diferentes tipos de vegetación y con base a los resultados proponer lineamientos para la conservación de la vegetación de la Cuenca. Ya que la información ayudará a la toma de decisiones sobre las áreas prioritarias para la conservación y cuáles para actividades alternativas (como extracción de productos forestales).

Otro estudio fue realizado por Granado-Pérez *et al.*, 2016, en el cual evaluaron la estructura de las poblaciones del árbol *Tabebuia lepidophylla*, esta especie se distribuye en las sabanas de pinos del Occidente de Cuba, en los suelos arenosos-cuarcíticos. Teniendo como objetivo comprender los procesos que describen la biología poblacional y la de otras plantas en este tipo de ecosistemas, particularmente arbustos y árboles pequeños. Con esta investigación se pudo saber la frecuencia de los individuos en relación a la cercanía o lejanía a la costa; y permitió conocer el estado de conservación de las poblaciones. El estudio indicó que la población de *T. lepidophylla* en la Reserva Ecológica Los Pretiles mostró una estructura estable, lo cual constituye un indicador de su estado de conservación y su capacidad de automantenerse, así mismo la cercanía o lejanía a la costa condiciona e influye sobre la estructura los individuos.

Palacios-Wassenaar *et al.*, 2016 analizaron la estructura poblacional en categorías de tamaño como indicador rápido del estado de conservación del árbol maderable *Resinanthus aromaticus*, es una especie amenazada que se ha visto afectada por el cambio de uso de suelo; además de tener una distribución geográfica altamente restringida y limitada a la localidad del centro de Veracruz y está catalogada en peligro de extinción por Lista Roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN). Los resultados mostraron que la especie está en peligro de extinción; pero tiene a su favor la alta capacidad de rebrote como respuesta al corte, y se podrán tomar estrategias de conservación, como áreas de protección especial.



### **2.3 Modelos de Nicho ecológico.**

Las primeras aproximaciones para modelar la distribución de especies a partir de sus relaciones con variables ambientales tienen casi 50 años (Godron, 1965) mencionados en Mateo *et al* (2011). Los primeros métodos se basaron esencialmente en la determinación de variables ambientales (Nix, 1986), método que continúa utilizándose (Vargas *et al.*, 2004; Tsoar *et al.*, 2007). Desde entonces se han desarrollado técnicas de modelización más complejas y flexibles que buscan superar problemas como la colinealidad entre variables independientes, sesgos de muestreo o inclusión de variables nominales, entre otros (Muñoz y Felicísimo, 2004; Phillips 2008; Phillips *et al.*, 2009).

Existen diversas aplicaciones en la que se utilizan técnicas de distribución potencial o modelos de nicho ecológico, como en el caso del venado cola blanca (Bolívar, 2009) donde modelaron el nicho ecológico con el objetivo de determinar las áreas que tuvieran las condiciones favorables para el mantenimiento de las poblaciones del venado y determinar el tipo de vegetación preferida. El modelo permitió conocer que la temperatura es la variable que más influencia tiene sobre el venado cola blanca y se pudo determinar que el tipo de vegetación idóneo para el venado es el bosque de encino. Así mismo, el modelo permitió localizar áreas que por sus características ambientales tienen potencial para la reintroducción de la especie.

De igual manera los modelos de nicho ecológico permiten conocer los patrones espaciales de las especies, Albuquerque *et al.*, (2011), identificaron los principales controladores ambientales de la riqueza de especies de plantas en Gran Bretaña y determinaron variables energéticas como predictores primarios de la riqueza de especies maderables y herbáceas los resultados indicaron que los patrones de riqueza de especies vegetales de Gran Bretaña se asocian en gran parte con los gradientes actuales; los análisis de regresión parcial sugieren que la riqueza de las plantas británicas están más asociadas con la temperatura que con precipitaciones o lluvias.

Así mismo el modelado de nicho ecológico es una herramienta importante para la evaluación de la distribución espacial de especies terrestres, sin embargo, su aplicabilidad ha sido poco explorada en el medio acuático, un caso de ello es el de Ibarra-Montoya *et al.*, (2012); donde evaluaron la distribución potencial de *Microcystis* sp. (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, esta es una especie de fitoplancton, que crece en ambientes con alta concentración de nutrientes, principalmente fósforo y nitrógeno. El modelo permitió identificar zonas muy extensas en donde es probable que se distribuya *Microcystis* sp. Tanto en la cuenca del río Huaynamota como en la del río Santiago, se predice una distribución continua durante el estiaje frío, mientras que durante el estiaje cálido la zona de distribución potencial se reduce a tres áreas dentro del sistema Aguamilpa.

Estas técnicas permiten identificar factores ambientales como lo menciona Leal-Nares *et al.*, (2012), donde usaron variables ambientales y datos de presencia para la especie *Pinus martinezii* e identificaron los factores ambientales que determinan la distribución y además de elaborar un perfil bioclimático de la especie. El modelo se apoyó en un análisis multicriterio dentro de un sistema de información geográfica (SIG), los atributos se agruparon en tres criterios: geopedológicos, (roca, relieve, suelos), morfométrico (altitud, pendientes y exposición de la ladera) y climáticos (temperatura media anual y precipitación anual) y solo se usaron datos de presencia. Los resultados obtenidos de este proyecto pueden utilizarse con la finalidad de apoyar estrategias de planeación.

Reninson *et al.*, (2013); realizaron un modelo de distribución potencial con el fin de conocer el estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina ya que existen numerosos reportes acerca de la reducción de la superficie de los bosques, puesto que esta especie está siendo dañada por consecuencia de la ganadería doméstica, fuego, tala; y gracias al modelo se estará en posibilidad de generar estrategias de conservación y restauración, desde la creación de áreas protegidas, hasta numerosos proyectos de reforestación.

Benito *et al.*, (2013), con el objetivo de proporcionar una guía sobre las mejores combinaciones de modelado y algoritmos con las que se predicen la distribución de especies,

combinaron 19 métodos de modelación de distribución con 20 diferentes umbrales, actualmente existe un gran interés por parte de investigadores de conservación en el apilamiento de modelos de distribución, estos predicen simultáneamente la riqueza y composición de especies. Las combinaciones particulares de métodos de modelado y umbrales proporcionan resultados con un mayor rendimiento predictivo y lineamientos de modelado claros, que ayudan a seleccionar la combinación apropiada de métodos de modelado y umbrales para construir modelos de distribución de especies más precisos y que tienen un impacto positivo en la calidad de los modelos de diversidad usados.

También con los modelos de nicho ecológico se puede conocer los efectos del cambio climático a futuro, un caso es el de Gutiérrez y Trejo, (2014), quienes estudiaron la distribución potencial de cinco especies arbóreas del bosque templado en México como *Pinus ayacahuite*, *Pinus hartwegii*, *Abies hickelii*, *Quercus laurina* y *Q. ocoteifolia*; estas especies se establecen en altitudes muy elevadas, el modelo predice que esas especies serán más sensibles a los cambios del clima en el futuro. Con el modelo de nicho ecológico se conoció la probabilidad de establecimiento de cada especie ante determinadas condiciones ambientales. Los resultados indicaron que las especies experimentarían reducciones en sus áreas de distribución potencial, debido a las modificaciones propuestas en temperatura y precipitación.

El modelo de nicho ecológico se ha aplicado en el área de la medicina, se ha usado para estudios epidemiológicos, para detectar el *Triatoma dimidiata* que es vector de la enfermedad de chagas (Yáñez-Cajo *et al.*, 2016). El modelo permitió comprender de una manera correcta la dinámica de esta especie y su distribución. Además se conoció el sector geográfico con alta idoneidad como límite de un posible riesgo epidemiológico, por lo que se debería considerar trabajar en medidas de prevención para evitar una infección masiva en esta enfermedad.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1 Descripción de la Familia Sapindaceae A. L. de Jessieu.

La familia Sapindaceae, está compuesta por 147 géneros y alrededor de 2215 especies. Está conformada por árboles, arbustos o lianas con zarcillos; usualmente con saponinas triterpertenoides en células secretoras, con una amplia diversidad de aminoácidos de ciclopropano. Varios tipos de indumento. Hojas alternas en espiral u opuestas, compuestas, pinnadas o palmadas trifolioladas, unifoliadas, folíolos serrados o enteros compuestos, palmadas, trifolioladas o unifoliadas, folíolos serrados o enteros, con venación pinnada o palmada; estipulas ausentes o presentes. Inflorescencias determinadas, terminales o axilares. Flores usualmente unisexuales (plantas monoicas,  $\pm$  dioicas o polígamas) radiales a bilaterales. Sépalos generalmente de 4 ó 5, separados o algunas veces basalmente connados. Pétalos usualmente 4 ó 5, algunas veces ausentes, separados, a menudo unguiculado, con  $\pm$  apéndices basales sobre la superficie adaxial, imbricados. Estambres 8 o menos, filamentos separados, generalmente pubescentes o papilosos; granos de polen usualmente tricolpados, los surcos se fusionan unos con otros. Carpelos 2 ó 3, connados; ovario súpero, usualmente con placentación axilar; estigmas 2 ó 3, diminutos a expandidos. Óvulos 1 ó 2 en cada lóculo, anatropodos a orthotropos, carente de un funículo y ampliamente unido a una porción sobresaliente de la placenta. Disco néctariféro presente, usualmente extrastaminal, pero algunas veces con estambres que crecen sobre él y  $\pm$  intraestaminal. El fruto usualmente una cápsula loculicida, septicida, o septifraga, baya ariloide, o esquizocarpo que se divide como una sámara o algunas veces como segmento de una drupa, raramente una baya monosperma o drupa; semillas a menudo con una cubierta como arilo; embrión curvado de diferentes maneras, con la radícula separada del resto del embrión por un pliegue profundo en la cubierta de la semilla; endospermo frecuentemente ausente (Judd *et al.*, 2008).

### 3.1.1 Clasificación taxonómica según Killeen *et al.*, (1993).

División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Rosidea
Orden:	Sapinales
Familia:	Sapindaceae
Género:	<i>Dodonaea</i>
Especie:	<i>Dodonaea viscosa</i> (L.) Jacq.

### 3.1.2 Descripción de *Dodonaea viscosa*.

El género *Dodonaea* recibe el nombre del investigador Rembert Dodoneus médico de Cámara de Maximiliano II (Torricco *et al.*, 1994).

Es un arbusto o arbolito perennifolio, víscido-glanduloso, hasta de 5 m de alto; tallo a menudo tendiendo a rojizo, algo anguloso y fisurado, glabro o pubérulo hacia las porciones tiernas y provisto de pequeñas lenticelas (Figura 1a); hojas simples, atenuadas hacia la parte inferior en una base pecioliforme de 0.2 a 2 cm de largo, láminas elípticas, lineares o linear-lanceoladas, oblanceoladas u oblongo-lanceoladas, de 4 a 15 cm de largo por (0.6) 1 a 3 (4) cm de ancho, ápice por lo común agudo, a veces acuminado o por el contrario obtuso a redondeado, base atenuada, margen entero, con frecuencia diminutamente revoluto, de textura subcartácea, algo discoloras, brillantes, glanduloso-resinosas y olorosas, generalmente glabras por ambas caras, con excepción del margen ciliado; inflorescencias axilares y terminales en los ápices de las ramillas, en forma de panículas cortas corimbiformes o racemiformes; flores hermafroditas y/o unisexuales, verdosas, amarillentas o algo blanquecinas, por lo común con 4 sépalos ovados a oblongos o algo lanceolados, a veces más o menos unidos en la base o divididos en el ápice, de 3 a 3.5 mm de largo, ciliados en el margen; flores hermafroditas protándricas, con (5) 8 (10) estambres, de filamentos de 0.5 a 1 mm de largo y anteras oblongo-tetrágonas, de unos 2.5 mm de largo y 1 mm de ancho, ovario conspicuamente víscido y/o algo pubescente, estilo de (1.5) 3 a 4 (7) mm de largo,

con (2) 3 (4) ramas hasta de 3.5 mm de largo, a veces ausentes por completo, disco generalmente representado por un estípite de ca. 1 mm de largo; flores masculinas semejantes a las hermafroditas pero carentes de disco y ovario o más frecuentemente con un pistilo diminuto central; flores femeninas provistas de ovario como en las hermafroditas, pero completamente carentes de estambres o éstos, de existir, con anteras estériles hasta de 1.5 mm de largo y 0.5 mm de ancho (Figura 1b); fruto en forma de cápsula samaroides membranácea, de (2) 3 (4) lóculos, de contorno suborbicular, amarillenta, verde o tendiendo al color café, rosado, rojizo o morado, hasta de 2.2 cm de largo y de (1) 2 a 2.5 cm de ancho incluyendo las alas delgadas, algo venosas, glabra; semilla por lo general 1 en cada lóculo, lenticular-subglobosa, de 2.5 a 3 mm de diámetro, café oscura a negra (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006) (Figura 2).

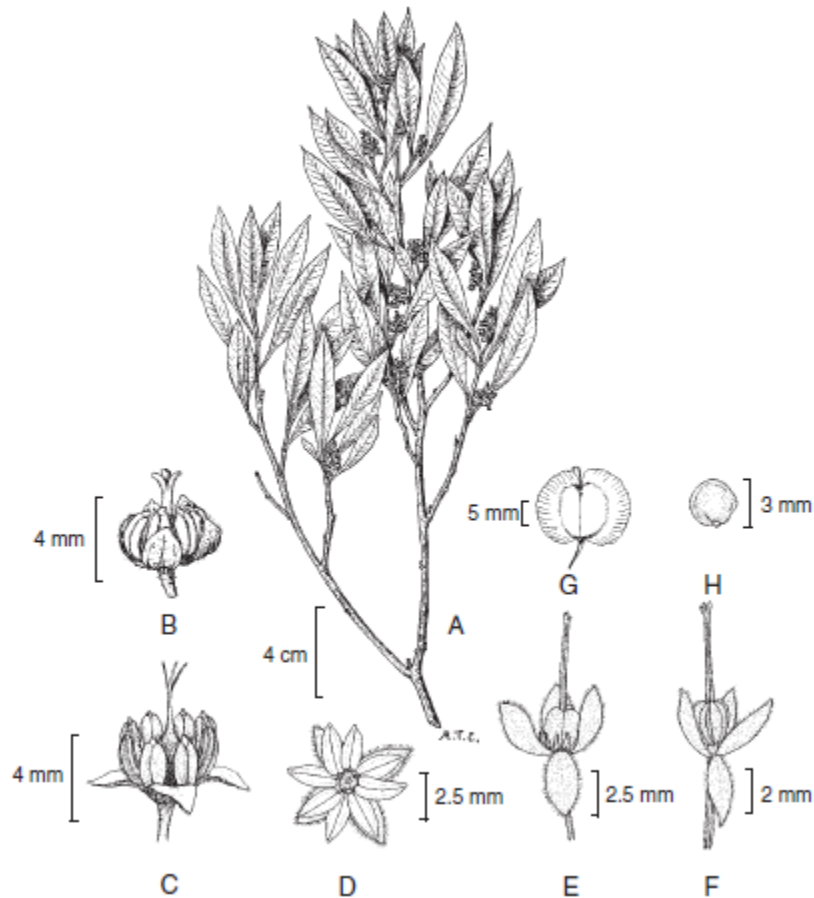


a)



b)

**Figura 1.** Imágenes de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. a) hábito, b) flores



**Figura 2.** *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. a) rama con hojas e inflorescencia; b) flor hermafrodita con estilo y ramas del estilo cortos; c) flor hermafrodita con estilos alargados; d) flor masculina; e) flor femenina con estambres estériles; f) flor femenina desprovista de estambres; g) fruto; h) semilla. Tomado de (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006).

### 3.1.3 Hábitat

Es una especie ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales de ambos hemisferios, relativamente pocos representantes viven en climas templados (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006). Las condiciones geográficas y ambientales donde crece y se desarrolla no son determinantes para su distribución espacial, se le encuentra a diferentes altitudes desde el nivel del mar hasta los 2 600 m (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2001). Con relación a las condiciones geológicas, también tiene como hábitat algunos afloramientos rocosos de origen volcánico (basaltos, tobas y brechas volcánicas) (Rzedowski, 1954).

*Dodonaea viscosa* requiere poca cantidad de agua, adaptándose a zonas de clima xerófitas, soporta sequías a lo largo de 4 – 8 meses y temperaturas adversas. En los meses secos dispone sus hojas en forma casi paralelas al tallo, lo que le impide tener pérdidas mayores de agua, ya que disminuye la radiación y expone menos sus estomas al medio seco que lo rodea. Además, es tolerante a heladas y soporta los cambios bruscos a los que la somete el medio (Torricco *et al.*, 1994). Es una planta común, favorecida por el disturbio, sin problemas sin supervivencia (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006).

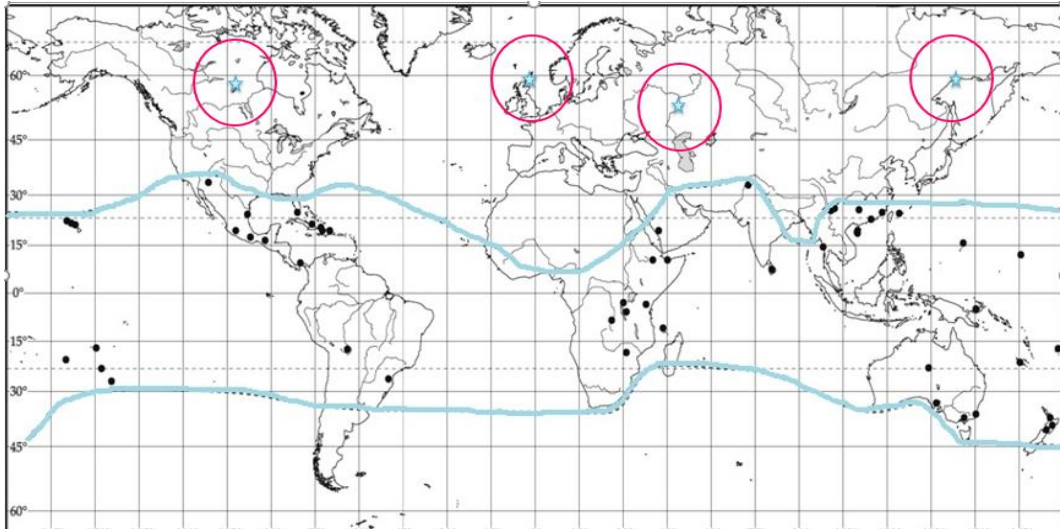
En el territorio mexicano la podemos encontrar en los lomeríos, laderas, barrancos, afloramientos rocosos, zonas desérticas y bordes de corrientes, aunque también es común encontrarle en ambientes deteriorados por los incendios, espacios adyacentes a carreteras, áreas de pastoreo sin control y suelo con procesos erosivos, (Juan-Pérez *et al.*, 2013).

#### **3.1.4 Distribución geográfica de la especie.**

Esta especie es nativa de América, se distribuye desde el sur de EE.UU, hasta Argentina y Chile, actualmente es una especie ampliamente distribuida en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Figura 3), sin embargo, se le ha encontrado fuera de esta zona, cerca de los 60° norte (Liu & Noshiro, 2003). Se encuentra distribuida en varios países como Australia, Polinesia, Nueva Zelanda, China, África del este y sur de Asia (Juan-Pérez *et al.*, 2010).

En México se ha registrado en los estados de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Coahuila, Ciudad de México, Colima Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tlaxcala, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (Villaseñor-Ríos y Espinosa-García, 1998; Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2006).





**Figura 3.** Distribución geográfica de *Dodonaea viscosa* (Tomado de Liu & Noshiro, 2003).

### 3.1.5 Características edafoclimáticas.

González *et al.*, (2007) mencionados por González-Elizondo *et al.*, (2012) consideran que la clasificación de las comunidades vegetales ajustada a las características de una región, constituye un marco de referencia para conocer, interpretar y valorar a los ecosistemas naturales y puede ser una herramienta de primera mano para la elaboración de diagnósticos, inventarios y descripción de comunidades.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo no condicionan o determinan el crecimiento y desarrollo de *D. viscosa*, ya que ha sido observada en suelos con características peculiares (suelos erosionados y en proceso de erosión) (Juan-Pérez, 2013). Los arbustos de esta especie crecen en varios tipos de suelos, incluyendo los someros, rocosos y con fuertes pendientes (Camacho *et al.*, 2003). Estos arbustos existen solos o en asociación con otras especies vegetales herbáceas, arbustivas o arbóreas, principalmente entre diversas especies de encino (*Quercus*), pues en estos ecosistemas se encuentra las condiciones geográficas, ecológicas y ambientales para su crecimiento, desarrollo y reproducción. En cuanto al clima, la planta tiene una distribución amplia en zonas tropicales con estación seca, tolera tanto climas semiáridos, como subhúmedos, preferentemente con sequía invernal. Los climas

húmedos con lluvias todo el año no son favorables para su supervivencia, ya que la abundancia de humedad en el suelo limita su crecimiento y desarrollo. Crece a campo abierto, en una gran cantidad de suelos, como es el areno-limoso muy pedregoso y altamente pedregoso (Torrico *et al.*, 1994).

Se adapta fácilmente a temperaturas altas y oscilaciones tanto diarias como estacionales, además, soporta heladas leves. Respecto a la precipitación, se localiza en áreas con rangos de 200 a 800 mm, requiere de una temporada de estiaje bien determinada y sitios con incidencia de rayos solares (Camacho *et al.*, 2003).

### **3.1.6 Importancia económica y ecológica de *Dodonaea viscosa*.**

En diversas regiones de México tiene importancia para la agricultura, pues por las condiciones de dureza de la madera, sus tallos y ramas son utilizadas para producir tutores en cultivos hortícolas (Linares, 1992) en las plantas del tomate, chile y zarzamora, esto con el propósito de que el producto no se descomponga con el agua y se preserve de insectos y plantas parásitas.

Por otra parte, *D. viscosa* se emplea en medicina tradicional ya que coadyuva a la solución de problemas de salud, principalmente en lugares donde no existen servicios médicos o la accesibilidad a éstos no es fácil (Juan-Pérez, 2013). Es usada para el tratamiento y control de varias enfermedades como problemas gastrointestinales, enfermedades de la piel, gota y reumatismo (Rojas *et al.*, 1996). La infusión obtenida del cocimiento de la corteza se utiliza como medicina tradicional en enfermedades venéreas, así como fiebre, cólicos, gota y reumatismo. Sus hojas sirven para baños de mujeres en la etapa de puerperio, tiene funciones hemostáticas (Aníbal, 1986).

Posee propiedades antidiabéticas principalmente del extracto de hojas. Se investigó el efecto de los extractos crudos de hojas de *D. viscosa* (DME metanólica residual y acetato de etilo DEA) sobre la glucemia de ratas STZ-diabéticos y normales. Además, el extracto mostró un efecto antidiabético pico a 6 h en ratas diabéticas que indican un período de latencia de 05.06 h antes de que se alcance el efecto máximo (Veerapur *et al.*, 2010).

Esta especie ha mostrado ser útil para retener suelo, disminuyendo la erosión y fomentando la recuperación del mismo, Schlaifer (1991) mencionado por Gardeski-Abdul *et al.*, (2000) esto puede deberse a la capacidad de producción de hojas durante todo el año, que al ser depositadas en la superficie del sustrato rocoso, coadyuvan a largo plazo a la generación de suelo. Por ello, el componente edáfico no condiciona o determina su crecimiento, toda vez que éste se ha observado en suelos con características peculiares (Camacho *et al.*, 2003). Actualmente, es utilizada en la formación de setos vivos, con bajos requisitos hídricos, además estabiliza taludes, cárcavas, para la protección de tierras agrícolas y en diferentes sistemas agroforestales por su gran aporte de materia orgánica, la contención de laderas cercanas a carreteras y áreas que están en proceso de erosión (Torrico *et al.*, 1994).

### **3.2 Estructura Poblacional**

En sus inicios, el termino demografía se aplicó sólo a poblaciones humanas y posteriormente, se aplicó también a poblaciones de animales y más recientemente a poblaciones de plantas (Harper y White, 1974).

La estructura de una población en un momento dado es resultado de los procesos de reproducción, establecimiento, crecimiento y sobrevivencia de sus individuos (Durán-García, 1992). Es importante conocer la estructura de una población para saber cómo varían estos procesos en el tiempo y de esta manera, saber si la misma está creciendo, decreciendo o permanece estable.

La estructura poblacional es el resultado de la acción de diferentes factores bióticos y abióticos a los cuales han estado sometidos, tanto los miembros actuales de la población como sus ancestros (Hutchings, 1997). Si bien los estudios de estructura poblacional constituyen sólo un registro puntual de lo que ocurre en la dinámica poblacional, estos permiten describir a la población de forma objetiva. Estos estudios, son fundamentales para emitir criterios sobre el estado de conservación de las especies y dilucidar los eventos e interacciones que han dado origen a las poblaciones (García-González, 2002). Además, proveen información esencial sobre los estados cruciales del ciclo de vida, la efectividad de

diferentes tipos de manejo, así como sobre restricciones impuestas por el ambiente al desarrollo de las poblaciones de las especies (Lennartsson, 1996; Oostermeijer, 2001).

Al conocer la estructura poblacional se pretende averiguar la dinámica de las poblaciones, aspecto que es útil y necesario cuando se trata de especies que están incluidas en alguna categoría de riesgo, para establecer estrategias de manejo y conservación a corto, mediano y/o largo plazo (Schmitt & Windisch, 2006; Agurauja *et al.*, 2008).

Cuando se trata de estudiar un ecosistema en su conjunto resulta muy laborioso porque hay muchas especies y muchos factores implicados. En un medio natural encontramos muchos individuos de diversas especies en equilibrio más o menos estable dentro de su entorno; el estudio de las poblaciones que lo componen es bastante complejo por la diversidad de especies, en cambio, tiene de ventaja que a lo largo de los años es mucho más estable (Saavedra, 1994).

Los estudios demográficos aportan bases al conocimiento del comportamiento de las especies. La ecología de poblaciones estudia y analiza el tamaño de las poblaciones de plantas y animales, así como los procesos que la determinan (Begon y Mortimeri, 1986). Generalmente los estudios poblacionales se basan en censos en los que se registra el número de individuos, reconociendo individuos de diferentes tallas, edades, sexos en áreas definidas (Caswell, 1989). El análisis de las poblaciones con otras herramientas, permite conocer detalladamente el efecto de ciertas etapas del ciclo de vida sobre la tasa de crecimiento poblacional (Godínez-Álvarez *et al.*, 2008). El tamaño poblacional tiene una relación directa con la permanencia de las poblaciones y en consecuencia con la probabilidad de extinción de las especies (Reed, 2004).

### **3.2.1 Suelo**

El suelo es un componente natural de los sistemas terrestres, que influye en la regulación y purificación del agua, gases, interviene en el intercambio gaseoso (especialmente del dióxido de carbono), tiene la capacidad de soportar vida vegetal y animal, es un detoxificante de los residuos urbanos e industriales contribuye en la descomposición de la materia orgánica (MO) (Angers y Carón, 1998).

En el suelo existen numerosas interacciones físicas químicas y biológicas que controlan la absorción de nutrientes en la plantas. Los indicadores físicos son importantes para la evaluación de la calidad de este recurso debido a que no se pueden mejorar fácilmente (Bautista *et al.*, 2004), como la textura y densidad aparente. Los indicadores químicos afectan las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad amortiguadora del suelo, la disponibilidad de agua y minerales plantas y microorganismos, estos indicadores son de materia orgánica, o carbono y nitrógeno orgánico, el pH, la conductividad eléctrica y el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K). Estos reflejan estándares de fertilidad (pH, MO, N, P y K) (Doran y Parkin, 1994) mencionado por Vallejo-Quintero, (2013).

### **3.2.2. Clima**

El clima es un componente ambiental que influye prácticamente en cualquiera de las actividades cotidianas del hombre, incluyendo las productivas. Tanto el sector productivo como el de transformación e incluso el de servicios, dependen significativamente de los patrones espacio-temporales del clima (Ruiz-Corral *et al.*, 2007).

Las normales climáticas representan diversas utilidades, en primer término permiten caracterizar la climatología de los sitios de ubicación de las estaciones meteorológicas, pero también constituyen la materia prima para la elaboración de mapas climáticos por medio de procesos de interpolación. Los mapas de normales climáticas se han convertido en herramientas esenciales para muchos tipos de investigación tanto forestal, geobotánica, agrícola y pecuaria, tales como el estudio de adaptación genética de árboles (Hamman &

Wang, 2005) de cultivos (Ruiz-Corral *et al.*, 2011), de modelación de rangos restrictivos y distribución de especies (Phillips, 2008; Contreras-Medina *et al.*, 2010).

### **3. 3 Modelo de Nicho Ecológico.**

Un modelo de nicho ecológico, es como una representación parcial de la realidad que refleja algunas de sus propiedades (Mateo *et al.*, 2011) por esta razón la presencia de una especie en un determinado territorio está definida por un conjunto de variables ambientales y sus interacciones (Guisan & Zimmermann, 2000), los modelos de distribución de especies representan la realidad, en función de un conjunto de variables ambientales seleccionadas por el investigador.

El Modelado de Distribución de las Especies (MDE) también es conocido bajo otros nombres incluyendo clima envolvente-modelado, modelado de hábitat y modelado de nicho (ambiental o ecológico). El objetivo de MDE es estimar la similitud de las condiciones en cualquier sitio a las condiciones en los lugares de ocurrencia conocida (y tal vez de no ocurrencia) de un fenómeno. Una aplicación común de este método es predecir las especies con datos climáticos como predictores (Elith *et al.*, 2006).

El MDE según Guisan & Zimmermann (2000) surgió como una herramienta para generar mapas de probabilidad de idoneidad o presencia de hábitat, actualmente están ofreciendo una valiosa contribución al diseño de planes de manejo para especies en peligro de extinción en todo el mundo, evaluación del cambio climático, gestión de especies invasoras o la aclaración de paleo-distribuciones (Benito *et al.*, 2013).

El fundamento MDE se basa en el concepto individualista de Gleason de continuo (Gleason, 1926) en la que la óptima abundancia de un determinado conjunto de especies coexistentes se distribuye independientemente a lo largo de diferentes gradientes ambientales. La distribución de las especies está, en una cierta parte determinada por el ambiente. Así, según la distribución de estos factores ambientales (clima, suelo, relieve) en el espacio, se puede decir, si la especie está presente o no (Jarvis *et al.*, 2005). Varios estudios concretos,

detallados a continuación, han demostrado cómo el análisis espacial pueden dar la opción prioritaria a la intervención y óptimo a la conservación de las especies.

El concepto de nicho ecológico es la base central de la delimitación en diferentes niveles de organización, interactúan con su medio ambiente a distintas escalas espacio-temporales (Chase & Leibold, 2003); además de ser parte central en la ecología y la evolución. El concepto de nicho ecológico de una especie puede definirse como el intervalo de las condiciones ambientales y bióticas en las que sus poblaciones pueden persistir sin inmigración (Hutchinson, 1957).

Se han propuesto varias definiciones de nicho que se han usado para describir el efecto que una especie tiene sobre el medio ambiente, haciendo una distinción en el rol que juega una especie dentro de una comunidad, empezando por su nivel trófico (Elton, 1927). Pero la definición propuesta por Hutchinson (1957) es la más usada. Define al nicho ecológico como *el conjunto de condiciones bióticas y abióticas en la que una especie es capaz de resistir y mantener estables los tamaños de la población*. Además hace una valiosa distinción entre *nicho fundamental* y *el nicho realizado*. Describe al *nicho fundamental* como las condiciones abióticas en la que una especie es capaz de sobrevivir. Mientras que *al nicho realizado* describe las condiciones donde se encuentra esta especie dada ante la presencia de otras especies. Además considera que las especies tienen ciertas limitantes fisiológicas o tolerancias al ambiente.

Los modelos predictivos sobre el nicho ecológico de las especies se basan en un análisis de las condiciones ambientales de los sitios con presencias conocidas. Este tipo de técnicas incluyen aspectos de conservación, ecología, evolución, epidemiología, manejo de especies invasoras, etc. (Peterson, 1999). Para analizar los cambios de distribución de las especies es necesario partir de la distribución actual de las especies. Los modelos predictivos de distribución geográfica pueden ayudar a entender los factores que controlan los patrones de distribución de especies (Farber & Kadmon, 2003). Estos modelos generan mapas predictivos de distribución de especies usando datos de características climáticas de los sitios donde las especies son registradas (Nix, 1986). Se basan exclusivamente en factores

ambientales sin considerar factores bióticos e históricos que pueden restringir la distribución potencial completa de la especie (Soberon & Peterson, 2005). Se puede además incluir otros factores ambientales como la cubierta de vegetación y los usos de suelo (Contreras-Medina *et al.*, 2010), los cuales son considerados como factores directos que determinan la presencia de las especies, pero se ha determinado que las variables climáticas y topográficas pueden ser variables condicionantes en la ocurrencia por sí solas (Davies *et al.*, 2007; Mota-Vargas *et al.*, 2013).

Un MDE, es una construcción numérica que define en el espacio ecológico las reacciones que existen entre la presencia de una especie y los valores de variables ambientales con influencia en su distribución. El resultado se expresa en el espacio geográfico como un mapa digital que representa la idoneidad del hábitat o la probabilidad de presencia de la especie (Benito de Pando, 2009).

Se necesitan al menos cuatro pasos para construir un MDE para un grupo determinado de especies según (Elith *et al.*, 2006):

- 1) Selección de un método MDE
- 2) Análisis de agrupamiento de las variables ambientales
- 3) Calibración del modelo para cada especie de destino
- 4) Evaluación del modelo

Los métodos de modelación que se han utilizado difieren en el tipo de datos requeridos, naturaleza de la función usada y en su rendimiento predictivo (Franklin *et al.*, 2009). Actualmente existen una gran variedad de algoritmos, agrupados en al menos cuatro grandes grupos (Elith *et al.*, 2006). Los relacionados a modelos estadísticos de regresiones, como los *Modelos Lineales Generalizados* (MLG), o los *Modelos Aditivos Generalizados* (MAG), los métodos de clasificación como *Random Forest* (RF) o *Boosted Regresión Trees* (BRT), los métodos de “Sobre” (BIOCLIM, ENFA) y por último los basados en algoritmos específicos como GARP o Maxent (Pliscoff y Fuentes, 2011).



### 3.3.1 Maxent

El software MAXENT, “método de máxima entropía” ofrece una alternativa para el modelado de nicho ecológico, en función de datos de presencia de las especies y variables ambientales (Phillips *et al.*, 2004; Phillips *et al.*, 2006) (Anderson, 2002; Peterson & Klusa 2003; Peterson y Robins 2003; Peterson y Shaw 2003; Phillips *et al.*, 2006). Maxent permite determinar o predecir cómo variaría la distribución de una especie o un grupo de especies frente a cambios ambientales de temperatura, humedad, etc. (González *et al.*, 2010).

La técnica primero obliga al modelo de distribución a agrupar ciertos rasgos (capas ambientales) de datos empíricos (datos de entrenamiento) y eligiendo la condición de probabilidad que satisface estas limitantes que son lo más uniforme posibles (Buehler y Ungar, 2001). Básicamente, si un pixel en el estudio tiene la distribución similar a los datos de entrenamiento, entonces los valores más altos son asignados y en consecuencia pixeles con diferente distribución es asignada valores inferiores.

Algunas de las ventajas de Maxent:

- 1) Requiere solo datos de presencia, pero puede usar datos de ausencia, y en ambos casos en conjunto con variables ambientales.
- 2) Puede usar tanto datos continuos como categóricos y puede incorporar interacciones entre distintas variables.
- 3) Utiliza algoritmos eficientes que han sido desarrollados para garantizar convergencia en una óptima (entropía máxima) distribución probabilística.
- 4) La distribución probabilística de Maxent tiene una definición matemática concisa.

Las variables bioclimáticas se derivan de los valores mensuales de temperatura y precipitación con el fin de generar más biológicamente las variables significativas. Las variables bioclimáticas representan tendencias anuales (por ejemplo, la temperatura media anual, precipitación anual) estacionalidad (por ejemplo, el rango anual de temperatura y precipitación) y extremo o limitar los factores ambientales (por ejemplo, la temperatura del mes más frío y el más cálido y la precipitación de la humedad).

### **3.3.2 Modelos lineales generalizados (MLG)**

Los modelos lineales generalizados (MLG) son ampliamente utilizados en el modelado de la distribución de especie por su fuerte base estadística. El modelo lineal generalizado es una extensión del modelo de regresión simple que utiliza una función link permitiendo otras distribuciones para la variable de respuesta (Austin, 2002).

### **3.3.3 Random Forest**

Random Forest o bosque aleatorio es el nombre dado a un conjunto de “árboles” de decisión, cada uno capaz de producir una respuesta ante un conjunto de valores. Para un problema de clasificación, esta respuesta es una clase a la que se es miembro, lo cual asocia o clasifica un conjunto de valores predictores independientes con una de las categorías presentes en la variable dependiente. En problemas de clasificación, el conjunto de árboles simples votan por la clase más popular. En un problema de regresión, las respuestas se promedian para obtener un estimado de la variable dependiente. Usar conjuntos de árboles puede llevar a mejoras significativas en la exactitud de la predicción. El bosque aleatorio inicia con un árbol de decisión. En este, una entrada se ingresa en la parte superior y mientras viaja bajo el árbol, los datos se concentran en conjuntos más y más pequeños. Un árbol de decisión es un árbol en el que cada nodo interno, está etiquetado con una característica de entrada. Los arcos que vienen de un nodo etiquetado con una característica son nombrados con cada uno de los valores posibles de la característica. Cada hoja del árbol es etiquetada con una clase o una distribución de probabilidad a través de las clases. (Jaso, 2016).

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Esta especie debido a sus características biológicas particulares es considerada de gran importancia ecológica, económica y cultural, y a pesar de ser utilizada como madera, restauradora de suelos degradados, en la ganadería y en la medicina tradicional. A la fecha, se carece de información acerca de la estructura de las poblaciones especialmente en el estado de Jalisco, que nos permitan tener un uso adecuado de la especie y poder establecer estrategias de manejo y conservación a corto, mediano y/o largo plazo. Además, no se cuenta con un mapa actual de Nicho Ecológico de *Dodonaea viscosa* en México, que nos permita conocer su distribución potencial.

Por lo anterior, este trabajo pretende aportar información ecológica para la especie en el estado de Jalisco y México, y contribuir en una parte al desarrollo del proyecto que se lleva a cabo dentro del Departamento de Madera Celulosa y Papel (DMCyP) donde se realizan estudios de la planta dentro del área de la lignocelulosa.

## 5. HIPÓTESIS

En México existen condiciones ambientales y edáficas muy particulares que intervienen en la distribución, abundancia y estructura de las poblaciones de *Dodonaea viscosa*.

## 6. OBJETIVOS

### Objetivo General

Evaluar la estructura poblacional de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en tres localidades en el estado de Jalisco y generar un modelo de nicho ecológico de la especie para México.

### Objetivos particulares

- 1.- Describir la estructura poblacional de *D. viscosa* en tres localidades de Jalisco bajo diferentes condiciones edafoclimáticas.
- 2.- Evaluar el efecto de las condiciones edáficas y climáticas sobre la estructura de la población de cada localidad.
- 3.- Generar un modelo de nicho ecológico y elaborar un mapa de idoneidad para la especie en México.

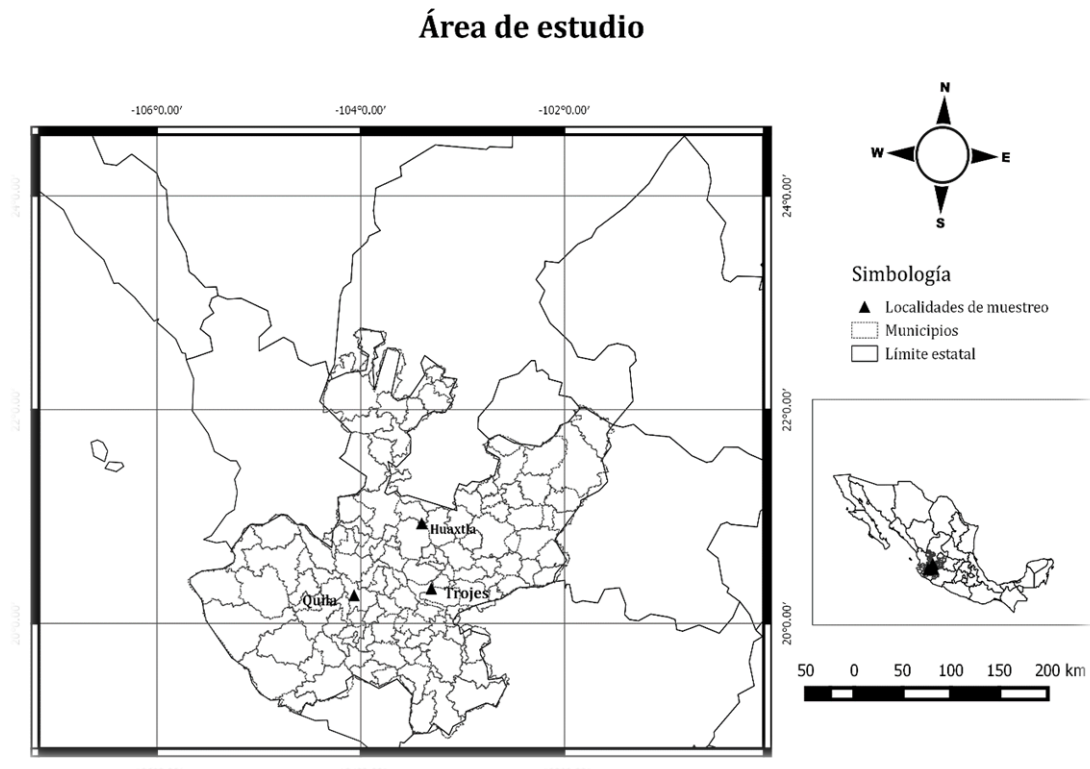
## 7. MATERIALES Y MÉTODOS

### 7.1 Descripción de la estructura poblacional en tres sitios de muestreo en el estado de Jalisco

#### 7.1.1 Áreas de estudio

Se seleccionaron tres zonas con diferentes condiciones edafoclimáticas, para llevar a cabo el primer objetivo. Los lugares de muestreo fueron Las Trojes, municipio de Jocotepec, Huaxtla, municipio de Zapopan y el Mirador Tecolotlán en el Área Natural Protegida de la Sierra de Quila, municipio de Tecolotlán (Figura 4).

Las tres áreas se seleccionaron con base a la abundancia de la especie y que se presentara en vegetación bajo diferentes condiciones de perturbación. Además de contar con fácil acceso y el permiso y consentimiento por parte de los ejidatarios de la zona.



**Figura 4.** Ubicación de los sitios de muestreo, en el estado de Jalisco.

### **7.1.2 Área Natural Protegida Sierra de Quila**

Comprendida dentro de los municipios de Tecolotlán, Tenamaxtlán, San Martín de Hidalgo y Cocúla en el estado de Jalisco, está situada entre las coordenadas geográficas 20°27'27" N' y -104°05'52" O; a una altitud de 1738 m.s.n.m. Con un clima semicálido-subhúmedo con lluvias en verano. Y el rango de temperatura oscila entre los 16°–24°C. La precipitación pluvial oscila entre los 700–1000 mm por año. Presenta una vegetación constituida principalmente por bosque de encino conservado (INEGI, 2009).

### **7.1.3 Huaxtla**

La localidad está ubicada en el municipio de Zapopan. Colinda al norte con los municipios de Tequila, San Cristóbal de la Barranca e Ixtlahuacán del Río. Se encuentra entre las coordenadas geográficas 20°94'25" N y -103°37'69" O; a una altitud entre 800 - 2 200 m.s.n.m. Con un clima subhúmedo con lluvias en verano. El rango de temperatura oscila entre los 16°–26°C. Y la precipitación media anual de 800–1 200 mm. Bajo una vegetación de bosque de encino perturbado. (INEGI, 2009).

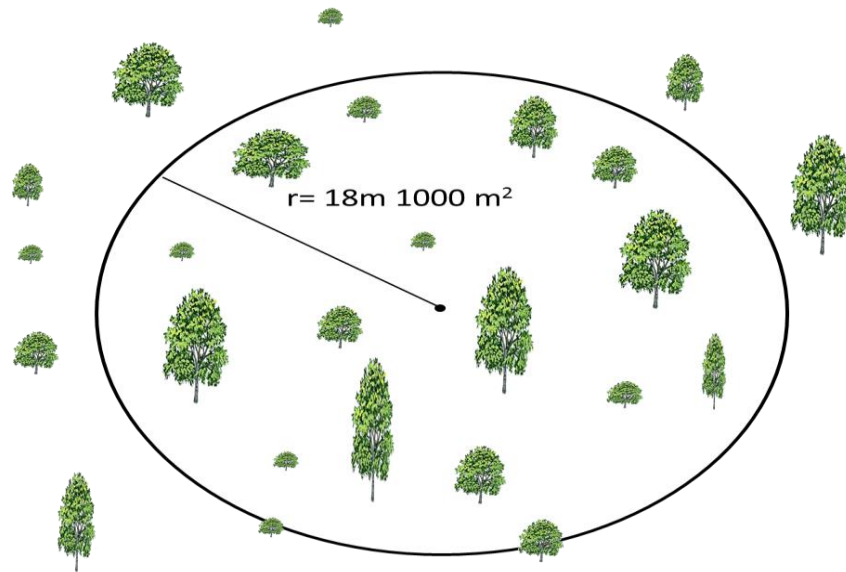
### **7.1.4 Trojes**

Está situado en el municipio de Jocotepec con una ubicación geográfica de 20°16'59"N y - 103°27'46" O; a una altitud que va de 1200 - 2800 m.s.n.m. Colinda al norte con los municipios de Acatlán de Juárez y Tlajomulco de Zúñiga. Presenta un clima semicálido-semihúmedo con lluvias en verano, con un rango de temperatura de 14°-22°C. Tiene una precipitación media anual de 700- 1000 mm y una vegetación de bosque de encino y bosque tropical caducifolio (INEGI, 2009).

### **7.1.5 Descripción de la estructura poblacional en tres sitios de muestreo**

En cada uno de los puntos seleccionados con base a la accesibilidad al arbolado, se establecieron al azar 2 parcelas circulares de 1 000 m<sup>2</sup> de acuerdo a la propuesta por (Medina-Bermúdez, 2012). Dentro del área los individuos se contabilizaron y se clasificaron en 4 categorías de acuerdo a la altura. Las categorías de tamaño se definieron con base en el rango

de los datos obtenidos en campo: C<sub>1</sub>: 1-2.30 m; C<sub>2</sub>: 2.40-4.30 m; C<sub>3</sub>: 4.40-5.00 m y C<sub>4</sub>: 5.10 m o más. Las variables registradas fueron altura total, DAP, área basal, cobertura de copa y número de ramas. La cobertura de la copa se obtuvo al promediar la longitud total de 2 radios y mediante la fórmula del área:  $\pi * r^2$ , donde  $\pi = 3.1416$  y  $r =$  radio (Enríquez-Peña y Suzán-Azpiri, 2011) (Figura 5).



**Figura 5.** Delimitación de parcela circular de muestreo en los sitios de estudio.

### 7.1.6 Evaluación de la biomasa de las poblaciones

La producción de biomasa y su distribución en los componentes del árbol son dos características importantes de estimar en las especies forestales, con esta información se pueden proponer diferentes prácticas silvícolas, además se puede definir la cantidad de madera aprovechable para diferentes usos (Castellanos *et al.*, 1996).

Para la medición de la cantidad de biomasa aérea de los componentes, se realizó un análisis destructivo directo (Brown *et al.*, 1989). Una vez seleccionados los arbustos, se cortaron y sobre el suelo se midió la altura total, se pesaron inmediatamente, ya que el proceso de senescencia y descomposición es acelerado y afecta el cálculo. La biomasa por componentes se pesó en fresco para la obtención de su peso (peso húmedo) además se tomó una muestra para secar en horno y estimar su contenido de materia seca (a 60°C durante 48-72 h), en el

laboratorio del Departamento de Madera Celulosa y Papel (DMCyP) de la Universidad de Guadalajara.

La biomasa se expresa en peso seco, a través de la siguiente fórmula:

$$BSA\% = (BSA/PFTA) \times 100$$

Dónde: *BSA%*: Porcentaje Biomasa Seca Árbol, *BSA*: Biomasa Seca Árbol y *PFTA*: Peso Fresco Total Árbol (Segura y Andrade 2008).

## **7.2 Evaluación del efecto edafo-climático sobre la estructura de la población**

### **7.2.1 Colecta y preparación de muestras de suelo**

En cada uno de los puntos seleccionados se colectaron muestras de suelo para conocer la composición físico-química del sustrato.

Dentro de las parcelas de muestreo de cada sitio, se obtuvo una muestra compuesta de 4 submuestras de 15-20 cm de profundidad siguiendo la metodología propuesta en la (NOM/021, SEMARNAT, 2000). Las muestras fueron marcadas y almacenadas en campo; y se transportaron laboratorio de Química de Extraíbles del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (DMCyP), donde fueron secadas a la sombra a temperatura ambiente y protegidas del viento y tamizadas en un tamiz del número 20.

### **7.2.2 Fase de laboratorio**

Los análisis edáficos se realizaron en los laboratorios de Agrología del CUCBA (Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias) y Química de Extraíbles del Departamento de Madera Celulosa y Papel de la Universidad de Guadalajara (DMCyP).



### **7.2.3 Análisis fisicoquímicos de las muestras de suelo**

Las propiedades físicas y químicas determinadas en laboratorio fueron: pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Conductividad Eléctrica (CE), Textura, Densidad Aparente, materia orgánica, % de Nitrógeno, siguiendo la metodología por la NOM-021-SEMARNAT-2000. Se usaron estas variables ya que son las variables más determinantes o importantes para el desarrollo de las especies y la modificación de ellas está directamente relacionada con la presencia o ausencia de cierto tipo de especies (Alterni *et al.*, 1997).

#### **a) Propiedades físicas**

Se realizaron los análisis de densidad aparente, determinada por el método parafina; textura a través del método del hidrómetro de Bouyoucos, ambos, según la NOM-021-SEMARNAT-2000.

#### **b) Propiedades químicas**

Para los análisis de las propiedades químicas se determinó el pH, mediante el método de potenciómetro; conductividad eléctrica a través del método del conductímetro; contenido de nitrógeno por el método micro Kjendahl; materia orgánica según el método de Walkey y Black y capacidad de intercambio catiónico, todos los análisis siguiendo la metodología propuesta por la NOM-021- SEMARNAT-2000.

### **7.2.4 Evaluación climática**

#### **7.2.5 Localización de estaciones cercanas**

Se localizaron las estaciones más cercanas a los sitios de muestreo, para la Sierra de Quila le correspondió la estación meteorológica Tecolotlán, para Huaxtla la estación Cuixtla y para Trojes la estación Jocotepec. La información climática se obtuvo de acuerdo a la información del INIFAP (Ruíz-Corral *et al.*, 2012). En esos sitios se registraron los datos de temperatura promedio anual, temperatura promedio de temporada de lluvia y las precipitaciones de un periodo de 30 años (WMO, 2011).

Para conocer las condiciones climáticas donde se desarrolla la especie en otros lugares a los sitios de muestreo, se seleccionó de manera aleatoria siete localidades de registros de ejemplares de diferentes herbarios, una vez seleccionados los puntos se tomaron las variables temperatura media anual y precipitación a través de la base de datos del World clim, (Hijmans *et al.*, 2005) se usaron esas variables porque son las más determinantes en el crecimiento de las especies vegetales (Acosta de la Luz, 2003).

### **7.3 Análisis estadístico**

Para la estructura poblacional de las variables registradas, se aplicó un análisis de varianza para comparación entre sitios y su correspondiente prueba de medias LSD, cuando se tuvo significancia entre los sitios. Se elaboraron gráficas para la descripción de las variables, usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.II. (Zar, 1984).

Para cada variable edáfica, se realizó un análisis de varianza con una prueba de comparación de medias (LSD) Least significant difference ( $P < 0.05$ ). Usando el programa estadístico Statgraphics Centurion XV.II. (Zar, 1984).

### **7.4 Modelo de nicho ecológico para la *Dodonaea viscosa* para México.**

#### **7.4.1 Área de estudio**

El área de estudio para el modelado de nicho ecológico se seleccionó a México, el cual se extiende entre los paralelos  $14^{\circ}32'27''$  y  $32^{\circ}43'06''$  N; así mismo está comprendido entre las longitudes  $86^{\circ}42'36''$  y  $118^{\circ}22'00''$  O. (López de Lergo, 2003).

#### **7.4.2 Construcción de la base de datos**

Para la elaboración de la base de datos de presencia de *D. viscosa* se consultó de manera digital la página GBIF (Global Biodiversity Information Facility) y se complementó con los resultados de visitas a distintos herbarios, IBUG (Universidad de Guadalajara), GUADA (Universidad Autónoma de Guadalajara), INECOL (Pátzcuaro, Michoacán), se consultó de manera digital la página de CONABIO y se complementaron con datos de presencia de la

página que es una base de datos de “acceso abierto” en la que se recopila toda la información disponible a partir de literatura, herbarios, museos y colecciones privadas (Lobo y Piera, 1991).

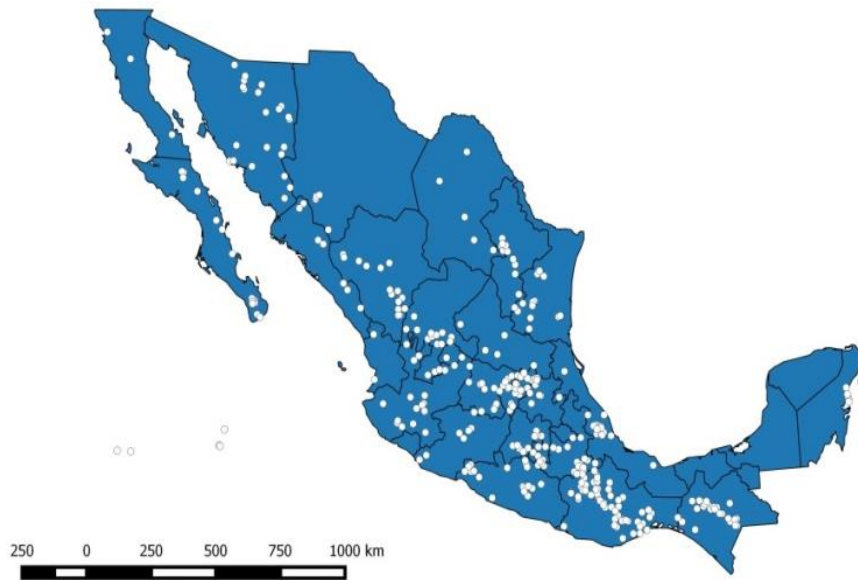
La base de datos se organizó con las siguientes casillas, con un total de 171 registros de presencia de la especie (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Ejemplo de la base de datos de *Dodonaea viscosa* creada con los registros de presencia de 170 ejemplares botánicos de distintos herbarios. SD=Sin dato.

Estado	Municipio	Localidad	Fecha	Altitud (m)	Herbario	Coordenadas Geográficas	Observaciones	Hábitat
Jalisco	Zapopan	Cerro San Esteban, saliendo del pueblo hacia el norte	30/09/2003	1500	IBUG	20.8013 -103.3691	Arbusto de 3.7 m	Bosque <i>Quercus</i>
Jalisco	Guadalupe Victoria	Papas de Arriba, 4.5 km al NO de Guadalupe Victoria.	10/05/2005	2269	INECOL	21.7349 -101.66	Arbusto viscoso pegajoso	Matorral xerófilo
Jalisco	San Miguel Huixtita	Sierra Huichola Arroyo Tewi	18/04/2003	1600	IBUG	20.6805 -104.3116	Arbusto de 1.5 m alto	Laderas perturbadas
Jalisco	Tecolotlán	Mirador Tecolotlán	05/10/2000	1600	SD	20.2727 -104.0552	Arbusto de 5.50 m	Bosque Encino
Colima	Isla Socorro	Archipiélago Revillagigedo	SD	SD	GUADA	18.82 -110.9383	SD	SD

### 7.4.3 Limpieza de los Datos

Se registraron los datos de presencia de *D. viscosa* de GBIF ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)) se tomaron 927 registros, de los cuales se eliminaron los duplicados, los que no tenían georreferenciación y aquellos que estaban agregados espacialmente a una distancia menor de 5 km, quedando en total con 351 puntos. Se georreferenciaron los puntos que no tenían coordenadas geográficas a través de Google Maps (Figura 6).



**Figura 6.** Mapa de 351 puntos de presencia de *D. viscosa* en la República Mexicana.

#### 7.4.4 Background o Pseudoausencia

Para el modelado es necesario, según la metodología de algunos modelos, contar con datos de ausencia de las especies, sin embargo, otros modelos si hacen de esto una necesidad para poder modelar una distribución potencial.

La base de datos que se elaboró sólo tiene datos presenciales, por lo que fue necesario estimar datos de ausencia o pseudoausencia. Estos datos no pretenden predecir la localización de ausencia, más bien pretenden caracterizar ambientes en la zona de estudio, por lo que fue necesario aleatorizar datos en el programa (Phillips *et al.*, 2009). Para la estimación de datos se utilizó del paquete *dismo* de *R* (Hijmans & Elith, 2016). Para tomar muestras aleatorias (datos background) de una zona de estudio se generaron 1 000 puntos repartidos por toda República Mexicana. El utilizar base de datos con información de presencia y ausencia es recomendable según Elith *et al.*, (2011) ya que proporciona una mejor información sobre la prevalencia.

### 7.4.5 Selección de variables climáticas

Para la selección de las variables climáticas se utilizó la base de datos Bio-Climática con 19 variables del Wordclim; (Hijmans *et al.*, 2005, <http://www.wordclim.org>) (Cuadro 2).

Además se complementó con otras seis variables como son: huella humana tomada de Socio Economic Data and Application Centre (<http://www.ciesin.org>), horas mínimas de sol, horas promedio de sol fueron tomadas de Neteler (2005); pendiente, elevación y topografía fueron tomadas de U.S. Geological Survey (2014) y (Benito *et al.*, 2013).

**Cuadro 2.** Variables climáticas obtenidas en BIOCLIM

Clave	Parámetro	Clave	Parámetro
BIO1	Temperatura Media Anual	BIO12	Precipitación media anual
BIO2	Media mensual (Max Temp-Min Temp)	BIO13	Precipitación del mes más húmedo
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7)*100	BIO14	Precipitación del mes más seco
BIO4	Temperatura estacional (desviación estándar*100)	BIO15	Precipitación estacional
BIO5	Máxima temperatura del mes más cálido	BIO16	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO6	Mínima temperatura del mes más frío	BIO17	Precipitación del trimestre más seco
BIO7	Temperatura rango anual (BIO5-BIO6)	BIO18	Precipitación del trimestre más húmedo
BIO8	Temperatura media del trimestre más húmedo	BIO19	Precipitación del trimestre más frío
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco		
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido		
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío		
Trimestre más húmedo (julio, agosto y septiembre), el más seco (febrero, marzo y abril), el más cálido (abril, mayo y junio) y el más frío (diciembre, enero y febrero).			

#### 7.5.4.1 Análisis de Clúster.

A través de los programas Grass GIS (Neteler, 2005) y R (Hijmans & Elith, 2016). Se elaboró un dendograma el cual muestra las variables que tengan una mayor correlación y seleccionaran aquellas que tengan mayor importancia en la distribución de *D.viscosa*. Se estableció un umbral de correlación de 0.5 de acuerdo a Benito *et al.*, (2013) para identificar los grupos con las variables más correlacionadas y para cada grupo se seleccionaron las variables más relacionadas con la ecología de *D. viscosa*.

#### 7.4.6 Calibración del modelo

Se construyeron 3 diferentes modelos de distribución potencial - Maxent, Random Forest y Modelo Lineal Generalizado (Hijmans & Elith, 2016).

Todos los análisis estadísticos se realizaron en *R*. (Hijmans & Elith, 2016). Se le indicó al programa que seleccionara aleatoriamente un 75% de los datos para entrenamiento y el 25% restante para probarlos, lo que genera que cada píxel presente una variabilidad en la probabilidad de ocurrencia de la especie, por lo cual es necesario obtener un promedio de la misma, al igual que el área bajo la curva (AUC por sus siglas en inglés) de cada corrida.

#### 7.4.7 Evaluación del modelo

Para conocer la distribución potencial de *D. viscosa*. Se utilizaron 3 programas Maxent, Random Forest y Modelos Lineales Generalizados (GLM). Para la evaluación del modelo se utilizó el valor promedio del AUC que representa la proporción de predicciones correctamente clasificadas para diferentes umbrales de probabilidad y el coeficiente de correlación.

Para determinar el AUC primero se debe conocer los siguientes dos índices:

Sensitividad =  $a / (a + c)$  y

Especificidad =  $d / (b + d)$

Dónde:

$a$  = número de registros presentes correctamente predichos como presentes.

$b$  = número de registros ausentes incorrectamente predichos como presentes.

$c$  = número de registros presentes incorrectamente predichos como ausentes.

$d$  = número de registros ausentes correctamente predichos como ausentes.

La sensibilidad es la proporción de presencias correctamente predichas y su valor alto indica un bajo error de omisión. La especificidad es la proporción de ausencias correctamente predichas y su valor alto indica un bajo error de comisión (Naoki *et al.*, 2006).

El estadístico AUC (Área Bajo la Curva), es la Curva Operada por el Receptor ROC (por sus siglas en ingles), en esta curva el eje de las abscisas representa la tasa de presencias incorrectamente clasificadas (1- especificidad) y el de las ordenadas la tasa de presencias correctamente clasificadas, o sensibilidad. La AUC es la integral definida por esta curva al variar los umbrales de corte.

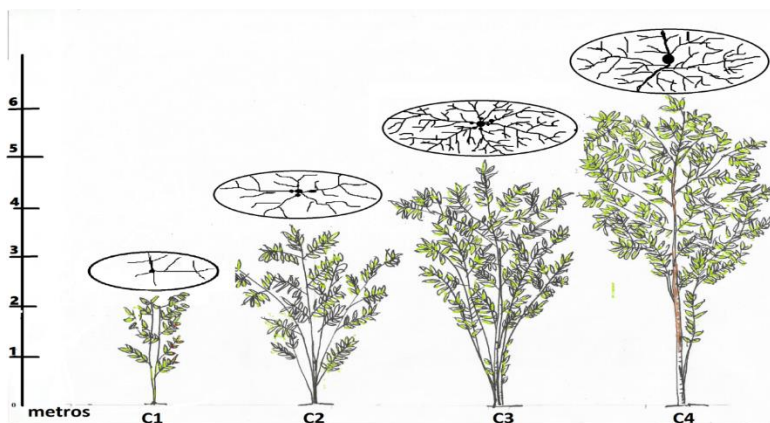
El estadístico AUC, toma valores entre 0 y 1, donde los valores menores a 0.7 indica que la calidad del modelo es pobre, 0.7–0.8 la calidad del modelo es bueno, 0.8– 0.9 la calidad del modelo es muy bueno y valores mayores a 0.9 indican una calidad de modelo excelente (Mezaour, 2005).

La correlación COR, se conoce como la correlación punto biserial y puede ser calculado como un coeficiente de correlación de Pearson (COR). Es similar a las AUC, toma en cuenta hasta qué punto la predicción varía desde la observación, se utiliza comúnmente en estudios ecológicos con datos de presencia-ausencia. Requiere un umbral para ser aplicado a las predicciones, para convertir a las predicciones de presencia-ausencia (Elith *et al.*, 2011)

## 8. RESULTADOS

### 8.1 Estructura poblacional de *Dodonaea viscosa*

La estructura de las poblaciones de *Dodonaea viscosa* en las tres localidades evaluadas fue diferentes en cada una de ellas, considerando las cuatro categorías propuestas como se ilustran en la Figura 7 y descritas en el Cuadro 3.



**Figura 7.** Representación de *D. viscosa* de acuerdo a la clasificación por categoría.

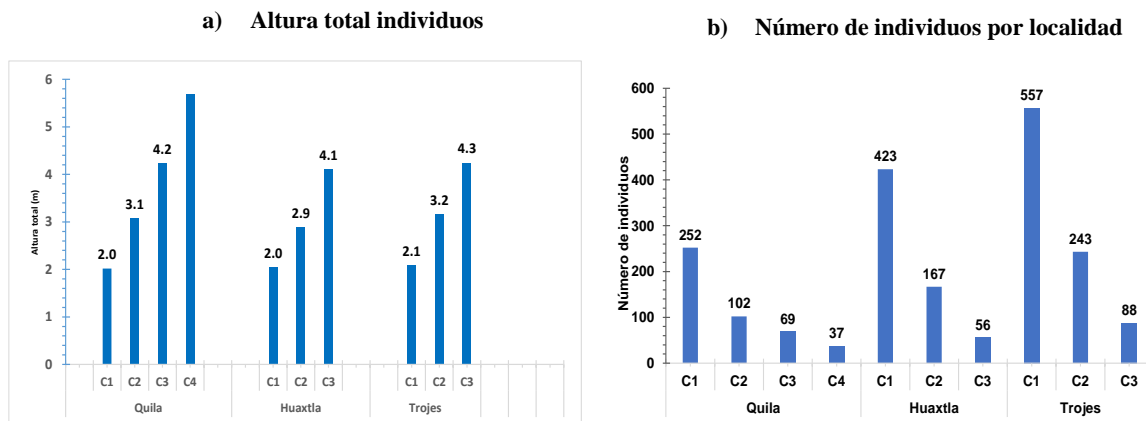
**Cuadro 3.** Clasificación de categorías por altura, edad y su descripción.

Categoría	Altura (m)	Edad (años)	Descripción
C <sub>1</sub>	Menor a 2.30	De 0 a 2	Individuos juveniles muy delgados en promedio de 12 mm de diámetro a 5 cm de la base. Durante el primer año no presentan aún ramificaciones laterales. A partir del segundo año la mayoría de los ejemplares desarrollan tallos laterales desde la base que al pasar el tiempo se engrosan casi de la misma manera que el tallo principal o fuste
C <sub>2</sub>	2.40-3.30	2-3	Individuos jóvenes con hasta 12 tallos laterales desde la base que presentan un diámetro de más de 20 mm el diámetro a 5 cm de la base; el tallo principal (fuste) generalmente más grueso que los laterales.
C <sub>3</sub>	4.40 a 5.00	4-5	Individuos con numerosos tallos laterales (hasta 16 en algunos sitios y dependiendo del nivel de perturbación), la longitud de fuste y tallos laterales es similar entre ellos a la altura total de la planta y el diámetro promedio es de 34 mm.
C <sub>4</sub>	Mayor a 5.10	7	Individuos de hasta tres tallos laterales, con un diámetro a la base de 60.80 mm.

En relación a la variable altura total de los individuos se puede observar que para la localidad Trojes para sus tres categorías se encontraron los individuos de mayor altura Y solamente Quila presento una cuarta categoría (Figura 8a).



En cuanto al número de individuos se puede observar en la Figura 8b que las localidades de Trojes y Huaxtla se componen por una gran cantidad de individuos jóvenes, principalmente de las categorías C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub> con 557 y 423 respectivamente. De igual forma para las C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> nuevamente Trojes es la que tiene la mayor cantidad, seguida de Huaxtla y Quila. Esto debido probablemente a que en estos sitios se encuentran desprovistos de la vegetación original y en los que se han presentado disturbios de tipo antrópico (actividades agropecuarias) y de tipo natural (incendios forestales). La única población pero con pocos individuos se encontró la C<sub>4</sub> en la localidad de Quila, que es la población más antigua y la que presenta mayor nivel de conservación y solo presenta 37 individuos que rebasan una altura mayor a 5.10 m, como se aprecia en la Figura 8b.



**Figura 8.** a) Promedios de altura total de los individuos y b) número de individuos por localidad.

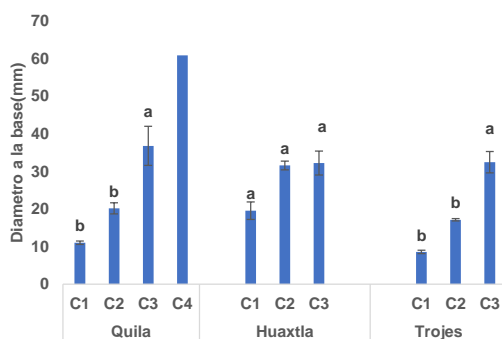
Para la variable diámetro de la base, tanto en la C<sub>1</sub> como en la C<sub>2</sub> en la localidad de Huaxtla presenta diferencias significativas con respecto a las otras localidades, con valores para C<sub>1</sub> 10.19 ( $\pm 0.44$ ) mm y para C<sub>2</sub> de 31.55 ( $\pm 1.15$ ) mm. Para la C<sub>3</sub> no se encontraron diferencias significativas entre las localidades. En la C<sub>4</sub> el promedio fue de 60.80 mm solo para la localidad Quila (Figura 9).

Para la variable Diámetro a la Altura de Pecho en la C<sub>1</sub> como en la C<sub>2</sub>, la localidad de Huaxtla es la que presenta diferencias significativas con respecto a las otras localidades con valores para C<sub>1</sub> de 17.57 ( $\pm 2.12$ ) mm; y para C<sub>2</sub> de 27.12 ( $\pm 0.51$ ). En la C<sub>3</sub> no se encontraron diferencias significativas entre las localidades. Y en la C<sub>4</sub> el rango promedio fue de 49.98 mm solo para la localidad Quila (Figura 9b).

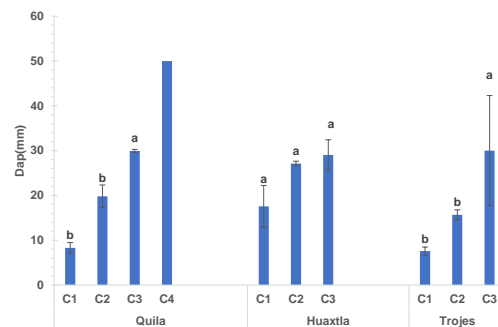
Los resultados de número de ramas en la C<sub>1</sub> indican que los rangos se encuentran de 1.5 ( $\pm 0.22$ ) a 4.6 ( $\pm 0.3$ ) ramas; el análisis de varianza mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para Trojes y Huaxtla. La C<sub>2</sub> tiene rangos 1.1 ( $\pm 0.1$ ) a 7.8 ( $\pm 2.5$ ) ramas y el análisis de varianza mostro diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para los sitios Trojes y Huaxtla. En la C<sub>3</sub> se mostraron rangos con valores de 2.1 ( $\pm 0.5$ ) a 5.5 ( $\pm 2.1$ ) ramas; el análisis estadístico mostró diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para los sitios Huaxtla y Trojes. Para la C<sub>4</sub> el promedio registrado fue de 2.8 ramas solo para la localidad Quila (Figura 9c).

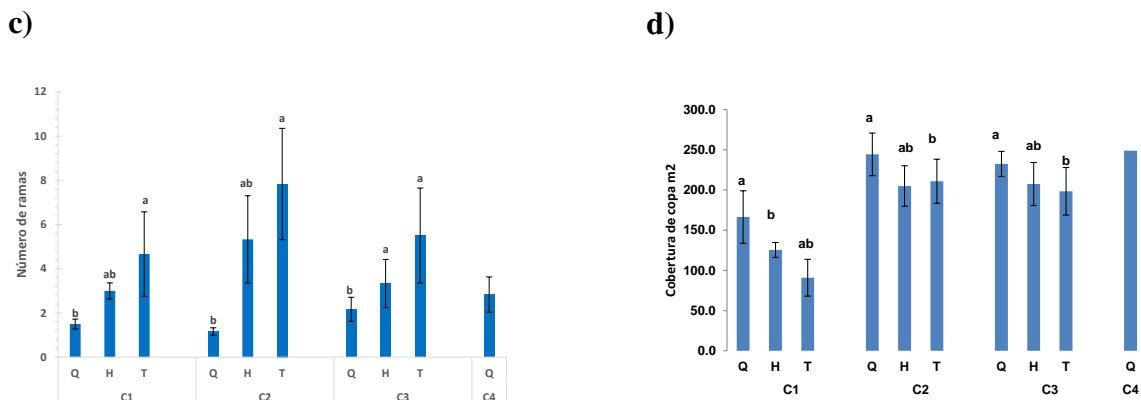
En cuanto a la variable cobertura de copa en la C<sub>1</sub> el rango promedio fue de  $90.8 \pm (22.9) \text{ m}^2$  a  $166.3 (\pm 32.6) \text{ m}^2$ , se encontraron diferencias significativas para la localidad Quila. Para la C<sub>2</sub> el rango de promedios fue  $204.9 (\pm 25.2)$  a  $244.3 (\pm 26.5) \text{ m}^2$ , se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para la localidad Quila y Huaxtla. En la C<sub>3</sub> los rangos promedios fueron de  $198.3 \pm (29.5)$  a  $232.5 \pm (15.6) \text{ m}^2$ , se encontraron diferencias significativas para la localidad Quila y Huaxtla. Para la C<sub>4</sub> el promedio registrado fue de 2.48  $\text{m}^2$  solo para la localidad Quila (Figura 9 d).

a)



b)

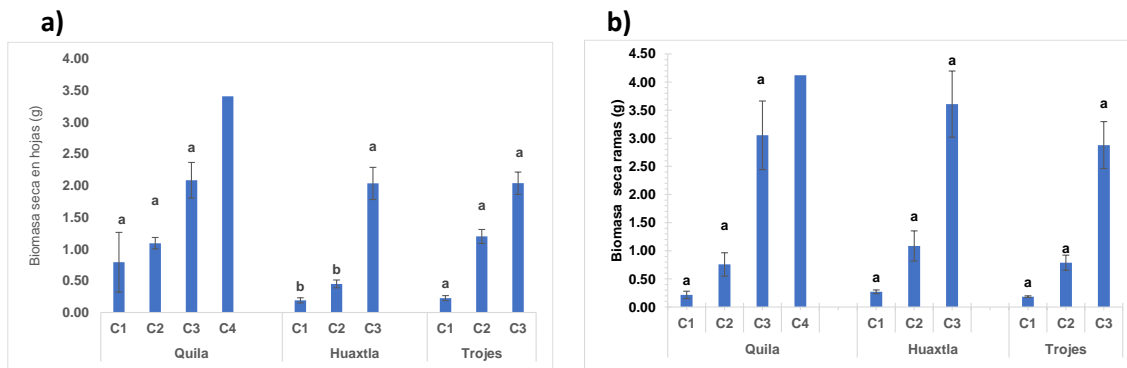




**Figura 9.** Variables evaluadas en la estructura poblacional. a) Diámetro a la base, b) DAP, c) Número de ramas y d) Cobertura de copa.

Los resultados de la biomasa foliar indican en la C<sub>1</sub> para los tres localidades el promedio oscilo entre  $0.19 \pm (0.04)$  gr a  $0.79 \pm (0.49)$  gr, no se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para esta categoría; en la C<sub>2</sub> los promedios se encuentran de  $0.45 \pm (0.06)$  a  $1.198 \pm (0.11)$  gr, se encontraron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) para la localidad Huaxtla y Trojes; para la C<sub>3</sub> el rango de los promedios presentó valores de  $2.035 \pm (0.18)$  a  $2.085 \pm (0.28)$  gr; al realizar la prueba de comparación de medias no encontró diferencias significativas entre las localidades; Para la C<sub>4</sub> se registró un promedio de 3.41 gr de biomasa seca en hojas solo en la localidad Quila (Figura 10).

La gráfica de la biomasa seca en ramas indica que el promedio para la C<sub>1</sub> fue de 0.18 ( $\pm 0.02$ ) a  $0.22 \pm (0.07)$  gr, no se encontraron diferencias significativas entre los sitios. En la C<sub>2</sub> se registraron promedios con rangos de  $0.76 (\pm 0.21)$  a  $1.09 (\pm 0.27)$  gr, al realizar la prueba de comparación de medias se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para Quila y Trojes. En la C<sub>3</sub> se registraron rangos promedio  $2.88 (0.42)$  a  $3.61 (\pm 0.59)$  gr, no existen diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para esta categoría y en la C<sub>4</sub> el promedio fue de 4.168 gr solo para la localidad de Quila (Figura 10b).



**Figura 10.** Evaluación de la biomasa peso seco; a) Biomasa seca en hojas y b) Biomasa seca en ramas.

## 8.2 Evaluación de las condiciones edáficas y climáticas de las localidades

Las localidades evaluadas presentaron diferentes condiciones edáficas y climáticas; además, por el nivel y tipo de intervención antrópica y natural sobre la vegetación natural evidenció diferencias importantes en la composición de la estructura poblacional de *D. viscosa* en cada una de ellas, dejando de manifiesto que el cambio de uso de suelo y de incendios forestales presentes en las localidades más intervenidas (Trojes y Huaxtla) influenció en comparación con la localidad menos impactada Quila, esto debido a su categoría de protección.

### 8.2.1 Características Edáficas

#### 8.2.2 Propiedades físicas

Los tipos de suelos presentes en los sitios de muestreo presentaron una clasificación textural de, suelo Franco en Trojes, Franco-Arenoso para Huaxtla y Franco-Arcilloso para Quila, con valores de arena-limo-arcilla se muestran en el (Cuadro 4).

El resultado de la densidad aparente fue igual para los tres sitios con  $1.03\text{g/cm}^3$ .

**Cuadro 4.** Porcentajes de arena-limo-arcilla.

% / Sitio	Quila	Huaxtla	Trojes
<b>Arena %</b>	28.28	69.21	42.20
<b>Arcilla%</b>	36.11	13.15	24.16
<b>Limo%</b>	35.61	17.64	33.64

### 8.2.3 Propiedades químicas

Los análisis de varianza de las propiedades químicas del suelo, mostraron diferencias significativas para todas las variables estudiadas con excepción de la conductividad eléctrica.

En el Cuadro 5 se muestran los resultados de la prueba de medias para las variables químicas del suelo.

Sitio	pH	Conductividad eléctrica dSm <sup>-1</sup>	Capacidad intercambio catiónico cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Materia Orgánica %	Nitrógeno Total Suelo %
<b>Huaxtla</b>	5.72±0.24b	<b>0.05±0.02a</b>	12.43±5.6 b	1.0±0.68b	0.06±0.01 c
<b>Trojes</b>	<b>6.11±0.23ab</b>	<b>0.06±0.01a</b>	<b>32.9±1.4 a</b>	1.1±0.63b	0.10±0.005 b
<b>Quila</b>	<b>6.29±0.23a</b>	<b>0.04±0.01a</b>	<b>25.00±2.7 a</b>	<b>1.8±0.41a</b>	<b>0.17± 0.005 a</b>

**Cuadro 5.** Propiedades químicas del suelo y su agrupación mediante la prueba LSD. Las letras en negritas indican diferencias significativas entre las localidades.

El pH del suelo de los tres sitios se encuentran entre el rango de 5.72 - 6.29, siendo la localidad Quila con el valor más alto encontrándose diferencias significativas ( $P>0.05$ ), de 6.29±0.23 (Cuadro 5).

Los resultados para la Conductividad Eléctrica (CE) en las tres localidades de muestreo, se encuentran entre los rangos de 0.04-0.06 dSm<sup>-1</sup>, no se encontraron diferencias significativas entre las localidades (Cuadro 5).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) en las tres localidades presentó valores entre 12.43-32.9  $\text{cmol}_c \text{ Kg}^{-1}$ . La localidad Huaxtla presenta los valores de 12.43  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  (Cuadro 5).

Los resultados para la materia orgánica en las tres localidades de muestreo presentaron valores entre 1.0 a 1.8%; al realizar la prueba LSD se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para Quila con un valor de  $1.8 \pm 0.4.1 \%$  (Cuadro 5).

Los resultados en el porcentaje de Nitrógeno total, fueron diferentes en las tres localidades, siendo la localidad de Quila con el mayor contenido porcentaje. Se encontraron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para las tres localidades, con valores de Quila  $0.17 \pm 0.005\% \text{N}$ , Huaxtla  $0.06 \pm 0.01 \%$  N y Trojes  $0.10 \pm 0.005 \%$  N (Cuadro 5).

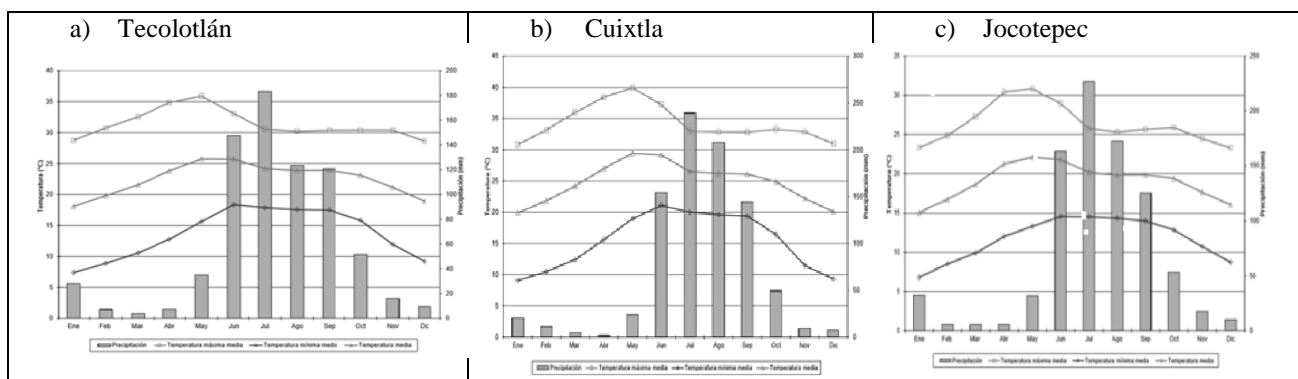
#### 8.2.4 Condiciones climáticas en las zonas de estudio

En las localidades estudiadas, se registraron los siguientes valores climáticos mostrados en la cuadro 6. Se observa que durante la temporada de lluvias en las estaciones cercanas a las tres localidades, se presenta una precipitación acumulada anual que va de 756 a 874 mm, con una temperatura promedio en la temporada lluviosa o estación de crecimiento de  $20.3^\circ$  a  $27^\circ \text{C}$ , siendo en la estación Cuixtla (correspondiente a la localidad Huaxtla) la que presenta el promedio más alto.

**Cuadro 6.** Datos climáticos de las estaciones meteorológicas cercanas de cada localidad estudiada. (Datos tomados de (Ruiz-Corral *et al.*, 2012)).

Estaciones meteorológicas	Temperatura media en $^\circ \text{C}$		Precipitación anual (mm)
	Durante la temporada de lluvias	Anual	
<b>Quila (Tecolotlán)</b>	24.05	22.1	756.0
<b>Huaxtla (Cuixtla)</b>	27.00	24.8	874.0
<b>Trojes (Jocotepec)</b>	20.03	19.0	849.8

En la Figura 11, se muestran las tendencias para precipitación acumulada anual, temperatura máxima, temperatura media y temperatura mínima promedios anuales, para los tres sitios de estudio.



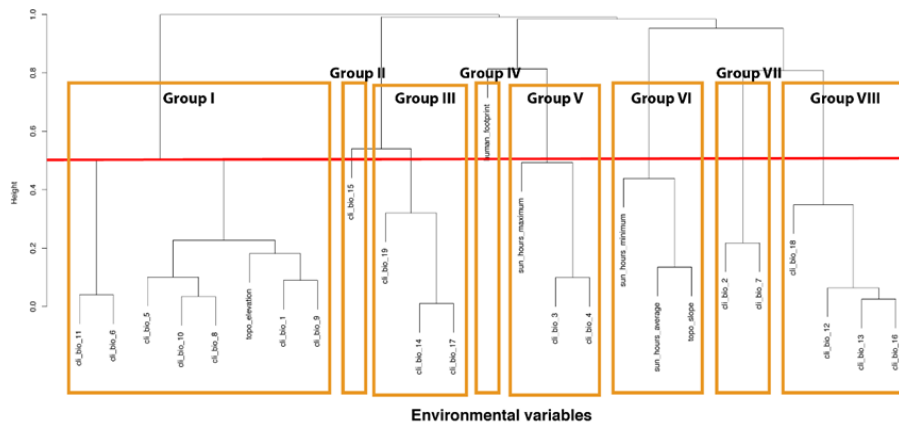
**Figura 11.** Gráficas de distribución mensual de temperatura y precipitación en la estación de a) Tecolotlán, b) Cuixtla y c) Jocotepec. (Ruiz-Corral *et al.*, 2012).

### 8.3 Modelo de nicho ecológico para *Dodonaea viscosa* para México.

En consecuencia, el análisis de conglomerados identificó 8 variables, Figura 12.

Las variables correlacionadas fueron:

- Temperatura Media Anual (bio1)(GRUPO I);
- Estacionalidad de precipitaciones (bio15); (GRUPOII);
- Precipitación del mes más seco (bio14)(GRUPOIII);
- Huella humana (GRUPO IV);
- Isotermalidad (bio 3) (GRUPO V);
- Horas mínimas de sol (GRUPO VI);
- Rango de temperaturas anuales (bio7) (GRUPO VII);
- Precipitación media anual (bio12) (GRUPO VIII);

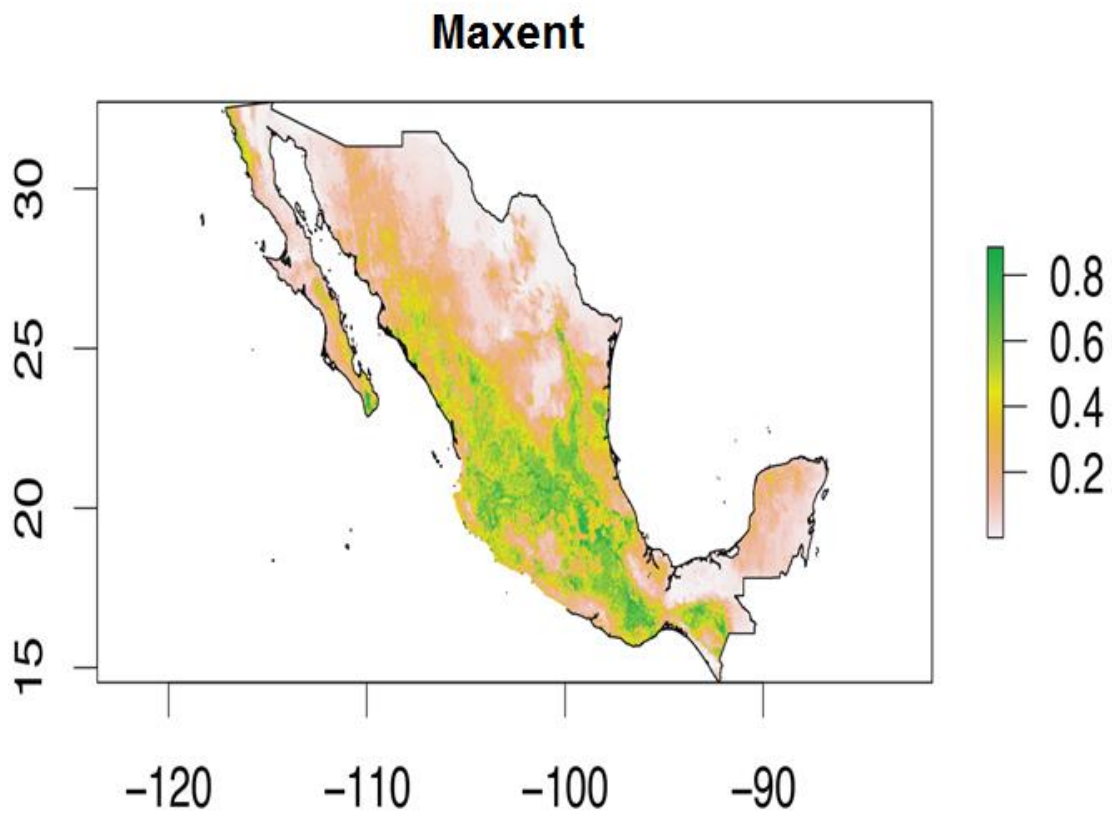


**Figura 12.** Dendrograma de la correlación de variables climáticas del análisis de clúster.

El resultado del modelo de nicho ecológico para *D. viscosa* en México con el software Maxent nos muestra un mapa actual y se representa en la Figura 13 y 14. Donde se observa una amplia idoneidad de áreas con base los valores, de 0.1 o menores son áreas que no presentan o poco probables de presencia de *Dodonaea viscosa* áreas con valores arriba de 0.8 son las que presentan la mayor idoneidad las condiciones ambientales para que la especie esté presente, encontrándose en gran parte del territorio mexicano, distribuyéndose principalmente en la Sierra Madre Occidental y el Eje Neo volcánico Transversal. Las áreas de menor idoneidad son las zonas áridas, la planicie de Yucatán; zonas de mangle y picos del eje Neo volcánico, lo cual resulto similar con los otros métodos empleados (GLM, Random forest); dicha predicción en los tres mapas generados, reflejan una representación muy similar entre la distribución estimada de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y de vegetación a la presencia real de la especie corroborada para los sitios evaluados en Jalisco.

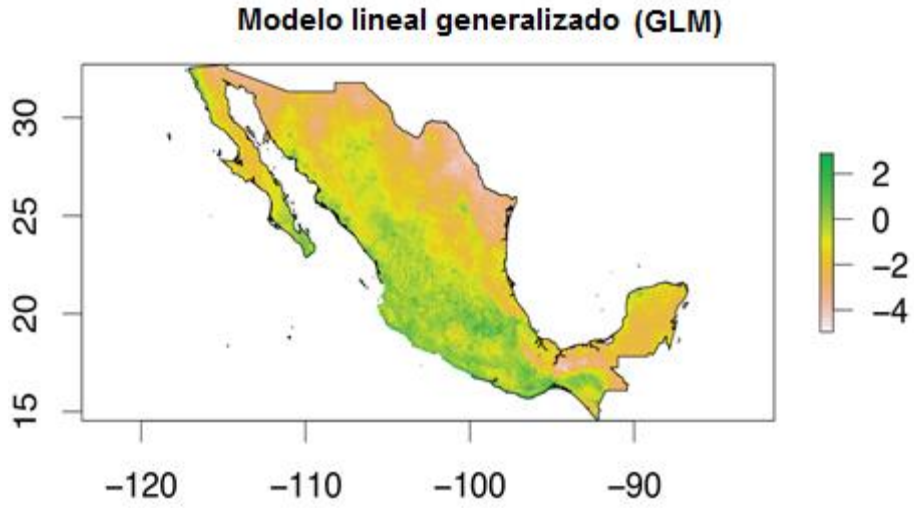
El método que arrojó los mejores resultados fue Maxent con el valor más alto de Área Bajo la Curva (AUC) de 0.85 y un COR de 0.5544 y el método que arrojó los menores valores, fue el Modelo lineal Generalizado con un AUC de 0.81 y un COR de 0.45614. Por su parte, el método Random Forest mostro valores intermedios para AUC de 0.83 y para COR de 0.47245245. En la Figura 13 se presenta el mapa de idoneidad con el software Maxent y en la figura 14 con los métodos empleados: software GLM (Figura 14a) y Random Forest (Figura 14b).



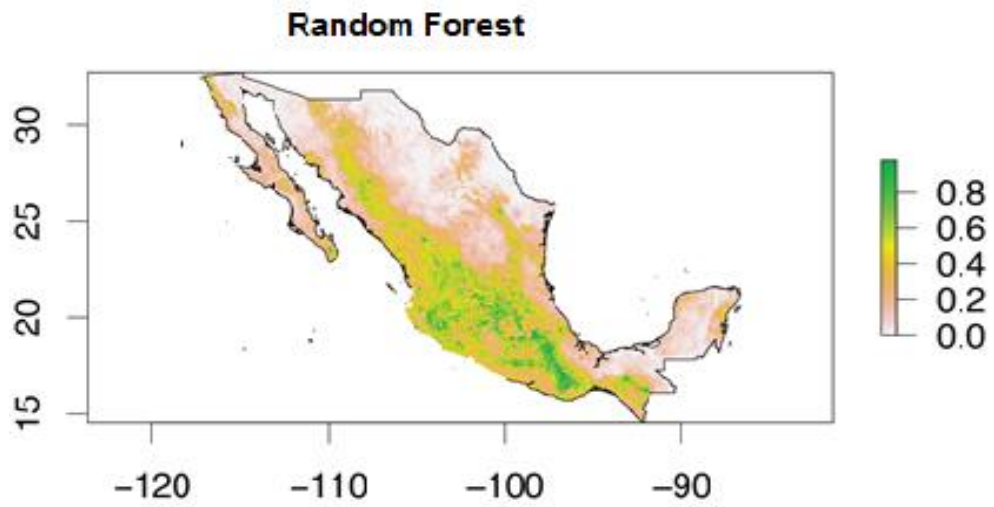


**Figura 13.** Representación de idoneidad de presencia de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en México, con software Maxent.

a)



b)

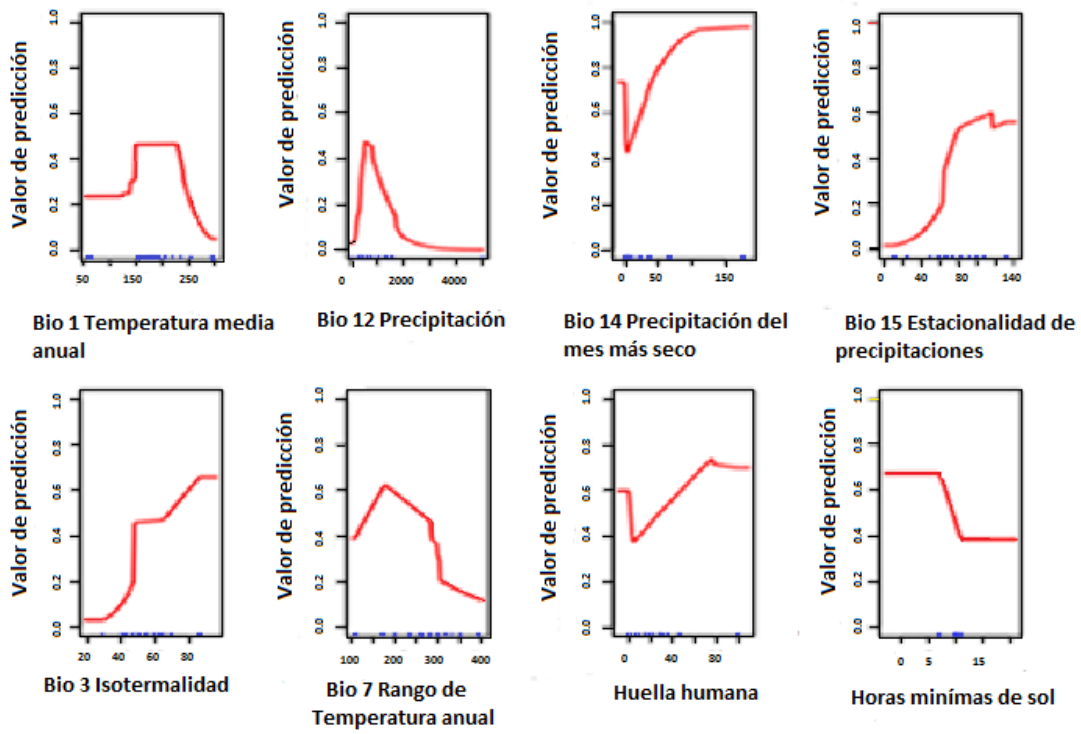


**Figura 14.** Representación de idoneidad de presencia de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. en México, con diferentes programas a) GLM y b) Random Forest.

### 8.3.1 Importancia de las variables en la curva de respuesta sobre la predicción de Maxent

El análisis de las curvas de respuesta de cada variable indican el valor de predicción por separado, sobre la predicción de Maxent muestra que de las ocho variables que se seleccionaron para el modelo, cuatro son las variables más importantes de contribución al modelo debido, a que tienen valores arriba de 0.6, como lo indica la Figura 15 y son la BIO14 (precipitación del mes más seco), BIO3 (Isotermalidad), huella humana y horas mínimas de sol. El valor de predicción se evalúa de 0-1, mientras más cercano a 1 significa que es mayor la influencia de esa variable sobre la predicción Maxent.

La variable BIO1 temperatura media anual, nos indica que en rango ideal de temperatura para *D. viscosa* es de 15° a 25°C. En la variable BIO12 la precipitación anual muestra una influencia en el aumento de la probabilidad de la especie, cuando supera los 500 mm hasta los 1000 mm/año, posterior tiende a decrecer. La variable BIO14 precipitación del mes más seco, indica esta variable tiene una mayor influencia sobre la idoneidad con precipitaciones aproximadamente arriba de 100 mm en el mes más seco, el rango de probabilidad presenta un alto porcentaje de casi 1% de viabilidad. BIO15 Estacionalidad de precipitaciones, esta variable ejerce una idoneidad de 0.6 para la presencia de la especie, con precipitaciones de 80 a 120 mm. La BIO3 Isotermalidad indica una viabilidad en la presencia de *D. viscosa* con un valor 0.6. BIO 7 rango de temperatura anual la curva de respuesta muestra el rango óptimo para la especie de 11° a 25°C; en temperaturas bajas menores a 10°C y mayores a los 30°C ya no hay presencia. La gráfica variable huella humana, indica que ejerce gran fuerza en la presencia con un rango de .7%. Horas mínimas de Sol la gráfica muestra el requerimiento solar para *D. viscosa*, con rangos de 3 a 8 horas diarias de sol.



**Figura 15.** Curvas de respuesta de las variables sobre la predicción Maxent, indican el valor de predicción que va de 0.0-1.0, sobre la idoneidad de *D. viscosa*.

## 9. DISCUSIÓN

### 9.1 Estructura poblacional

En las tres localidades evaluadas (Trojes, Huaxtla y Quila) las categorías que presentaron las mayores frecuencias, fueron las de individuos juveniles que corresponden a la categoría C<sub>1</sub> (menores a 2.2 m) y a la categoría C<sub>2</sub> (menores a 4.3 m); lo que de acuerdo con Primack (1998) esto es indicador del nivel de salud de las poblaciones, lo que evidencia el buen estado de conservación de la misma y la capacidad de automantenerse por sí misma y de acuerdo con Leak (1965) que menciona que un alto porcentaje de individuos juveniles es evidencia de un crecimiento poblacional sostenible y viable de la población; así mismo Swaine y Hall, 1988; consideran que una elevada proporción de individuos juveniles indica que la regeneración natural es exitosa.; en este sentido, este tipo de estructura poblacional, que presenta una disminución progresiva hacia categorías superiores en altura, concuerda con el criterio de Foster y Hubbell (1990), dichos autores relacionan este patrón con una población óptimamente estructurada con un gran porcentaje juveniles reclutados y una reducción en número de individuos de las clases de mayor altura. Este tipo de estructura poblacional, sigue el principio de que una población en equilibrio o estable es aquella que mantiene una tasa de reproducción *per capita* fluctuante en donde existe un balance de natalidad y sobrevivencia (Soberón, 2002). Adicionalmente, la presencia de individuos en todas las clases sugiere una población autoregenerativa caracterizada por poseer individuos de todas las etapas con probable mortalidad, los cuales pueden ser reemplazados por los que se encuentran en etapas anteriores (Peters, 1996). Según el criterio de Palacios-Wassenaar (2005) la altura de la planta y diámetro de la base concuerda con la generalidad de las plantas, en la que el diámetro del tronco incrementa a medida que aumenta el tamaño de la planta, lo cual garantiza la estabilidad de su estructura.

La proporción de la biomasa de los componentes estructurales se mantuvo siempre constante de mayor a menor en peso seco, siendo siempre mayor la biomasa foliar, luego la de ramas y finalmente la de fustes pero se incrementó de manera proporcional al tamaño y edad de los ejemplares de acuerdo a cada categoría; por lo que a medida que aumenta el diámetro y la altura del arbusto, la biomasa foliar, de ramas y de fuste también se incrementa. De acuerdo

con Salazar-Sánchez *et al.*, (2015) reportan para *D. viscosa* una biomasa de 2,5 g planta<sup>-1</sup>; además considera a esta especie una buena opción para obtener biomasa leñosa de forma económica y sostenible, debido a su alta capacidad de rebrote y altas tasas de crecimiento, lo cual pudo evidenciarse con el alto número de tallos laterales de los ejemplares de las categorías C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub>; así como del peso cuantificado de la biomasa leñosa (fuste y tallos laterales) en las tres localidades evaluadas, sobresaliendo la población de la localidad de Quila, en donde se presentaron los individuos con el mayor volumen de fuste madera. Además Salazar-Sánchez *et al.*, (2015) mencionan que esta especie representa una fuente importante de biomasa que puede ser usada para la producción de biocombustible sólido, como son los pelets y los pelets torrefactados.

Por lo anterior y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede reconocer que *D. viscosa* representa un gran potencial para el aprovechamiento de su biomasa, por lo que será de gran relevancia realizar trabajos de investigación encaminados a la evaluación de la especie y determinar su potencial aprovechamiento en las tecnologías actuales encaminadas al uso energético y de biorefinerías de la biomasa vegetal (Oberberger *et al.*, 1997); como especie de importancia significativa para estudios de captura de carbono (Santibáñez, 2014); como para su uso en la recuperación de áreas forestales degradadas (Benítez-Rodríguez, 2005); con ello, se podrá reconocer las bondades ambientales y la importancia económica de *D. viscosa* como un recurso importante en los ecosistemas forestales del país y para establecer plantaciones comerciales para lo cual, se requerirán trabajos de investigación de tipo silvícola que permitan su mejor manejo, desarrollo y producción comercial de su biomasa y de su madera.

## 9.2 Efecto de las condiciones edáficas y climáticas sobre la estructura poblacional.

### 9.2.1 Condiciones edáficas

De acuerdo a los resultados presentados, se encontró que entre las poblaciones de cada localidad hay diferencias en la cantidad de individuos por categorías y en el desarrollo de los mismos; y esto tiene relación con las diferencias registradas en algunas de las propiedades físicas y químicas de los suelos de cada lugar, no así con las condiciones climáticas que fueron similares.

Uno de los factores más determinantes fue el pH, ya que afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo (USDA, 1999). Valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para la disponibilidad de nutrientes para la mayoría de las plantas (De la Rosa, 2008) y es el mejor rango para la mayoría de los cultivos (Plaster, 2000). De acuerdo a los resultados, el pH de los sitios en este estudio, presentan valores moderadamente ácidos en un rango de 5.7 a 6.3; valores que nos indican una buena disponibilidad para la mayoría de los elementos nutritivos, así como poca disponibilidad de elementos tóxicos como el  $Al^{+3}$  (Havlin *et al.*, 2005). Los valores de pH del suelo encontrados en los sitios de estudio coinciden con los resultados obtenidos por Bolaños-Angulo *et al.*, (2014) quienes reportan un pH moderadamente ácido 5.06 para *D. viscosa*, mientras que Ahmad *et al.*, (2011) informan valores de pH de 7.6 a 8.2 en diferentes estaciones del año. Encontrando que hay una relación entre los valores de pH más bajos y Conductividad eléctrica entre 0.9 a 3.8 dS m<sup>-1</sup> en uno de los sitios estudiados, mientras que para otro de los sitios con la misma especie vegetal reportan 1.7 a 8.7 dS m<sup>-1</sup> de conductividad, variaciones que atribuyen a las condiciones climáticas en esas zonas, ya que durante la época de lluvias las sales son lavadas del perfil superior del suelo, mientras que en época seca, éstas suben a la superficie por capilaridad al ocurrir la evaporación.

La materia orgánica es un componente fundamental del suelo debido a que influye en la buena estructura del mismo, incrementa la retención de agua, es la principal fuente de alimento para los microorganismos y proporciona una protección mecánica a la superficie (De la Rosa, 2008). Los resultados de materia orgánica en los sitios de estudio Huaxtla y

Trojes, indican una baja acumulación de residuos vegetales, esto se puede deber a que en dichas zonas se tienen los ambientes más perturbados, y que a pesar de que presentaron mayor número de individuos de *D. viscosa*, en estos dos sitios se observó la menor cantidad de biomasa seca en el mantillo superficial, lo que respondería a la baja acumulación de materia orgánica encontrada. Por el contrario, en la zona de Quila, la acumulación de materia orgánica edáfica fue mayor, debido a que es un sitio con menor perturbación, vegetación más abundante de diversas especies y a la vez, fue en el sitio que se encontró el menor número de individuos de *D. viscosa*, pero con una mayor biomasa foliar en peso seco en comparación con las otras dos localidades desprovistos de vegetación original. Estas condiciones de materia orgánica influyen de manera directa en la capacidad del suelo de retener y liberar cationes entre los que se encuentran N en forma de  $\text{NH}_4^{+1}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  y  $\text{K}^{+1}$ , entre otros elementos nutritivos. Así mismo, la presencia de arcillas en el suelo incrementa también la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Havlin *et al.*, 2005). En la localidad de Huaxtla se observó que la CIC tuvo los valores más bajos, relacionados de manera directa con los valores también más bajos de materia orgánica y porcentaje de arcillas. Para las otras dos localidades, los valores de CIC resultaron relativamente altos, debido en parte a un mayor porcentaje de arcillas y materia orgánica. Esto es indicativo de una ligera mayor fertilidad en los sitios Trojes y Quila y menor en Huaxtla.

La textura junto con la densidad aparente, son propiedades físicas de los suelos que influyen en diversas propiedades y reacciones químicas del suelo, ya que afectan la presencia de espacio poroso y por tanto, la disponibilidad de agua y aire en el suelo (Plaster, 2000); en este sentido se encontró que en las tres localidades estudiadas, la textura es de tipo franca y la cual se caracteriza por presentar una buena disponibilidad de agua y de minerales; además favorece los procesos de mineralización de la materia orgánica en el suelo, manteniendo niveles adecuados de reservas orgánicas edáficas que determinan características físicas y químicas favorables para cultivos agrícolas, (Villaruel, 1988; López-Rita y López-Melida, 1990).

Según Plaster (2000) de manera particular, el nivel de fertilidad física, dado por la textura y una buena densidad aparente, fue mayor en la localidad de Quila debido a un mayor



contenido de arcillas franco arcilloso, luego Trojes con un suelo franco y finalmente Huaxtla que presenta una textura franco arenosa de menor fertilidad, lo que explica las diferencias encontradas en la producción de biomasa por individuo para cada localidad, siendo mayor en la de Quila y menor en la de Huaxtla.

Las formas minerales del nitrógeno en el suelo provienen generalmente de la descomposición de los residuos orgánicos de nitrógeno, materiales frescos orgánicos, abonos orgánicos, humus, etc. (Calderón-Sáenz, 1999). El nitrógeno más que cualquier otro elemento, limita el crecimiento y el color verde oscuro de las plantas, las cuales necesitan cantidades mayores de nitrógeno que de otros minerales, ya que es esencial para la síntesis de compuestos importantes, incluyendo aminoácidos, proteína y clorofila. Además, las plantas aprovechan de una forma más eficiente el agua cuando no tienen restricción de nitrógeno (Plaster, 2000). Los contenidos de N en las localidades de estudio, están relacionados con el contenido de materia orgánica, ya que de acuerdo con Plaster (2000) la materia orgánica es el principal almacén del nitrógeno del suelo, siendo que para los sitios Huaxtla y Trojes con valores bajos de materia orgánica, también presentan los valores más bajos de nitrógeno, mientras que para el sitio Sierra de Quila, con valores estadísticamente diferentes a los otros sitios, muestra valores más altos tanto de materia orgánica como de N en el suelo, presumiblemente por el mayor contenido de mantillo en este sitio. Ahamad *et al.*, (2011) determinaron que en los suelos donde se desarrolla *D. viscosa*, reportan valores que van de 0.5 % a 1.3% de N suelo seco. Por su parte, Bolaños-Angulo *et al.*, (2014) reportan valores de 0.21% N total del suelo en los sitios con presencia de *D. viscosa* evaluadas sobre un sistema agroforestal en zonas áridas y semiáridas de Bolivia, lo que significa que esta especie es muy eficiente en la asimilación de nitrógeno y por lo tanto es capaz de desarrollarse en sitios con contenidos bajos de este mineral y lo cual se evidenció al crecer en sitios con valores desde 0.06% (Huaxtla) hasta 0.17% (Quila) de N edáfico total.

### 9.2.2 Condiciones climáticas

El clima al igual que el suelo y su fertilidad, es otro factor importante que ejerce una influencia determinante en el desarrollo de las especies vegetales. En las zonas donde se encuentran las localidades de estudio el clima es cálido subhúmedo de acuerdo con la clasificación climática establecida por Köppen y modificada por García (1988), como se muestra en el Cuadro 7, existen diferencias particulares entre las localidades, sobre todo en la cantidad de lluvia y en el mes más cálido, que pudieron ser factores determinantes en la presencia y número de individuos de la especie, que resultaron con diferencias significativas entre las localidades.

**Cuadro 7.** Sistema de clasificación climática de Köppen modificado por García (1988) para las localidades en estudio.

Estaciones meteorológicas	Tipo clima	Descripción del clima
<b>Quila (Tecolotlán)</b>	Aw0eg	Clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, Temperatura del mes más frío <18°C y Temperatura media anual entre 18 y 22°C.
<b>Huaxtla (Cuixtla)</b>	(A)Ca(w1)	Clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, cociente P/T por debajo de 43.2, porcentaje de lluvia invernal < 5%, oscilación térmica anual entre 7 y 14°C
<b>Trojes (Jocotepec)</b>	(A)Ca(w1)	Clima cálido subhúmedo con lluvias de verano, cociente P/T por debajo de 43.2, porcentaje de lluvia invernal < 5%, oscilación térmica anual entre 7 y 14°C

Por su parte Lucero-Villarreal (2007) determinó el efecto de tratamientos pregerminativos en la germinación de semillas de *D. viscosa* en almácigo y posterior desarrollo en fase de vivero; reportó como condiciones climáticas para *D. viscosa* una temperatura media ambiental de 13.7 ° C y una precipitación pluvial anual de 504.9 mm. Por su parte Bolaños-Angulo *et al.*, (2014) evaluaron la influencia potencial de *D. viscosa* sobre las propiedades edáficas dentro de un sistema agroforestal sucesional perteneciente a los valles interandinos en Combuyo-Vinto en Bolivia, mencionando que la especie se encontró en áreas con una temperatura media anual de 18°C y con precipitaciones anuales de 400 a 700 mm. Por su parte Meza-Álvarez (2006) en un estudio en Bosque Piñero, en el municipio de Santiago Anaya en Hidalgo, donde se encontró *D. viscosa* reporta clima templado subhúmedo con lluvias en

verano e indica que la temperatura promedio anual es de 16°C y con precipitaciones de 550 mm anuales.

La especie *D. viscosa*, tiene una amplia distribución, siendo encontrada en diferentes condiciones climáticas como se observa en el Cuadro 8, elaborado con información de localidades con presencia de *D. viscosa* distribuidas en el país. Algunas de estas localidades muestran condiciones muy similares a las encontradas en las zonas estudiadas en este trabajo.

**Cuadro 8.** Localidades con presencia de *D. viscosa* distribuidas en el país.

Estado	Municipio	Temp. media anual	Precipitación
Sonora	Imuris	16.7	272
Colima	Manzanillo	24	761.6
Jalisco	Atengo	19.2	759.8
Jalisco	Concepción de buenos aires	17	752.4
Jalisco	Tamazula de Gordiano	17	965.4
Jalisco	Los Reyes	13.8	695.5
Coahuila	Zaragoza	17.2	203.2

Creación propia, el registro de presencia fue tomado del herbario IBUG. Temperatura media anual y precipitación fueron tomadas de estadísticas climáticas correspondientes a su estado. (INEGI, 2014; Ruiz-Corral *et al.*, 2005; Ruíz-Corral *et al.*, 2012).

### 9.3 Generación de un modelo de nicho ecológico para la especie en México

En este estudio se trabajó con técnicas modelación para la distribución geográfica de la especie, que permitieran comparar su eficiencia y grado de similitud o diferencia que permita definir la distribución potencial de *Dodonaea viscosa* para México, así como comparar los mapas de idoneidad de la especie para cada uno de ellos, resultando similares entre sí, con lo que se determinó que el nicho potencial de *D. viscosa* define una amplia área de distribución, que tiende a concentrarse en la Sierra Madre Occidental y del Sur, así como la Faja Volcánica Transmexicana. La especie se desarrolla en diversos tipos de vegetación, que van desde los bosques tropicales caducifolios, bosques perennifolios asociados a bosques de encinos y comunidades secundarias, matorrales, etapas sucesionales de bosques y matorrales deteriorados, vegetación mesófila (Rzedowski, 1978). Su amplio nicho ambiental se explica por su elevado potencial de germinación y dispersión, que se evidenció con la gran presencia

de ejemplares jóvenes menores de 3 años en los sitios evaluados, además a su gran adaptabilidad ambiental a condiciones desfavorables para muchas otras especies presentes en esos sitios y a su capacidad para regenerarse después de disturbios antrópicos (desmontes y quemas para actividades agropecuarias) y a su gran resistencia ante incendios forestales. Además se presentan las condiciones adecuadas de temperatura y humedad para la germinación de la semilla que presenta latencia física (Phartyal *et al.*, 2005); ya que éxito del establecimiento de *D. viscosa* está fuertemente relacionado a la germinación. Benítez-Rodríguez (2005) Baskin y Baskin, (2004); este es un mecanismo que impide la germinación y es una adaptación que tiene la planta para asegurar se reproducción hasta que se presenten las condiciones favorables para germinar y es causada por una capa impermeable al agua en la testa de las semillas. Por su parte Cervantes *et al.*, (1998), mencionan que *D. viscosa*, presenta testa impermeable que al recibir el tratamiento de escarificación mecánica, la especie inicia su germinación en menos de dos semanas. Existen diversos reportes que mencionan que sus semillas presentan latencia física, la cual puede romperse mediante remojo en agua por 24 h a temperatura ambiente (Qadir & Lodhi, 1971), fuego (Hodgkinson, 1991), o por remojo en agua caliente por 5 s o 4 min (Hodgkinson & Oxley, 1990; González-Kladiano y Camacho-Morfin, 1994), escarificación mecánica de la testa (Burrows, 1995) e inmersión en ácido sulfúrico (Rosa y Ferreira, 2001). Sólo Hussain *et al.*; (1991) reportan que esta especie no requiere ningún tratamiento para germinar.

El análisis de clúster redujo la cantidad de información de las variables bioclimáticas, donde se agruparon en 8 variables los miembros que comparten características similares de acuerdo a la biología de *D. viscosa*, además de ser una técnica adecuada para extraer información de un conjunto de datos sin imponer restricciones (Barrios y Carvajal, 2006). Su objetivo es formar grupos en función de las similitudes entre ellos. Los grupos se forman de tal manera que cada objeto es parecido a los que hay dentro del clúster.

En relación a las variables climáticas, los resultados apoyan lo que se ha documentado en otros trabajos, en donde se ha identificado que la temperatura y la precipitación son los factores que más se asocian con los patrones de distribución de las especies (Denton y Barnes, 1987; Parker, 1994). La precipitación total anual es el factor climático más importante que

explica la lluvia a lo largo del año en México, y es de suma importancia para la vida vegetal, y su distribución geográfica en la República Mexicana está íntimamente ligada entre otros factores con la orografía y con la circulación del aire atmosférico; aproximadamente el 70% de la precipitación pluvial se registra durante los meses de mayo a octubre (García, 2003). Camacho *et al.*, (2003) mencionan que *D. viscosa* se localiza en áreas con rangos de 200 mm a 800 mm. También requiere de una temporada de estiaje bien determinada Camacho *et al.*, (2003) por lo que la variable precipitación del mes más seco es el factor más importante que explica la distribución de *D. viscosa*. La Isotermalidad tiene una gran variación térmica y está influenciada principalmente por la altitud y estacionalidad de precipitaciones (García, 2003).

Cabe mencionar que *D. viscosa* se encuentra en sitios con incidencia de rayos solares Camacho *et al.*, (2003) o en lugares más expuestos al sol, es decir, los bosques que tienen cobertura arbórea en este caso la Sierra de Quila existe poca frecuencia de individuos de *D. viscosa* y donde se ha perdido la cobertura arbórea ocasionada por incendios, el desarrollo de la especie se da en abundancia; Por lo que en las localidades de estudio tanto Huaxtla y Trojes, por ser áreas desprovistas de vegetación arbórea tiende a favorecer el desarrollo de la especie.

La huella humana está asociada al impacto producido por las actividades antrópicas (Sanderson *et al.*, 2002), también resultó ser también uno de los mejores descriptores para la especie. Lo que quiere decir que *D. viscosa* es especie que prefiere los lugares perturbados o zonas más afectadas por la actividad humana y coinciden con áreas con mayor presencia de *D. viscosa* y las localidades menor perturbación menor presencia de la especie. Por su parte González-Elizondo *et al.* (2005) mencionan que el incremento de vegetación secundaria como es el caso de *D. viscosa*, está ligada al deterioro de los hábitats por la tala de árboles, sobrepastoreo e incendios.

Con base en los resultados de los métodos empleados para generar el modelo de nicho ecológico para *D. viscosa* y a los mapas de distribución y presencia potencial generados para la especie en México; se aprecia que grandes extensiones de las regiones montañosas del país

tienen alto potencial para su establecimiento ya sea de manera natural o de manera inducida en plantaciones de la especie con una alta producción de biomasa foliar y leñosa.

Por otro lado, los resultados de la evaluación de las condiciones edáficas, climáticas y de sitios con alto grado de perturbación (Martínez-Pérez *et al.*, 2006) se puede reconocer que *D. viscosa* es una especie vegetal con gran capacidad para adaptarse a dichas condiciones provocadas por el hombre y a los cambios de temperatura natural que se están presentando y que se prevé continúen en aumento (Santibáñez, 2014).

Los valores de AUC (Área Bajo la Curva) para el análisis de modelado de nicho ecológico, muestran el ajuste a los modelos realizados, ya que los resultados en los tres casos se encuentran por encima de 0.8 y muy cercanos a 1, lo que quiere decir que nuestros modelos tienen buena precisión o son considerados buenos. De acuerdo a Thullier *et al.*, 2009, estima que valores sobre 0.9 de AUC dan cuenta de modelos con alta precisión y valores entre 0.7 y 0.9 indican modelos con buena precisión.

## 10. CONCLUSIONES

La estructura de las poblaciones de *Dodonaea viscosa* muestra un comportamiento estable para las tres localidades, por contar con una mayor proporción de individuos jóvenes y pocos adultos.

Entre las variables evaluadas que registraron para el estudio de la estructura poblacional, mostraron diferencias significativas, esas diferencias obedecen al grado de perturbación de cada localidad.

La localidad Trojes al presentar un mayor grado de perturbación, se encontró un mayor número de individuos lo que favorece su abundancia. Y en Sierra de Quila, se encontraron los individuos de mayor tamaño, aunque con menor frecuencia de individuos, debido al menor grado de perturbación por ser un Área Natural Protegida y no estar expuesta a las actividades humanas.

La evaluación de la biomasa nos indica un potencial de uso maderable para la localidad de Quila.

*Dodonaea viscosa* se encuentra en diferentes tipos de suelo por lo que este no es determinante en la presencia de la especie; y se encuentra preferentemente en suelos con pH moderadamente ácidos, además los niveles de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico y nitrógeno son bajos, lo que indica escasez de nutrientes en suelo.

Las variables que tienen mayor influencia sobre la idoneidad de *D. viscosa* son la precipitación del mes más seco (BIO 14), la Isotermalidad (BIO 3), la huella humana y las horas mínimas de sol.

De los tres softwares usados para el modelado de nicho ecológico, el software Maxent mostró mejores resultados de acuerdo al  $AUC = 0.85$ .

La técnica de Modelo de Nicho ecológico, resulto ser una excelente herramienta para predecir áreas de idoneidad ambiental para la especie en estudio y se pudo estimar el rango de presencia en el país.



## 11. LITERATURA CITADA

- Acosta de la Luz, L. 2003. Principios agroclimáticos básicos para la producción de plantas medicinales. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, **8**(1) [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S102847962003000100008&lng=es&nrm=iso](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S102847962003000100008&lng=es&nrm=iso)>. ISSN 1028-4796.
- Aguraiuja, R., Zobel, M., Zobel, K. and Moora, M. 2008. Conservation of the endemic fern lineage *Diellia* (Aspleniaceae) on the Hawaiian Islands: Can population structure indicate regional dynamics and endangering factors? *Folia Geobotánica*, **43**(1):3-18.
- Albuquerque, F., Olalla, T.M.Á., Montoya, D. and Rodríguez, M.Á. 2011. Environmental determinants of woody and herb plant species richness patterns in Great Britain. *Ecoscience*, **18**(4):394-401.
- Ahmad, I., Ahmad, M.S.A., Hussain, M., Ashraf, M. and Ashraf, M.Y. 2011. Spatio-temporal variations in soil characteristics and nutrient availability of an open scrub type rangeland in the sub-mountainous Himalayan tract of Pakistan. *Journal of Botany*, **43**(1):565-571.
- Altieri, M., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, R., Norgaard, R. and Sikor, T.O. 1997. *Agroecología: Bases científicas para una agricultura sustentable*. Editorial Nordan Comunidad. Perú, Lima. 325p.
- Anderson, R. P, Gómez, L.M. and Peterson, A.T. 2002. Geographical distributions of spiny pocket mice in South América: Insights from predictive models. *Global Ecology and Biogeography*, **11**:131-141.
- Angers, D.A. and Caron, J. 1998. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. *Biogeochemistry*, **42**:55-72.
- Aníbal, R. 1986. *Árboles y arbustos útiles de México*. Ed. Limusa. México. 206 p

- Austin, M. 2002 Spatial prediction of species distribution: An interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*, **157**:101-118.
- Barrios, A.F. y Carvajal, Y. 2006. Regionalización de índices de aridez y agresividad climática en Colombia utilizando análisis multivariado. Conformación estadística de una base de datos nacional homogénea. Tesis de Licenciatura. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali.
- Baskin, J.M. and Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seeds Science Research*, **14**:1-17.
- Bautista, C.A., Etchevers, B. y del Castillo, R.F. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. **13** (2):90-97.
- Begon, M. and Mortimeri, M. 1986. *Population Ecology*. Segunda Edición, Ed. Blackwell Scientific Great Britain. United Kingdom.
- Benítez-Rodríguez, J.L. 2005. Estudio ecofisiológico de germinación y crecimiento de *Dodonea viscosa* (L.) Jacq. con fines de restauración en zonas perturbadas del Valle de México. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Benito de Pando, B. 2009. *Ecoinformática aplicada a conservación: simulación de efectos del cambio global en la distribución de la flora de Andalucía*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España.
- Benito, B.M., Cayuela, L. and Albuquerque, F. 2013. The impact of modelling choices in the predictive performance of richness maps derived from species-distribution models: guidelines to build better diversity *Methods in Ecology and Evolution*, **4**(4):327-335.

- Bolaños-Angulo, A., Azero, A.M. and Morales E.A. 2014. Evaluation of the influence of three species: tunal (*Opuntia ficus-indica* L.), chacatea (*Dodonaea viscosa* (L.) Jacq.) and molle (*Schinus molle* (L)) on soil properties in a successional agroforestry system in Combuyo-Vinto. *Acta Nova*, **6**(4):395- 414.
- Bolivar, C.M.S. 2009. Análisis del hábitat óptimo y modelado de nicho ecológico para la conservación del venado cola blanca en el centro de Veracruz. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. Veracruz.
- Brown, S., Gillespe, J.R. and Lugo, A.E. 1989. Biomass estimation for tropical forest with applications to forest inventory data. *Forest Science*, **35**(4): 881-902.
- Buehler, E. and Ungar, L. 2001. Maximum entropy methods for biological sequence modeling. Workshop on Data Mining in Bioinformatics, BIODDD.
- Burrows, C.J. 1995. Germination behavior of the seeds of six New Zealand woody plant species. *New Zealand Journal of Botany*, **33**:365-377.
- Calderón de Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*. Ed. Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán, México. 1406p.
- Calderón de Rzedowski, G. y Rzedowski, J. 2006. Sapindaceae. *Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes*. Fascículo 142. Instituto de Ecología, A.C. Pátzcuaro, Michoacán. México. 70p.
- Calderón-Sáenz, F.M. 1999. *Metodologías para Análisis Químico de Suelos*. Recuperado de <[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_De\\_Suelos/MetodosQuimicosSuelos](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_De_Suelos/MetodosQuimicosSuelos).
- Camacho, F.V., Bustillo O. y González, K. 1991. *Potencial del chapulixtle (Dodonaea viscosa) para la formación de setos en áreas sin riego*. In: Memoria de la Segunda Reunión Nacional sobre Ecología y Reforestación Urbanas. Academia Nacional de Ciencias Forestales, A.C.

México. *In* Multifuncionalidad y manejo campesino del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en una región cálida del Estado de México, 2010.

Camacho, F., González, V. y Mancera, O.A. 2003. *Guía tecnológica para el cultivo del chapulixtle Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. Arbusto útil para producción de tutores hortícolas, control de erosión y setos urbanos. México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. *In* funciones e importancia económica del recurso chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en un ejido del subtrópico Mexicano, 2013.

Castellanos, B.J., Velásquez, A.M., Vargas, J.H., Rodríguez, C.F. y Fierros, A.G. 1996. Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia*, **30**:123-128.

Caswell, H. 1989. *Matrix populations models. Construction and interpretation*. Hal Caswell. USA. 772p.

Cervantes V., Arriaga V., Meave J. y Carabias J. 1998. Growth analysis of nine multipurpose woody legumes native from southern Mexico. *Forest Ecology and Management*, **110**:329-341.

Chase, J.M. and Leibold, M.A. 2003. *Ecological Niches: Linking Classical and Contemporary Approaches*. *The quarterly review of biology*, 79(1): 60-73.

Colín, M. y Juan-Pérez, J. 2007. Restauración ambiental en zonas de extracción de recursos pétreos. El caso de México. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. *In* Multifuncionalidad y manejo campesino del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en una región cálida del Estado de México. *In* Multifuncionalidad y manejo campesino del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en una región cálida del Estado de México, 2013.

CONABIO. 2006 (*Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*). Sapindaceae, *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. Chapulixtle.

<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/sapindaceae/dodonaea-viscosa/fichas/ficha.htm>

- Contreras-Medina, R., Luna-Vega, I. y Ríos-Muñoz, C. 2010. Distribución de *Taxus globosa* (Taxaceae) en México: Modelos ecológicos de nicho, efectos del cambio de uso de suelo y conservación. *Revista chilena de historia natural*, **83**(3):421-433.
- Davies, R.G., Orme, C.D.L., Storch, D., Olson, V.A., Thomas, G.H., Ross, S., Ding, T.S., Rasmussen, P.C., Bennett, P.M., Owens, I.P.F., Blackburn, T.M. and Gaston, K.J. 2007. Topography, energy and the global distribution of bird species richness. *Proceedings of the Royal Society Biological*, **274**:1189-1197.
- Denton, S.R. and Barnes, B.V. 1987. Tree species distributions related to climatic patterns in Michigan. *Canadian Journal of Forest Research*, **17**(7):613-629.
- De la Federación, D.O.F. 2002. *Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000*. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis: México. 85p
- De la Rosa, D. 2008. *Evaluación agro-ecológica de suelos para un desarrollo rural sostenible*. Degradación de Suelos. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 404 p.
- Durán-García, R. 1992. Viabilidad Intra Específica y Dinámica Poblacional de *Pseudophoenix sargentii*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., Huettmann, F., Leathwick, J.R., Lehmann, A., Li, J., Lohmann, L.G., Loiselle, B.A., Manion, G., Moritz, C., Nakamura, M., Nakazawa, Y., Overton, J.M.M., Peterson, A.T., Phillips, S.J., Richardson, K., Scachetti-Pereira, R., Schapire, R.E., Soberon, J., Williams, S., Wisz, M.S. and Zimmerman, N.E. 2006. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, **29**(2):129-151.

- Elith, J., Phillips, S.J., Hastie, T., Dudik, M., Chee, Y.E. y Yates, C.J. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, **17**(1):43-57.
- Elton, C. 1927. *Animal Ecology*. Sidgwick and Jackson, Ltd. London. 260p.
- Enríquez-Peña, G. y Suzán-Azpiri, H. 2011. Estructura poblacional de *Taxodium mucronatum* en condiciones contrastantes de perturbación en el estado de Querétaro, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **82**(1):153-167.
- Farber, O. and Kadmon, R. 2003. Assessment of alternative approaches for bioclimatic modeling with special emphasis on the Mahalanobis distance. *Ecological Modelling*, **160**(1):115-130.
- Foster, R.B. and Hubbell, S.P. 1990. Estructura de la vegetación y composición de especies de un lote de cincuenta hectáreas en la isla de Barro Colorado. *Ecología de un bosque tropical: ciclos estacionales y cambios a largo plazo*. Smithsonian Tropical Research Institute, Balboa, Panama, 141-151p.
- Franklin, R.M., Ploutz-Snyder, L. and Kanaley, J.A. 2009. Longitudinal changes in abdominal fat distribution with menopause. *Metabolism*, **58**(3):311-315.
- García-Aranda, M. A., Estrada-Castillon, A. Eduardo, Jurado-Ybarra, E. y González-Uribe, D.U. 2011. Análisis de once poblaciones naturales de *Taxus globosa* en la Sierra Madre Oriental. *Madera y bosques*. **17**(1): 93-104.
- García, E. 1988. *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. Ed. Offset. México, D.F.
- García, E. 2003. Distribución de la precipitación en la República Mexicana. Investigaciones Geográficas, *Boletín del Instituto de Geografía*, **50**:67-76.

- Gardezki-Abdul, K., Cetina-Alcalá, V.M., Talavera-Magaña, D., Ferrera-Cerrato, R., Rodríguez-Neave, F. y Larqué- Saavedra, M. 2000. Efecto de inoculación con endomicorriza arbuscular y dosis creciente de fertilización fosfatada en el crecimiento de chapulixtle (*Dodonaea viscosa*). *Terra*, **18**(2): 153-159.
- GBIF (Global Biodiversity Information Facility). 2013. GBIF Data Portal. Disponible en: <http://www.gbif.org/>
- Gleason, H. A. 1926. The individualistic concept of plant association. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, **53**(1):7-26.
- Godínez-Alvarez, H., Jiménez, M., Mendoza, M., Pérez, F., Roldán, P., Ríos-Casanova, L. y Lira, R. 2008. Densidad, estructura poblacional, reproducción y supervivencia de cuatro especies de plantas útiles en el Valle de Tehuacán, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **79**(2):393-403
- González-Elizondo, M.S., González-Elizondo, M., López Enríquez, L. Tena-Flores, J., Márquez-Linares, M.A. 2005. Cambios y tendencias sucesiones en ecosistemas de Durango. *Vidsupra*, **1**: 5-11.
- González-Kladiano, V. y Camacho-Morfin, F. 1994. *Avances en la propagación de cuatro especies presentes en El Pedregal de San Ángel D.F.* Reserva Ecológica del Pedregal de San Ángel. Ecología, Historia Natural y Manejo. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F. pp 403-408.
- García-González, M.B. 2002. Inventario y monitorización en poblaciones de especies amenazadas. En: Bañares-Baudet A. (Coor.). *Biología de la conservación de especies amenazadas*. Parques Nacionales. España pp. 27-41.

- González, C., Wang, O., Strutz, S.E., González-Salazar, C., Sánchez-Cordero, V. y Sarkar, S. 2010. Climate change and risk of leishmaniasis in North America: predictions from ecological niche models of vector and reservoir species. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 4(1):585.
- González-Elizondo, M.S., González-Elizondo, M., Tena-Flores, J.A., Ruacho-González, L. y López-Enríquez, I. L. 2012. Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis. *Acta botánica Mexicana*, **100**:351-403.
- Granado-Pérez, L., Núñez-Bazán, R., Martínez-Basulto D., Delfín de León, S., Falcón Hidalgo B., Pérez Hernández, V. y González-Torres, L.R. 2016. Estructura poblacional de *Tabebuia lepidophylla* (Bignoniaceae) en el bosque de pinos sobre arenas cuarcíticas de la Reserva Ecológica Los Pretiles, Pinar del Río, Cuba. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, **37**:29-37.
- Guisan, A. and Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling*, **135**(2):147-186.
- Gutiérrez, E. y Trejo, I. 2014. Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **85**(1): 179-188.
- Hamman, A. and Wang, T.L. 2005. Models of climatic normal for genecology and climate change studies in British Columbia. *Agricultural and Forest Meteorology*, **128**(3-4):211-221.
- Harper, J. and White, J. 1974. The demography of plants. *Annual Review of Ecology and Systematics*, **5**(1):419-463.
- Havlin, J. L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. and Nelson, W.L. 2005. *Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management*. Prentice Hall. Ed Pearson. Nueva Jersey.205p.



- Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P. and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, **25**:1965–1978.
- Hijmans, R. and Elith, J. 2016. *Species distribution modeling with R*. R package version 0.8-11.
- Hodgkinson, K.C. and Oxley, R.E. 1990. Influence of fire and edaphic factors on germination of the arid zone shrubs. *Australian Journal of Botany*, **38**:269-279.
- Hodgkinson, K.C. 1991. Shrub recruitment response to intensity and season of fire in a semi-arid woodland. *Journal of Applied Ecology*, **28**:60-70.
- Hussain, F., Shaukat, S., Ilahi, I. and Zakeriva M.Q. 1991. Note on the germination behaviour of *Dodonaea viscosa* (L) Jaq. *Science Khyber* **4**:45-49.
- Hutchings, M.J. 1997. The structure of plant populations. In: Crawley, M.J. Blackwell Sci., Oxford. Ed. *Plant ecology*, 325–358.
- Hutchinson, G.E. 1957. Concluding remarks. Cold Spring Harbors. *Symposia on Quantitative Biology*, **22**: 415-427.
- INEGI, 2009. *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Historia*. Cuaderno Estadístico Municipal Jalisco, Jocotepec Clave geo estadística 14050. Zapopan, Jalisco.
- INEGI. 2014. *Anuario estadístico y geográfico de Colima*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 382p.
- Ibarra-Montoya, J.L., Rangel-Peraza, G., González-Farías, F.A.; De Anda, J., Martínez-Meyer, E., y Macías-Cuellar, H. 2012. Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta

para predecir la distribución potencial de *Microcystis sp* (cianobacteria) en la Presa Hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente y Agua* **7**:1.

Jarvis, A., Yeaman, S., Guarino, L. and Tohme, J. 2005. The role of geographic analysis in locating, understanding and using plant genetic diversity. *Methods in enzymology*, **98** (395):279-298.

Jasso, L.G. 2016. Identificación de Ironía en textos cortos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. Df.

Juan-Pérez, J.I., Gutiérrez-Cedillo, J.G., Némiga, X.A., Baldera-Plata, M.Á. y Ramírez-Davil, J. F. 2010. Multifuncionalidad y manejo campesino del chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en una región cálida del Estado de México. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, **7**(1):17-33.

Juan-Pérez, J.I. 2013. Funciones e importancia económica del recurso chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en un ejido del subtrópico mexicano. *OIDLES* **7**(14):

Judd, S.W., Campbell, S.C., Kellogg, S.E., Stevens, F.P. and Donoghue, J.M. 2008. *Plant Systematics. A Phylogenetic Approach*. Sinauer Associates, Inc. Edition 3era. Sunderland. Massachusetts, USA. 611 pp.

Killeen, T.J., García, E. y Beck, S.G.1993. *Guía de Árboles de Bolivia*. Herbario Nacional de Bolivia, Missouri Botanical Garden. Editorial del Instituto de Ecología. La Paz, Bolivia. 967 pp.

Khurram, M., Khan-Ali, M., Hameed, A., Abbas, N., Qayum, A., and Inayat, H. 2009. Antibacterial activities of *Dodonaea viscosa* using contact bioautography technique. *Molecules*, **14**(3):1332-1341.

Leak W.B. 1965. The J-shaped probability distribution. *Forest Science*, **11**(4):405-409.

- Leal-Nares, O., Mendoza, M.E., Pérez-Salicrup, D., Geneletti, D., López-Granados, E. y Carranza, E. 2012. Distribución potencial del *Pinus martinezii*: un modelo espacial basado en conocimiento ecológico y análisis multicriterio. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, **83**(4):1152-1170.
- Lennartsson, T. and Oostermeijer, J.G.B. 2001. Demographic variation and population viability in *Gentianella campestris*: effects of grassland management and environmental stochasticity. *Journal of Ecology*. **89**(3):451–46.
- Linares, A.M. 1992. *Comercialización de los recursos forestales de la flora, fauna e insectos de la selva baja caducifolia de Morelos*. Memorias de Avances de Investigación del INIFAP en Selvas Bajas Caducifolias del Estado de Morelos. INIFAP. México.
- Liu, J. and Noshiro, S. 2003. Lack of latitudinal trends in wood anatomy of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae), a species with a worldwide distribution. *American Journal of Botany*, **90**(4):532-539.
- Lobo, J.M. y Piera, F.M. 1991. La creación de un banco de datos zoológico sobre los scarabeidae (Coleoptera: Scarabaeoidea) ibero-baleares: una experiencia piloto. *Elytron*, **5**:31-37.
- López de Lergo, R. 2003. Principales rasgos geográficos de la República Mexicana. *Investigaciones Geográficas*, **50**: 26-41.
- López-Moreno, J. y Cedillo-Portugal, E. 2010. Etnobotánica del “Tohiti” (*Dodonaea viscosa* Jacq.) en Santo Domingo Yodohino y otros datos importantes de esta especie. *Temas de Ciencia y Tecnología* **14**(41):19-26.
- López-Rita, J. y López-Melida, J. 1990. *El diagnostico de suelos y plantas*. Métodos de campo y laboratorio. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 363p.

- Lucero-Villarreal, Z. 2007. *Efecto de tratamiento pregerminativo en la germinación y desarrollo de la chacatea (Dodonaea viscosa) bajo diferentes sustratos en vivero* Tesis Maestría. Facultad de Agronomía. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia.
- Manfron, M.P., Bajerski, L., Malesuik, M.D. and Zanetti, G D. 2010. Morph-anatomy of the leaves of *Dodonaea viscosa* Jacq., Sapindaceae. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, **20**(4), 536-541.
- Martínez-Bustamante, R. y Juan-Pérez, J.I. 2005. Los huertos: una estrategia para la subsistencia de las familias campesinas. *Anales de Antropología*, 39(2):25-50.
- Martínez-Pérez, G., Segovia-Orozco, S. y Martorell, C. 2006. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta Oaxaqueña con características relevantes para la restauración. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, **79**:9-20.
- Mateo, R.G., Felicísimo, Á.M. y Muñoz, J. 2011. Modelos de distribución de especies. Una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, **84**(2):217-240.
- Maza-Villalobos, S., Macedo-Santana, F., Rodríguez-Velázquez, J., Oyama, K. y Martínez-Ramos, M. 2014. Variación de la estructura y composición de comunidades de árboles y arbustos entre tipos de vegetación en la Cuenca de Cuitzeo, Michoacán. *Botanical Sciences*, **92**(2):243-258.
- Medina-Bermúdez, R. 2012. Delimitación de sitios circulares de muestreo en inventarios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, **8**(43):46-60.
- Meza-Álvarez, H. 2006. Estudio ecológico del bosque de piñonero (*Pinus cembroides* Zucc.) del Municipio de Santiago de Anaya. Tesis licenciatura. Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.

- Mezaour, A.D. 2005. *Filtering Web Documents for a Thematic Warehouse Case Study: e Dot a Food Risk Data Warehouse (extended)*. Intelligent Information Processing and Web Mining. Advances in Soft Computing. Vol 31. Ed. Springer, Berlín, Heidelberg. pp 269-278.
- Monreal-García, H.M., Ávila-Reyes, J.A., Delgado-Alvarado, E.A., Cobaleda-Velasco, M., Alanís Bañuelos, R.E., Medina Medrano, J.R. y Reyes Martínez, A. 2014. Caracterización de fenoles de *Fouquieria splendens*, *Dodonaea viscosa* y *Physalis angulata*, por técnicas cromatográficas: resultados preliminares. *Vidsupra*, **6**(1):1-6.
- Mota-Vargas, C., Soto-Rojas, O.R., Lara, C. and Castillo-Guevara, C. 2013. Geographic and ecological analysis of the Bearded Wood Partridge *Dendrortyx barbatus*: some insights on its conservation status, *Bird Conservation International*, **23**(3):371-385.
- Muñoz, J. y Felicísimo, A.M. 2004. A comparison between some statistical methods commonly used in predictive modeling. *Journal of Vegetation Science*, **15**(2):285-292.
- Naoki, K., Gómez, M.I., López, R.P., Meneses, R.I. y Vargas J. 2006. Comparación de Modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, **41**(1):65-78.
- Neteler, M. 2005. Shuttle Radar Topography Mission and VMAP0 data in OGR and GRASS. *GRASS Newsletter*, **3**:2-6.
- Niembro, R. A. 1986. *Árboles y arbustos útiles de México: naturales e introducidos*. Editorial Limusa. México. 206p.
- Nix, H.A. 1986. A biogeographic analysis of the Australian elapids snakes. *In*: Longmore, R. (Ed.). Atlas of the Elapid snakes of Australia. Australian Flora and Fauna, Serie No. 7. Australian Governmen Publishing Service, Canberra, 4-15.

Norma Oficial Mexicana *NOM-059-SEMARNAT-2010*. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres categorías de riesgos y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio lista de especies en riesgo, 78p.

Obernberger, I., Biedermann, F., Widmann, W. and Riedl, R. 1997. Concentrations of Inorganic elements in biomass fuels and recovery in the different ash fractions. *Biomass and bioenergy*, **12**(3): 211-224.

Oostermeijer, J.G.B., Brugman, M.L., De Boer, E.R. and Den Nijs, H.C.M. 1996. Temporal and spatial variation in the demography of *Gentiana pneumonanthe*, a rare perennial herb. *Journal of Ecology*, **84**(2):153-166.

Palacios-Wassenaar, O., Castillo-Campos, G. y Vázquez-Torres, S.M. 2016. Análisis de la estructura poblacional como indicador rápido del estado de conservación de especies arbóreas amenazadas. El caso de *Resinanthus aromaticus* en el centro de Veracruz, México. *Botanical Sciences*, **94**(2):241-252.

Parker, A. J. 1994. Latitudinal gradients of coniferous tree species, vegetation, and climate in the Sierran-Cascade axis of Northern California. *Vegetation*, **115**(2):145-155.

Peters, C. 1996. *The ecology and management of non-timber forest resources*. Technical Paper. World Bank. Washington, D.C. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1596/0-8213-3619->

Peterson, A.T., Soberon, J. and Sánchez-Cordero. 1999. Conservatism of ecological niches in evolutionary time. *Science*, **285**:1265-1267.

Peterson, A.T. and Klusa, D.A. 2003. New distributional modeling approaches for gap analysis. *Animal. Conservation*, **6**(1):47-54.

- Peterson, A.T. and Robins, C.R. 2003. Using ecological- niche modeling to predict barred owl invasions with implications for spotted owl conservation. *Conservation Biology*, **17**(4):1161-1165.
- Peterson, A.T. and Shaw, J. 2003. Lutzomyia vectors for cutaneous leishmaniasis in southern Brazil: ecological niche models, predicted geographic distribution and climate change affects. *International Journal for Parasitology*, **33**(9):919-931.
- Phartyal, S.S., Baskin, J.M., Baskin, C.C. and Thapliyal, R.C. 2005. Physical dormancy in seeds of *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) from India. *Seed Science Research*, **15**(01): 59-61.
- Phillips, S.J., Anderson, R.P. and Scapire, R.E. 2006. Maximum entropy modelling of species geographic distributions. *Ecological Modeling*, **190**(3-4): 231-259.
- Phillips, S.J., Dudík, M. and Schapire, R.E. 2004. A maximum entropy approach to species distribution modeling. Proceedings of the Twenty-First International Conference on Machine Learning, Banff, Canada. Pp 655-662.
- Phillips, S.J. and Dudík, M. 2008. Modeling of species distribution with Maxent: new extensions and a comprehensive evaluation. *Ecography*, **31**:161-175.
- Phillips, S.J., Dudik, M., Elith, J., Graham, C.H., Lehmann, A., Leathwick, J. and Ferrier, S. 2009. Sample selection bias and presence-only distribution models: implications for background and pseudo-absence data. *Ecological Applications*, **19**(1):181-197.
- Plaster, E.J. 2000. *La ciencia del suelo y su manejo*. Editorial Paraninfo. España. 419 p
- Plissock, P. y Fuentes., C.T. 2011. Modelación de la distribución de especies y ecosistemas en el tiempo y en el espacio: una revisión de las nuevas herramientas y enfoques disponibles. *Revista de Geografía Norte Grande*, **48**:61-79.

- Primack, B. R. 1998. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates. Boston University, Estados Unidos. 603.p
- Qadir, S.A. and Lodhi, N. 1971. Germination behavior of seeds of some common shrubs. *Journal of Science*, **1**:84-97.
- Ramírez, D.J. y Juan-Pérez. J.I. 2008. Utilización del Chapulixtle (*Dodonaea viscosa*) en los procesos agrícolas de la comunidad de Progreso Hidalgo, Estado de México. *Revista de Geografía Agrícola*, **40**:19-25.
- Ramos-López, A.L. 2007. *Estudio poblacional de Mammillaria dixanthocentron Backeb. ex Mottram en el Valle de Cuicatlán, Oaxaca*. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional, Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Oaxaca.
- Reed, D.H. 2004. Relationship between population size and fitness. *Conservation Biology*, **19**(2):563-568.
- Renison, D., Cuyckens, G.A., Pacheco, S., Guzmán, G:F., Grau, H R., Marcora, P. and Bellis, L. 2013. Distribución y estado de conservación de las poblaciones de árboles y arbustos del género *Polylepis* (Rosaceae) en las montañas de Argentina. *Ecología austral*, **23**(1):27-36.
- Rojas, A., Cruz. S., Ponce, M.H. and Mata, R. 1996. Smooth muscle relaxing compounds from *Dodonaea viscosa*. *Planta Médica*, **62**(2):154-159.
- Rosa, S G. y Ferreira, A.G. 2001. Germinação de sementes de plantas medicinais lenhosas. *Acta Botanica Brasilica*, **15**:147-154.
- Ruíz-Corral, J. A., Medina-García, G., Grageda-Grageda, J., Silva-Serna, M. M. y Díaz-Padilla, G. 2005. *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Sonora* (Período 1961-2003) Inifap. Centro de Investigación Regional del Noroeste. Sonora, México. 171p.



- Ruiz-Corral, J.A., Díaz-Padilla, G., García-Nieto, H., Silva-Serna, M. y Medina-García, G. 2007. *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Guanajuato* (Período 1961-2003). Libro Técnico número 1. Inifap. Centro de Investigación regional del Centro. Celaya, Guanajuato, México. 204p.
- Ruiz-Corral, J.A., Flores López, H.E., Regalado Rubalcaba, J.R. y Ramírez Ojeda, G. 2012. *Estadísticas climáticas normales del estado de Jalisco*. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro Jalisco, México. 358p.
- Ruiz-Corral, J.A., Sánchez-González, J. de J., Medina-García, G., Ramírez-Díaz, J.L., Aragón-Cuevas, F., Ortega-Corona, A., Hernández-Casillas, J.M., y Ramírez-Ojeda, G. 2011. Razas mexicanas de maíz como fuente de germoplasma para la adaptación al cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, **3**(2):365-379.
- Rzedowski, J. 1954. *Vegetación del Pedregal de San Ángel*, Distrito Federal. Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México. 59-129.
- Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. Ed. Limusa. México. 492p
- Saavedra, M.S. 1994. Dinámica y manejo de poblaciones de malas hierbas. *Planta Daninha*, **12**(1):29-38.
- Sanderson, E.W., Jaiteh, M., Levy, M.A., Redford, K.H., Wannebo, A.V. and Woolmer, G. 2002. The human footprint and the last of the wild. *BioScience*, **52**:891-904.
- Salazar-Sánchez, L.M., Rosales-Serna, R., Jiménez-Ocampo, R., Ríos-Saucedo, J.C., Sigala-Rodríguez, J.A., Carrillo-Parra, A., Domínguez-Martínez, P.A. y Martínez-Fernández, M. 2015. Optimización calorífica en especies vegetales con potencial para la producción de biomasa dendroenergética en Durango. *Agrofaz*, **15**(1):147-154.

- Santibañez, G.E. 2014. Captura y almacenamiento de carbono para mitigar el cambio climático: modelo de optimización aplicado a Brasil. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, **30**(3):235-245.
- Schmitt, J.L. and Windisch, P.G. 2006. Growth rates and age estimates of *Alsophila setosa* Kaulf. In Southern Brazil. *American Fern Journal*, **96**(4):103-111.
- Segura, M. y Andrade, H.J. 2008. ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*, **46**:89-96.
- Silvertown, J., Franco. M. and Menges, E. 1996. Interpretation of elasticity matrices as and aid to the management of plant populations for conservation. *Conservation Biology*, **10**(2):591-597.
- Soberón, J. 2002. *Ecología de poblaciones*. Fondo de Cultura Económica. México. 149p.
- Soberon, J. and Peterson, A.T. 2005. Interpretation of models of fundamental ecological niches and species distributional areas. *Biodiversit Informatics*, **2**:1-10.
- Socio Economic Data and Application Centre Recuperado de (<http://www.ciesin.org>).
- Swaine M.D. and Hall J.B. 1988. The mosaic theory of forest regeneration and the determination of forest composition in Ghana. *Journal of Tropical Ecology*, **4**(3):253-269.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. and Araújo, M.B. 2009. BIOMOD a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography*, **32**(3):369-373.
- Torrice, G., Peca, C., Beck, S. y García, E. 1994. *Leñosas útiles de Potosí*. Proyecto FAO/ Holanda/CDF, Potosí. G. 469p.

- Tsoar, A., Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D. and Kadmon, R. 2007. A comparative evaluation of presence-only methods for modelling species distribution. *Diversity and distributions*, **13**(4):397-405.
- USGS (US Geological Survey). 2014. Global 30 Arc-Second Elevation (GTOPO30). Available from <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>.
- USDA, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1999). “Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo. Recuperado de <http://soils.usda.gov/sqi/assessment/files/KitSpanish.pdf>.
- Vallejo-Quintero, V.E. 2013. Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, **16**(1):83-96.
- Vargas, J.H., Consiglio, T.P., Jorgensen, M. and Croat, T.B. 2004. Modelling distribution patterns in a species-rich plant genus, *Anthurium* (Araceae), in Ecuador. *Diversity and Distributions*, **10**(3):211-216.
- Veerapur, V.P., Prabhakar, K.R., Parihar, V.K., Bansal. P., Srinivasan, K.K., Priyadarsini, K.I. and Unnikrishnan, M.K. 2010. Antidiabetic, hypolipidaemic and antioxidant activity of *Dodonaea viscosa* aerial parts in streptozotocin-induced diabetic rats. *International Journal of Phytomedicine*, **2**:59-70.
- Villarroel, A.J. 1988. *Manual Práctico para la Interpretación de Análisis de Suelos en Laboratorio*. Facultad de Agronomía. Bolivia. Agruco. 34p.
- Villaseñor-Rios, J.L. y Espinosa-García, F J. 1998. *Catálogo de malezas de México*. Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario. Fondo de Cultura Económica. México.448p.

World Meteorological Organization (WMO). 2011. *Guide to climatological practices*. Edition WMO 100. Geneva, Switzerland. 117p.

Yáñez-Cajo, D., Moreno, M., Chaguamate, L., Valencia, N. y Rueda-Ayala, V. 2016. Aplicación de Modelos de Nicho Ecológico para estudios Epidemiológicos: *Triatoma dimidiata*, vector de la Enfermedad de Chagas en Ecuador. *Revista Politécnica*, **37**(1):88-92.

Zar, J.H.1984. *Biostatistical Analysis*. Second Edition. Ed Prentice-Hall, Englewood Cliffs NJ. 1120 p.