



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN
PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
UNIDAD DURANGO**

**Disturbio y variables ambientales asociados a
la presencia de *Dodonaea viscosa* en los
municipios de Durango y Mezquital, Durango**

TESIS

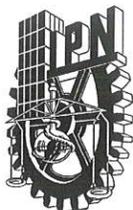
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**PRESENTA
ROCÍO RIVAS GONZÁLEZ**

DIRECTORES:

**DRA. M. SOCORRO GONZÁLEZ ELIZONDO
DR. JORGE ALBERTO TENA FLORES**

Victoria de Durango, Dgo., Diciembre de 2019



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Durango, Dgo. siendo las 14:00 horas del día 25 del mes de noviembre del 2019 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del: CIIDIR-IPN Unidad Durango para examinar la tesis titulada: Disturbio y variables ambientales asociadas a la presencia de *Dodonaea viscosa* en los municipios de Durango y Mezquital, Durango

Presentada por el alumno:

RIVAS

GONZÁLEZ

ROCÍO

Apellido paterno

Apellido materno

Nombre(s)

Con registro:

B	1	7	0	3	3	1
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN GESTIÓN AMBIENTAL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. María del Socorro González Elizondo

Dr. Jorge Alberto Tena Flores

Dra. Martha González Elizondo

Dr. Arturo Castro Castro

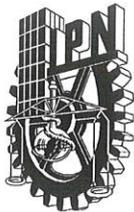
Dr. Isaías Chairez Hernández

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
I.P.N.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REGISTRO DE TEMA DE TESIS Y DESIGNACIÓN DE DIRECTORES DE TESIS

México, D.F. a 04 de junio del 2019

El Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CIIDIR-IPN Durango en su sesión extraordinaria No. 1 celebrada el día 24 del mes de mayo conoció la solicitud presentada por el(la) alumno(a):

RIVAS
Apellido paterno

GONZÁLEZ
Apellido materno

ROCÍO
Nombre (s)

Con registro:

B	1	7	0	3	3	1
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de: Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental

1.- Se designa al aspirante el tema de tesis titulado:

Disturbio y variables ambientales asociadas a la presencia de *Dodonaea viscosa*, en los municipios de Durango y Mezquital, Durango

De manera general el tema abarcará los siguientes aspectos:

2.- Se designan como Directores de Tesis a los Profesores:

Dra. María del Socorro González Elizondo y el Dr. Jorge Alberto Tena Flores

3.- El trabajo de investigación base para el desarrollo de la tesis será elaborado por el alumno en:
El CIIDIR-IPN Unidad Durango

que cuenta con los recursos e infraestructura necesarios.

4.- El interesado deberá asistir a los seminarios desarrollados en el área de adscripción del trabajo desde la fecha en que se suscribe la presente hasta la aceptación de la tesis por la Comisión Revisora correspondiente:

Directores de Tesis

Dra. María del Socorro González Elizondo

Aspirante

Lic. en Biol. Rocío Rivas González

Dr. Jorge Alberto Tena Flores

Presidente del Colegio

Dr. Eduardo Sánchez Ortiz



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD DURANGO
IPN.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Durango, Dgo., el día **25** del mes de **noviembre** del año **2019**, la que suscribe **Rocío Rivas González** alumna del Programa de **Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental**, con número de registro **B170331**, adscrita al **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango. CIIDIR-IPN Unidad Durango**, manifiesta que es la autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la **Dra. María del Socorro González Elizondo** y del **Dr. Jorge Alberto Tena Flores** y cede los derechos del trabajo titulado “**Disturbio y variables ambientales asociadas a la presencia de *Dodonaea viscosa* en los municipios de Durango y Mezquital, Durango**”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso de la autora y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones tio1984@hotmail.com, herbario_ciidir@yahoo.com.mx y jorge@tena-flores.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.



ROCÍO RIVAS GONZÁLEZ

El presente trabajo se llevó a cabo en el Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, del Instituto Politécnico Nacional, bajo la dirección de la Dra. M. Socorro González Elizondo y el Dr. Jorge A. Tena Flores.

A mis padres, Rosalinda y José (†) espero que estén orgullosos de mi como yo lo estoy de Ustedes (hasta el cielo papito).

A mi hija Kamila, te amo. Eres mi mayor motivación y lo mejor que he hecho en mi vida.

A mi esposo Omar, mi compañero de vida en las buenas y en las malas.

A mis hermanos Roberto, Alejandra y Patricia, por motivarme y apoyarme.

Agradecimientos

Sin duda, esta resultó ser la parte más difícil para escribir, ya que son bastantes las personas que hicieron posible que culminara satisfactoriamente con este trabajo de investigación.

A Dios por permitirme vivir estos momentos y experiencias, por siempre poner en mi camino a las personas correctas. Por sus tiempos perfectos.

A mis padres, Rosalinda González y José Rivas (†), gracias por todo su amor, apoyo y esfuerzo y por enseñarme valores que me han hecho una persona de bien.

A mi esposo Omar Gurrola, por apoyarme, ayudarme, escucharme y motivarme, sabes que las cosas hubieran sido más difíciles para mí sin ti. Gracias por estar a mi lado, compañero de vida.

A mi hija Kamila Gurrola, gracias por tu paciencia chiquita hermosa y a tu corta edad tratar de comprender por qué a veces mamá no podía bañarte o ayudarte a hacer tu tarea o jugar contigo. Eres mi mayor inspiración y motivación, te amo con toda mi alma.

A mi directora de tesis, Dra. Ma. Socorro González Elizondo, gracias por recibirme, orientarme, enseñarme, aconsejarme y escucharme. Es un gran ser humano, es un honor para mí que sea parte de esta meta.

A mi comité tutorial, Dra. Ma. Socorro González Elizondo, Dra. Martha González Elizondo, Dr. Jorge Alberto Tena Flores y Dr. Arturo Castro Castro. Gracias por el tiempo que le dedicaron a este trabajo, los conocimientos compartidos, las críticas y jalones de orejas y sobre todo por su paciencia.

Al Dr. Isaias Chairez Hernández, miembro de mi comité revisor, el Dr. Gustavo Pérez Verdín y el Dr. Jorge A. Tena Flores, por el apoyo en realizar los análisis estadísticos, por escuchar mis dudas y orientarme respecto a la interpretación de los resultados y análisis estadísticos de este trabajo.

Al Dr. Jonathan Escobar, por su apoyo en la aplicación de los sistemas de información geográfica.

A todos los que me ayudaron en la identificación del material colectado, el cual formó parte importante para los análisis de este proyecto: la Dra. Ma. Socorro González Elizondo, el Dr. Jesús Guadalupe González Gallegos, la Dra. Yolanda Herrera Arrieta, el Dr. Arturo Castro Castro, el M. en C. Heriberto Ávila González y el M. en C. Fernando Colín, gracias por ese gran apoyo.

A los compañeros del Herbario CIIDIR, el Biol. Jorge Noriega, la M. en C. Lorena López y la M. en C. Lizeth Ruacho, muchas gracias por esas pláticas, ese apoyo y esas porras.

A las personas que me ayudaron en el trabajo de campo, Biol. Fernando, M. en C. Omar Gurrola, a los Sres. José Antonio Vázquez y Tomás Manuel Rodríguez, gracias por su ayuda, la cual fue muy importante para que este trabajo se pudiera realizar.

A mis compañeros de Maestría, Tanya Nerina, Tania Libertad, Liz, Isela, Bárbara, Judith, Jaciel, Angélica, Olga, Raúl, Cinthya, Heriberto y Eduardo. Fue una de las mejores etapas de mi vida compañeros.

Al CONACyT por la beca otorgada para la realizar mis estudios de Maestría y al CIIDIR Durango, por darme la oportunidad de realizar esta meta personal y profesional.

Y a todos los que hicieron posible este trabajo, gracias.

ÍNDICE

Relación de figuras.....	i
Relación de cuadros.....	iii
Resumen.....	v
Abstract.....	vi
INTRODUCCIÓN.....	1
I. ANTECEDENTES.....	3
1.1. ESPECIES INVASORAS.....	3
1.1.1 Características de las especies invasoras que las hacen exitosas.....	4
1.1.2 Impacto de las especies invasoras en el ecosistema.....	4
1.1.3 Situación actual de las especies invasoras en el país.....	5
1.2. <i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	6
1.2.1 Descripción de la especie.....	6
1.2.2 Requerimientos ambientales.....	7
1.2.3 Distribución.....	7
1.3. DISTURBIOS.....	8
1.3.1 Tipos de disturbio.....	8
1.3.2 Evaluación del disturbio.....	10
1.4. MANEJO SUSTENTABLE.....	13
II. JUSTIFICACIÓN.....	14
III. OBJETIVOS.....	15
OBJETIVO GENERAL.....	15
IV. HIPÓTESIS.....	15
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
5.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	16
5.1.1 Localización.....	16
5.1.2 Características ambientales.....	16
5.2. TRABAJO DE CAMPO.....	18
5.2.1 Registro de variables ambientales y físicas.....	21
5.2.3 Muestreo de <i>D. viscosa</i>	22
5.2.4 Muestreo de herbáceas para grupos funcionales.....	23
5.3. ANÁLISIS DE DATOS.....	24

5.3.1 Relación de presencia de <i>D. viscosa</i> con disturbio y variables ambientales	24
Redes Neuronales Artificiales (RNA)	24
5.3.2 Relación de presencia de <i>D. viscosa</i> con grupos funcionales	26
VI. RESULTADOS	27
6.1. VARIABLES AMBIENTALES Y PRESENCIA DE <i>D. viscosa</i>	27
6.2. RELACIÓN DE <i>D. viscosa</i> CON DISTURBIO Y VARIABLES AMBIENTALES	30
6.2.1 Densidad y cobertura de <i>D. viscosa</i> en adultos, con relación a disturbio, variables físicas y topográficas	30
6.3. RELACIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES CON PRESENCIA DE <i>D. viscosa</i>	36
VII. DISCUSIÓN	52
7.1. VARIABLES AMBIENTALES Y PRESENCIA DE <i>D. viscosa</i>	52
7.1.2 Relación de <i>D. viscosa</i> con disturbio	57
7.1.3 Consideraciones de manejo de la especie	60
7.1.4 Estudio de especies invasoras	61
7.2. GRUPOS FUNCIONALES	62
7.2.1 Relación de grupos con <i>D. viscosa</i>	62
VIII. CONCLUSIONES	65
IX. RECOMENDACIONES	66
X. BIBLIOGRAFÍA	67
XI. ANEXOS	79

Relación de figuras

Figura 1. <i>Dodonaea viscosa</i> en bosque de pino-encino.....	6
Figura 2. Frutos de <i>Dodonaea viscosa</i>	6
Figura 3. Área de estudio.	19
Figura 4. Ejemplo del trazado de los puntos de muestreo.	19
Figura 5. Sitio Cuatro de Octubre (semiárido templado).	20
Figura 6. Sitio Troncón y Agua Zarca (semárido semicálido).	20
Figura 7. Ilustración de cuadrante centrado en un punto.	23
Figura 8. Modelo de red neuronal.	25
Figura 9. Frecuencia de topoformas, clima templado al sur de Durango, México.....	28
Figura 10. Frecuencia de topoformas, clima semicálido, al sur de Durango, México.28	
Figura 11. Frecuencia de exposiciones en presencia y ausencia de <i>D. viscosa</i> en clima templado, al sur de Durango, México.....	29
Figura 12. Frecuencia de exposición en presencia o ausencia de <i>D. viscosa</i> en clima semicálido, al sur de Durango, México.....	29
Figura 13. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura de <i>D. viscosa</i> en clima templado al sur de Durango, México.....	31
Figura 14. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en regeneración de <i>D. viscosa</i> en clima templado del sur de Durango, México.....	32
Figura 15. Porcentaje de pesos de las variables topográficas y ambientales con respecto a la densidad y cobertura de individuos adultos y regeneración de <i>D. viscosa</i> en clima templado, al sur del Durango, México.....	33
Figura 16. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en individuos adultos de <i>D. viscosa</i> en clima semicálido, al sur de Durango, México.....	34
Figura 17. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en regeneración de <i>D. viscosa</i> , clima semicálido.....	35
Figura 18. Porcentaje de pesos de las variables topográficas y ambientales con respecto a la densidad y cobertura de individuos adultos y regeneración de <i>D. viscosa</i> en clima semicálido, al sur del Durango, México.....	36
Figura 19. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por hábito en ausencia y presencia de <i>D. viscosa</i> , clima templado.	40
Figura 20. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en presencia y ausencia de <i>D. viscosa</i> , clima templado.....	41
Figura 21. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por hábito en ausencia y presencia de <i>D. viscosa</i> , clima semicálido	42
Figura 22. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en presencia y ausencia de <i>D. viscosa</i> , clima semicálido.....	42
Figura 23. Condición de <i>D. viscosa</i> , clima templado (A) y sitio clima semicálido (B).52	

Figura 24. Condición de <i>D. viscosa</i> en clima templado (A) y en el de clima semicálido (B).	53
Figura 25. Erosión eólica e hídrica en área de estudio.	54
Figura 26. Pedregosidad y afloramiento rocoso con presencia de <i>D. viscosa</i> , en clima templado.....	56
Figura 27. Pedregosidad y afloramiento rocoso con presencia de <i>D. viscosa</i> , en clima semicálido.	56
Figura 28. Compactación de suelo debida a sobrepastoreo en sitio de clima semicálido.	57
Figura 29. Presencia de ganado en área de estudio.....	58

Relación de cuadros

Cuadro 1. Definición de los conceptos usados para caracterizar disturbios ambientales.....	11
Cuadro 2. Expresión del disturbio en varios niveles de organización.....	12
Cuadro 3. Resumen del historial climatológico en los dos sitios de muestreo. Estación Santiago Bayacora para el sitio Cuatro de Octubre y Estación Troncón y Agua Zarca.	17
Cuadro 4. Descripción de topoformas.....	21
Cuadro 5. Matriz variables ambientales y de disturbio.....	25
Cuadro 6. Matriz de variables para grupos funcionales.....	26
Cuadro 7. Puntos muestreados en los sitios de estudio.....	27
Cuadro 8. Resumen del modelo, en individuos adultos de <i>D. viscosa</i> con relación a variables físicas y topográficas. en clima templado al sur del estado de Durango....	30
Cuadro 9. Resumen del modelo de regeneración de <i>D. viscosa</i> con relación a variables físicas y topográficas en clima templado al sur del estado de Durango....	31
Cuadro 10. Resumen del modelo, en individuos adultos de <i>D. viscosa</i> en relación con variables físicas y topográficas. en clima semicálido al sur del estado de Durango..	34
Cuadro 11. Resumen del modelo de regeneración de <i>D. viscosa</i> con relación a variables físicas y topográficas en clima semicálido al sur del estado de Durango. ..	35
Cuadro 12. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y <i>D. viscosa</i> , clima templado.....	37
Cuadro 13. Resumen de análisis de correlación entre <i>D. viscosa</i> y el grupo funcional por hábito, clima templado.. ..	37
Cuadro 14. Resumen del análisis de regresión entre <i>D. viscosa</i> y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en clima templado.....	38
Cuadro 15. Resumen de análisis de correlación entre <i>D. viscosa</i> y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima templado.....	38
Cuadro 16. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y <i>D. viscosa</i> , clima semicálido.....	38
Cuadro 17. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y <i>D. viscosa</i> , clima semicálido.....	39
Cuadro 18. Resumen del análisis de regresión entre <i>D. viscosa</i> y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima semicálido.. ..	39
Cuadro 19. Resumen del análisis de correlación entre el grupo funcional por origen y <i>D. viscosa</i> , clima semicálido.....	40
Cuadro 20. Especies con mayor abundancia del grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima templado.	41
Cuadro 21. Especies con mayor abundancia dentro del grupo funcional de tolerantes a disturbio, clima semicálido.....	43
Cuadro 22. Especies registradas en clima templado (Cuatro de Octubre).....	43

Cuadro 23. Especies registradas en clima semicálido (Troncón y Agua Zarca)..... 48

Resumen

Los disturbios, ya sea naturales o antrópicos, ejercen una fuerte influencia para determinar cuáles especies se establecen en un área. Las actividades humanas han impactado negativamente a los sistemas naturales, particularmente cuando la recurrencia de las perturbaciones es constante y no se da a los sistemas el tiempo necesario para restablecerse. Un efecto asociado a estas acciones es el establecimiento de especies invasoras, como es el caso de *Dodonaea viscosa*, una planta de distribución pantropical que está ocupando sitios en hábitats de clima templado y semicálido fuera de su área de distribución original. El objetivo de este trabajo fue definir el tipo y grado de disturbio que favorece la abundancia de *D. viscosa* al sur del estado de Durango. Se seleccionaron dos sitios en los municipios de Durango y Mezquital. Se trazaron 30 puntos en cada sitio para evaluar el disturbio, el cual fue analizado mediante redes neuronales. Los resultados muestran una relación entre el sobrepastoreo y la abundancia de *D. viscosa* y una relación clara entre la presencia de esta especie y la erosión eólica e hídrica, aunque no es claro si la erosión propicia el establecimiento de la especie o si es la presencia de la especie lo que causa erosión debido a sus efectos alelopáticos. Un inventario de la flora y grupos funcionales por hábito, por origen y por tolerancia al disturbio, analizado mediante regresiones y correlaciones con la abundancia de *D. viscosa*, muestra correlación entre *Dodonaea* y la presencia de especies arbustivas en el sitio de clima semiárido templado, mientras que en el clima semicálido se presenta una mayor correlación con el grupo funcional de tolerantes al disturbio, con las especies invasoras y con las tolerantes al estrés.

Palabras clave: erosión, especies invasoras, grupos funcionales, perturbación.

DISTURBANCE AND ENVIRONMENTAL VARIABLES ASSOCIATED WITH THE PRESENCE OF *Dodonaea viscosa* IN THE MUNICIPALITIES OF DURANGO AND MEZQUITAL, DURANGO

Abstract

Disturbance, whether natural or anthropic, exert a strong influence on which species establish in any given area. Human activities have negatively impacted natural systems, particularly when the recurrence of disturbances is constant and systems are not given the necessary time to restore themselves. This favors the establishment of invasive species, such as *Dodonaea viscosa*, a pantropical plant that is occupying sites in temperate and semi-warm climate habitats outside its original range. The objective of this work was to define the type and degree of disturbance that favors the abundance of *D. viscosa* at the south of the state of Durango, Mexico. Two sites were selected in the municipalities of Durango and Mezquital. 30 plots were drawn at each site to assess the disturbance, which was analyzed using neural networks. The results show a relationship between overgrazing and the abundance of *D. viscosa* and a clear relationship between the presence of this species and wind and water erosion, although it is not clear if erosion favors the establishment of the species or if it is the presence of the species which causes erosion, perhaps due to its allelopathic effects. An inventory of the flora and functional groups by habit, origin and tolerance to disturbance, analyzed by regressions and correlations with the abundance of *D. viscosa*, shows a correlation between *Dodonaea* and the presence of shrubs in the temperate semi-arid site, while in the semi-warm climate there is a correlation with the disturbance tolerance group, particularly with the invasive and stress-tolerant species.

Key words: erosion, functional groups, invasive species, disturbance.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los ecosistemas en el mundo han presentado cambios y modificaciones en su composición, estructura y función a causa de disturbios generalmente antropogénicos, como resultado de lo cual algunos de esos ecosistemas ya no son capaces de prestar ningún servicio ambiental (Vargas y Reyes 2011).

Entre los principales cambios a los ecosistemas derivados de actividades humanas están las alteraciones de la vegetación natural. En México, los disturbios más comunes son el desmonte, la tala no planificada, el sobrepastoreo, los incendios y la sobreexplotación de algunas especies de valor económico (Rzedowski 2006). Estos tipos de disturbio se consideran no lineales o crónicos, es decir, no se presentan en un momento puntual en el tiempo y en el espacio, sino que la carga humana se mantiene, lo cual no permite al sistema que se recupere, llevándolo al colapso (Vega y Peters 2007).

Lo anterior facilita la entrada y el establecimiento de especies oportunistas e invasoras, las cuales pueden llegar a aumentar en número y formar poblaciones que terminan desplazando o incluso eliminando a las especies nativas.

No hay un consenso entre los expertos referente a los conceptos de invasiones biológicas, lo cual es muy necesario. Un acuerdo en la concepción de este fenómeno facilitaría la comprensión y comunicación entre estudiantes, maestros y políticos. El trabajo aquí presentado se basa en los conceptos usados por Enders *et al.* (2019) y Richardson *et al.* (2011).

El área de estudio se encuentra al sur del estado de Durango. Forma parte de la cuenca del río San Pedro Mezquital, el cual comienza su curso en las sierras más altas de Durango y Zacatecas, entre bosques de pino-encino que albergan una gran biodiversidad (WWF 2012). La especie *Dodonaea viscosa* Jacq. está ocupando hábitats diferentes a los de su distribución natural, entrando a bosques abiertos, bosques de pino-encino, matorrales xerófilos y pastizales. Dadas sus características

biológicas y reproductivas, esta planta debe ser considerada como una especie invasora potencial (Laguna Lumbreras y Sánchez de Lorenzo 2009).

Este trabajo tiene por objetivo determinar el grado y tipo de disturbio que favorecen la presencia de *D. viscosa* en los municipios de Durango y Mezquital, Durango, así como registrar la vegetación y la flora asociadas a esta especie. El área de estudio abarca dos sitios, uno situado en clima semiárido templado y el otro en clima semicálido, con la finalidad de ver el comportamiento que presenta *D. viscosa* bajo distintas condiciones climáticas.

I. ANTECEDENTES

1.1. ESPECIES INVASORAS

Dependiendo de su historia y de su capacidad de dispersión, las especies pueden ocupar grandes extensiones de territorio o estar restringidas a pequeñas regiones. La principal causa de que las especies modifiquen su distribución son las actividades humanas, perturbando y destruyendo hábitats, estableciendo barreras y corredores, transportando especies a regiones distintas de su distribución original (Mendoza y Koleff 2014).

Con base a su centro de origen las especies se pueden clasificar en nativas, exóticas e invasoras (Richardson *et al.* 2011).

Especie nativa. Es aquella que se encuentra dentro de su área de distribución natural y original (histórico o actual) de acuerdo con su potencial de distribución natural. Las especies nativas tienen relaciones evolutivas y ecológicas con otras especies con quienes han compartido su historia, lo que las hace tener una adaptación a las condiciones locales (Mendoza y Koleff 2014).

Especie exótica (sinónimos: extranjera, no indígena, no nativa, introducida). Es aquella cuya presencia en una región se atribuye a la actividad humana, la cual le permitió traspasar las barreras biogeográficas fundamentales (es decir, distribución fuera del rango mediada por el humano) (Richardson *et al.* 2011).

Especie invasora. En términos ecológicos y biogeográficos, son especies exóticas que mantienen poblaciones las cuales logran reemplazarse a sí mismas a lo largo de varios ciclos de vida, producen descendencia reproductiva a distancias considerables del progenitor y/o sitio de introducción y tienen el potencial de extenderse a largas distancias (Richardson *et al.* 2011).

SEMARNAT (2011), considera como especie invasora “aquella que puede alcanzar un tamaño poblacional capaz de desplazar o eliminar a otras especies dentro de un

hábitat o un ecosistema, alterando la estructura, composición y funcionalidad de éste”.

El proceso de invasión biológica requiere la introducción de la especie en un área biogeográfica distinta a la original, posteriormente su establecimiento, la persistencia en el área colonizada y su propagación a grandes distancias del área de donde fue introducida (Jeschke y Strayer 2006).

Para enfrentar a las especies invasoras son necesarias acciones eficientes de prevención y detección temprana para reducir intervenciones costosas de erradicación, contención o mitigación de sus efectos (Koleff *et al.* 2010).

1.1.1 Características de las especies invasoras que las hacen exitosas

Entre las ventajas que hacen que algunas invasoras sean exitosas está su rápido crecimiento y plasticidad en respuesta a cambios en las condiciones ambientales (Oliver 1996). Algunas plantas invasoras pueden mostrar diversidad en su fenología (Xu *et al.* 2004; Muth 2014). Esa plasticidad fenológica les ayuda a distribirse a gran escala o adaptarse rápidamente a cambios en el ecosistema (Muth 2014). Adicionalmente, algunas de estas plantas son alelopáticas, lo que no permite que haya crecimiento de otras especies cerca de ellas (Muth 2014).

En contraparte, por su historia evolutiva o su aislamiento, las especies nativas y endémicas cohabitan, se relacionan y sobreviven junto con otras especies del mismo ecosistema, logrando un equilibrio dinámico a partir de procesos evolutivos de largo tiempo. Esto no sucede con especies con las que no han tenido contacto. Por esta razón las especies introducidas pueden tener una ventaja frente a las nativas. Los mecanismos de defensa de las especies nativas son limitados o están del todo ausentes para enfrentar a las especies introducidas (Primack 2002).

1.1.2 Impacto de las especies invasoras en el ecosistema

Las especies invasoras son la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, después del cambio de uso de suelo (Glowka *et al.* 1996). De igual forma, representan una de las mayores amenazas que tienen los ecosistemas para su

biodiversidad y función (Ruesink *et al.* 1995). Lo anterior debido a que modifican la composición, condición, forma, estructura y la naturaleza de un ecosistema (Richardson *et al.* 2000).

Una especie invasora puede impactar y causar daños a un ecosistema, tanto en los servicios ambientales, salud humana, salud vegetal y animal. Sin embargo, no se han evaluado realmente las dimensiones del impacto que pueda causar, tanto a nivel ecológico como social y económico (Comité Asesor sobre Especies Invasoras 2010). Puede causar efectos negativos de manera directa o indirecta. Conforme se dispersan y desarrollan en los hábitats, modifican la composición del suelo, los recursos y la dinámica del ecosistema lo que da lugar a cambios fundamentales en las comunidades de plantas y animales a nivel taxonómico y funcional (Randall 1996).

Se pueden dar casos en que las plantas invasoras son más atractivas para los polinizadores (tal vez porque su néctar sea más dulce o de mayor cantidad respecto al de las nativas), en este caso, las nativas presentan cambios en su composición y abundancia debido a que tienen menos visitas de polinizadores, lo que da como resultado menor propagación de semillas para su reproducción (Matthews 2005).

La asociación de las especies invasoras y el cambio climático, da como resultado una interacción de efectos negativos en los ecosistemas. El aumento de la temperatura en el mar, sobre todo en el invierno, propicia que especies invasoras se establezcan y subsistan fuera de su centro de origen, procedentes de sitios con temperaturas más cálidas y templadas (Stachowicz *et al.* 2002; Hellmann *et al.* 2008; Low 2008).

1.1.3 Situación actual de las especies invasoras en el país

Para México se registran 681 especies de plantas invasoras, de las cuales 21 son de ambiente dulceacuícola, una de ambiente marino, 25 en ambiente dulceacuícola-terrestre y 633 de ambiente terrestre (SEMARNAT 2017). Sin embargo, en el país se le da prioridad y se realizan acciones sólo con las especies de plantas que generan perjuicios económicos al sector agrícola y pecuario, dejando a un lado las especies

que afectan o pueden afectar a la biodiversidad terrestre, marina o dulceacuícola (Mendoza y Koleff 2014).

En México se incluye en la categoría de invasoras solamente a especies que no sean nativas del país. Por esta razón, *Dodonaea viscosa* queda excluida de la lista de invasoras ya que no fue introducida por el humano a los límites políticos del país. Sin embargo, se trata de una especie que presenta características de invasora y que está ocupando hábitats que no corresponden a su distribución ecológica original.

1.2. *Dodonaea viscosa* Jacq.

1.2.1 Descripción de la especie

Es conocida con los nombres de matagusano, chapulixtle, jarilla, hierba de la cucaracha, cuerno de cabra, entre otros. Es un arbusto o árbol de hasta 5 m de alto, muy raramente hasta de 10 m, perennifolio, con hojas sésiles o casi sésiles, angostas, de hasta 12 cm de longitud, resinosas en la cara superior. Con flores hermafroditas y/o unisexuales verdosas, amarillentas o algo blanquecinas, con 3 a 4 sépalos ovados a oblongos. Flores hermafroditas protándricas con (5)8(10) estambres, de filamentos de 0.5 a 1 mm de largo y anteras oblongo-tetrágonas, ovario conspicuamente víscido y/o algo pubescente, estilo de (1.5)3 a 4(7) de largo, disco generalmente representado por un estípite; flores masculinas semejantes a las hermafroditas pero carentes de disco y ovario o más frecuentemente con un pistilo diminuto central. El fruto presenta tres alas que facilitan su dispersión por viento (Calderón y Rzedowski 2006; Laguna Lumbreras y Sánchez de Lorenzo 2009) (Figuras 1 y 2).



Figura 1. *Dodonaea viscosa* en bosque



Figura 2. Frutos de *Dodonaea viscosa*.

1.2.2 Requerimientos ambientales

Dodonaea viscosa es una especie tolerante a climas cálidos, semiáridos o subhúmedos, preferentemente con sequía invernal, los climas con lluvia durante todo el año no le son favorables. Posee una adaptación rápida a temperaturas altas y oscilaciones diarias como también estacionales. Puede tolerar heladas leves. Es demandante de luz y tolerante a las sequías, sombras y vientos. El componente edáfico no es un elemento determinante para el crecimiento de *D. viscosa* (CONAFOR y CONABIO 2009). Puede crecer desde suelos someros hasta suelos profundos, muy erosionados y con fuertes pendientes, sobre tepetate y toba removida. Es tolerante a suelos arcillosos.

Dodonaea viscosa presenta un papel sucesional en vegetación secundaria pero no puede considerarse como facilitadora en el proceso de sucesión y no se han obtenido resultados concluyentes respecto a su posible papel de inhibidora (Acosta-Hernández 2015).

1.2.3 Distribución

El género *Dodonaea* cuenta con alrededor de 64 especies a nivel mundial, 61 de las cuales son endémicas de Australia (Harrigton 2008; Laguna *et al.* 2009). *Dodonaea viscosa* es la única especie del género que se encuentra en México. Distribuida ampliamente en zonas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Calderón y Rzedowski 2006).

Diversos autores consideran a *D. viscosa* originaria de América, distribuida desde el sur de Estados Unidos hasta el sur de Sudamérica, con distribución secundaria en África, Asia y Oceanía (CONABIO 2009). Sin embargo, existen evidencias evolutivas, filogenéticas y biogeográficas de que su origen y la mayor diversificación de todo el linaje se encuentra en Australia (Harrigton 2008), por lo que, a pesar de que llegó al continente americano desde hace muchos años de manera natural (no introducida por el hombre), no se le puede considerar como nativa.

Dodonaea viscosa se distribuye en casi todo México, en ambientes áridos, tropicales, subtropicales y ecotonos (Juan-Pérez *et al.* 2010). Se ha registrado de Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chiapas, Chihuahua, Ciudad de México, Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Sonora, Tamaulipas, Veracruz y Yucatán (CONAFOR y CONABIO 2009).

1.3. DISTURBIOS

1.3.1 Tipos de disturbio

Desde la perspectiva ecológica un disturbio se puede definir como “cualquier evento relativamente discreto en el tiempo que trastorna la estructura de una población, comunidad o ecosistema y cambia los recursos, la disponibilidad de sustrato o el ambiente físico” (Pickett *et al.* 1989).

Todo proceso de sucesión ecológica secundaria se inicia con un disturbio, es decir, con un suceso que daña o provoca la muerte de los organismos de la comunidad, dejando espacios abiertos que pueden ser ocupados por nuevos organismos. Las alteraciones en la comunidad que son consecuencia del disturbio se conocen como perturbaciones (Carabias *et al.* 2009).

Los disturbios pueden ser factor de gran importancia para determinar la composición de los ecosistemas. Debido a que en eventos de disturbio mueren muchos individuos, se abren espacios para que otros puedan crecer. Los primeros en establecerse tienen ventaja en mantener el lugar y excluir a otras especies. Estos espacios abiertos pueden ser originados por la asociación de varios disturbios, por ejemplo, el sobrepastoreo y la escasez de lluvias (Oliver y Larson 1990).

Es importante mencionar que el desarrollo evolutivo de la especie humana y la apertura a la tecnología, ha provocado una modificación de los ecosistemas en todos los sitios de la tierra, por el cual se debe distinguir entre disturbios naturales y disturbios antropogénicos (Sousa 1984).

El concepto de disturbio está influenciado por múltiples factores. Las causas y los efectos del disturbio, al igual que los métodos para evaluarlo, dependen del nivel de la organización biológica que se pretende abordar (Sousa 1984).

Disturbios naturales

Son eventos que se presentan sin la intervención del hombre. Pueden ser causados por fuego, viento, sequías, heladas, huracanes, agua, avalanchas, ríos de lava, animales herbívoros y enfermedades. Estos disturbios tienen una fuerte relación en los ciclos de vida y en el recambio de especies en las comunidades, y son parte integral de los procesos ecológicos de los ecosistemas (Picket y White 1985).

Disturbios antrópicos

El ser humano ha influenciado de manera directa o indirectamente en la transformación de la cubierta vegetal y ha impactado generalmente de forma negativa en ésta. Las perturbaciones antropogénicas pueden llegar a interferir con los procesos naturales de la regeneración y sucesión (Espinoza González *et al.* 1991).

- a) Destrucción del hábitat. Es el proceso por el cual un hábitat natural es transformado y es incapaz de mantener las especies originales del mismo. Las plantas y los animales que lo constituían son destruidos o forzados a emigrar, dando como resultado una reducción de la biodiversidad. La causa principal de destrucción del hábitat es la agricultura, pero existen otras importantes como minería, la tala de árboles, la sobrepesca y la sobrepoblación. Es considerada la causa principalmente de pérdida de biodiversidad (Fox y Fox 1986; Pimm 1984; Keeley 1986).
- b) Incendios forestales. Se define como la propagación no programada del fuego sobre la vegetación. Los cuales pueden ocurrir en cualquier momento ya que dependen de las condiciones meteorológicas y las actividades humanas (CENAPRED 2016). Se calcula que las actividades humanas ocasionan el 99% de estos incendios y solo el resto es causado por causas naturales como descargas eléctricas y erupciones volcánicas (CONAFOR 2010).

- c) Sobrepastoreo. Es la actividad procedente de la ganadería la cual sobre pastorea los potreros y soporta varias veces más el número de cabezas ecológicamente recomendables, afectando la composición florística de los pastizales, favoreciendo la compactación del suelo y con ello incrementando la escorrentía y su degradación (SEMARNAT 2003).
- d) Erosión. Se produce principalmente por la pérdida de vegetación en un área o cuando a ésta no se le permite crecer por el sobrepastoreo, prácticas agrícolas, entre otras. Se puede considerar como una consecuencia de las perturbaciones, las cuales provocan la muerte de la vegetación, destruyen la materia orgánica del suelo. El rápido flujo del agua disminuye la estructura del suelo y su capacidad de infiltración (Oliver y Larson 1990). Entre los efectos de la pérdida de vegetación y de la erosión están los deslizamientos de suelo y rocas.

En México el desmonte, la tala no planificada, el sobrepastoreo, los incendios y la sobreexplotación de algunas especies, en particular debido a su alto valor económico, han resultado en perturbaciones a la vegetación y composición de los ecosistemas (Rzedowski 2006).

1.3.2 Evaluación del disturbio

Las características y los efectos que genera un disturbio dependen del individuo a estudiar. Si es sésil (por ejemplo plantas) el disturbio puede identificarse mediante el tamaño del área perturbada, la magnitud del evento, la frecuencia, predictibilidad y el periodo de rotación (el tiempo requerido para alterar la zona). De una manera adicional la recolonización de una zona afectada depende de: 1) la morfología, la fisiología y la ecología reproductiva de las especies presentes antes del disturbio; 2) la morfología, la fisiología y la ecología reproductiva de las especies que colonizaron el lugar o de las que van a llegar al sitio perturbado (Sousa 1984). En el cuadro 1, se presentan criterios para caracterizar disturbios ambientales.

Es importante reconocer la escala del disturbio, sin embargo, hay que definir al nivel ecológico al que lo queremos hacer. Por ejemplo, si se habla de perturbación por

herbivoría en una planta solamente, no ocasionaría ningún cambio en los procesos a nivel ecosistema. Sin embargo, la defoliación a mayor escala del mismo herbívoro a la misma especie de planta, puede tener muchos efectos importantes en los procesos del ecosistema (Pickett *et al.* 1989). Un ejemplo de los niveles, componentes y atributos afectados se presenta en el cuadro 2.

Cuadro 1. Definición de los conceptos usados para caracterizar disturbios ambientales (Pickett y White 1985).

CONCEPTO	DEFINICIÓN
Disposición	Disposición espacial, incluyendo relaciones con gradientes geográficos, topográficos, ambientales y comunitarios.
Frecuencia	Número promedio de eventos por período de tiempo. La frecuencia es usada como probabilidad de ocurrencia del disturbio, cuando es expresada como una fracción decimal de eventos anuales.
Intervalo de retorno	Inverso de la frecuencia; es el tiempo promedio entre dos disturbios.
Periodo de rotación	Tiempo promedio necesario para que ocurra perturbación de un área equivalente al área de estudio (el área de estudio debe de estar explícitamente definida).
Predictibilidad	Una función inversa, redimensionada, de la varianza del intervalo de retorno, que permite ponderar la recurrencia del disturbio.
Área o tamaño	Área perturbada. Puede ser expresada como área por evento, área por intervalo de tiempo, área por evento por intervalo de tiempo o área total por disturbio por intervalo de tiempo. Normalmente se expresa como porcentaje del área en total.
Intensidad	Fuerza física del evento por área por unidad de tiempo (por ejemplo, calor liberado por área por intervalo de tiempo, o velocidad de viento en huracanes).
Severidad	Impacto en el organismo, la comunidad o el ecosistema.
Sinergia	Efectos por la ocurrencia de otros disturbios (por ejemplo, la sequía incrementa la intensidad del fuego y el daño por insectos incrementa la susceptibilidad a tormentas).

Cuadro 2. Expresión del disturbio en varios niveles de organización (Pickett *et al.* 1989).

NIVEL	COMPONENTES AFECTADOS		ATRIBUTOS AFECTADOS
	COMPONENTE ESTRUCTURAL	COMPONENTE FUNCIONAL	
Individual	<ul style="list-style-type: none"> • Biomasa 	<ul style="list-style-type: none"> • Fisiología • Comportamiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Mortalidad • Crecimiento • Reproducción • Estructura de edades
Poblacional	<ul style="list-style-type: none"> • Densidad • Estructura 	<ul style="list-style-type: none"> • Biología reproductiva • Comportamiento social 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura genética • Evolución • Extinción
Comunitario	<ul style="list-style-type: none"> • Estructura vertical • Estructura horizontal • Composición de especies 	<ul style="list-style-type: none"> • Niveles de recursos • Competencia • Mutualismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Coexistencia • Equidad • Dominancia
Ecosistema	<ul style="list-style-type: none"> • Grupos funcionales 	<ul style="list-style-type: none"> • Flujos 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia • Resiliencia
Paisaje	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de elementos • Configuración 	<ul style="list-style-type: none"> • Régimen de disturbio • Flujos de organismo 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabilidad • Conectividad

1.4. MANEJO SUSTENTABLE

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su artículo tres, apartado tercero se refiere al aprovechamiento sustentable como “la manera de aprovechar los recursos naturales en forma que se respete la integridad funcional y las capacidades de carga de los ecosistemas de los que forman parte dichos recursos, por periodos indefinidos” (LEGEEPA 2018).

El concepto de sustentabilidad ha permeado a todos los aspectos de la ciencia, política y la vida cotidiana; de ahí que se han creado programas gubernamentales y académicos sustentables, proyectos y posgrados en desarrollo sustentable, manejo sustentable de los recursos naturales, entre otros (Quiroz Bartolo *et al.* 2011).

En las últimas décadas se ha mostrado gran interés por parte de los ecólogos en evaluar la influencia del ser humano en los ecosistemas naturales. Debido a lo anterior, se ha demostrado que la fragmentación de ecosistemas provocada por perturbaciones antropogénicas ha dado como resultado la ruptura de interacciones ecológicas, lo cual contribuye a la crisis mundial de la pérdida de biodiversidad (Baraza y Estrella-Ruiz 2008).

El manejo sustentable se refiere a la utilización racional de los recursos naturales disponibles, con el fin de su preservación y garantizar su disponibilidad para futuras generaciones. La sustentabilidad ecológica se refiere a la conservación de las características en un ecosistema, las cuales hacen que mantenga su equilibrio y que permita su existencia a largo plazo, con especial atención en las especies, comunidades y poblaciones (Guevara-Romero *et al.* 2015).

II. JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales objetivos de la gestión ambiental es la calidad de los ecosistemas ya que con ello se garantiza la preservación de la biodiversidad. Las especies invasoras representan la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, esto después del cambio de uso de suelo. Lo anterior resulta un problema difícil de abordar, debido a que, los factores principales que causan la introducción de especies invasoras son las actividades humanas, las cuales se convierten en disturbios permanentes, facilitando la introducción y proliferación de estas especies en hábitats fuera de sus áreas originales.

En gran parte del país, *Dodonaea viscosa* presenta comportamiento de invasora, lo anterior en un lapso de tiempo relativamente corto, de tal manera que sus efectos ya se pueden percibir de manera visual. En algunas zonas de bosque bajo y matorral xerófilo está desplazando a las plantas nativas, constituyéndose como especie dominante, ocasionando con ello grandes impactos, principalmente ecológicos y en consecuencia económica y social. El desconocimiento de la ecología de esta especie ha provocado errores tan graves, como el darle uso en programas de conservación y restauración forestal.

Existe la necesidad de contar con más información sobre esta especie, por ejemplo la relación que existe con diferentes factores ambientales, así como los disturbios presentes en el hábitat donde está colonizando. Con ello se podrán realizar estrategias puntuales de prevención y se podrá dar un manejo sustentable a los recursos naturales.

III. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Definir el tipo y grado de disturbio que favorece la presencia de *Dodonaea viscosa* en el sur de Durango, para proponer estrategias que permitan el manejo sustentable de los recursos naturales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las variables de relieve que tienen mayor relación con la abundancia de *D. viscosa*.
2. Evaluar dos condiciones de clima donde tiene presencia *D. viscosa*: clima semiárido templado y clima semiárido semicálido.
3. Determinar las especies de plantas asociadas a las comunidades con *D. viscosa*.
4. Identificar las especies vegetales y grupos funcionales indicadores de disturbio en las comunidades con *D. viscosa*.

IV. HIPÓTESIS

El tipo y grado de disturbio (sobrepastoreo, incendio, aprovechamiento), inciden en la abundancia de *D. viscosa* al sur del estado de Durango.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

5.1.1 Localización

El área de estudio se encuentra en la provincia biogeográfica de la Sierra Madre Occidental, dentro del área perteneciente a la Gran Meseta y Cañadas Duranguenses (INEGI 2018a), en dos municipios del estado de Durango. La elección de los puntos se hizo con base a las diferentes condiciones ambientales donde ocurre *D. viscosa* en la región: clima semiárido templado en el sitio Cuatro de Octubre, del municipio de Durango, y clima semiárido semicálido en el sitio Troncón y Agua Zarca, municipio de Mezquital, Durango. El sitio Cuatro de Octubre se ubica entre las coordenadas extremas N 23° 56' 54.70" W -104° 41' 9.24" y N 23° 54' 36.99" W 104° 43' 10.16", mientras que el de Troncón y Agua Zarca está entre N 23° 28' 48.56" W 104° 28' 18.54" y N 23° 30' 16.24" W 104° 24' 44.41" (Figura 3).

5.1.2 Características ambientales

a) Clima

En el ejido Cuatro de Octubre el clima es de tipo BS₁kw, semiárido templado, con temperatura media anual entre 12°C a 18°C, temperatura del mes más frío entre -3°C y 18°C, temperatura del mes más caliente menor de 22°C. El clima en el sitio Troncón y Agua Zarca es de tipo BS₁hw, semiárido semicálido, con temperatura media anual mayor de 18°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C; de igual manera se tiene la presencia de clima de tipo BS₀hw árido semicálido, temperatura entre 18°C y 22°C, temperatura del mes más frío menor de 18°C, temperatura del mes más caliente mayor de 22°C (INEGI 2018b). En el cuadro 3 se presenta un resumen de los datos climatológicos de ambos sitios.

Cuadro 3. Resumen del historial climatológico en los dos sitios de muestreo. Estación Santiago Bayacora para el sitio Cuatro de Octubre y Estación Troncón y Agua Zarca para el sitio del mismo nombre. Fuente: CONAGUA (2018).

DESCRIPCIÓN	PROMEDIO	
	Cuatro de Octubre	Troncón y Agua Zarca
Temperatura media anual (°C)	18.9	16.9
Temperatura máxima del mes más cálido (°C)	33.1	35.5
Temperatura mínima del mes más frío (°C)	-2	-0.1
Rango de temperatura anual	31.1	35.4
Temperatura media del cuarto más húmedo (°C)	22.4	20.3
Temperatura media del cuarto más seco (°C)	18.6	14.3
Temperatura media del cuarto más cálido (°C)	22.9	20.6
Temperatura media del cuarto más frío (°C)	-1.8	0.5
Precipitación anual (mm)	578.5	566.3
Precipitación del mes más húmedo (mm)	142	141
Precipitación del mes más seco (mm)	2.3	1.5
Precipitación del cuarto más húmedo (mm)	114.1	109.4
Precipitación del cuarto más seco (mm)	8.1	5.4
Precipitación del cuarto más cálido (mm)	55.1	87.8
Precipitación del cuarto más frío (mm)	15.9	14.7
Heladas	34	4

b) Geología

Las rocas del ejido Cuatro de Octubre datan de la era Cenozoica media volcánica, con rocas volcánicas (lavas, brechas y tobas), predominantemente riolitas. La permeabilidad de las rocas es baja a media (CONABIO 2002).

En el sitio Troncón y Agua Zarca, los afloramientos rocosos son de la era Terciaria continental, Cenozoico superior e inferior clástico. Predominantemente con areniscas y conglomerados, con permeabilidad de media a alta (INEGI 2018c).

c) Edafología

El sitio Cuatro de Octubre presenta suelos de tipo Regosol Éutrico (CONABIO 2001b). Según la guía de interpretación de cartografía edafológica del INEGI (2004), estos suelos generalmente son pobres en materia orgánica. Frecuentemente son someros, muchas veces en asociación con Litosoles y con afloramientos de roca o tepetate. El sitio incluye también una extensión de suelo tipo Planosol, el cual generalmente se desarrolla en llanos y en una parte del año se inundan en su superficie; se encuentran en las regiones templadas y semiáridas del país.

En la localidad del Troncón y Agua Zarca, los suelos son de tipo Regosol Éutrico (INEGI 2018d).

d) Uso de suelo y vegetación

En la localidad Cuatro de Octubre se desarrolla el bosque de encino asociado con pastizal natural, esta asociación también es denominada como bosque bajo abierto (González Elizondo et al. 2007). El uso que se le da al suelo es agrícola, pecuario y forestal. En el área de Troncón y Agua Zarca la vegetación está considerada como matorral espinoso subtropical, al que también se da un uso agrícola, pecuario y forestal (INEGI 2018e). En los dos sitios se presenta una considerable perturbación al suelo y la vegetación. Como consecuencia de las actividades antrópicas, la cubierta de vegetación presente en la actualidad generalmente es de tipo secundario.

e) Hidrología

Los dos sitios estudiados se encuentran en la Región Hidrológica N. 11 “Presidio-San Pedro”, cuenca hidrológica A “Río San Pedro”. Cuatro de Octubre se localiza en la subcuenca hidrológica “Río Tunal” y Troncón y Agua Zarca en la subcuenca “Río Mezquital” (INEGI 2018f).

5.2. TRABAJO DE CAMPO

Se realizaron muestreos en 60 puntos (30 por cada sitio), en el periodo de agosto a octubre del 2018. Como guía para los muestreos, la carretera se usó de eje para

situar los puntos: a 250 m en cada lado de la carretera se situaron 15 puntos de lado derecho y 15 puntos de lado izquierdo. La distancia entre cada punto fue de 500 m (Figura 4). La localización de los puntos se ilustra en las figuras 5 y 6.

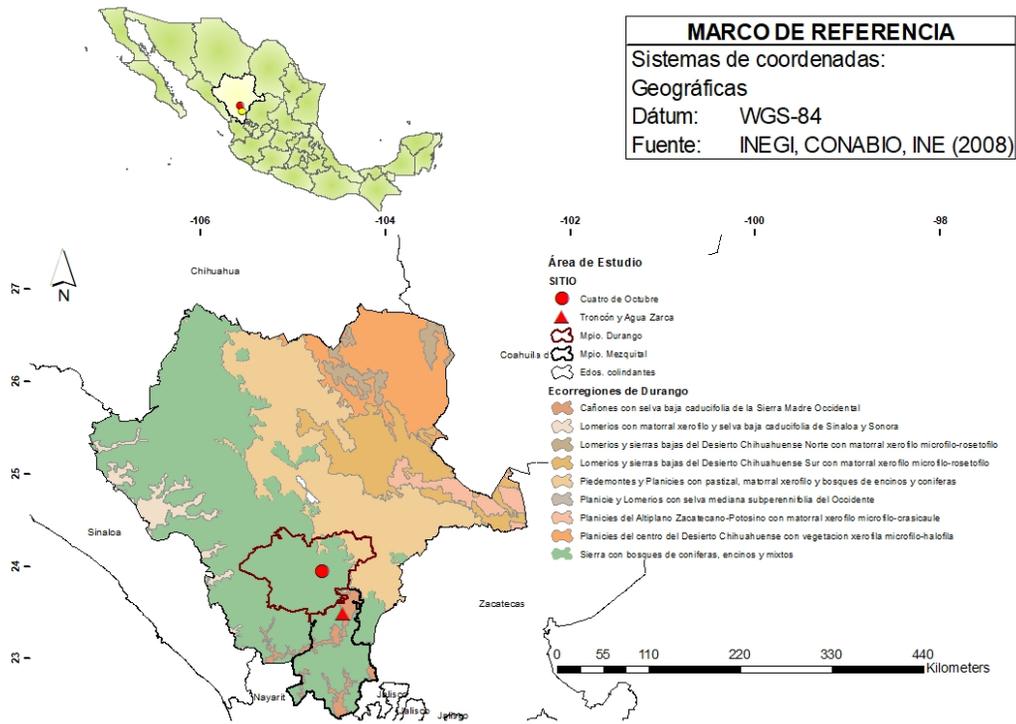


Figura 3. Área de estudio.

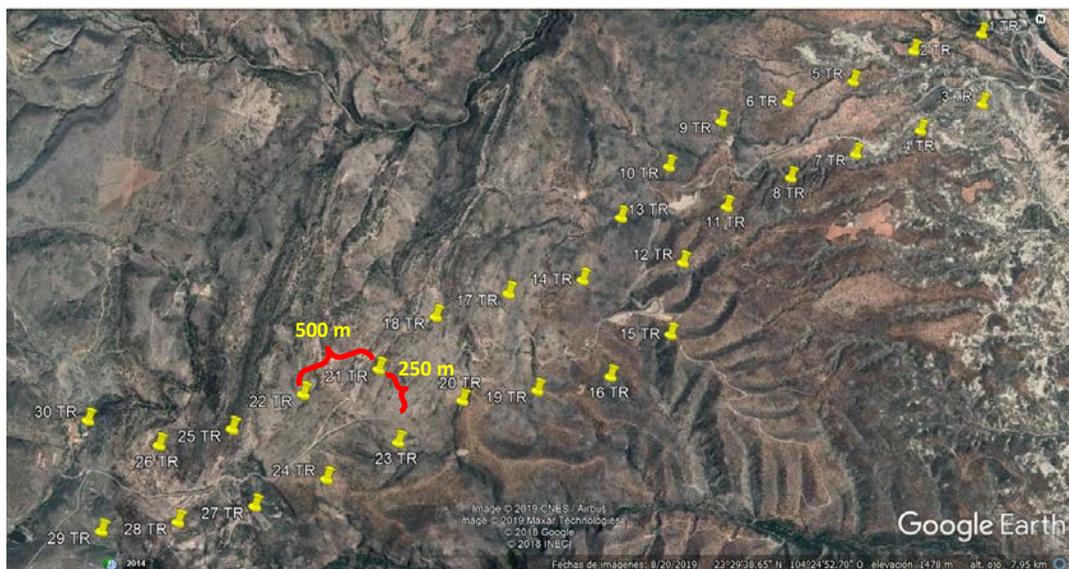


Figura 4. Ejemplo del trazado de los puntos de muestreo.

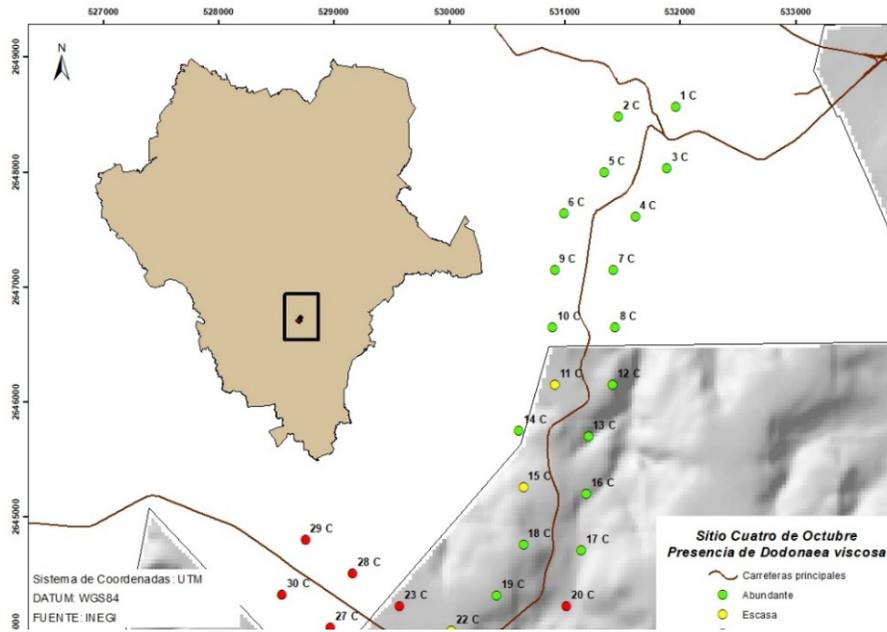


Figura 5. Sitio Cuatro de Octubre (semiárido templado).

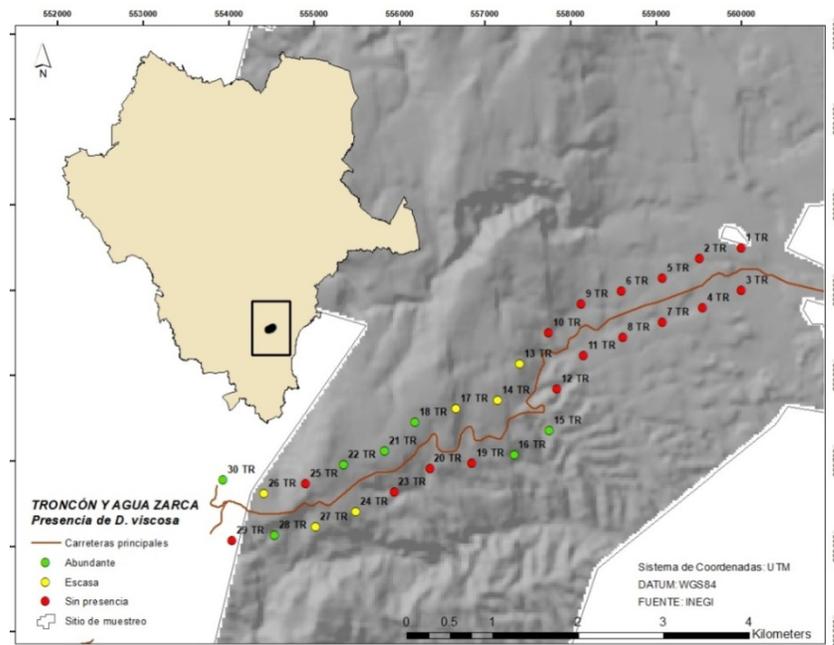


Figura 6. Sitio Troncón y Agua Zarca (semárido semicálido).

5.2.1 Registro de variables ambientales y físicas

Se registraron las siguientes variables:

1. Topografía: coordenadas geográficas, pendiente, altitud, orientación geográfica (tomada en campo con la ayuda de un posicionador geográfico) y topografía analizada por medio de la metodología propuesta por Tagil y Jennes (2008) en el programa ARC GIS 5.0 ® (Cuadro 4).
2. Suelo: Compactación, pedregosidad, afloramiento rocoso y suelo desnudo.

Cuadro 4. Descripción de topografías con base en Tagil y Jennes (2008).

CLASE	CLAVE	DESCRIPCIÓN
1	CÑ	Cañones, arroyos con incidencia de profundidad
2	ZP	Zonas que drenan en pendiente mediana y valles sombreados
3	ZM	Zonas que drenan en mesetas y donde inicia el arroyo
4	VA	Tipos de valles
5	PL	Planos
6	PA(ES)	Pendientes abiertas (pendientes con mayor exposición solar)
7	PA	Pendientes abiertas
8	PCVA	Puentes, colinas y valles
9	PM	Pendientes medias, pequeñas colinas en planos
10	CRCI	Crestas, cimas

5.2.2 Muestreo del tipo y grado de disturbio

Se consideraron tres tipos de disturbio: incendios forestales, sobrepastoreo y aprovechamiento. En cada punto se estableció un rectángulo de 50 m² dentro del cual se valoró la compactación, erosión eólica, erosión hídrica y cárcavas, a partir de la metodología de Martorell y Petters (2008).

Se utilizaron niveles para categorizar los disturbios:

1= Sin evidencias

2= Leve

3= Medio

4= Alto

5= Muy alto

Se usaron los siguientes criterios para estimar visualmente el grado de disturbio:

1. Sobrepastoreo: indicios de huellas de, vegetación herbácea muy rara, ramoneo, senderos y heces de ganado.
2. Incendios forestales: indicios como troncos quemados, además de una revisión de los registros de incendios forestales en la página de CONAFOR (2018).
3. Aprovechamiento: indicios como tocones y evaluación visual de extracción de maguey, así como revisión de los programas de manejo de los sitios de muestreo en los archivos de la SEMARNAT (2018).

5.2.3 Muestreo de *D. viscosa*

Se usó el método de cuadrantes centrados en un punto (Mueller y Ellenberg 1974) para el registro de *D. viscosa* realizando un cuadrante por punto; en cada subcuadrante se registró al individuo más cercano del centro de éste (se muestrearon de manera separada a los adultos de las plántulas y juveniles). De cada uno se registró la cobertura aérea, altura y vigorosidad de la planta, siendo: V=

Vigorosa, RB= Rebrotando en base, RR= Rebrotando en ramas, M= Muerta, P= Plántula, J= Juvenil.

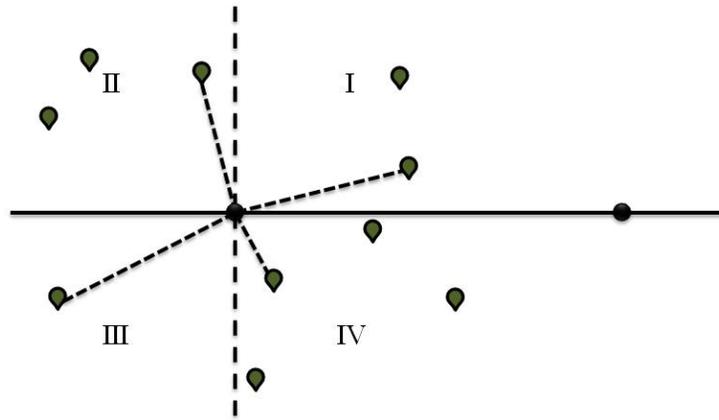


Figura 7. Ilustración de cuadrante centrado en un punto.

5.2.4 Muestreo de herbáceas para grupos funcionales

Se realizaron líneas Canfield (Mueller y Ellenberg 1974) con una longitud de 25 m, una por punto de muestreo, para el registro de presencia-ausencia. Se buscó que cada línea representara en su totalidad una misma topografía.

Se realizó la identificación botánica de las herbáceas utilizando trabajos florísticos y revisiones taxonómicas. Se consultaron colecciones en línea como SEINet y Tropicos y se realizó un cotejo con los ejemplares del Herbario CIIDIR.

Una vez identificados los individuos colectados se clasificaron de la siguiente manera:

- a) Por hábito (árboles, arbustos, herbáceas anuales, herbáceas perennes, y “otras” como helechos y trepadoras).
- b) por origen (nativas e introducidas)
- c) por tolerancia al disturbio: entre las nativas, se incluyen las no tolerantes a disturbio (indicadoras de buena condición), las tolerantes a disturbio y las que son favorecidas por disturbio (indicadoras de disturbio), mientras que entre las introducidas, se incluyen las introducidas casuales y las invasoras.

5.3. ANÁLISIS DE DATOS

5.3.1 Relación de presencia de *D. viscosa* con disturbio y variables ambientales

En el cuadro 5, se muestran las variables dependientes e independientes usadas para el análisis estadístico. Se realizó un análisis descriptivo para los parámetros de tendencia central (moda, media, mediana, desviación estándar y cuartosis). Además se hizo una prueba de normalidad a los datos con base en los valores de Kolmogorov Smirnov con el software STATISTICA 7.ink®. Este mismo software fue utilizado para realizar análisis con modelos de regresión por pasos y correlación. Sin embargo, estos análisis no mostraron ningún resultado explicativo o significativo, por lo que se procedió a usar modelos no paramétricos.

Dado que los datos no siguen una tendencia lineal se usaron regresiones no lineales con redes neuronales con el software SPSS Statistics 17.0®, siendo éste el modelo que mejor explicó el comportamiento de los datos. El algoritmo utilizado para capturar los pesos fue el de propagación hacia atrás, la función de activación utilizada fue la de tangente hiperbólica. Se realizaron pruebas de 40 hasta 2 neuronas para encontrar el modelo con menor error.

Redes Neuronales Artificiales (RNA)

Una red neuronal artificial es un conjunto de datos matemáticos-computacionales reales e ideales de una red neuronal. Las RNA son un modelo simplificado del cerebro humano, es un nuevo sistema para el tratamiento de la información cuya unidad básica de procesamiento está inspirada en la célula fundamental del sistema nervioso humano: la neurona (Coello *et al.* 2015). El modelo estándar de una RNA consiste en un conjunto de entradas x_j y unos pesos sinápticos w_{ij} con $j = 1, \dots, n$. Una regla de propagación h_i definida a partir del conjunto de entradas y los pesos sinápticos y una función de activación, la cual representa simultáneamente la salida de la neurona y su estado de activación, si denotamos por Y_i entonces se tiene:

$$y_i = f_i(h_i) = f_i\left(\sum_{j=0}^n w_{ij}x_j\right) \quad (\text{Coello } et al. 2015).$$

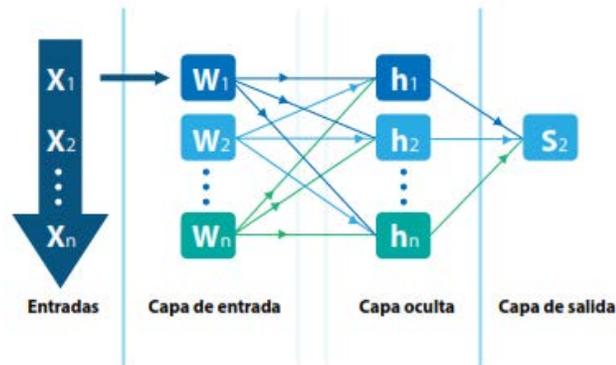


Figura 8. Modelo de red neuronal (Coello-*t al.*2015).

Cuadro 5. Matriz variables ambientales y de disturbio.

Variables dependientes	Variables Independientes
	Disturbio
Densidad de <i>D. viscosa</i> / Ha en adultos	Pastoreo
Densidad de <i>D. viscosa</i> / Ha en regeneración	Aprovechamiento
Cobertura de <i>D. viscosa</i> en adultos	
Cobertura de <i>D. viscosa</i> en regeneración	Variables físicas
	Compactación
	Erosión eólica
	Erosión hídrica
	Suelo desnudo
	Cárcavas
	Pedregosidad
	Afloramiento rocoso
	Variables topográficas
	Pendiente
	Altitud
	Orientación
	Topoforma

5.3.2 Relación de presencia de *D. viscosa* con grupos funcionales

Una vez realizada la identificación de las diferentes especies encontradas en las líneas Canfield, se elaboró una matriz de datos para clasificarlas por grupos funcionales, de acuerdo a la matriz del cuadro 6. Se analizaron los datos estadísticamente por medio de regresiones por pasos y correlaciones con el programa STATISTICA 7.ink® para ver si existe relación entre los diferentes grupos funcionales y la presencia de *D. viscosa* con un α del 0.05. Se utilizó como variables independientes a los grupos funcionales y como variable dependiente la presencia o ausencia de *D. viscosa* en los puntos de muestreo (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de variables para grupos funcionales.

Variable dependiente	Variable independiente
Presencia / ausencia de <i>D. viscosa</i>	Según su hábito
	Herbácea anual
	Herbácea perenne
	Subarbusto
	Arbusto
	Árbol
	Otras
	Según su origen y tolerancia a disturbio
	Nativas: no tolerantes al disturbio
	Nativas: tolerantes a disturbio
	Nativas: favorecidas por disturbio
	Introducidas: casuales
	Introducidas: invasoras

VI. RESULTADOS

6.1. VARIABLES AMBIENTALES Y PRESENCIA DE *D. viscosa*

En el sitio Cuatro de Octubre de clima semiárido templado se tuvo presencia de *D. viscosa* en 20 puntos, en un rango de elevación de 1918 a 2226 m. Mientras que en Troncón y Agua Zarca de clima semiárido semicálido hubo presencia de de la especie en 13 puntos, localizados entre 1607 y 1978 m de elevación (Cuadro 7).

Cuadro 7. Puntos muestreados en los sitios de estudio.

Sitio de muestreo	Número de puntos	Puntos con <i>D. viscosa</i>	Elevación	Densidad/Ha de <i>D. viscosa</i>	
				Adultos	Regeneración
Cuatro de Octubre (clima semiárido templado)	30	20	1943-2223	4,504	2,212
Troncón y Agua Zarca (clima semiárido semicálido)	30	13	1752-1978	3,930	10,000

Topoformas

Las topoformas registradas para el área de estudio se ajustan a lo presentado en el cuadro 4. Latopoforma mejor representada en clima semiárido templado fue pendientes abiertas (con mayor exposición solar) y en clima semiárido semicálido fueron cañones y arroyos con incidencia de profundidad y pendientes abiertas (con mayor exposición solar) (Figuras 9 y 10).

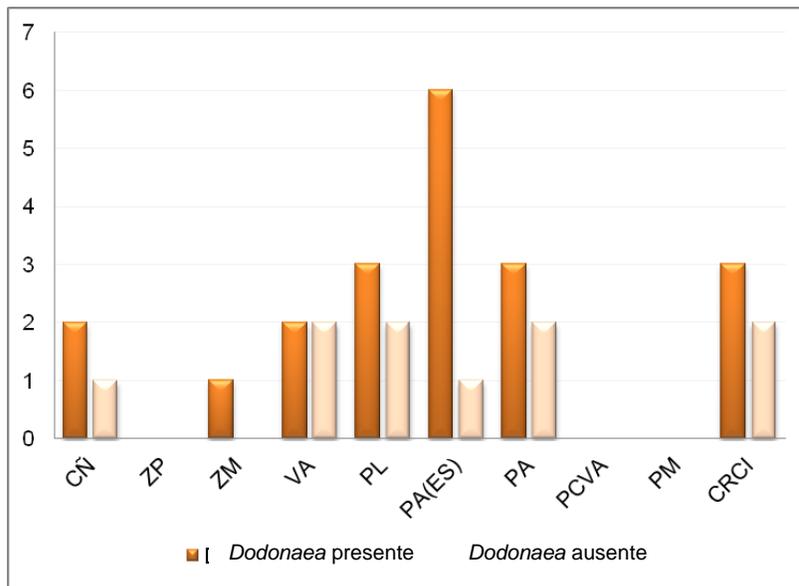


Figura 9. Frecuencia de topoformas, clima templado al sur de Durango, México. *Tipos de topoformas: CÑ= cañones y arroyos; ZP= zonas que drenan en pendientes medianas y valles sombreados; ZM= zonas que drenan en mesetas y donde inicia el arroyo; VA= tipos de valles; PL= planos; PA(ES)= pendientes abiertas (con mayor exposición solar); PA= pendientes abiertas; PCVA= puentes, colinas y valles; PM= pendientes medias, pequeñas colinas en planos; CRCI= crestas, cimas.

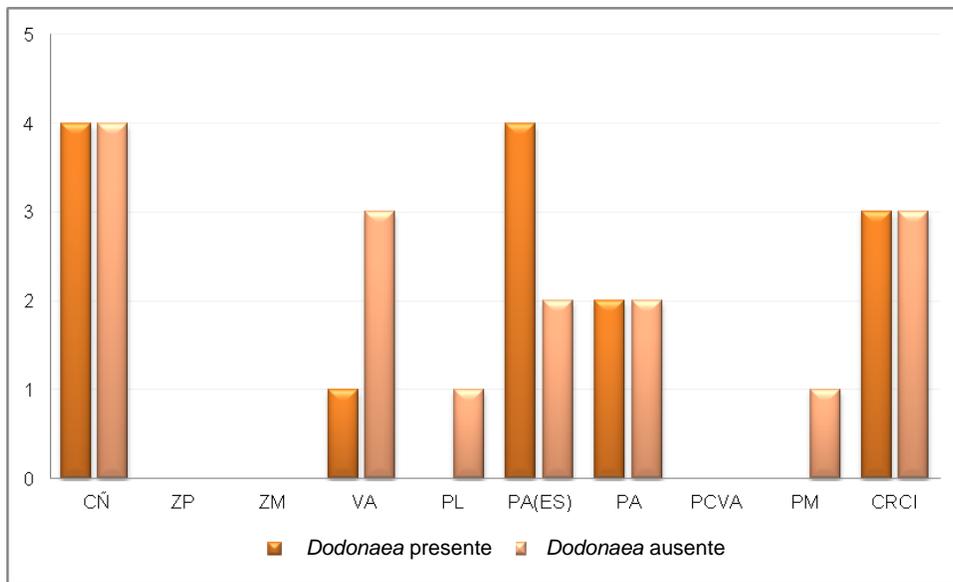


Figura 10. Frecuencia de topoformas, clima semicálido, al sur de Durango, México.*Tipos de topoformas: CÑ= cañones y arroyos; ZP= zonas que drenan en pendientes medianas y valles sombreados; ZM= zonas que drenan en mesetas y donde inicia el arroyo; VA= tipos de valles; PL= planos; PA(ES)= pendientes abiertas (con mayor exposición solar); PA= pendientes abiertas; PCVA= puentes, colinas y valles; PM= pendientes medias, pequeñas colinas en planos; CRCI= crestas, cimas.

Orientación

La exposición registrada con mayor frecuencia en los dos sitios y con presencia de *D. viscosa* fue la oriental (Figuras 11 y 12).

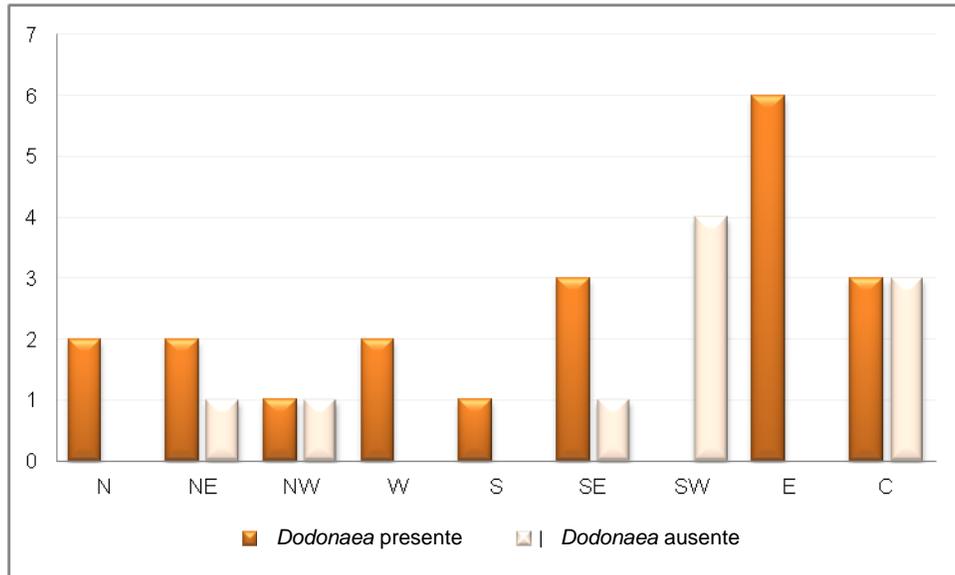


Figura 11. Frecuencia de exposiciones en presencia y ausencia de *D. viscosa* en clima templado, al sur de Durango, México.*Tipos de orientación: N= Norte; NE= Noreste; NW= Noroeste; W= Oeste; E= Este (Oriente); C= Cenital.

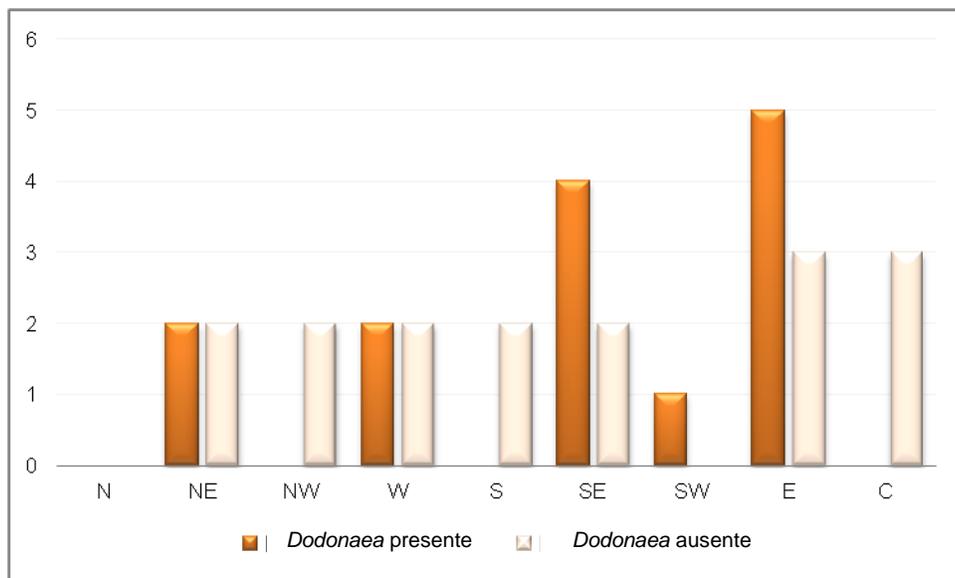


Figura 12. Frecuencia de exposición en presencia o ausencia de *D. viscosa* en clima semicálido, al sur de Durango, México.*Tipos de orientación: N= Norte; NE= Noreste; NW= Noroeste; W= Oeste; E= Este (Oriente); C= Cenital.

6.2. RELACIÓN DE *D. viscosa* CON DISTURBIO Y VARIABLES AMBIENTALES

6.2.1 Densidad y cobertura de *D. viscosa* en adultos, con relación a disturbio, variables físicas y topográficas

Para el análisis de densidad y cobertura de individuos adultos de *D. viscosa* en el sitio Cuatro de Octubre, se tuvo un modelo de seis neuronas con un error del 0.001 y la suma de errores al cuadrado del 0.027. La variable independiente con mayor peso fue erosión eólica con un 100%, seguida por pastoreo con un 98% y topografía con un 97.5% (Figura 13).

Cuadro 8. Resumen del modelo, en individuos adultos de *D. viscosa* con relación a variables físicas y topográficas. en clima templado al sur del estado de Durango.

Formación	Suma de error de los cuadrados		0.027
	Error relativo general promedio		0.001
	Error relativo por escala	Densidad/Ha	0.001
	Dependientes	Adultos	
		Cobertura Adulto	0.001
	Regla de detención utilizada	Se ha alcanzado el error de ratio (.001) de formación	
	Tiempo de entrenamiento		00:00:00.000

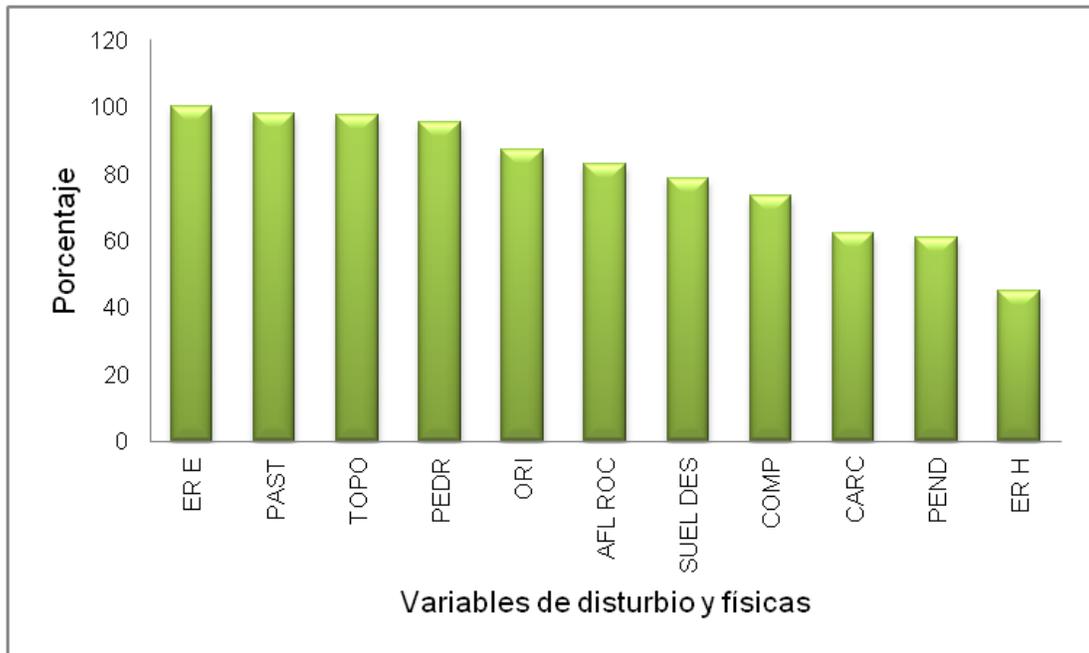


Figura 13. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura de *D. viscosa* en clima templado al sur de Durango, México. *Tipos de variables: ER E= erosión eólica; PAST= pastoreo; TOPO= topografía; PEDR= pedregosidad; ORI= orientación; SUEL DES= suelo desnudo; COMP= compactación; CARC= cárcavas; PEND= pendiente; ER H= erosión hídrica.

Para el análisis de densidad y cobertura de la planta en regeneración en el sitio Cuatro de Octubre, se tuvo un modelo de 15 neuronas con un error del 0.001 la suma de errores al cuadrado del 0.024. La variable independiente con mayor peso fue pastoreo con un 100%; seguida por cárcavas con un 82.5% y afloramiento rocoso con un 74.6% (Figura 14).

Cuadro 9. Resumen del modelo de regeneración de *D. viscosa* con relación a variables físicas y topográficas en clima templado al sur del estado de Durango.

Formación	Suma de error de los cuadrados	0.024
	Error relativo general promedio	0.001
Dependientes	Densidad/Ha	0.001
	Regeneración Cobertura Regeneración	0.001
Regla de detención utilizada		Se ha alcanzado el error de ratio (.001) de formación
Tiempo de entrenamiento		00:00.0

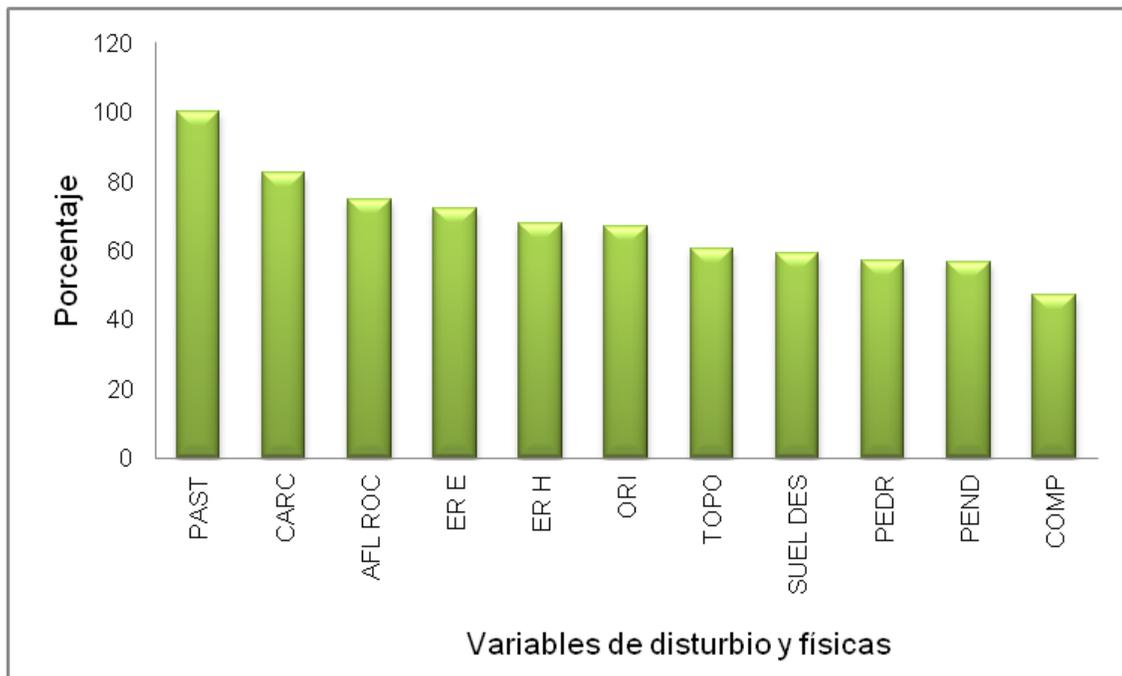


Figura 14. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en regeneración de *D. viscosa* en clima templado del sur de Durango, México.*Tipos de variables: PAST= pastoreo; CARC= cárcavas; AFL ROC= afloramiento rocoso; ER E= erosión eólica; ER H= erosión hídrica; ORI= orientación; TOPO= topografía; SUEL DES= suelo desnudo; PEDR= pedregosidad; PEND= pendiente; COMP= compactación.

En la figura 15, se muestra la comparación entre los individuos adultos y los de regeneración de *D. viscosa* en el sitio Cuatro de Octubre.

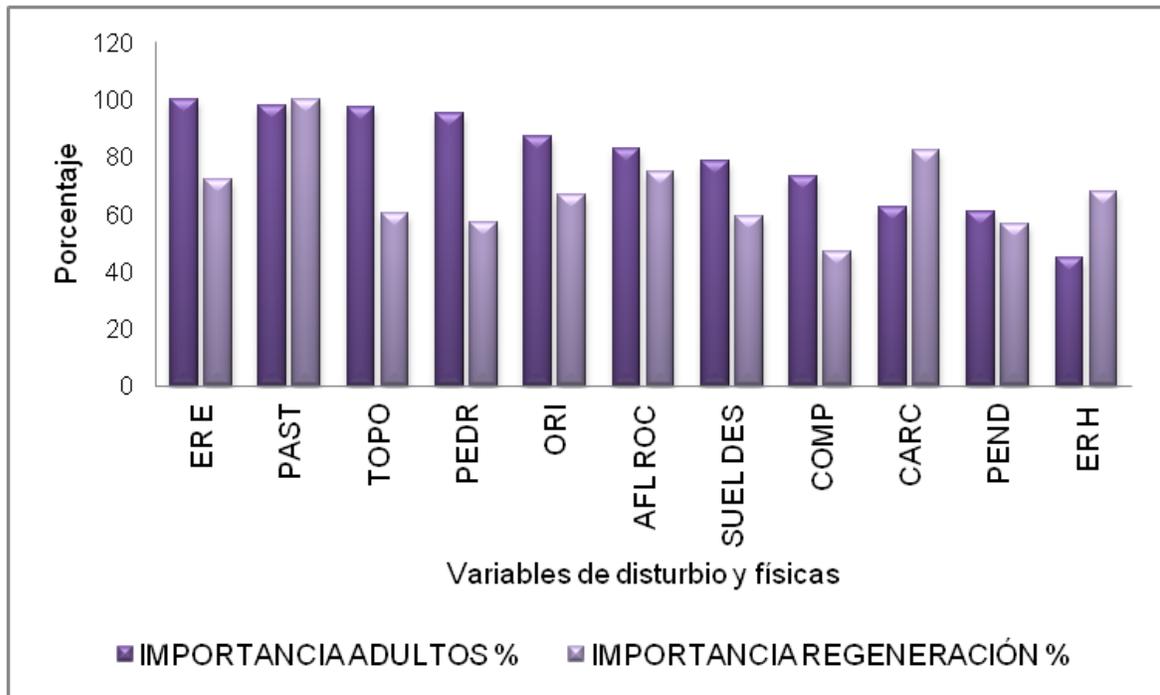


Figura 15. Porcentaje de pesos de las variables topográficas y ambientales con respecto a la densidad y cobertura de individuos adultos y regeneración de *D. viscosa* en clima templado, al sur del Durango, México. *Tipo de variables: ER E= erosión eólica; PAST= pastoreo; TOPO= topoforma; PEDR= pedregosidad; ORI= orientación; AFL ROC= afloramiento rocoso; SUEL DES= suelo desnudo; COMP= compactación; CARC= cárcavas; PEND= pendiente; ER H= erosión hídrica.

Para el análisis de densidad y cobertura de la planta en individuos adultos en clima semicálido, se tuvo un modelo de 13 neuronas con un error del 0.001, la suma de errores al cuadrado del 0.020. La variable independiente con mayor peso fue compactación con un 100%; seguida por topoforma con un 68.7% y orientación con un 66.5% (Figura 16).

Cuadro 10. Resumen del modelo, en individuos adultos de *D. viscosa* en relación con variables físicas y topográficas. en clima semicálido al sur del estado de Durango.

Formación	Suma de error de los cuadrados	0.02
	Error relativo general promedio	0.001
	Error relativo por escala	0.001
	Densidad/Ha Dependientes Adultos Cobertura Adulto	0.001
	Regla de detención utilizada	Se ha alcanzado el error de ratio (.001) de formación
	Tiempo de entrenamiento	00:00.0

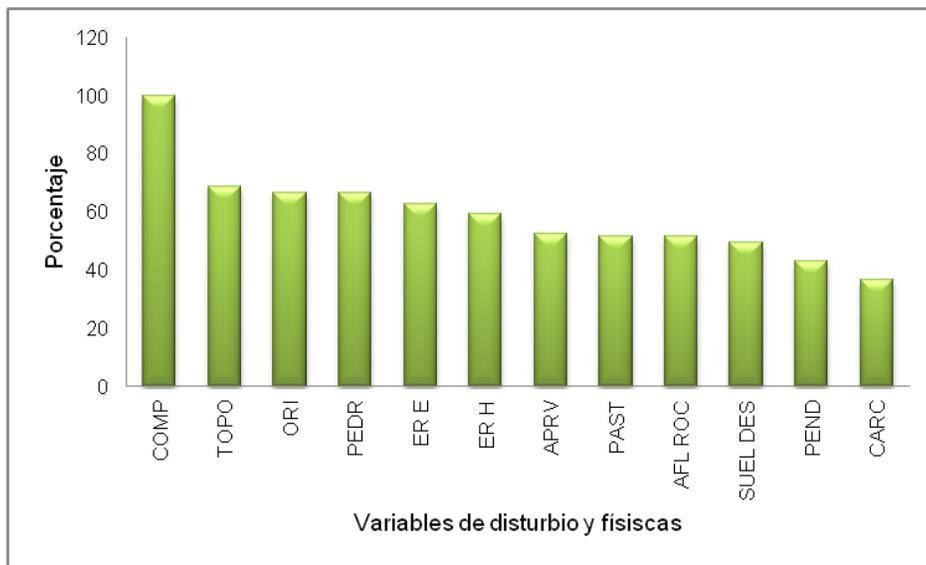


Figura 16. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en individuos adultos de *D. viscosa* en clima semicálido, al sur de Durango, México.*Tipo de varibales: COMP= compactación; TOPO=topoforma; ORI=orientación; PEDR= pedregosidad; ER E= erosión eólica; ER H= erosión hídrica; APRV= aprovechamiento; PAST= pastoreo; AFL ROC= afloramiento rocoso; SUEL DES= suelo desnudo; PEND= pendiente; CARC= cárcavas.

Para el análisis de densidad y cobertura de la planta en regeneración en el sitio Troncón y Agua Zarca, se tuvo un modelo de 11 neuronas con un error del 0.001, la

suma de errores al cuadrado del 0.022. La variable independiente con mayor peso fue compactación con un 100%; seguida por afloramiento rocoso con un 89.3% y erosión hídrica con un 83.6% (Figura 17).

Cuadro 11. Resumen del modelo de regeneración de *D. viscosa* con relación a variables físicas y topográficas en clima semicálido al sur del estado de Durango.

Formación	Suma de error de los cuadrados		0.022
	Error relativo general promedio		0.001
	Error relativo por escala	Densidad/Ha	0.001
	Dependientes	Regeneración Cobertura	0.001
	Regla de detención utilizada	Regeneración	Se ha alcanzado el error de ratio (.001) de formación
	Tiempo de entrenamiento		00:00:00.016

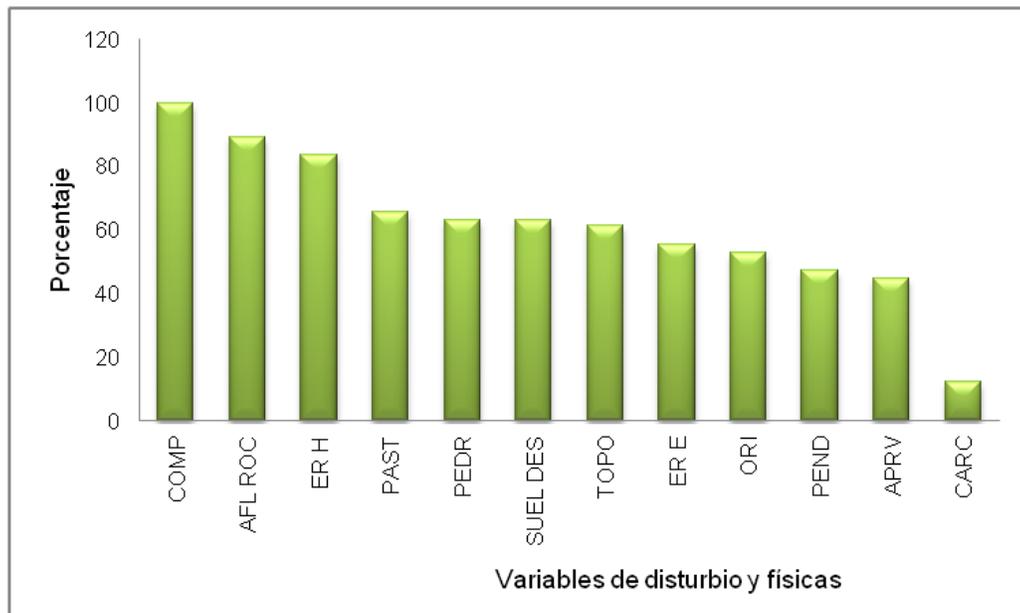


Figura 17. Importancia de variables independientes con respecto a la densidad y cobertura en regeneración de *D. viscosa*, clima semicálido. *Tipo de variable: COMP= compactación; AFL ROC= afloramiento rocoso; ER H= erosión hídrica; PAST= pastoreo; PEDR= pedregosidad; SUEL DES= suelo desnudo; TOPO= topoforma; ER E= erosión eólica; ORI=orientación; PEND= pendiente; APRV= aprovechamiento; CARC= cárcavas.

En la figura 18, se muestra la comparación entre los individuos adultos y los de regeneración de *D. viscosa* en clima semicálido.

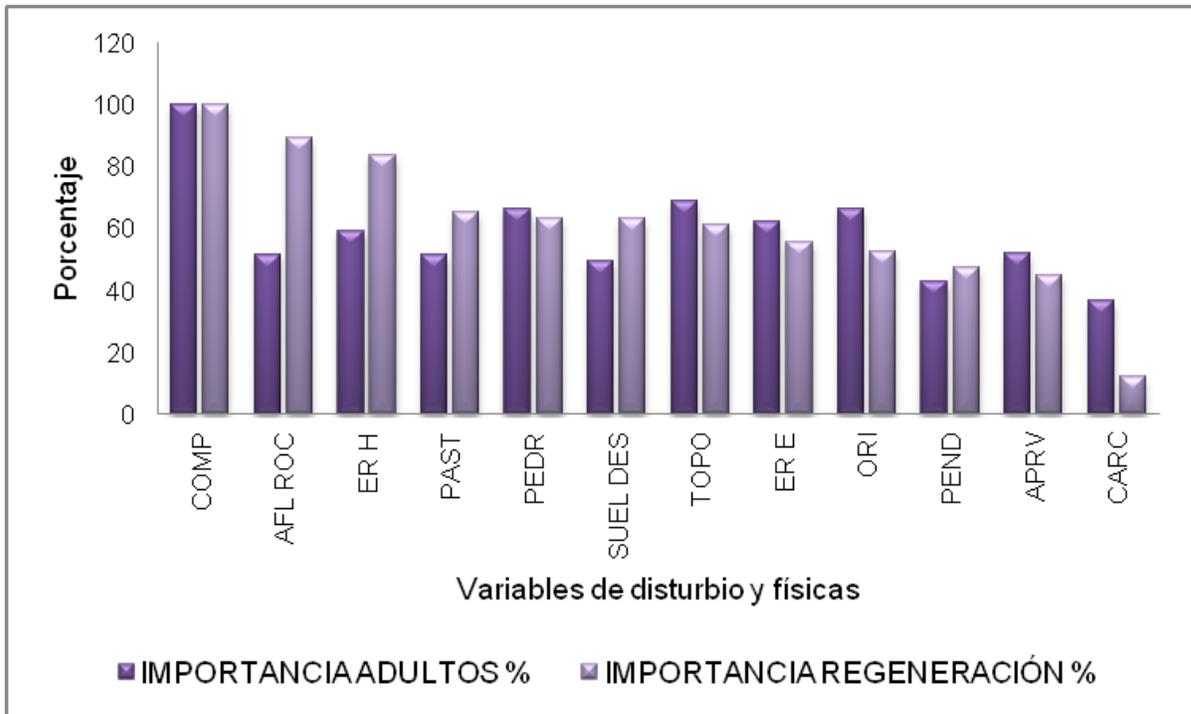


Figura 18. Porcentaje de pesos de las variables topográficas y ambientales con respecto a la densidad y cobertura de individuos adultos y regeneración de *D. viscosa* en clima semicálido, al sur del Durango, México.*Tipo de variable: COMP= compactación; TOPO= topoforma; ORI= orientación; PEDR= pedregosidad; ER E= erosión eólica; ER H= erosión hídrica; APRV= aprovechamiento; PAST= pastoreo; AFL ROC= afloramiento rocoso; SUEL DES= Suelo desnudo; PEND= pendiente; CARC= cárcavas.

6.3. RELACIÓN DE GRUPOS FUNCIONALES CON PRESENCIA DE *D. viscosa*

La variable arbustos fue la única que mostro significancia al realizar el análisis de regresión y correlación del grupo funcional por hábito y *D. viscosa* en el sitio Cuatro de Octubre, (Cuadros 8 y 9).

Cuadro 12. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y *D. viscosa*, clima templado. P para ingresar 0.05; P para eliminar 0.05.

Efecto	Resumen de regresión por pasos; Variable: PRESENCIA					
	Pasos	F para eliminar	P para eliminar	F de entrada	P de entrada	Estado del efecto
Herbácea anual	Paso número 1			0.876	0.357	Salió
Herbácea perenne				1.678	0.205	Salió
Árbol				0.057	0.812	Salió
Arbusto				5.707	0.023	Ingresó
Subarbusto				1.753	0.196	Salió
Otras				1.582	0.218	Salió
Arbusto	Paso número 2	5.707	0.023			Entró
Herbácea perenne				0.111	0.741	Salió
Árbol				0.015	0.900	Salió
Herbácea anual				2.433	0.130	Salió
Subarbusto				1.188	0.285	Salió
Otras				1.274	0.268	Salió

Cuadro 13. Resumen de análisis de correlación entre *D. viscosa* y el grupo funcional por hábito, clima templado. Significancia para $p < 0.05$, $N = 30$.

Variable: presencia	Herbácea anual	Herbácea perenne	Árbol	Arbusto	Subarbusto	Otras
	0.17	-0.24	-0.05	0.41	0.24	-0.23

En el análisis de regresión y correlación del grupo funcional según su origen y tolerancia al disturbio no se encontró significancia con ninguna variable (Cuadros 10 y 11).

Cuadro 14. Resumen del análisis de regresión entre *D. viscosa* y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en clima templado. P para ingresar 0.05; P para eliminar 0.05.

Efecto	Resumen de regresión por pasos; Variable: PRESENCIA					
	Pasos	F para eliminar	P para eliminar	F de entrada	P de entrada	Estado del efecto
Nativa: no tolerante a disturbio				0.020	0.887	Salió
Nativa: favorecida por el disturbio	Paso número			1.011	0.323	Salió
Nativa: tolerante al disturbio	1			2.380	0.134	Salió
Introducida: Invasora				2.469	0.127	Salió

Cuadro 15. Resumen de análisis de correlación entre *D. viscosa* y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima templado. Significancia para $p < 0.05$, $N = 30$.

Variable: presencia	Nativa: no tolerante	Nativa: favorecida	Nativa: tolerante	Introducida: invasora
	-0.03	0.19	-0.28	0.28

En el sitio Troncón y Agua Zarca, el análisis de regresión y correlación del grupo funcional por hábito y *D. viscosa* no presentó significancia (Cuadros 12 y 13).

Cuadro 16. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y *D. viscosa*, clima semicálido. P para ingresar 0.05; P para eliminar 0.05.

Efecto	Resumen de regresión por pasos; Variable: PRESENCIA					
	Pasos	F para eliminar	P para eliminar	F de entrada	P de entrada	Estado del efecto
Herbácea Anual	Paso número 1			1.611	0.214	Fuera
Herbácea Perenne				0.001	0.971	Fuera
Árbol				2.240	0.145	Fuera
Arbusto				0.609	0.441	Fuera
Subarbusto				0.000	1.000	Fuera
Otras				0.083	0.774	Fuera

Cuadro 17. Resumen del análisis de regresión entre el grupo funcional por hábito y *D. viscosa*, clima semicálido. Significancia para $p < 0.05$, $N = 30$.

Variable: presencia	Herbácea anual	Herbácea perenne	Árbol	Arbusto	Subarbusto	Otras
	0.23	-0.01	-0.27	0.15	0.00	0.05

El análisis de regresión y correlación del grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio y *D. viscosa* encontró significancia con las variables: tolerante al disturbio e invasora (Cuadros 14 y 15).

Cuadro 18. Resumen del análisis de regresión entre *D. viscosa* y el grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima semicálido. P para ingresar 0.05; P para eliminar 0.05.

Efecto	Resumen de regresión por pasos; Variable: PRESENCIA					
	Pasos	F para eliminar	P para eliminar	F de entrada	P de entrada	Estado del efecto
Casuales				0.083	0.774	Salió
Invasora	Paso número 1			9.747	0.004	Ingresó
Nativa: no tolerante				1.503	0.230	Salió
Nativa: favorecida				1.839	0.185	Salió
Nativa: tolerante				1.356	0.253	Salió
Invasora		9.747	0.004			Entró
Casuales				0.178	0.675	Salió
Nativa: no tolerante	Paso número 2			1.019	0.321	Salió
Nativa: favorecida				1.989	0.169	Salió
Nativa: tolerante				4.924	0.035	Ingresó
Invasora		14.048	0.000			Entró
Nativa: tolerante		4.924	0.035			Entró
Nativa: No tolerante	Paso número 3			0.120	0.730	Salió
Nativa: favorecida				0.296	0.590	Salió
Casuales				0.001	0.973	Salió

Cuadro 19. Resumen del análisis de correlación entre el grupo funcional por origen y *D. viscosa*, clima semicálido. Significancia para $p < 0.05$, $N = 30$.

Variable: presencia	Nativa: no tolerante	Nativa: favorecida	Nativa: tolerante	Introducida: casuales	Introducida: invasora
	0.23	0.25	-0.21	0.05	0.51

Para el sitio Cuatro de Octubre en el grupo funcional por hábito, las especies más abundantes fueron las herbáceas perennes (Figura 19).

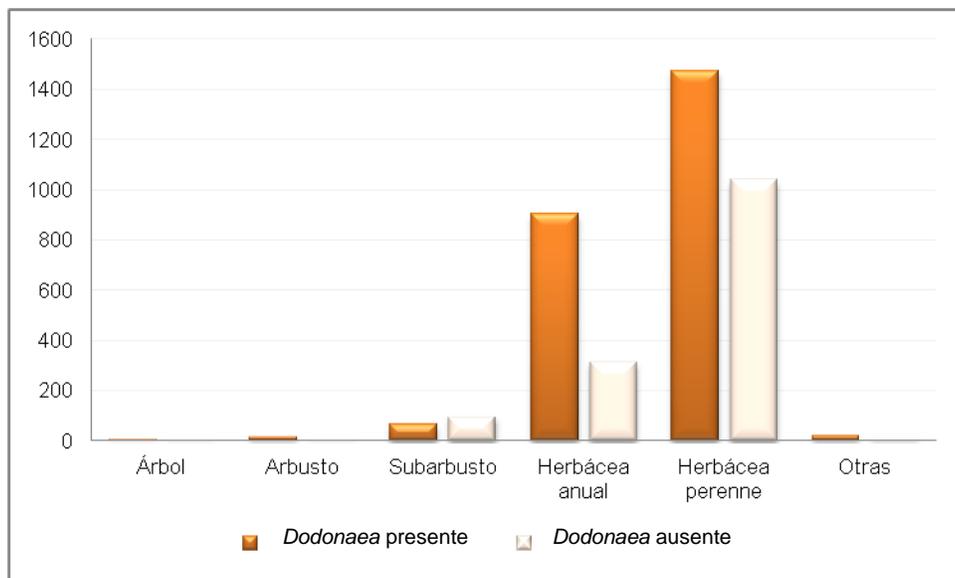


Figura 19. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por hábito en ausencia y presencia de *D. viscosa*, clima templado.

En el grupo funcional por origen y tolerantes al disturbio, las especies más abundantes fueron las tolerantes a disturbio (Figura 20). El cuadro 18 se puede observar el nombre de las especies más abundantes de este grupo.

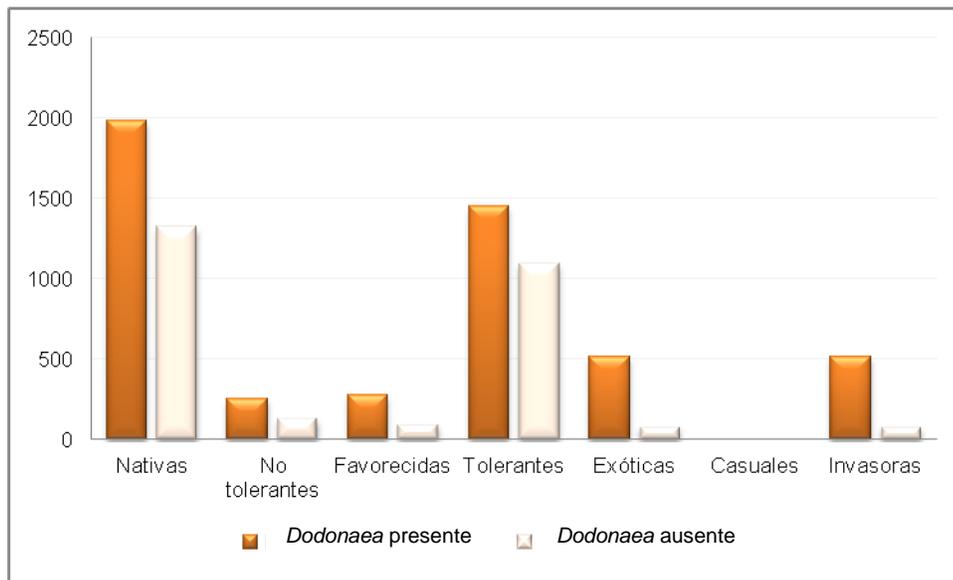


Figura 20. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en presencia y ausencia de *D. viscosa*, clima templado.

Cuadro 20. Especies con mayor abundancia del grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio, clima templado.

GRUPOS FUNCIONALES	ESPECIES
Tolerantes a disturbio	<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths
	<i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L.
Favorecidas por disturbio	<i>Sida neomexicana</i> A. Gray
	<i>Aristida adscencionis</i> L.
Introducidas/ invasoras	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka

En Troncón y Agua Zarca en el grupo funcional por hábito las especies más abundantes fueron las herbáceas perennes (Figura 21).

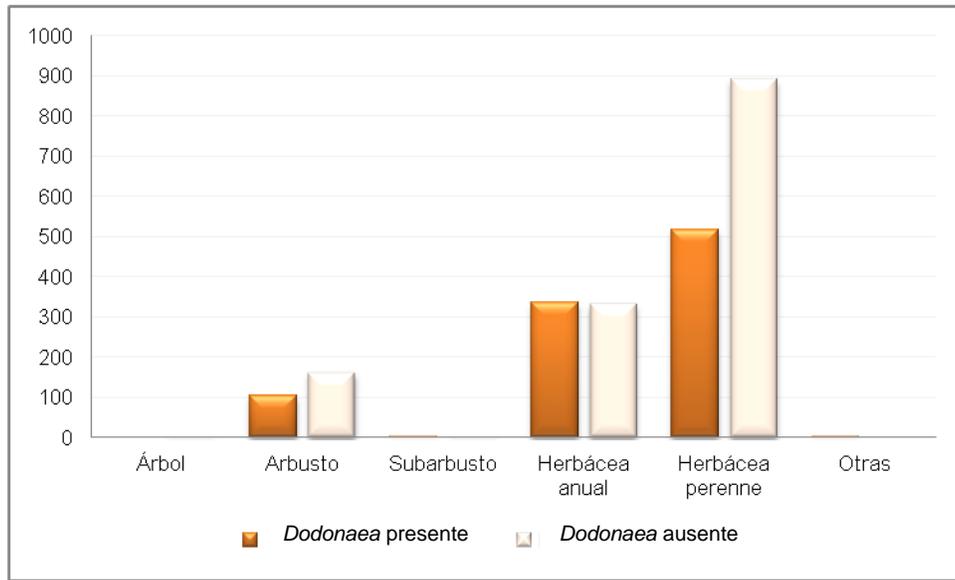


Figura 21. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por hábito en ausencia y presencia de *D. viscosa*, clima semicálido

En el grupo funcional por origen y tolerantes a disturbio las especies más abundantes fueron las tolerantes (Figura 22). El cuadro 19 se puede observar el nombre de las especies más abundantes de este grupo.

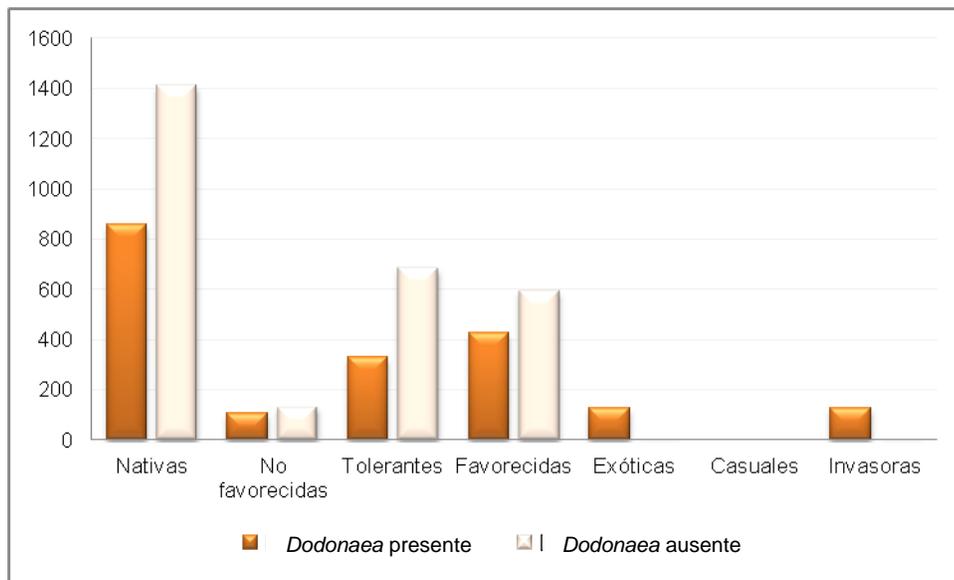


Figura 22. Frecuencia de vegetación por grupo funcional por origen y tolerancia al disturbio en presencia y ausencia de *D. viscosa*, clima semicálido.

Cuadro 21. Especies con mayor abundancia dentro del grupo funcional de tolerantes a disturbio, clima semicálido.

GRUPOS FUNCIONALES	ESPECIES
Tolerantes a disturbio	<i>Bouteloua gracilis</i> (Kunth) Lag. ex Griffiths <i>Evolvulus alsinoides</i> (L.) L. <i>Lippia graveolens</i> Kunth
Favorecidas por disturbio	<i>Sida neomexicana</i> A. Gray <i>Aristida adscencionis</i> L.
Introducidas/invasoras	<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka

Las especies registradas por medio de las líneas Canfield en los dos sitios se muestran en los cuadros 18 y 19.

Cuadro 22. Especies registradas en clima templado (Cuatro de Octubre).

No.	Género	Especie	Autor	Familia
1	<i>Ruellia</i>	<i>parryi</i>	A. Gray	Acanthaceae
2	<i>Guilleminea</i>	sp.		Amaranthaceae
3	<i>Gomphrena</i>	<i>nitida</i>	Rothr.	Amaranthaceae
4	<i>Eryngium</i>	<i>beecheyanum</i>	Hook. & Arn.	Apiaceae
5	<i>Asclepias</i>	sp.		Apocynaceae
6	<i>Agave</i>	<i>durangensis</i>	Gentry	Asparagaceae
7	<i>Eryngium</i>	<i>beecheyanum</i>	Hook. & Arn.	Asparagaceae

8	<i>Macrosiphonia</i>	<i>hypoleuca</i>	Müll. Arg.	Apocynaceae
9		Asteraceae 1		Asteraceae
10	<i>Pectis</i>	<i>cylindrica</i>	(Fernald) Rydb.	Asteraceae
11	<i>Sanvitalia</i>	<i>procumbens</i>	Lam.	Asteraceae
12	<i>Stevia</i>	<i>serrata</i>	Cav.	Asteraceae
13	<i>Perymenium</i>	<i>mendezii</i>	DC.	Asteraceae
14		Asteraceae 2		Asteraceae
15		Asteraceae 3		Asteraceae
16		Asteraceae 4		Asteraceae
17	<i>Bidens</i>	sp.		Asteraceae
18	<i>Stevia</i>	sp.		Asteraceae
19	<i>Tagetes</i>	<i>lunulata</i>	Ortega	Asteraceae
20	<i>Stevia</i>	<i>ovata</i>	Willd.	Asteraceae
21	<i>Porophyllum</i>	<i>macrocephalum</i>	(D. C.) R.R. Jhonson	Asteraceae
22	<i>Brickellia</i>	<i>subuligera</i>	(Schauer) B. L. Turner	Asteraceae
23	<i>Heterosperma</i>	<i>pinnatum</i>	Cav.	Asteraceae
24	<i>Stevia</i>	<i>lucida</i>	Lag.	Asteraceae
25	<i>Dahlia</i>	<i>coccínea</i>	Cav.	Asteraceae
26	<i>Ageratum</i>	<i>corymbosum</i>	Zuccagni	Asteraceae
27	<i>Verbesina</i>	<i>rothrockii</i>	B. L. Rob. & Greenm.	Asteraceae
28	<i>Machaeranthera</i>	<i>gymnocephala</i>	(Gray) Shinners	Asteraceae

29	<i>Conyza</i>	sp.		Asteraceae
30	<i>Laennecia</i>	<i>sophifolia</i>	(Kunth) G. L. Nesom	Asteraceae
31	<i>Xanthocephalum</i>	<i>centauroides</i>	Willd.	Asteraceae
32	<i>Tagetes</i>	<i>micrantha</i>	Cav.	Asteraceae
33	<i>Schkuhria</i>	<i>pinnata</i>	(Lam.) Kuntze ex. Thell.	Asteraceae
34	<i>Heliotropium</i>	<i>limbatum</i>	Torr.	Boraginaceae
35	<i>Lepidium</i>	<i>virginicum</i>	L.	Brassicaceae
36	<i>Helianthemum</i>	<i>glomeratum</i>	Lag. ex D.C.	Cistaceae
37	<i>Lechea</i>	<i>tripetala</i>	Britton	Cistaceae
38	<i>Tradescantia</i>	<i>crassifolia</i>	Cav.	Commelinaceae
39	<i>Evolvulus</i>	<i>alsinoides</i>	(L.) L.	Convolvulaceae
40	<i>Ipomoea</i>	<i>capillacea</i>	(Kunth) G. Don	Convolvulaceae
41	<i>Evolvulus</i>	<i>prostratus</i>	Robins.	Convolvulaceae
42	<i>Ipomoea</i>	<i>stans</i>	Cav.	Convolvulaceae
43	<i>Dichondra</i>	<i>brachypoda</i>	Wooton & Standl.	Convolvulaceae
44	<i>Bulbostylis</i>	sp.		Cyperaceae
45	<i>Cyperus</i>	<i>seslerioides</i>	Kunth	Cyperaceae
46	<i>Euphorbia</i>	<i>pionosperma</i>	V. W. Steinm. & Felger	Euphorbiaceae
47	<i>Jatropha</i>	<i>dioica</i>	Sessé ex Cerv.	Euphorbiaceae
48	<i>Tragia</i>	<i>nepetifolia</i>	Cav.	Euphorbiaceae
49	<i>Euphorbia</i>	sp.		Euphorbiaceae

50	<i>Calliandra</i>	<i>humilis</i>	Benth.	Fabaceae
51	<i>Mimosa</i>	sp.		Fabaceae
52	<i>Rhynchosia</i>	<i>macrocarpa</i>	Benth.	Fabaceae
53	<i>Dalea</i>	<i>bicolor</i>	Humb. & Bonpl. ex Willd.	Fabaceae
54	<i>Nissolia</i>	<i>wislizenii</i>	(A. Gray) A. Gray	Fabaceae
55	<i>Galactia</i>	sp.		Fabaceae
56	<i>Macroptilium</i>	<i>atropurpureum</i>	(Moc. & Sessé ex D.C.) Urban	Fabaceae
57	<i>Zornia</i>	<i>diphylla</i>	Vogel	Fabaceae
58	<i>Desmodium</i>	sp.		Fabaceae
59	<i>Cologania</i>	sp.		Fabaceae
60	<i>Quercus</i>	sp.		Fagaceae
61	<i>Quercus</i>	<i>grisea</i>	Liebm.	Fagaceae
62	<i>Hypericum</i>	<i>parviflorum</i>	Salisb.	Hypericaceae
63	<i>Salvia</i>	<i>prunelloides</i>	Kunth	Lamiaceae
64	<i>Aspicarpa</i>	<i>humilis</i>	A. Gray	Malpighiaceae
65	<i>Aspicarpa</i>	sp.		Malpighiaceae
66	<i>Sida</i>	<i>neomexicana</i>	A. Gray	Malvaceae
67	<i>Dasyilirion</i>	<i>durangense</i>	Trel.	Nolinaceae
68	<i>Seymeria</i>	<i>pennellii</i>	B.L. Turner	Orobanchaceae
69	<i>Oxalis</i>	sp.		Oxaliaceae
70	<i>Melinis</i>	<i>repens</i>	(Willd.) Zizka	Poaceae
71	<i>Bouteloua</i>	<i>gracilis</i>	(Kunth) Lag.ex Griffiths	Poaceae

72	<i>Muhlenbergia</i>	<i>rigida</i>	(Kunth) Trin.	Poaceae
73	<i>Aristida</i>	<i>adscencionis</i>	L.	Poaceae
74	<i>Bothriochloa</i>	<i>barbinoides</i>	(Lag.) Herter	Poaceae
75	<i>Paspalum</i>	<i>distichum</i>	L.	Poaceae
76	<i>Digitaria</i>	<i>ternata</i>	Stapf	Poaceae
77	<i>Muhlenbergia</i>	<i>pubescens</i>	Hllichc.	Poaceae
78	<i>Schizachne</i>	sp.		Poaceae
79	<i>Setaria</i>	sp.		Poaceae
80	<i>Eragrostris</i>	sp.		Poaceae
81	<i>Eragrostis</i>	<i>mexicana</i>	(Hornem.) Link	Poaceae
82	<i>Aristida</i>	<i>divaricata</i>	Humb. & Bonpl. ex Willd.	Poaceae
83	<i>Lycurus</i>	<i>phalaroides</i>	H. B. & K.	Poaceae
84	<i>Eragrostis</i>	<i>pectinacea</i>	(Mich.) Nees exSteud.	Poaceae
85	<i>Polygala</i>	sp. 1		Polygalaceae
86	<i>Polygala</i>	sp. 2		Polygalaceae
87	<i>Gaga</i>	<i>kaulfussi</i>	(Kunze) Fay W. Li & Windham	Pteridaceae
88	<i>Diodia</i>	<i>teres</i>	Walter	Rubiaceae
89	<i>Crusea</i>	<i>diversifolia</i>	(Kunth) W. A. Anderson	Rubiaceae
90	<i>Borreria</i>	<i>remota</i>	(Lam.) Bacigalupo & E. L. Cabral	Rubiaceae

91	<i>Bacopa</i>	<i>procumbens</i>	(P. Mill.) Small	Schropuhularaceae
92	<i>Melampodium</i>	<i>sericeum</i>	Lag.	Asteraceae
93	<i>Echinocactus</i>	sp.		Cactaceae
94	<i>Opuntia</i>	sp.		Cactaceae
95	<i>Selaginella</i>	<i>lepidophylla</i>	(Hook. & Grev.) Spring	Selaginellaceae

Cuadro 23. Especies registradas en clima semicálido (Troncón y Agua Zarca).

No.	Género	Especie	Autor	Familia
1	<i>Elytraria</i>	<i>imbricata</i>	(Vahl) Pers.	Acanthaceae
2	<i>Ruellia</i>	<i>spissa</i>	Leonard	Acanthaceae
3	<i>Justicia</i>	<i>candicans</i>	(Nees) L. Benson	Acanthaceae
4	<i>Tetramerium</i>	<i>hispidum</i>	Nees	Acanthaceae
5	<i>Amaranthus</i>	sp.		Amaranthaceae
6	<i>Gomphrena</i>	<i>nitida</i>	Rothr.	Amaranthaceae
7	<i>Agave</i>	<i>durangensis</i>	Gentry	Asparagaceae
8	<i>Sanvitalia</i>	<i>procumbens</i>	Lam.	Asteraceae
9	<i>Pectis</i>	<i>prostrata</i>	Cav.	Asteraceae
10	<i>Pectis</i>	<i>cylindrica</i>	(Fernald) Rydb.	Asteraceae
11	<i>Perymenium</i>	<i>mendezii</i>	DC.	Asteraceae
12	<i>Zinnia</i>	<i>peruviana</i>	(L.) L.	Asteraceae
13	<i>Bidens</i>	sp.		Asteraceae
14	<i>Heterosperma</i>	<i>pinnatum</i>	Cav.	Asteraceae
15	<i>Pseudognaphalium</i>	<i>canescens</i>	(DC.) Anderb.	Asteraceae

16	<i>Zinnia</i>	<i>angustifolia</i>	Kunth	Asteraceae
17	<i>Bidens</i>	<i>odorata</i>	L.	Asteraceae
18	<i>Trixis</i>	<i>californica</i>	Kellog	Asteraceae
19	<i>Opuntia</i>	sp.		Cactaceae
20	<i>Echinocactus</i>	sp.		Cactaceae
21	<i>Celtis</i>	<i>pallida</i>	Torr.	Cannabaceae
22	<i>Commelina</i>	<i>coelestis</i>	Willd.	Commelinaceae
23	<i>Evolvulus</i>	<i>alsinoides</i>	(L.) L.	Convolvulaceae
24	<i>Dichondra</i>	<i>argentea</i>	Humb.Bonpl. ex Willd.	Convolvulaceae
25	<i>Ipomoea</i>	<i>murucoides</i>	Roem. & Schult.	Convolvulaceae
26	<i>Euphorbia</i>	sp.		Euphorbiaceae
27	<i>Euphorbia</i>	<i>antisiphylitica</i>	Zucc.	Euphorbiaceae
28	<i>Argythamnia</i>	<i>guatemalensis</i>	Pax &K. Hoffm.	Euphorbiaceae
29	<i>Jatropha</i>	<i>dioica</i>	Sessé ex Cerv.	Euphorbiaceae
30	<i>Euphorbia</i>	<i>colorata</i>	Engelm.	Euphorbiaceae
31	<i>Prosopis</i>	<i>laevigata</i>	(Humb. & Bonpl. Ex Willd.) M. C. Jhonst.	Fabaceae
32	<i>Mimosa</i>	sp.		Fabaceae
33	<i>Galactia</i>	<i>brachystachys</i>	Benth.	Fabaceae
34	<i>Phaseolus</i>	<i>pedicellatus</i>	Benth.	Fabaceae
35	<i>Krameria</i>	sp.		Krameriaceae
36	<i>Salvia</i>	<i>podadena</i>	Briq.	Lamiaceae
37	<i>Salvia</i>	<i>pruinosa</i>	Fernald	Lamiaceae
38	<i>Sida</i>	<i>neomexicana</i>	A. Gray	Malvaceae

39	<i>Waltheria</i>	<i>indica</i>	L.	Malvaceae
40	<i>Allionia</i>	<i>incarnata</i>	L.	Nyctaginaceae
41	<i>Boerhavia</i>	<i>erecta</i>	L.	Nyctaginaceae
42	<i>Bouteloua</i>	<i>gracilis</i>	(Kunth) Lag.ex Griffiths	Poaceae
43	<i>Paspalum</i>	<i>distichum</i>	L.	Poaceae
44	<i>Bouteloua</i>	<i>radicosa</i>	(Fourn.) Griffths	Poaceae
45	<i>Setaria</i>	<i>leucopila</i>	(Scribn. & Merr.)K. Schum.	Poaceae
46	<i>Bouteloua</i>	<i>aristidoides</i>	(Kunth) Griseb.	Poaceae
47	<i>Chloris</i>	<i>gayana</i>	Kunth	Poaceae
48	<i>Aristida</i>	<i>adscensionis</i>	L.	Poaceae
49	<i>Setaria</i>	<i>macrostachya</i>	Kunth	Poaceae
50	<i>Setaria</i>	<i>aff. viridis</i>		Poaceae
51	<i>Setaria</i>	<i>parviflora</i>	Kerguélen	Poaceae
52	<i>Bouteloua</i>	<i>curtipendula</i>	(Mich.) Torr.	Poaceae
53	<i>Dasyochloa</i>	<i>pulchella</i>	(Kunth) Willd.ex Rybd.	Poaceae
54	<i>Muhlenbergia</i>	<i>rigida</i>	(Kunth) Trin.	Poaceae
55	<i>Bothriochloa</i>	<i>barbinoides</i>	(Lag.) Herter	Poaceae
56	<i>Melinis</i>	<i>repens</i>	(Willd.) Zizka	Poaceae
57		Poaceae 1		Poaceae
58		Poaceae 2		Poaceae
59	<i>Portulaca</i>	<i>pilosa</i>	L.	Portulacaceae
60	<i>Astrolepsis</i>	sp.		Pteridaceae
61	<i>Diodia</i>	<i>teres</i>	Walter	Rubiaceae

62	<i>Crusea</i>	<i>diversifolia</i>	(Kunth) W. A. Anderson	Rubiaceae
63	<i>Selaginella</i>	<i>lepidophylla</i>	(Hook. & Grev.) Spring	Selaginellaceae
64	<i>Lippia</i>	<i>graveolens</i>	Kunth	Verbenaceae
65	<i>Lantana</i>	<i>achyranthifolia</i>	Desf.	Verbenaceae

VII. DISCUSIÓN

7.1. VARIABLES AMBIENTALES Y PRESENCIA DE *D. viscosa*

La presencia de *D. viscosa* es mayor en el sitio de clima semiárido templado (Cuatro de Octubre) pero su densidad es mayor en el de clima semicálido (Troncón y Agua Zarca) (Cuadro 7). El clima semicálido en Troncón y Agua Zarca favorece que la planta se establezca sin ningún problema, como ocurre también en climas semiáridos y subhúmedos (Juan-Pérez *et al.* 2010). La diferencia entre sitios fue más notable en los individuos de regeneración. En el año 2017 se presentaron heladas en el área del sitio de clima templado, lo cual fue un factor determinante para que hubiera menor densidad en los individuos de regeneración, puesto que al presentar estado latente los individuos adultos no existieron las condiciones óptimas para la producción de frutos y semillas (Figura 23).

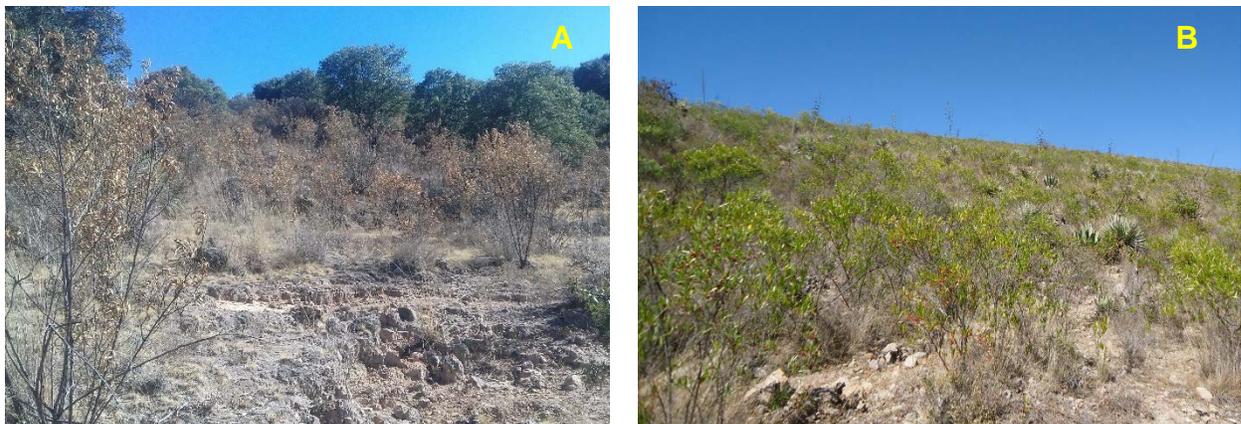


Figura 23. Condición de *D. viscosa*, clima templado (A) y sitio clima semicálido (B), al día 27 de enero de 2018.

La mayoría de los individuos adultos en el sitio de clima templado presentaron rebrotes desde la base (RB), después de que la parte aérea fue afectada por las heladas y bajas temperaturas que se tuvieron en esa zona en el año 2017. No obstante, se corroboró que la especie es resistente a bajas temperaturas en

individuos adultos, como ha sido reportado por Harrigton y Gadek (2009) y CONABIO (2009), ya que no se registraron individuos muertos al momento de realizar los muestreos en el periodo de agosto-octubre 2018. En el sitio Troncón y Agua Zarca no se presentaron heladas y todos los individuos adultos y de regeneración muestreados presentaron vigor (Figura 24).

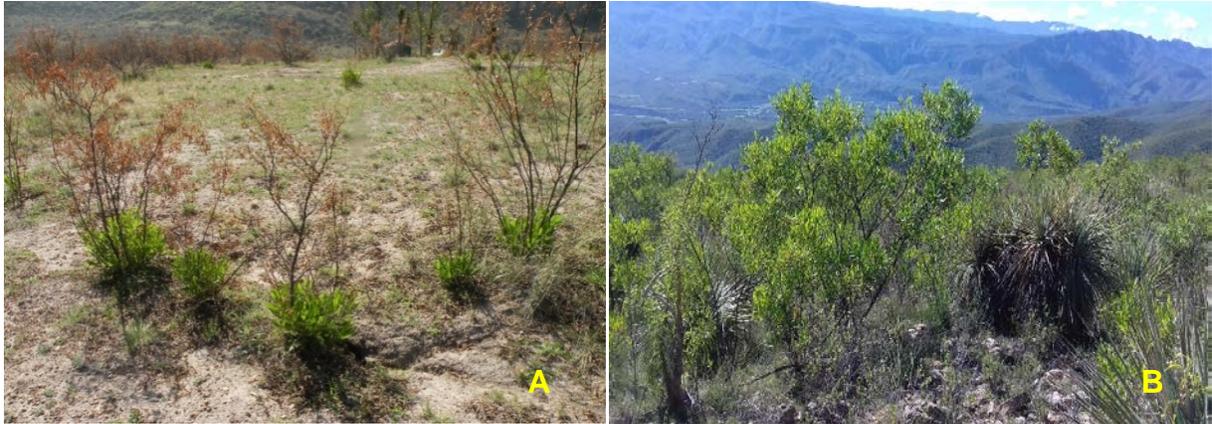


Figura 24. Condición de *D. viscosa* en clima templado (A) y en el de clima semicálido (B), en septiembre 2018.

De acuerdo a CONABIO (2009), el componente edáfico no es un elemento determinante para el crecimiento de *D. viscosa*. En contraste, los resultados de este trabajo revelan que la erosión eólica es la variable más importante que se relaciona con la presencia en individuos adultos de *Dodonaea* en el sitio de clima templado (Figuras 13 y 25). Las actividades principales que favorecen este tipo de erosión son la deforestación, el sobrepastoreo y las prácticas agrícolas inadecuadas (Pimentel *et al.* 1995).



Figura 25. Erosión eólica e hídrica en área de estudio.

Sin embargo, con los datos disponibles no es posible saber si la erosión propicia el establecimiento de la especie o si es la presencia de la especie la causante de erosión. De ocurrir la segunda opción, los conocidos efectos alelopáticos de *D. viscosa* (Maraschin-Silva y Alves Aqüila 2005; Ullah *et al.* 2010), pudieran ser la razón de que al establecerse la especie se reduzca la cobertura de herbáceas y por lo tanto el suelo quede desprotegido y se erosione.

La distribución y degradación de la vegetación está vinculada con la topografía del terreno, la cual puede usarse para desarrollar estrategias de conservación y rehabilitación de áreas naturales dañadas (López *et al.* 2003). La topoforma tuvo una relación significativa con la presencia de individuos adultos de *D. viscosa* tanto en clima templado como semicálido (Figuras 13 y 16). De igual manera los resultados obtenidos por medio de Sistema de Información Geográfica muestran mayor frecuencia de topoformas en pendientes abiertas (pendientes con mayor exposición solar) en ambos sitios. Esta observación coincide con Camacho *et al.* (2013), quienes mencionan que *D. viscosa* es una planta heliófila, es decir, crece en lugares

con incidencia directa de los rayos del sol. Debido a ello es normal que se vea favorecida en lugares abiertos, como es el caso del área de estudio (Figuras 9 y 10).

La de orientación es una de las variables topográficas que explican con mayor significancia la presencia de individuos adultos de *D. viscosa* en los sitios estudiados (Figuras 13 y 16). Las condiciones microclimáticas en las pendientes varían bruscamente, aun a unos pocos de metros de distancia, lo cual afecta la biología de los organismos en todos los niveles. Las laderas orientadas al sur pueden recibir seis veces más radiación solar que las orientadas al hemisferio norte (Auslander *et al.* 2003). Esta variable está relacionada con la insolación o cantidad de energía en forma de radiación solar que llega a la superficie terrestre. *Dodonaea viscosa* es una especie demandante de luz solar, por ello prefiere considerablemente la exposición oriente (Figuras 9 y 10). Lo anterior concuerda con los resultados encontrados por Acosta-Hernández (2015) donde las exposiciones oriente, sur y suroeste fueron las predominantes en su estudio. En el presente estudio las exposiciones encontradas con mayor frecuencia en clima templado son la cenital y oriente, seguidas por la sureste y suroeste. En clima semicálido, *D. viscosa* se presenta particularmente en las caras oriente y sureste (Figuras 11 y 12).

La pedregosidad y el afloramiento rocoso son variables topográficas que mostraron mayor importancia para el desarrollo de individuos adultos de *D. viscosa* en sitios de clima cálido (Figura 13). En regeneración, la variable de afloramiento rocoso presenta gran relación en ambos sitios (Figuras 14 y 17) (Figuras 26 y 27). Este tipo de variables en determinado sitio se puede deber a varios factores, uno en sí es el tipo de suelo, otro puede ser consecuencia de perturbaciones que han provocado erosión y desgaste del suelo. *Dodonaea viscosa* puede crecer en afloramientos rocoso (Juan-Pérez *et al.* 2010), el componente edáfico no lo condiciona o determina ya que esta especie crece en una gran variedad de suelos, incluyendo los someros, rocosos y con pendientes (Camacho *et al.* 1993).



Figura 26. Pedregosidad y afloramiento rocoso con presencia de *D. viscosa*, en clima templado.



Figura 27. Pedregosidad y afloramiento rocoso con presencia de *D. viscosa*, en clima semicálido.

En el sitio de clima semicálido la variable de compactación fue la que presentó mayor importancia tanto con la presencia de individuos adultos como de regeneración de *D. viscosa* (Figuras 16 y 17). La compactación representa uno de los principales problemas de degradación física del suelo. Entre los factores más frecuentes que lo ocasionan están las acciones de pastoreo y el pisoteo del ganado (Medina 2016), como se observó en el área de estudio, donde el disturbio por sobrepastoreo presenta una relación alta con la presencia de *Dodonaea* además de su regeneración (Figura 28).



Figura 28. Compactación de suelo debida a sobrepastoreo en sitio de clima semicálido.

7.1.2 Relación de *D. viscosa* con disturbio

Los resultados obtenidos indican que existe una gran relación entre el sobrepastoreo y la abundancia de *D. viscosa*, tanto en individuos adultos como en regeneración en ambos sitios (Figuras 15, 18 y 29).



Figura 29. Presencia de ganado en área de estudio.

Este tipo de disturbio propicia la invasión de algunas plantas leñosas y de elementos herbáceos que los animales no comen (Rzedowzki 2006) *Dodonaea viscosa* no es aprovechada por ningún tipo de ganado por lo tanto no tiene ningún tipo de depredador, otro factor que favorece su abundancia.

En estudios realizados con tres invasoras (*Centaurea stoebe* L., *Linaria dalmatica*(L.) Mill. y *Potentilla recta* (L.)), se muestra que en parcelas perturbadas, las especies invasoras impactaron fuertemente la cobertura nativa en todos sus niveles de riqueza, debido a que, la perturbación las favoreció sobre las especies nativas, por lo tanto la perturbación agrava los impactos de las invasoras sobre la abundancia de las especies nativas (Pinto y Ortega 2016).

Una revisión del establecimiento de especies exóticas con relación a las perturbaciones humanas en los ecosistemas revela que las invasiones dominan en ecosistemas terrestres (más del 97%) (Lozon y MacIssac 1997). El 56% del establecimiento de las especies invasoras está asociado con la perturbación producida por pastoreo e introducción de semilla.

En el estado de Durango, la estructura de los bosques templados se está modificando hacia comunidades más abiertas. Los bosques están siendo desplazados por matorrales de manzanita (*Arctostaphylos pungens* Kunth) o charrasquillo (*Quercus depressipes* Trel.) y bosques de encino están siendo sustituidos por matorrales de *D. viscosa*. El incremento de estas arbustivas está ligado a un deterioro provocado por el sobrepastoreo, tala e incendios (González-Elizondo *et al.* 2005). En el municipio de Tepehuanes, Durango, *D. viscosa* forma matorrales secundarios que anteriormente fueron ocupados por bosque abierto de encino o bosque de encino (González-Elizondo *et al.* 2007)

En Durango, *D. viscosa* se encuentra en zonas fragmentadas con matorral subtropical, matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosque de encino y bosque bajo abierto de pino-encino (González-Elizondo *et al.* 2012). En un contexto más amplio, se le considera un elemento abundante y dominante en vegetación secundaria, desde matorrales y pastizales hasta bosques, además de que es favorecida por el disturbio y no tiene problemas de supervivencia (Calderón y Rzedowzki 2006).

Para los análisis de disturbio en el sitio Cuatro de Octubre no se evaluaron y analizaron incendios y aprovechamiento, debido a que en los registros de incendios de CONAFOR sólo se encontró uno superficial en el año 2012 y dichos registros solo se tienen a partir del año 1999. Por otra parte, en campo no se observaron indicios de este disturbio. No obstante, lo anterior no quiere decir que en el área no se hayan presentado incendios de magnitud mayor. En el caso de aprovechamiento, al solicitar el historial de manejo del área ante SEMARNAT no encontraron registros de programas de aprovechamiento tanto de recursos maderables como no maderables.

En Troncón y Agua Zarca, el disturbio que no fue evaluado y analizado fue incendios, por la razón anteriormente expuesta en el sitio Cuatro de Octubre. Es importante mencionar que el Ejido tiene vigente el aprovechamiento de *Agave durangensis*.

Las variables climáticas se descartaron del análisis estadístico en ambos sitios, ya que como el número de muestra fue pequeño no se presentó ninguna variación en

las variables entre cada punto, en el cuadro 4 se puede observar el promedio del historial de las variables climatológicas para los dos sitios.

7.1.3 Consideraciones de manejo de la especie

Dodonaea viscosa ha sido propuesta como una especie adecuada para reforestación y restauración de áreas perturbadas (Camacho *et al.* 1993; Benítez-Rodríguez 2005). Se ha considerado que favorece la formación de suelo (Ramos-Montaña 2002). Sin embargo, es importante tomar en cuenta que el carácter invasivo y oportunista de *D. viscosa* la convierten en una especie indeseable, dadas sus características biológicas y reproductivas se convierte en una invasora potencial y lo hace en un tiempo relativamente corto (Laguna Lumbreras y Sánchez de Lorenzo 2009).

En su ficha sobre *D. viscosa*, la CONAFOR (2009) y Arriaga *et al.* (1994) han llegado a recomendar plantaciones de la especie y de eliminar a las herbáceas que crezcan en dicha plantación: "Deshierbe. Si el terreno presenta problemas de malezas se recomienda realizar deshierbes manuales o mecánicos dependiendo de las condiciones del terreno. Si éste presenta pendientes mayores a 12%, para evitar la erosión del suelo se recomienda remover la vegetación solamente en los sitios donde se sembrarán las plantas, en franjas o alrededor de las cepas. Esta actividad podrá realizarse por medio de chapear la vegetación, con machetes, o retirarla manualmente". Es importante tomar en cuenta que, además de los costos económicos y de recursos que ese deshierbe implicaría, el costo más grave es el ambiental, al propiciar la producción de una especie invasora y al mismo tiempo eliminar la cubierta herbácea que favorece la captación y filtración de agua y protege al suelo contra la erosión.

Como se puntualiza en la justificación de este trabajo, la falta de conocimiento de la ecología de esta y de otras especies nos lleva a cometer errores graves al introducir especies invasoras en programas de restauración. De aplicarse las recomendaciones arriba mencionadas se amenaza la diversidad biológica y se causan daños al ambiente, a la economía, a la salud humana, se perjudican los servicios ambientales, se modifican los ciclos biogeoquímicos y se deterioran los ecosistemas,

consecuencias que causan las especies invasoras en general (Aguirre Muñoz *et al.* 2009).

7.1.4 Estudio de especies invasoras

Existen diferentes hipótesis sobre el éxito de las especies invasoras (Enders *et al.* 2019). Está por ejemplo la de su rápida adaptación a las condiciones después de la introducción en determinada área y de que fenotípicamente tienen mayor plasticidad que las especies nativas (Duncan y Williams 2002; Richards *et al.* 2006). Otra muy importante es que las especies invasoras aumentan con la disponibilidad de nichos vacíos (MacArthur 1970). Desde la década de los 90's existe la hipótesis que se planteó en este trabajo sobre que las especies invasoras tienen mayor éxito en un ecosistema perturbado (Hobbs y Huenneke 1992).

Las plantas leñosas no se consideraban invasoras importantes hasta hace poco tiempo, no obstante varias de ellas ahora son consideradas entre los organismos invasores más perjudiciales y extendidos en todo el mundo (Richardson y Rejmánek 2011).

Aún hay muchos huecos en la investigación referente a las especies invasoras. Una reciente evaluación general del conocimiento sobre invasiones biológicas en México (Ramírez Albores *et al.* 2019), muestra que las investigaciones realizadas han aumentado en las últimas décadas en el país, enfocadas principalmente a las plantas vasculares; no obstante, estas se dirigen a la historia natural y a los patrones de distribución geográfica. Lo que queda por hacer, es un mayor trabajo en el cual se contemplen los efectos de las especies invasoras en la biota y los ecosistemas nativos, así como también su impacto socioeconómico (Ramírez Albores *et al.* 2019).

El equilibrio de los sistemas ambientales en la zona de estudio es importante. El área forma parte de la cuenca alta del río San Pedro-Mezquital, el séptimo río más caudaloso del país y el último que cruza libre de presas la Sierra Madre Occidental (SMO). El río San Pedro-Mezquital comienza en las sierras más altas de Durango y Zacatecas; cruza la SMO a través del cañón del Mezquital y continúa hacia las llanuras costeras de Nayarit hasta llegar al Océano Pacífico (WWF 2012). El mal uso

y apropiación de los recursos naturales por parte del ser humano, ha dado como resultado la disminución de superficies con vegetación natural, áreas fragmentadas y el aumento de vegetación secundaria, modificando la composición y estructura de los ecosistemas (González-Elizondo *et al.* 2007).

7.2. GRUPOS FUNCIONALES

En el sitio de clima templado se tuvieron 15 especies indicadoras de buena condición, 20 indicadoras de disturbio y 57 que son tolerantes a éste. Lo cual indica que en el área el disturbio es permanente (Cuadro 18). En el sitio de clima semicálido se tuvieron 12 especies indicadoras de buena condición, 18 indicadoras de disturbio y 32 que son tolerantes a éste. Este sitio presenta menor diversidad de especies que el de clima templado (Cuadro 19), lo que se pudo observar en campo es que adicionalmente de que está expuesto a un constante disturbio (sobrepastoreo) se tiene una considerable pérdida de suelo.

7.2.1 Relación de grupos con *D. viscosa*

En clima templado hay una relación en el grupo funcional por hábito en la variable de arbustos (Cuadros 9 y 10). En contraste, no se encontró ninguna relación con *D. viscosa* y el grupo funcional por origen (cuadro 10 y 11).

En clima semicálido para el grupo funcional por hábito no se encontró ninguna relación (Cuadros 12 y 13). Pero se encontró relación de *D. viscosa* y el grupo funcional de origen en las variables invasoras y tolerantes (Cuadros 14 y 15).

Diversos estudios han utilizado la caracterización de las especies vegetales para estimar el grado de disturbio en un área determinada. El estudio de grupos funcionales de plantas es una herramienta útil en la identificación de características ecológicas de importancia en la regeneración de una comunidad (Castellanos y Bonilla 2011). A partir de las diferencias funcionales de los grupos se puede lograr identificar una muy amplia gama de estrategias ecológicas, las cuales muestran información respecto a su crecimiento, resistencia, características vegetativas y reproductivas. Se han realizado estudios que proponen el enfoque de grupos

funcionales para iniciativas de restauración ecológica, ya que muestran información de composición y estructura de la vegetación autóctona y la interpretación funcional en trayectorias sucesionales es más clara (Clavijo y López 2017).

Las especies se distinguen en la forma en que responden a los cambios ambientales, como los disturbios naturales o de origen humano. Las especies que son similares en sus atributos, en sus respuestas a disturbios, o que desempeñan un papel ecológico semejante conforman un grupo funcional. Grime (2006) propuso un esquema de clasificación funcional de plantas, conocido como estrategias C-R-S, que se basa en considerar la habilidad de las plantas para: C (competitividad); S (tolerancia al estrés); R (estrategia ruderal), plantas que colonizan áreas abiertas producidas por un disturbio. Tenemos entonces que las plantas que habitan sitios sujetos a disturbios recurrentes (incendios, deslaves, apertura de brechas) presentan una estrategia R (Martínez-Ramos 2008).

Es posible analizar la relación entre las estrategias y las formas de vida. El rango más amplio de estrategias se atribuye a las hierbas perennes y a los helechos. Las hierbas anuales son predominante ruderales, las bianuales se ubican generalmente en competidoras-ruderales y tolerantes al estrés-ruderales. Los árboles y arbustos son competidores, tolerantes al estrés-competidores y tolerantes al estrés (Grime 2006).

Vegetación tolerante al estrés

Diversos factores ambientales pueden ser los causantes de estrés en las especies, los más frecuentes son el suministro de energía solar, agua y nutrientes minerales, inclusive la propia vegetación con el efecto sombra o la disminución de nutrientes en el suelo. Las especies en estas condiciones presentan una mayor longevidad entre diversas características, como bajas tasas de crecimiento, el hábito perenne, órganos de larga vida, floración infrecuente y un conjunto de mecanismos que les permiten la entrada de recursos durante las escasas condiciones favorables. Lo que lleva a la presencia de hojas funcionales y la presencia de raíces durante la mayor parte del año. En estas especies, las respuestas más importantes al estrés son

fisiológicas más que morfológicas. Algunas especies desarrollan mecanismos que las hacen menos vulnerables a la herbivoría, como espinas o reducción de la palatabilidad (Grime 2006), como es el caso de *D. viscosa*, muy poco palatable debido a la resina viscosa que la cubre.

Vegetación ruderal

Entre las características más relevantes de las especies que presentan esta estrategia es la tendencia a un ciclo de vida anual o de corta duración. Otra característica es la capacidad de producir altas tasas de materia seca, lo cual maximiza la producción de semillas (Grime 2006).

Con base a lo anterior se puede definir que el sitio Cuatro de Octubre presenta niveles altos de estrés, a lo cual se debe la mayor presencia de especies tolerantes al estrés (grupo funcional por origen). Esto es en ausencia o presencia de *D. viscosa*, pero también es un área con niveles altos de disturbio presentando mayor frecuencia en los puntos con presencia de *D. viscosa*, lo anterior debido a la mayor abundancia de las herbáceas anuales. Uno de los factores que tienen mayor influencia en el estrés y disturbio del área es el sobrepastoreo (Figuras 19 y 20).

El sitio Troncón y Agua Zarca, presenta un alto nivel de disturbio en ausencia o presencia de *D. viscosa* debido a que las herbáceas anuales (grupo funcional por hábito) prácticamente son igual de abundantes este presente o no la especie, el nivel de estrés del área es alto, no obstante este es mayor en ausencia de *D. viscosa* debido a la mayor abundancia de especies tolerantes al estrés (grupo funcional por origen y tolerantes al estrés). En el clima semicálido sólo se tuvo especies invasoras con presencia de *D. viscosa*. (Figuras 21 y 22). En los dos sitios las especies invasoras (con mayor abundancia *Melinis repens*) tuvieron mayor presencia en sitios con *D. viscosa* (Figuras 20 y 22).

VIII. CONCLUSIONES

La abundancia de *D. viscosa* en espacios de los ejidos Cuatro de Octubre y Troncón y Agua Zarca del estado de Durango está asociada al tipo y grado de sobrepastoreo en la zona. Los otros dos disturbios (incendios y aprovechamiento) no pudieron ser analizados por falta de evidencias y de información.

Dodonaea viscosa tuvo mayor densidad en climas semicálidos (sitio Troncón y Agua Zarca), mientras que en climas semisecos templados (sitio Cuatro de Octubre) se observó que la presencia de heladas puede afectar la abundancia de esta planta.

La exposición que más favoreció la presencia o ausencia de *D. viscosa* fue la oriente y la topoforma fue la de pendientes abiertas con mayor exposición al sol.

En los dos sitios analizados, el disturbio por sobrepastoreo es constante, no se le da a las áreas el tiempo de recuperación necesario.

La clasificación de las especies en grupos funcionales facilita la evaluación de un área determinada. Los dos sitios muestran un alto nivel de disturbio en presencia o ausencia de *D. viscosa*. (Figuras 19 y 21).

El sitio de clima templado presentó mayor abundancia de especies.

IX. RECOMENDACIONES

- Dar descansos a las áreas de pastoreo y reducir la carga de ganado.
- Realizar trabajos de restauración y conservación del suelo.
- No dar uso a *D. viscosa* en trabajos de restauración y conservación.
- Luego de un disturbio (incendio, aprovechamiento) poner atención a las áreas afectadas e identificar si existe la presencia de *D. viscosa*, dar seguimiento y control para evitar su establecimiento.
- Realizar un estudio más amplio incluyendo entrevistas a personas de las comunidades donde está invadiendo *D. viscosa*, el cual permita entender los factores que favorecen el establecimiento de esta especie.
- Ampliar la escala del estudio incluyendo variables meteorológicas y de suelo, que permitan definir los factores bióticos y abióticos que favorecen esta especie.

X. BIBLIOGRAFÍA

Acosta-Hernández, A. 2015. Papel sucesional de *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) en la Cuenca alta del Río San Pedro. Tesis de Maestría en Ciencias en Gestión Ambiental. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR-Durango. 98 pp.

Aguirre Muñoz, A., R. Mendoza Alfaro, H. Arredondo, L. Arriaga, E. Campos, S. Contreras Balderas, E. Gutiérrez, F. J. Espinoza, I. Fernández, L. Gutiérrez, F. J. García, D. Lazcano, M. Martínez, M.E. Meave, R. Medellín. E. Naranjo, M.T. Olivera, M. Pérez, G. Rodríguez, G. Salgado A. Samaniego, E. Suarez, H. Vibrans, J. A. Zertuche. 2009. Especies exóticas invasoras: impacto sobre las poblaciones de flora y fauna, los procesos ecológicos y la economía. Capital natural de México. CONABIO, México. pp. 277-318.

Arriaga, V., V. Cervantes, A. Vargas-Mena. 1994. Manual de Reforestación con Especies Nativas: Colecta y Preservación de Semillas, Propagación y Manejo de Plantas. Secretaría de Desarrollo Social; Instituto Nacional de Ecología (México); Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ciencias. 219 pp.

Auslander, M., E. Nevo, M. Inbar. 2003. The effects of slope orientation on plant growth, developmental instability and susceptibility to herbivores. *Journal of Arid Environments* 55(3): 405-416.

Baraza Ruiz, E., J. P. Estrella-Ruiz. 2008. Manejo sustentable de los recursos naturales guiado por proyectos científicos en la mixteca poblana mexicana. *Ecosistemas* 17(2): 3-9

Benítez-Rodríguez, J. L. 2005. Estudio ecofisiológico de germinación y crecimiento de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. con fines de restauración en zonas perturbadas del

Valle de México. Disertación doctoral. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

Calderón, G., J. Rzedowski. 2006. Flora del Bajío y regiones adyacentes, Fascículo 142 SAPINDACEAE. Instituto de Ecología A.C. Pátzcuaro, Michoacán, México. 70 pp.

Camacho, F., V. González y Á. Mancera. 1993. Guía tecnológica para el cultivo del chapulixtle *Dodonaea viscosa* Jacq. Arbusto útil para producción de tutores hortícolas, control de erosión y setos urbanos. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. México. 35 pp.

Carabias, J., J. A. Meave, T. Valverde, Z. Cano Santana. 2009. Ecología y medio ambiente en el siglo XXI. Pearson Educación. México. 264 pp.

Castellanos-Castro, C., M. A. Bonilla. 2011. Grupos funcionales de plantas con potencial uso para la restauración en bordes de avance en un bosque altoandino. Acta Biológica Colombiana 16(1): 153-174.

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención contra Desastres). 2006. www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/115.pdf (Consultado en junio 2017).

Clavijo O., K. J., E. A. López. 2017. Propuesta metodológica de restauración para la vegetación riparia a partir de la variación de la composición florística en diferentes épocas climáticas del humedal Torca-Guymaral. Producción + Limpia 12(1): 49-62.

Coello Blanco, L., L. Casas, O. L. Pérez González, Y. Caballero Motata. 2015. Redes neuronales artificiales en la producción de tecnología educativa para la enseñanza de la diagonalización. Revista académica y virtualidad 8(1): 12-20.

Comité Asesor Nacional sobre Especies Invasoras. 2010. Estrategia nacional, sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. 91 pp.

CONABIO. 2009. Malezas de México. <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/sapindaceae/dodonea-viscosa/fichas/ficha.htm>. (Consultado el 04 de junio del 2017).

CONABIO. 2018. Distribución de las especies. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. <https://www.biodiversidad.gob.mx/especies/distribesp.html>. (Consultado el 06 de mayo del 2018).

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2009. *Dodonaea viscosa* L. Jacq. www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/918Dodonea%20viscosa%20.pdf (Consultado septiembre 2017).

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2010. Incendios Forestales, Guía práctica de comunicadores. Comisión Nacional Forestal México. 54 pp.

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2018. Serie histórica anual de incendios. <https://datos.gob.mx/busca/dataset/incendios-forestales> (Consultado el 04 de septiembre del 2018).

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Historial de lecturas climatológicas de las estaciones de Santiago Bayacora y Troncón y Agua Zarca.

Duncan, R.P., P.A. Williams. 2002. Darwin's naturalization hypothesis challenged. *Nature* 417: 608-609. <http://doi.org/10.1038/417608a>.

Enders, M., F. Havemann, J. M. Jeschke. 2019. A citation-based map of concepts in invasion biology. *Neobiota* 47: 23-42. <https://doi.org/10.3897/neobiota.47.32608>

Espinoza González, M., P.F. Quintana Ascencio., N. Ramírez Marcial., P. Gaytán Guzmán. 1991. Secondary succession in disturbed *Pinus-Quercus* forests of the highlands of Chiapas, México. *Journal of Vegetation Science* 2(3): 351-360. DOI: 10.2307/3235927.

Fox, B.J., M.D. Fox. 1986. Resilience of animal and plant communities to human disturbance en: Dell B., Hopkins A.J.M., Lamont B.B. (eds.) *Resilience in mediterranean-type ecosystems. Tasks for Vegetation Science* Springer, Dordrecht 16: 39-64. DOI: 10.1007/978-94-009-4822-8_4.

Glowka, L., F. Burhenne-Guilmin, H. Synge en colaboración J. A. McNeely, L. Gündling. 1996. *Guía del Convenio sobre la Diversidad Biológica*. UICN Gland y Cambridge. 179 pp.

González Elizondo, M. S., M. González Elizondo, I. L. López Enriquez, J. A. Tena Flores, M. A. Márquez Linares. 2005. Cambios y tendencias sucesionales en ecosistemas de Durango. *Vidsupra* 1(1):5-11.

González Elizondo, M.S., M. González Elizondo y M.A. Márquez Linares. 2007. *Vegetación y Ecorregiones de Durango*. Plaza y Valdez S.A de C.V. México, D.F. 219 pp.

González Elizondo, M.S., M. González Elizondo, J.A. Tena Flores, L. Ruacho González, I.L. López Enríquez. 2012. *Vegetación de la Sierra Madre Occidental, México: Una síntesis*. *Acta Botanica Mexicana* 100: 351-403.

Grime, J. P. 2006. *Plant strategies, Vegetation Processes, and Ecosystem Properties*, 2nd Edition. John Wiley & Sons. Chichester. 416 pp.

Guevara Romero, M., M. B. R. Torres Morales, M. L. Flores Lucero. 2015. Aprovechamiento sustentable de los recursos naturales desde la visión de las comunidades indígenas: Sierra Norte del Estado de Puebla. *Nova Scientia* 7(14): 511-537.

Harrigton, M. 2008. Phylogeny and evolutionary history of Sapindaceae and *Dodonaea*. PhD Thesis, James Cook University. Australia. 185 pp.

Harrigton, M. G., P. A. Gadek. 2009. A species well travelled - the *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae) complex based on phylogenetic analyses of nuclear ribosomal ITS and ETSf sequences. *Journal of Biogeography* 36: 2313-2323.

Hellmann, J. J., J.E. Byers, B.G. Bierwagen. y J. S. Dukes. 2008. Five potential consequences of climate change for invasive species. *Conservation Biology* 22(3): 534-543.

Hobbs, R. J., L. F. Huenneke. 1992. Disturbance, diversity, and invasion-implications for conservation. *Conservation Biology* 6: 324-337.

IMTA, CONABIO, GECI, Aridamérica, The Nature Conservancy. 2007. Especies invasoras de alto impacto a la biodiversidad. Prioridades en México. Jiutepec, Morelos. 72 pp.

INEGI. 2004. Guía para la interpretación para cartografía: edafología. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. México. 28 pp.

INEGI. 2018a. Fisiografía. Serie 1:1000000. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/fisiografia/infoescala.aspx> (Consultado el 30 de marzo del 2018).

INEGI. 2018b. Climatología. Serie 1:1000000.
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/clima/infoescala.aspx> (Consultado el 30 de marzo del 2018).

INEGI. 2018c. Geología. Escala 1:50000.
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/geologia/infoescala.aspx> (Consultado el 30 de marzo del 2018).

INEGI. 2018d. Edafología. Escala 1:50000.
<http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/edafologia/infoescala.aspx>
(Consultado el 30 de marzo del 2018).

INEGI. 2018e. Conjunto de datos vectoriales, Uso de Suelo y Vegetación. Escala 1:250000. Serie VI. Capa unión.
<http://www.beta.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359>
(Consultado el 30 de marzo del 2018).

INEGI. 2018f. Hidrología. Escala 1:50000.
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/hidrologia/regiones_hidrograficas.aspx
(Consultado el 30 de marzo del 2018).

Jeschke, J. M., D. L. Strayer. 2006. Determinants of vertebrate invasion success in Europe and North America. *Global Change Biology* 12(9):1608-1619. DOI: 10.1111/j.1365-286.2006.1213.x

Juan-Pérez, J. I., J.G. Gutiérrez-Cedillo, X. A. Némiga, M.A. Bladeras-Plata, J. F. Ramírez-Dávila 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.

Keeley, J.E. 1986. Resilience of Mediterranean shrub communities to fires. En: Dell B., A. J. M.Hopkins., B. B. Lamont. (eds). Resilience in mediterranean-type ecosystems. *Tasks for vegetation science* 16:95-112. DOI: 10.1007/978-94-009-4822-8_7

Koleff, P., A.I. González, G. Born-Schmidt. 2010. Estrategia nacional sobre especies invasoras en México, prevención, control y erradicación. CONABIO-CONAP-SEMARNAT. México. 91 pp.

Laguna Lumbreras, E. y J.M. Sánchez de Lorenzo Cáceres. 2009. *Dodonaea viscosa* Jacq. (Sapindaceae) novedad florística para la Península Ibérica. *Flora Montibérica* 43: 3-7.

LEGEEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente). 1998. Diario Oficial de la Federación. México. Última modificación 2018.

López Galindo, F., D. Muñoz Iniestra, M. Hernández Moreno, A. Soler Aburto, M. C. Castillo López, I. Hernández Arzate. 2003. Análisis integral de la toposecuencia y su influencia en la distribución de la vegetación y la degradación del suelo en la Subcuenca de Zapotitlán Salinas, Puebla. *Boletín de Sociedad Geológica Mexicana* 56(1): 19-41.

Lozon J. D. y H. J. MacIlsac. 1997. Biological invasions: are they dependent on disturbance? *Environmental Reviews* 5(2): 131-144.

Low, T. 2008. Climate change and invasive species. A review of interactions. Biological Diversity Advisory Committee. Australia. 30 pp.

MacArthur, R. 1970. Species packing and competitive equilibrium for many species. *Theoretical Population Biology* 1: 1-11.

Maraschin-Silva, F., M. E. Alves Aqüila. 2005. Potencial alelopático de *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. Iheringia Série Botânica 60(1): 91-98.

Matthews S. 2005. Programa Mundial de Especies Invasoras. GISP. 80 pp.

Martínez-Ramos, M. 2008. Grupos Funcionales. Capital Natural de México. Conocimiento actual de la Biodiversidad, CONABIO, México 1: 365-412.

Martorell, C., E. M. Peters. 2008. Disturbance-response analysis: a method for rapid assessment of the threat to species in disturbed areas. Conservation Biology 23(2): 377-387.

Medina, M. C. 2016. Efectos de la compactación del suelo por pisoteo de animales, en la productividad de los suelos. Remediaciones. Revista Colombiana de Ciencia Animal 8(1): 88-93.

Mendoza, R., P. Koleff. 2014. Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 308 pp.

Mueller Dombois, D., H. Ellenberg. 1974. Aims and Methods of Vegetation Ecology. Jhon Wyle & Sons. Estados Unidos. 547 pp.

Muth, A. 2014. ¿Qué hace que las plantas invasoras tengan éxito? <http://ecosystems.psu.edu/research/centers/private-forests/news/2014/what-makes-invasive-plants-successful> (consultado el 18 de noviembre del 2017).

Oliver, D.C., B. C. Larson. 1990. Forest Stand Dynamics. McGraw-Hill Book Company. New York. 467 pp.

Oliver, J. D. 1996. Mile-a-minute weed (*Polygonum perfoliatum* L.), an invasive vine in natural and disturbed sites. *Castanea. Faculty Publications and Presentations* 61: 244-251.

Pickett, S.T.A., P. S. White. 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. Academic Press, INC. Orlando, Florida. 457 pp.

Pickett, S. T. A., Kolasa, J., Armesto, J. J. and Collins, S. L. 1989. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos* 54: 129-136.

Pimentel, D., C. Harvey, P. Resosudarmo, K. Sinclair, D. Kurz, M. McNair, S. Crist, L. Shpritz, L. Fitton, R. Saffouri, R. Blair. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117-1123.

Pimm, S.L. 1984. The complexity and stability of ecosystems. *Nature* 307: 321-326.

Pinto, S. M. E., K. Ortega. 2016. Native species richness buffers invader impact in undisturbed but not disturbed grassland assemblages. *Biological Invasions* 18: 3193-3204.

Primack, R. B. 2002. *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates Inc. Boston University. Estados Unidos. 587 pp.

Quiroz Bartolo, I., S. del Amo Rodríguez, J. M. Ramos Prado. 2011. Desarrollo sustentable, ¿Discurso político o necesidad urgente? *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Veracruzana*. En <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol24num3/articulos/desarrollo/> (Consultado el 15 de abril del 2018).

Ramírez Albores, J. E., E. L. Badano, J. Flores, J. L. Flores Flores, L. Yañez Espinoza. 2019. Scientific literature on invasive species in a megadiverse country: advances and challenges in Mexico. *NeoBiota* 48: 113-127.

Ramos-Montaño, C. 2002. Producción de hojarasca en *Dodonaea viscosa* (Sapindaceae): un mecanismo que facilita la sucesión primaria. *Acta Biológica Colombiana* 7(1): 53-57.

Randall, J. M. 1996. Weed control for the preservation of biological diversity. *Weed Technol.* 10: 370-383.

Richards, C. L., O. Bossdorf, N. Z. Muth, J. Gurevitch, M. Pigliucci. 2003. Jack of all trades, master of some? On the role of phenotypic plasticity in plant invasions. *Ecology Letters* 9: 981-993. <http://doi.org.110.1111/j.1461-0248.2006.00950.x>

Richardson, D.M., P. Pysek, M. Rejmanek, M.G. Barbour, F.D. Panetta and C. J. West. 2000. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions. *Diversity and Distributions* 6: 93-107.

Richardson, D.M., P. Pysek, J.T. Carlton. 2011. A compendium of essential concepts and terminology in biological invasions. In *Fifty years of invasion ecology: the legacy of Charles Elton* (ed. D.M. Richardson) Black Well, Oxford, UK. pp. 409-420.

Richardson, D.M., M. Rejmánek. 2011. Trees and shrubs as invasive alien species - a global review. *Diversity and Distributions* 17: 788-809.

Ruesink, J.L., I M. Parker, M.J. Groom, and P.M. Kareiva. 1995. Reducing the risks of nonindigenous species introductions. *BioScience* 45(7):465-477. DOI: 10.2307./1312790.

Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.

SEINet. SEINet Portal Network Home. swbiodiversity.org/seinet/index.php. (Consultado en varias fechas en 2018 y 2019).

SEMARNAT. 2003. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. www.semarnat.gob.mx. Consultado el 17 de agosto 2018.

SEMARNAT. 2017. Listado de plantas, listado de invasoras. <https://www.gob.mx/semarnat/documentos/listado-de-plantas>. Consultado el 25 de noviembre del 2017.

SEMARNAT. 2018. Programa de manejo forestal simplificado (*Agave durangensis*), Ejido Troncón y Agua Zarca. 40 pp.

Smith, R.L. y T.M. Smith. 2001. Ecología. Pearson educación, S.A. Madrid España. 664 pp.

Sousa, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Review of Ecology and Systematics* 15: 353-391.

Stachowicz, J.J., J.R. Terwin, R. B. Whitlatch, R. W. Osman. 2002. Linking climate change and biological invasions: ocean warming facilitates nonindigenous species invasions. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99(24): 15497-15500.

Tagil, S., J. Jenness. 2008. GIS-based automated landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. *Journal of Applied Sciences* 8(6): 910-921.

Traveset, A., D. M. Richardson. 2006. Biological invasions as disruptors of plant reproductive mutualisms. *Trends in Ecology and Evolution* 21: 208–216.

Tropicos. www.tropicos.org/Home.aspx. (Consultado varias fechas en 2018 y 2019).

Ullah, B., F. Hussain, M. Ibrar. 2010. Allelopathic potential of *Dodonaea viscosa* (L.) Jacq. *Pakistan Journal of Botany* 42(4): 2383-2390.

Vargas, Ríos O., S.P. Reyes B. 2011. Primera edición. La restauración ecológica en la práctica. Gente Nueva Editorial. Bogotá, Colombia. 630 pp.

Vega, E. y E. Peters. 2007. Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones2/libros/395/vega_peters.html (Consultado el 15 de mayo 2019).

WWF. 2012. El Río San Pedro Mezquital, el gran desconocido. http://www.wwf.org.mx/que_hacemos/programas/programa_agua/san_pedro_mezquital/. (Consultado el 13 de mayo del 2018).

Xu, C. Y., K.L. Griffin, C.L. Williams. 2004. Recruitment of three non-native invasive plants into a fragmented forest in southern Illinois. *Forest Ecology and Management* 190: 119-130.

XI. ANEXOS

Anexo 1. Formato de campo para registro de herbáceas.

2.

DATOS DE CAMPO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LA VEGETACIÓN INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL - CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL						
N. DE LÍNEA _____		FECHA _____		HOJA: _____		DE _____
NOMBRE DEL PREDIO _____		PARAJE _____		EXPOSICIÓN _____		
ALTITUD _____		PENDIENTE _____		COORDENADAS N _____		W _____
VEGETACIÓN DOMINANTE _____						
N.	ESPECIE	PRESENCIA	OBSERVACIONES			

Anexo

Anexo 3. Formato en campo, cuadrantes centrados en un punto.

FORMATO PARA EL REGISTRO DE VEGETACIÓN (Cuadrantes centrados en un punto)

FECHA: _____ HOJA ___ DE _____

NOMBRE DEL PREDIO: _____

Sitio	Cuadrante	Dodonaea viscosa		Estado de la planta	Otros árboles y/o arbustos	Coordenadas		Exposición	Pendiente %	Altitud	Observaciones
		Distancia (M)	Cobertura aérea			Altura (M)	N				
	1										
	2										
	3										
	4										

ESTADO DE LA PLANTA V= Vigorosa RR=Rebroto en rama RB=Rebroto en base
 M=Muerta J=Juvenil P=Plántula