



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE CIENCIAS

Análisis de la reforestación que se  
practica en el bosque de *Abies religiosa*  
(Kunth Schtdl. y Cham) de la cuenca del  
río Magdalena, CDMX, México

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE:

B I Ó L O G O

PRESENTA:

SALAZAR GÓMEZ SAMUEL

TUTORA

Dra. Yuriana Martínez Orea

Ciudad Universitaria, CD. MX. 2022





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Hoja datos del jurado

### 1. Datos del alumno

Salazar  
Gómez  
Samuel  
55 3436 7921  
Universidad Nacional Autónoma de México  
Facultad de ciencias  
Biología  
314295279

### 2. Datos del tutor

Doctora  
Yuriana  
Martínez  
Orea

### 3. Datos del sinodal 1

Doctor  
José Antonio Benjamín  
Ordoñez  
Díaz

### 4. Datos del sinodal 2

Doctora  
Susana  
Valencia  
Avalos

### 5. Datos del sinodal 3

Doctor  
Víctor Daniel  
Ávila  
Akerberg

### 6. Datos del sinodal 4

Maestro en Ciencias  
Daniel Alejandro  
Olvera  
Sule

### 7. Datos del trabajo

Análisis de la reforestación que se practica en el bosque de *Abies religiosa* (Kunth. Schltld. y Cham) de la cuenca del río Magdalena, CDMX., México.

58 pp

2022

## **Agradecimientos académicos**

Agradecimiento especial a todo el equipo de trabajo del Laboratorio de Dinámica de Comunidades, que, de ser maestros y compañeros, se convirtieron todos en amigos. A la Dra. Yuriana Martínez quien se animó a ser la asesora de este trabajo y me tuvo mucha pero mucha paciencia durante estos años, por todo el apoyo académico y emocional que me brindo. A la Dra. Silvia Catillo Argüero por las asesorías y recomendaciones para realizar esta tesis, el apoyo en campo y por múltiples momentos de alegría que día a día regala en el laboratorio. A la Maestra en Ciencias Yazmín Vázquez quien en cada revisión de avances realizó múltiples comentarios valiosos que me hicieron reflexionar más de una vez. A la Dra. Leticia Bonilla por las clases y asesorías en análisis estadísticos. Al biólogo Gustavo Tovar, de los pocos profesores que se detienen y enseña los alumnos a como redactar, una pieza clave en este trabajo. Y al Dr. Joaquín Cifuentes que en cada presentación de avances realizo comentarios concisos y asertivos para siempre mejorar.

Al proyecto Efecto de los disturbios antrópicos en la diversidad funcional en un bosque templado dentro de la Ciudad de México, enero del 2018 a enero del 2020, responsable: Dra. Silvia Castillo Argüero, proyecto IN21118.

A mis sinodales que amablemente revisaron cada página de este trabajo y contribuyeron para mejorarlo al doble: Dr. José Ordoñez, Dra. Susana Valencia Dr. Víctor Ávila y al M en C Daniel Olvera. Gracias por el tiempo que dedicaron a mejorar la tesis compartir un poco de su amplio conocimiento conmigo.

## **Agradecimientos personales**

Los nombres que se mencionan a continuación no están en orden de importancia, todos son igual de importantes para mí.

Primero mencionar a esas amistades que hice durante la preparatoria, mi querida Prepa 9. Gerardo, Neri, Cesar, Bobadilla y Gonzaga quienes conocí en el 454 y sé que cuento con ellos en todo momento y que después de tantos años aún seguimos siendo esos buenos amigos. El segundo año también estuvo lleno de amistades inolvidables y valiosas: Marcos, Patricio, Jair, Lilian. Y finalmente a mis amistades que hice en el 656: Silva, Sergio Lucio, Dante. Gracias por todo el apoyo en un punto tan importante como lo es la etapa preparatoriana, el lugar donde inicio este camino.

Ahora toca hablar de la Facultad de Ciencias, una etapa bipolar en cuanto amistades se refiere. Puedo mencionar a Saúl, Sergio, Nicole y Shamir. Cada uno/a de ustedes han logrado marcar una etapa aquí. Con risas, llantos, regaños y sobre todo momentos muy divertidos, logramos sacar la carrera y estoy seguro de que lo mejor está por venir y ahí estaremos presentes.

Brenda, Alejandra y Ariadna no hay palabras ni acciones para agradecer todo este proceso que pase a su lado. Fui bendecido al entrar en su equipo de trabajo. Muchas gracias por compartir el "Taller" conmigo y por todos los buenos, malos y mejores momentos.

Y como todos saben, la música es un motor de mi vida y en este punto debo de mencionar a las amistades que he hecho gracias a la música. Nataly, Damian, Citalli, Sharon, Mónica, Enrique y Gema gracias por cada concierto que pasamos juntos y cada palabra de apoyo durante muchos años. A seguir rocanroleando.

A Dios, mis padres y hermanos

*“No se estudia para un examen, se estudia para la vida”*

## Índice de contenido

Resumen .....	v
Abstract.....	vi
1 Introducción .....	1
2 Justificación.....	5
3 Antecedentes .....	5
4 Hipótesis.....	6
5. Objetivos .....	7
5.1. Objetivo general .....	7
5.2 Objetivos particulares .....	7
6 Método .....	7
6.1. Área de estudio .....	7
6.1.1 Sitios.....	9
6.2 Registro de datos.....	9
6.2.1 Factores bióticos .....	10
6.2.2 Factores abióticos.....	11
6.3 Análisis de datos.....	12
6.3.1 Estructuras de tamaño .....	12
6.3.2 Factores abióticos.....	13
6.3.3 Análisis de correspondencia canónica.....	13
7 Resultados.....	16
7.1 Estructura de tamaños .....	16
7.2 Factores abióticos .....	20
7.3 Relación entre estructura de tamaños y factores abióticos .....	21
7.4 Especies del sotobosque .....	23
8 Discusión .....	25
8.1 Estructura de tamaños .....	25
8.2 Relación entre factores abióticos-bióticos y la estructura de tamaños de <i>Abies religiosa</i> .....	27
9 Conclusión.....	33
10 Referencias.....	35
11 Anexo .....	44
Anexo 1. Especies del sotobosque .....	44
Anexo 2 Valores de los factores edáficos .....	49



## Índice de figuras

Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Magdalena en la Ciudad de México, México. Elaboración propia.....	8
Figura 2. Trazado de transectos. Elaboración propia. ....	10
Figura 3. Frecuencia relativa acumulada de la estructura de tamaños. ....	17
Figura 4. Frecuencia relativa acumulada de la estructura de tamaños para el DB .....	18
Figura 5. Regresión lineal .....	19
Figura 6. Análisis de Componentes Principales de la estructura de tamaños y los factores abióticos .....	22
Figura 7. Comparación de los valores de riqueza y dominancia. Elaboración propia. ....	24
Figura 8. Riqueza de especies características de bosque templado y de especies de malezas .....	25

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Clave de identificación de sitios .....	9
Cuadro 2. Datos geográficos de los sitios. ....	10
Cuadro 3. Estructura de tamaños de altura (cm).....	12
Cuadro 4. Estructura de tamaños (DB, cm) .....	12
Cuadro 5. Estructura de tamaños (Altura).....	16
Cuadro 6. Estructura de tamaños DB .....	17
Cuadro 7. Valores promedio de los factores edáficos .....	20
Cuadro 8. Valor promedio de FSG y HRS .....	20
Cuadro 9. Resumen del Análisis de Componentes Principales .....	21
Cuadro 10. Riqueza, abundancia e índices de especies del sotobosque en cada sitio.....	23
Cuadro 11. Valores del índice de similitud de Sørensen .....	24

## Resumen

El bosque templado es uno de los ecosistemas más representativos de México, abarca una extensión cercana al 16% del territorio nacional. Debido a su biodiversidad, estos bosques proporcionan valiosos servicios ecosistémicos como captura de carbono, refugio a especies, filtración pluvial, recursos forestales maderables y no maderables, entre otros. A pesar de su importancia, este ecosistema ha estado sujeto a disturbios antropogénicos que han afectado su estructura y diversidad, por lo que se han generado planes de restauración, entre los que se encuentra la reforestación. El objetivo de este trabajo fue analizar cinco sitios con diferentes edades de reforestación en un bosque de *Abies religiosa* del centro de México. En los sitios se trazaron cinco transectos (25 m x 2m) en los cuales se midió altura y diámetro de los individuos plantados para obtener la estructura de tamaños, se registraron variables bióticas y abióticas para conocer las relaciones entre la estructura de tamaños, sotobosque y estas variables. Mediante pruebas Kruskal-Wallis se mostraron diferencias significativas en las variables dasométricas ( $p < 0.05$ ) entre sitios y se encontró una correlación positiva entre el diámetro y la altura ( $r = 0.75$ ) de los individuos. La orientación de la ladera de los sitios mostró tener un efecto significativo en la altura y diámetro, además las variables edáficas (P, pH, CE, N, humedad) mostraron diferencias significativas entre sitios. La diversidad del sotobosque mostró diferencias, siendo el sitio de mayor edad el que presentó el mayor valor (19 años con 27 especies). Los factores abióticos y bióticos influyen en el desarrollo del *Abies religiosa*, por lo que es necesario analizarlos como parte del monitoreo de una reforestación.

### Palabras clave

Reforestación, bosque templado, sotobosque, factores edáficos

## Abstract

Temperate forest is one of the most representative ecosystem in Mexico, covering an area close to 16% of the national territory. Due to their biodiversity, these forests provide valuable ecosystem services such as carbon sequestration, refuge for species, rainwater filtration, timber and non-timber forest resources, among others. Despite its importance, this ecosystem has been subject to anthropogenic disturbances that have affected its structure and diversity, for which restoration plans have been generated, including reforestation. The objective of this work was to analyze five sites with different ages of reforestation in an *Abies religiosa* forest in central Mexico. Five transects (25 m x 2m) were traced at the sites, in which height and diameter of the planted individuals were measured in order to obtain the size structure, biotic and abiotic variables were recorded to distinguish the relationships between the size structure, understory and these variables. The Kruskal-Wallis tests showed significant differences in the dasometric variables between sites and a positive correlation was found between the diameter and height of the individuals. The slope orientation of the sites showed a significant effect on the height and diameter, in addition the edaphic variables (P, pH, CE, N, humidity) showed significant differences between sites. The understory diversity showed differences, being the oldest site the one with the highest value (19 years with 27 species). Abiotic and biotic variables influence the development of *Abies religiosa*, so it is necessary to analyze them as part of reforestation monitoring.

## Keywords

Reforestation, temperate forest, undergrowth, edaphic factors

## 1 Introducción

El bosque templado es uno de los ecosistemas más representativos de México, se estima que abarca un área cercana a 32 millones de ha, lo que representa aproximadamente el 16% del territorio nacional y se desarrolla principalmente en las sierras del país, a partir de los 2,000 m. snm hasta los 3,400 m. snm (Challenger y Soberón, 2008). El clima varía de acuerdo con el gradiente altitudinal, en las cotas más elevadas se encuentran climas fríos y en las cotas medias e inferiores el clima es templado húmedo o subhúmedo, la precipitación media anual varía entre 600 y 1200 mm (Engracia y Dobler, 2018). Presenta una gran diversidad de suelos debido a su diverso origen geológico, se encuentran suelos de tipo Litosol, Andesol, Regosol, Acrisol, entre otros (Cotler, 2003). Por lo que el bosque templado tiene una gran variedad de factores abióticos que a su vez ha favorecido el desarrollo de una gran diversidad biológica, especialmente en la composición vegetal (Challenger y Soberón 2008). Además, la diversidad de especies vegetales se ve favorecida debido a que estos bosques se distribuyen entre la región Neotropical y la Neártica, por esta razón se puede encontrar especies herbáceas y arbustivas pertenecientes a ambas regiones, lo que provoca que se cuente con un alto grado de endemismo (Challenger y Soberón. 2008).

El estrato arbóreo de estos bosques se caracteriza por ser muy diverso. Suele estar dominado por especies de los géneros de coníferas: *Abies*, *Pinus*, *Cupressus*, *Pseudotsuga*, entre otros. Son árboles perennes y en su mayoría llegan alcanzar alturas superiores a los 30 m (Rzedowski, 2006). Se estima que el país cuenta con 94 especies de coníferas de las 670 conocidas a nivel mundial, de las cuales 43 especies son endémicas, como el *Abies religiosa*, *Pinus patula*, *Pinus rzedowskii*, etc. (Gernandt y Pérez, 2014). La composición florística puede variar de acuerdo con la especie dominante de árbol. En las comunidades de *Pinus* en la estructura vegetal es común encontrar especies de los géneros *Alchemilla*, *Archibaccharis*, *Arenaria*, *Bidens*, *Eryngium*, *Eupatorium*, *Festuca*, *Geranium*, En una comunidad dominada por *Abies* es posible encontrar hasta 510 especies de plantas (Araiza-Olivare, 2020) pertenecientes, principalmente, a los géneros *Senecio*, *Roldana*, *Eupatorium*, *Ageratina* *Stevia* y *Archibaccharis* (Rzedowski, 2006). El conjunto de estas plantas arbustivas y herbáceas se le denomina sotobosque que son especies que se desarrollan por debajo del dosel de los árboles dominantes, por lo que su desarrollo no demanda mucha cantidad de luz, pero si necesitan un alto porcentaje de humedad (Mejía *et al.* 2018). Como se ha mencionado,

los bosques templados son importantes hábitats y refugios de especies vegetales por lo que a su vez son importantes proveedores de servicios ecosistémicos (Araiza-Olivare, 2020).

Entre los servicios ecosistémicos se puede mencionar que el dosel de los árboles actúa como una barrera natural para evitar la erosión hídrica, haciendo que la precipitación, en forma líquida o sólida, al pasar a través del dosel golpee con menor fuerza el suelo (Huerta, 2012). Asimismo, la cobertura arbórea ayuda a regular el ciclo hidrológico al promover la precipitación liberando moléculas de agua (humedad) por medio de la evapotranspiración (Blanco, 2017). Una de las especies de coníferas que mejor promueve la retención e infiltración del agua pluvial es el *Abies religiosa* u oyamel (Benavides-Meza, *et al*, 2011) Los árboles de estos ecosistemas también capturan importantes cantidades de carbono. Por ejemplo, se estima que el almacén de carbono por hectárea en el bosque de coníferas es de 179 t/ha y 153 t/ha para el bosque de *Quercus* (Almeida-Leñero *et al*. 2007; Monárrez-González *et al*. 2018). La obtención de recursos forestales es una actividad común en estos bosques, de acuerdo con Hernández (1985) el *Abies religiosa* es utilizado para la obtención de aceite, uso como árbol de navidad y además contribuye a la producción de madera al 2.8% anual (Flores, 2019). Las especies arbóreas son un componente importante de la diversidad y funcionalidad de los bosques templados. También las especies pertenecientes al sotobosque proveen servicios ecosistémicos, por ejemplo, actúan como plantas nodrizas debido a que pueden generar un micrositio con condiciones climáticas favorables para la germinación de semillas y crecimiento de plantas, incluso es favorable para especies arbóreas (Ramírez-Contreras, A., y Rodríguez-Trejo, 2009). A pesar de la importancia de estos bosques, a lo largo de la historia han sido sometidos a constantes presiones antropogénicas lo que ha ocasionado la reducción de la extensión de estos ecosistemas y la pérdida de especies (Challenger, 2003; Araiza-Olivare, 2020). A continuación, se describen los cambios que el bosque templado ha sufrido.

En la década de 1970, el bosque templado ocupaba el 73% de su superficie potencial en el territorio nacional, es decir, aproximadamente 35,062,147 ha. La vegetación primaria abarcaba una superficie de 29,369,148 ha y la vegetación secundaria un área próxima a 5,665,998 ha. Para 2002, la superficie que ocupaba el bosque era cercana a 34,155,715 ha, registrando un descenso de 1.38%. La vegetación primaria registró un descenso al ocupar 22,064,454 ha y la vegetación secundaria aumentó a 12,091,161 ha (Sánchez *et*

*al.*, 2009). Más recientemente en la carta de uso de suelo y vegetación del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) 2017 Serie VI, se reporta una recuperación del ecosistema en 0.12% al ocupar 34,240,267 ha. La vegetación primaria retrocedió a casi 20,000,000 ha, mientras que la cobertura de la vegetación secundaria sigue aumentando. El cambio en la cobertura total del bosque templado y la disminución de vegetación primaria y aumento de la vegetación secundaria es el resultado de distintos disturbios tales como la fragmentación de ecosistemas (SEMARNAT, 2019).

La fragmentación de un ecosistema ocurre cuando se remueve la vegetación, por acciones antropogénicas o naturales, y se disminuye la cobertura. La fragmentación de bosques templados es un tema importante debido a que varias especies necesitan de grandes extensiones de terreno para completar sus funciones, por lo que pequeñas coberturas ponen en riesgo la presencia de estas especies (SEMARNAT, 2019). En México se considera que un ecosistema está fragmentado cuando tiene una superficie menor a 80 Km<sup>2</sup> (Sánchez *et al.*, 2009). Los bosques templados han sido el ecosistema más fragmentado en los últimos 50 años. Se estima que en el 2014 el 56.2% de su superficie estaba conformado por manchones menores a 80 km<sup>2</sup> (SEMARNAT, 2019). Rzedowski 2006 menciona que el desmonte y la tala inmoderada son los dos disturbios antropogénicos que mayor efecto tienen en los bosques de *Abies*. También añade que en estos bosques de *Abies* es común la presencia pastoreo, aunque esta actividad no parece ser tan agresivo para este tipo de vegetación.

Algunas de estas perturbaciones han sido observadas en el bosque de la Cuenca del río Magdalena (En adelante CRM). Este sitio presenta tres comunidades vegetales principales: bosque de *Pinus hartwegii*, bosque de *Abies religiosa* u oyamel, que abarca la mayor extensión, y bosque de *Quercus* (Leñero, *et al.*, 2007). Debido a que este bosque está inmerso dentro de la Ciudad de México (CDMX) y por ende la presencia de disturbios antropogénicos es alta, se espera que la temperatura aumente y la precipitación disminuya haciendo que los tres tipos de bosques modifiquen su distribución, por lo que se debe tener un plan de mitigación y preservación de especies forestales (Ávila-Akerberg *et al.*, 2015). Entre los planes se debe considerar la regeneración natural y la restauración ecológica asistida con reforestación (Almeida-Leñero, 2007). La reforestación es utilizada como herramienta para la restauración ecológica de un sitio y esta se ha convertido en una opción viable, a pesar de las dificultades que existen para unir diversos sectores, tales como el académico, el social y político (Calva-Soto y Pavón, 2018).

De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal (2010), la reforestación es definida como el establecimiento de especies vegetales en aquellos terrenos forestales que han sufrido disturbios tanto antropogénicos como naturales. Tiene el objetivo recuperar los ecosistemas perturbados, mantener su diversidad de especies y funciones, así como la conservación de suelos y del agua. Sin embargo, la definición no solo puede hablar del hecho de plantar árboles, sino que debe ser más extendida y tratarla como un proceso que abarque desde la colecta y germinación de semilla, tratamientos para el crecimiento, transporte de la planta, técnica de plantado, preparación del sitio hasta la evaluación del desarrollo de los árboles y la recuperación de la diversidad del sotobosque (Le, 2012; Ventura-Ríos *et al.* 2017). Como señala Ventura-Ríos *et al.* 2017, la reforestación favorece la recuperación del dosel superior o arbolado y esto puede mejorar las condiciones abióticas del suelo y así recuperar las especies del sotobosque, presentándose un aumento en la riqueza y diversidad del sitio por lo que puede ser la mejor estrategia para la recuperación de un sitio degradado.

Dentro de las actividades contempladas en el proceso de la reforestación está la preparación del suelo que consiste en actividades que favorecen directamente el establecimiento de las plantas, pueden ser manuales o mecánicas según el tipo de herramienta utilizada (Vanegas, 2016). Una parte importante para la reforestación es la preparación del terreno través del “chaponeo”. Esta actividad consiste en la eliminación de la vegetación presente en el sitio. Se realiza con el fin de disminuir la competencia por recursos, por ejemplo, con la apertura del dosel se espera la mejor la calidad de luz solar llegue a los individuos plantados, también puede aumentar la disponibilidad de nutrientes del suelo (CONAFOR, 2010). Una ventaja que presenta el chaponeo es que puede ser selectivo y dejar aquellas especies que presenten un beneficio directo a la plantación (Arriaga *et al.*, 1994). Sin embargo, algunos autores han considerado el chaponeo y otras actividades forestales como perturbaciones ya que se ha identificado que eliminar el sotobosque favorece al crecimiento de especies ajenas al ecosistema y se dañe así la composición de especies (Martínez-Orea, 2020). En un estudio realizado en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM, se observó que los sitios sin chaponear tenían mayor presencia de especies nativas del bosque, mientras que en los sitios chaponeados se presentaron más especies maleza (Godoy, 2017).

Gracias a los programas de restauración y conservación de los bosques templados, se ha observado que la pérdida de cubierta forestal se ha disminuido al 50%, al mismo tiempo

que las acciones de recuperación de espacios forestales ha aumentado (Honey-Rosés *et al.*, 2018). Se estima que 8.1 millones de ha de cobertura forestal se encuentran bajo un manejo forestal (Rojo, 2004) pero estas cifras son proporcionadas por CONAFOR e ignora los sitios reforestados por programas estatales, municipales o comunales (Centeno, 2017).

## **2 Justificación**

Los planes de reforestación en nuestro país generalmente están limitados por factores políticos, económicos y sociales, por lo que a menudo carecen de un estudio de evaluación ecológica previa y de un monitoreo posterior. En el caso particular del bosque de *Abies religiosa* de la CRM, un bosque inmerso dentro de la CDMX sujeto a disturbios antropogénicos. En esta zona se han realizado numerosos proyectos de reforestación, como los reportados por Santibáñez (2009) y por Salazar (2016) seguido por Centeno (2017). Sin embargo, dichos proyectos tampoco toman en cuenta algunos factores ecológicos y sociales (de practica forestal) y su efecto en el desarrollo de la reforestación. Por lo que es necesario conocer la influencia de algunos factores en los planes de reforestación como la orientación de ladera, factores edáficos (pH, materia orgánica, nitrógeno, fosforo, potasio, N-NO<sub>3</sub> y N- NH<sub>4</sub>), humedad relativa del suelo (HRS), factor del sitio global (FSG) y por otro lado conocer la estructura del sotobosque, la cual reflejará los efectos de la reforestación y el manejo.

## **3 Antecedentes**

Santibáñez (2009) encontró que la reforestación que se practica en la CRM depende de la cercanía a las zonas de mayor actividad humana, es decir, donde se presenta mayor cantidad de disturbios antropogénicos, por ejemplo, en las zonas cercanas al río Magdalena o senderos para actividades de montañismo. Otro factor es la altitud, ya que a mayor altitud el bosque se encuentra más conservado. También reporta que la especie más utilizada es *Abies religiosa*, seguida por *Pinus ayacahuite* y *Pinus montezumae*.

En esta zona se han reportado dos monitoreos participativos en actividades de reforestación. Salazar (2016), trabajó con los comuneros de la Comunidad Agraria Magdalena Atlitic para evaluar el éxito de la reforestación. Consideró la supervivencia, tasa de crecimiento y la salud de los árboles de *Abies religiosa* plantados. Los resultados mostraron que los individuos presentaron buena salud, es decir sin presencia de plagas, hojas y tallos verdes. Para calcular la tasa de crecimiento realizó un monitoreo de 12

meses en el que obtuvo una tasa de crecimiento de 0.176 cm por año y una supervivencia del 96%. Posteriormente, Centeno (2017) realizó un segundo monitoreo con los comuneros evaluando los mismos criterios que Salazar (2016). Además, realizó una comparación del crecimiento de los árboles plantados en subparcelas con manejo forestal (Chaponeo y guía de crecimiento) y subparcelas sin manejo forestal. Encontró una supervivencia del 95% de los individuos y no encontró diferencias significativas en el crecimiento de los individuos sometidos a manejo forestal y sin manejo forestal. El estudio de los efectos del chaponeo no sólo debe restringirse al crecimiento de los árboles plantados, sino que también debe estudiarse su efecto en el estrato arbustivo, herbáceo y en la regeneración natural.

Godoy (2017) estudió el impacto que tiene el chaponeo sobre la composición y diversidad del banco de semillas del bosque de *Abies religiosa* de la CRM. Encontró que en los sitios sin chaponeo la composición de especies es característica del bosque templado al presentar especies como *Abies religiosa*, *Ageratina glabatra*, *Cestrum thyrsoideum* y *Fuchsia microphylla*. Mientras que los sitios chaponeados presentaron especies como *Carcadamine hirsuta*, *Urtica urens* y *Acaena elongata*, las cuales se consideran como especies indicadoras de perturbación antropogénica (Castillo-Argüero *et al.*, 2016). Martínez-Orea (2020), considera el chaponeo como un disturbio antropogénico debido a las modificaciones que esta práctica genera en algunas variables ambientales a nivel de micrositio, pues el chaponeo reduce el contenido de humedad del suelo, incrementa su temperatura y modifica la calidad de luz, afectando así la germinación de las semillas de algunas especies.

#### **4 Hipótesis**

Debido a que los individuos usados en una reforestación se encuentran en el estadio de plántula y considerando la lenta tasa de crecimiento del oyamel, los árboles analizados en los cinco sitios se encontrarán en estadios de crecimiento juveniles tales como el brinzal y el latizal. Sin embargo, la estructura de tamaños se verá influenciada por los factores bióticos y abióticos:

1. La orientación de ladera tendrá un efecto importante en la incidencia lumínica y en la humedad relativa del suelo. Aquellos sitios orientados hacia el sur tendrán una mayor incidencia lumínica y presentarán una menor humedad en el suelo que los sitios con orientación al norte, como sucede en el hemisferio norte.

2. La estructura de tamaños, en altura y diámetro, será mayor en aquellos sitios que presenten las condiciones más idóneas para el desarrollo del oyamel, independientemente de la edad.

3. Se encontrarán especies características de bosque templado y especies indicadoras de perturbación o malezas. La diversidad será mayor en los sitios de mayor edad.

## **5. Objetivos**

### **5.1. Objetivo general**

- Evaluar la reforestación en sitios con diferentes tiempos de manejo forestal.

### **5.2 Objetivos particulares**

- Describir la estructura de tamaños de los individuos plantados en los diferentes sitios.
- Conocer la relación entre los factores abióticos con la estructura de tamaños de los individuos plantados.
- Analizar la composición, riqueza y diversidad del sotobosque en los sitios con distintas edades de reforestación.

## **6 Método**

### **6.1. Área de estudio**

El trabajo de campo se realizó en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM. Este bosque se encuentra inmerso en la alcaldía Magdalena Contreras al sur de la Ciudad de México y forma parte del suelo de conservación bajo la categoría de Zona Protectora Forestal (Figura 1) (Colin, *et al.*, 2002). El bosque de oyamel se desarrolla en la parte media de la cuenca entre los 2,750 a 3,400 m. snm, siendo este el que mayor área abarca dentro de la misma, con aproximadamente 1900 ha (Almeida-Leñero. 2007). En su parte más alta (3,400 m. snm) colinda con el bosque de *Pinus hartwegii* mientras que en la parte inferior (2700 m. snm) con el de *Quercus rugosa* - *Quercus laurina* (Almeida-Leñero *et al.*,2007). El clima varía de templado subhúmedo [C(w2) (w)] en las cotas más bajas a semifrío [C(e)(w2)(w)] en la clasificación de García (1973). En las cotas más elevadas con una temperatura máxima de 21 °C y una mínima de 9 °C, la precipitación anual es de 1200

mm con régimen de lluvias en verano (Engracia 2018, Dobler, 2010). El tipo de suelo es andosol, formado principalmente por ceniza volcánica, muy permeable, con un pH aproximado de 6 a 6.5 y rico en materia orgánica (León, 2011).

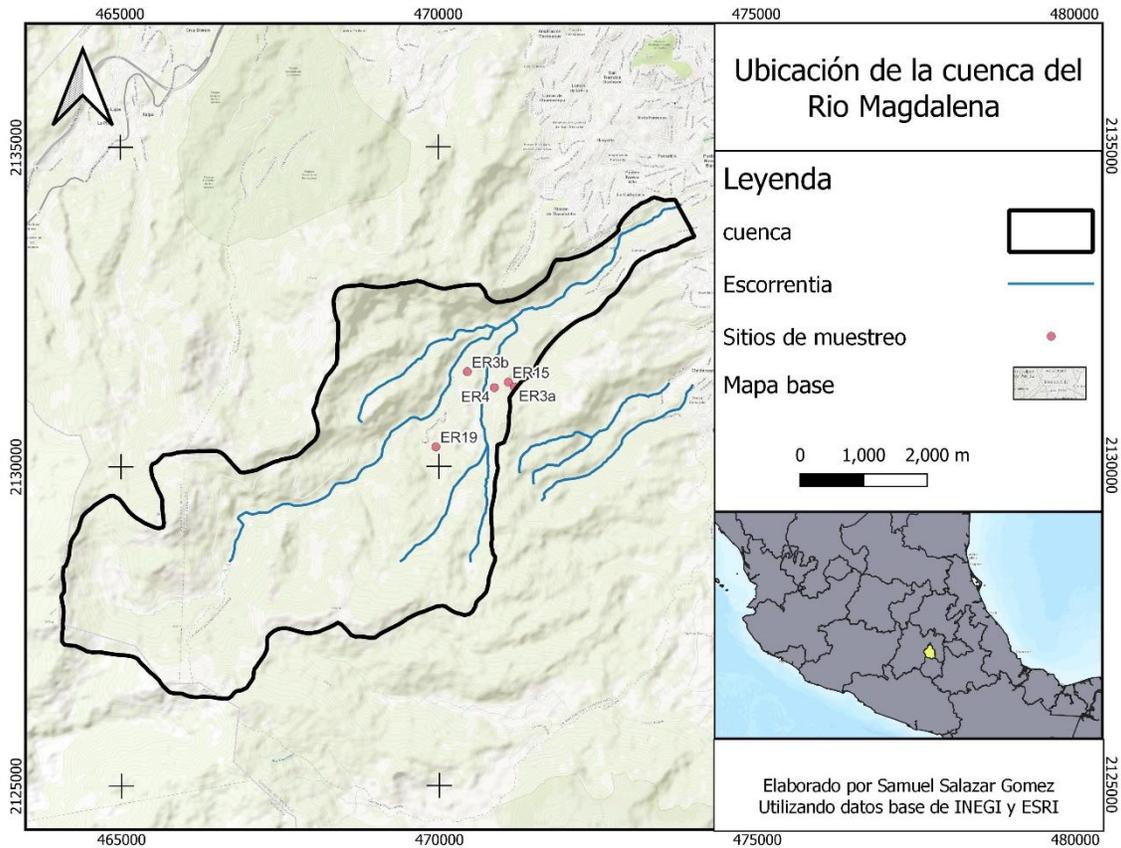


Figura 1. Ubicación de la cuenca del río Magdalena en la Ciudad de México, México. Elaboración propia

La especie arbórea dominante en esta comunidad es *Abies religiosa* que es nativa de México cuya altura puede alcanzar los 40 m. y su diámetro puede alcanzar a 1.80 m en sus estadios adultos (Rzedowski, 2006). Debido a que esta especie presenta un amplio dosel, que puede reducir el paso de la luz solar, el sotobosque se caracteriza por contener especies que son tolerantes a condiciones de sombra (Cepeda *et al.* 2016). El estrato herbáceo es escaso, pero aumenta cuando se abre un claro de dosel, es decir, cuando la incidencia lumínica es mayor. Como parte de la estructura se tienen identificadas tres principales asociaciones en este bosque: *Acaena elongata-Abies religiosa*, *Roldada angulifolia-Abies religiosa*, *Abies religiosa-Senecio cinerarioides*. Entre las especies más

abundantes del sotobosque encontramos a *Acaena elongata* y *Alchemilla procumbens* (Almeida-Leñero *et al.*, 2007).

### 6.1.1 Sitios

Con la asesoría de los comuneros de la Comunidad Agraria Magdalena Atlitic se identificaron cinco sitios que fueron reforestados con *A. religiosa* en diferentes años y en los cuales se realizó el chaponeo como actividad de manejo forestal. Estos sitios fueron nombrados de acuerdo a los años transcurridos desde que se realizó la reforestación hasta el registro de datos (Cuadro 1).

Sitio	Edad (años)	Clave
1	3	<i>ER3a</i>
2	3	<i>ER3b</i>
3	4	<i>ER4</i>
4	15	<i>ER15</i>
5	19	<i>ER19</i>

Las siglas ER hacen referencia a Edad de Reforestación seguido de los años. Las letras a y b indican que son sitios diferentes con la misma edad. Todos los sitios estuvieron orientados hacia el norte, excepto el sitio *ER3a* que tiene su orientación hacia el sur (Cuadro 2).

### 6.2 Registro de datos

Primero, a nivel de sitio, se registraron los datos geográficos tales como las coordenadas y la altitud con un GPS, además de definir la orientación y medir los grados de inclinación de la ladera con una brújula Brunton (Cuadro 2). Segundo, para registrar los factores bióticos y abióticos, en cada sitio se trazaron cinco transectos de 25 m de longitud por 2 m de ancho, guardando una distancia de 10 m entre transectos (Fig. 2).

Cuadro 2. Datos geográficos de los sitios.					
Sitio	Coordenadas		Orientación	Pendiente	Altitud (M. snm)
ER3a	14Q0471168	2131010	Sur/Este	51°	2939
ER3b	14Q0470448	2131478	Norte	45°	2841
ER4	14Q0471141	2131100	Norte/Este	15°	2903
ER15	14Q0471486	2130974	Norte/Oeste	15°	2981
ER19	14Q0469936	2130277	Norte/Oeste	60°	3015

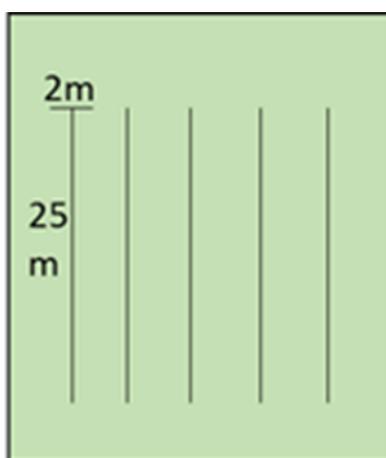


Figura 2. Trazado de transectos. Elaboración propia.

### 6.2.1 Factores bióticos

Para identificar los individuos de *A. religiosa* plantados como parte de la reforestación, fue necesario revisar la base y encontrar una marca circular dejada al momento de plantarlos (cajoneo). Debido a que en algunos sitios han transcurrido varios años desde la reforestación, la marca de cajoneo ya no era visible, en este caso los individuos debieron tener un tamaño similar y seguir un patrón de plantado. De septiembre a noviembre (2019), a lo largo de cada transecto se midió la altura de los oyameles con un flexómetro de 5 m, igualmente se midió el diámetro basal (DB) con un vernier electrónico, el cual tiene la ventaja de expresar medidas más exactas que con otros métodos.

Además, se registró la composición del sotobosque, es decir, se identificaron las especies (por medio de la toma de fotografías y su comparación con ejemplares del microherbario

de la CRM almacenado en el Laboratorio de Dinámica de Comunidades) y sus abundancias en los transectos.

### 6.2.2 Factores abióticos

Para conocer las propiedades edáficas tales como porcentaje de humedad, porcentaje de materia orgánica (M.O), conductividad eléctrica (C.E), potasio (K), fósforo (P), nitrógeno (N), concentración de nitratos (N- NO<sub>3</sub>) y de amonio N- NH<sub>4</sub>, se recolectaron 500 gr. de suelo en 3 diferentes puntos a lo largo de cada uno de los transectos. De esa masa, 250 gr. fueron secados a temperatura ambiente y posteriormente se pesaron 200 gr. los cuales fueron enviados al Laboratorio de Fertilidad de Suelos y Química Ambiental del Colegio de Postgraduados (COLPOS) campus Montecillo para su análisis. El resto del suelo fue usado para calcular el porcentaje de humedad de acuerdo al método de Reynolds (1970). Fueron pesados 250 gr (Peso seco) para dejarlo secar en un horno durante 48 horas a una temperatura de 50°C. Una vez transcurrido el tiempo, se volvió a pesar (Peso seco) y se calculó el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

$$w = \frac{Peh - Pes}{Pes} * 100$$

Donde:

- w: Porcentaje de humedad
- Peh: Peso húmedo,
- Pes: Peso seco

Con el objetivo de analizar el factor de sitio global (FSG), en cada transecto se tomaron 3 fotografías hemisféricas con una cámara Nikon (Nueva York, EUA) equipada con un lente ojo de pescado EX SIGMA (Sigma Nueva York, EUA). La cámara se colocó a nivel de suelo con orientación al norte. Las fotografías fueron analizadas con el programa Gap Light Analyzer GLA, 2.0.

### 6.3 Análisis de datos

#### 6.3.1 Estructuras de tamaño

Las alturas de los árboles de todos los sitios fueron ordenadas de menor a mayor y se definieron cinco intervalos de tamaño para clasificarlos con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{A_{max} - A_{min}}{5}$$

Donde:

- T: Tamaño de intervalo
- Amax: Altura máxima
- Amin: Altura mínima

En el cuadro 3 se muestran los intervalos de tamaño obtenidos para la altura.

Cuadro 3. Estructura de tamaños de altura (cm)	
Letra	Intervalo
A	10-148
B	149-287
C	288-426
D	427-565
E	566-704

Para calcular los intervalos de tamaño correspondientes al DB, fue necesario modificar la fórmula para altura. Los valores de Amax y Amin se sustituyeron por el valor máximo y mínimo de DB, respectivamente. En el cuadro 4, se muestran los intervalos calculados para el DB:

Cuadro 4. Estructura de tamaños (DB, cm)	
Letra	Intervalo
A	0.1-2.3
B	2.4-4.5
C	4.6-6.6
D	6.7-8.8
E	8.9-10.9

Para la altura y el DB, se obtuvieron las frecuencias relativas de cada intervalo por sitio y se realizó una gráfica de frecuencia relativa acumulada en Excel 2016.

Con el programa R 3.6.1 se ejecutó una prueba de Shapiro-Wilk a las alturas y el DB de los árboles para conocer la distribución de los datos. Una vez conocida la distribución no normal, se procedió a realizar una prueba de Krustall-Wallis para identificar aquellos sitios que presentaron diferencias significativas en estas variables. Además, se realizó una correlación de Pearson y una regresión lineal para la relación entre la altura y el DB.

### 6.3.2 Factores abióticos

Todos los factores abióticos fueron organizados por sitio en una matriz en Excel 2016, la cual se empleó para realizar diferentes pruebas. Primero, a cada factor se le aplicó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk para identificar la distribución de los datos. Segundo, se realizaron pruebas de Kruskal-Wallis para datos no paramétricos y en caso de presentar diferencias significativas se aplicó una prueba de Duncan para identificar los sitios que presentaron diferencias. En el caso de las muestras paramétricas, se aplicó un ANOVA para conocer los factores abióticos que presentaron diferencias significativas y posteriormente ejecutar una prueba de Tukey. Todos los análisis se realizaron en el programa R 3.6.1.

### 6.3.3 Análisis de correspondencia canónica

Para observar la relación entre los sitios, su estructura de tamaños y las variables abióticas, se hizo un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con aquellas variables que resultaron con diferencias significativas. Para ejecutar el análisis se construyeron dos matrices, una con las frecuencias absolutas de cada intervalo de tamaño por transecto y la otra con los valores de los factores abióticos por transecto. A cada valor de las matrices se le sumó 1 y se le aplicó logaritmo natural para eliminar valores extremos. Una vez modificadas las matrices fue posible correr el PCA en R 3.6.1.

### 6.3.4 Composición del sotobosque

Las especies se clasificaron de acuerdo a las siguientes categorías:

- Especies características de bosque templado: aquellas especies nativas y que habitan bosques templados que se presentan en algún estadio sucesional primario o secundario y que no son malezas.

- Especies de maleza nativas: aquellas especies que se presentan en sitios de bosque afectados por disturbios antropogénicos como la ganadería y la agricultura (Castillo-Argüero, *et al.*, 2016).
- Especies introducidas: aquellas especies cuyo origen biogeográfico no es México (Castillo-Argüero, *et al.*, 2016).

Para cada sitio, con los datos de composición del sotobosque se obtuvo la riqueza y abundancia de especies y se calcularon diversos índices. El índice de diversidad de Shannon-Weiner ( $H'$ ) fue calculado de acuerdo con Hutchenson (Moreno, 2002):

$$H' = \frac{(N \log N) - (\sum fi \log fi)}{N}$$

Donde:

- $H'$ : Diversidad
- $N$ : Número total de individuos
- $fi$ : Frecuencia (número de individuos) registrada para la especie  $i$

La ecuación anterior es una modificación a la ecuación de Shannon-Weiner para diversidad, esta modificación calcula la diversidad de manera ponderada para poder realizar la prueba de  $t$  de Hutchenson (Moreno, 2002). Se identificaron aquellos sitios que presentaron diferencias significativas en su valor de diversidad mediante el estadístico  $t$  de Hutchenson.

Además, se calculó la dominancia con el índice de Berger-Parker con la siguiente ecuación (Magurran, 2004):

$$D = Nmax/N$$

Donde:

- $D$ : Dominancia
- $Nmax$ : Número de individuos de la especie más abundante
- $N$ : Número total de individuos

Asimismo, se calculó el índice de similitud de Sørensen (Magurran, 2004):

$$Cs = \frac{2j}{a + b}$$

Donde:

- $j$ : Es el número de especies que comparten dos sitios
- $a+b$ : Es la adición de la riqueza de los dos sitios estudiados

## 7 Resultados

### 7.1 Estructura de tamaños

En total se midieron 779 árboles de oyamel en los 5 sitios. En el Cuadro 5 se muestra el número de árboles por cada intervalo de la estructura de tamaños por los 5 sitios. Por un lado, se observó que el intervalo de menor altura (A) es el que presentó el mayor número de árboles, por otro lado, el intervalo de mayor altura (E) es en el que se registraron el menor número de oyameles.

Cuadro 5. Estructura de tamaños (Altura)

Letra	Intervalo cm	Frecuencia
A	10-148	515
B	149-287	179
C	288-426	54
D	427-565	23
E	566-704	8

En la figura 3 se presenta la frecuencia relativa acumulada de la estructura de tamaños para la altura por cada sitio. Uno de los dos sitios más jóvenes (*ER3a*) presentó a todos sus individuos en el intervalo más pequeño, siendo el único sitio con esta característica. Los individuos de los sitios *ER3b* y *ER15* se ubicaron en los intervalos A y B. Los sitios *ER4* y *ER19* fueron los únicos que presentaron sus individuos en todos los intervalos y fueron los únicos sitios que no mostraron diferencias significativas entre sí. El sitio *ER19*, el de mayor edad, fue el único en el cual la mayoría de sus individuos se encontraron en los intervalos de mayor altura.

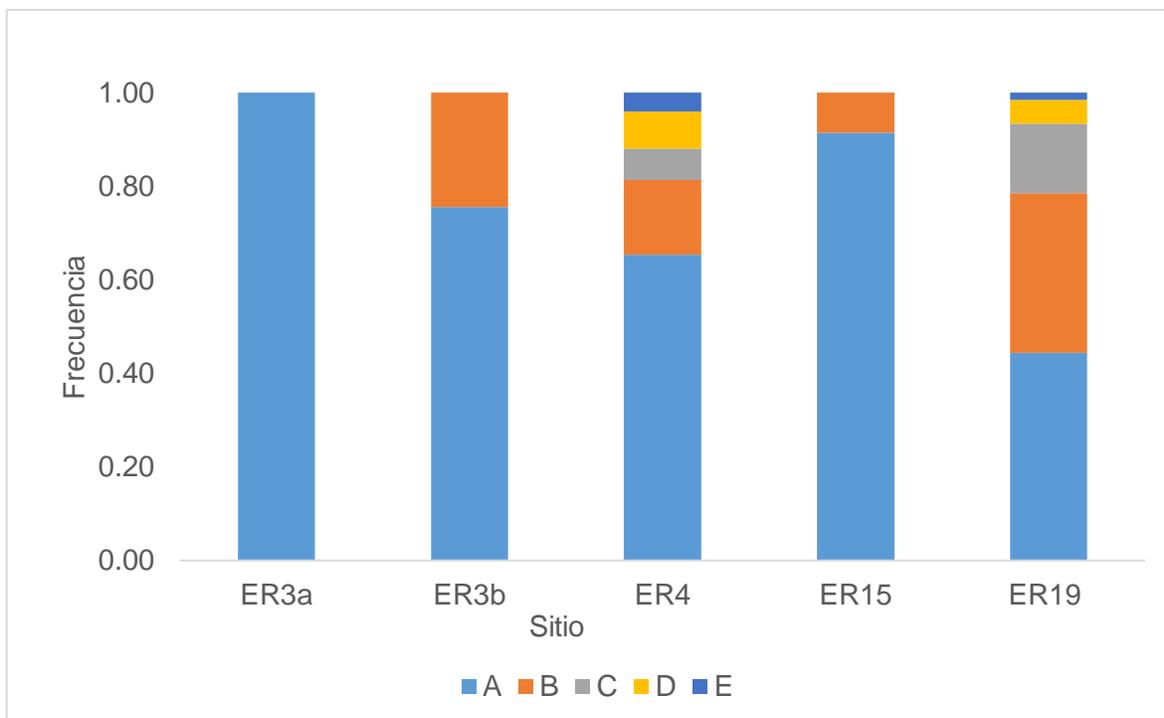


Figura 3. Frecuencia relativa acumulada de la estructura de tamaños. Ningún sitio presentó diferencias significativas. Elaboración propia

Con respecto al DB, la mayor frecuencia de los árboles reforestados se ubicó en el intervalo de menor tamaño y la frecuencia fue disminuyendo a través de los intervalos de tamaño, así que solo 8 individuos se ubicaron el intervalo de mayor diámetro. El siguiente cuadro muestra el tamaño de los intervalos y su frecuencia en los cinco sitios de estudio.

Letra	Intervalo cm	Frecuencia
A	0.1-2.3	631
B	2.4-4.5	107
C	4.6-6.6	27
D	6.7-8.8	7
E	8.9-10.9	7

La figura 4 muestra la frecuencia relativa acumulada de los diferentes intervalos de tamaños calculados para el DB. El comportamiento es similar al observado en la Figura 3. Por un lado, el total de los oyameles del sitio ER3a se encontraron en el intervalo más pequeño, por otro lado, el sitio de ER4 presentó la mayoría de sus individuos en los

intervalos a partir del B. Los únicos sitios que no presentaron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) entre sí fueron el *ER4* y *ER19*, siendo los que presentaron todos los intervalos.

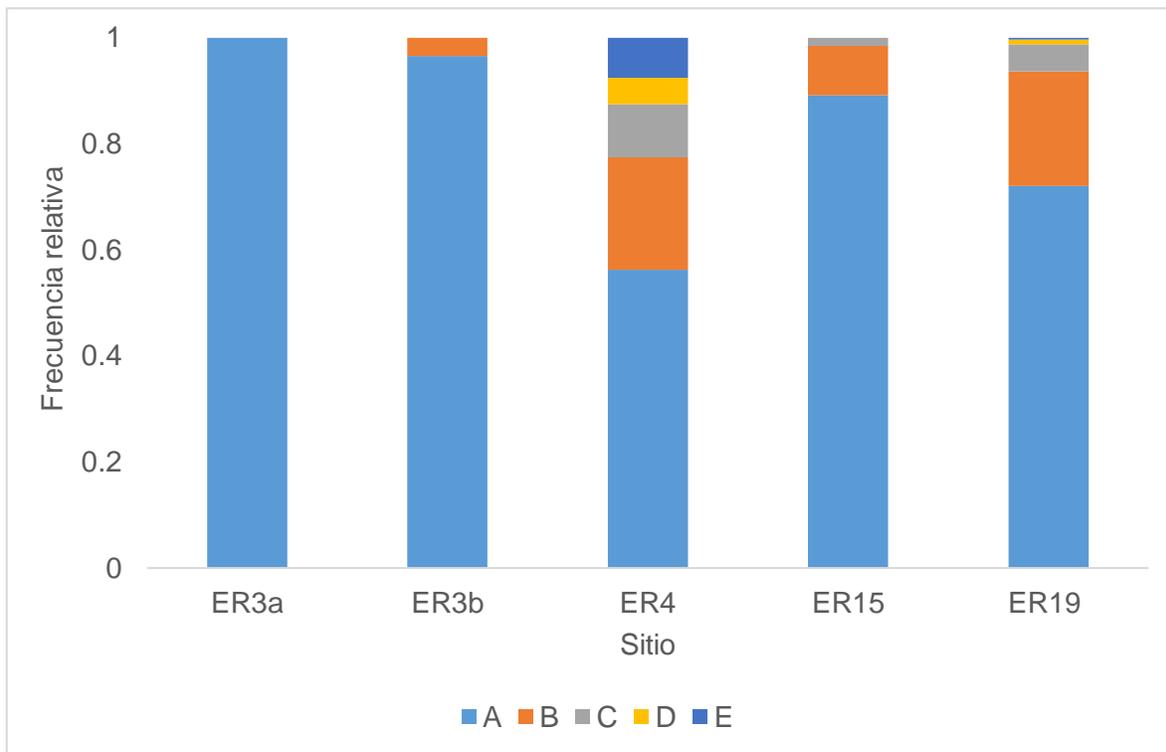


Figura 4. Frecuencia relativa acumulada de la estructura de tamaños para el DB de los oyameles utilizados en la reforestación. Los (\*) indican diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.05$ ). Elaboración propia.

La figura 5 muestra la correlación de Pearson entre la altura y el DB. Se observó una correlación positiva de 0.75, es decir, conforme aumenta el grosor del DB, la altura tiende a ser mayor.

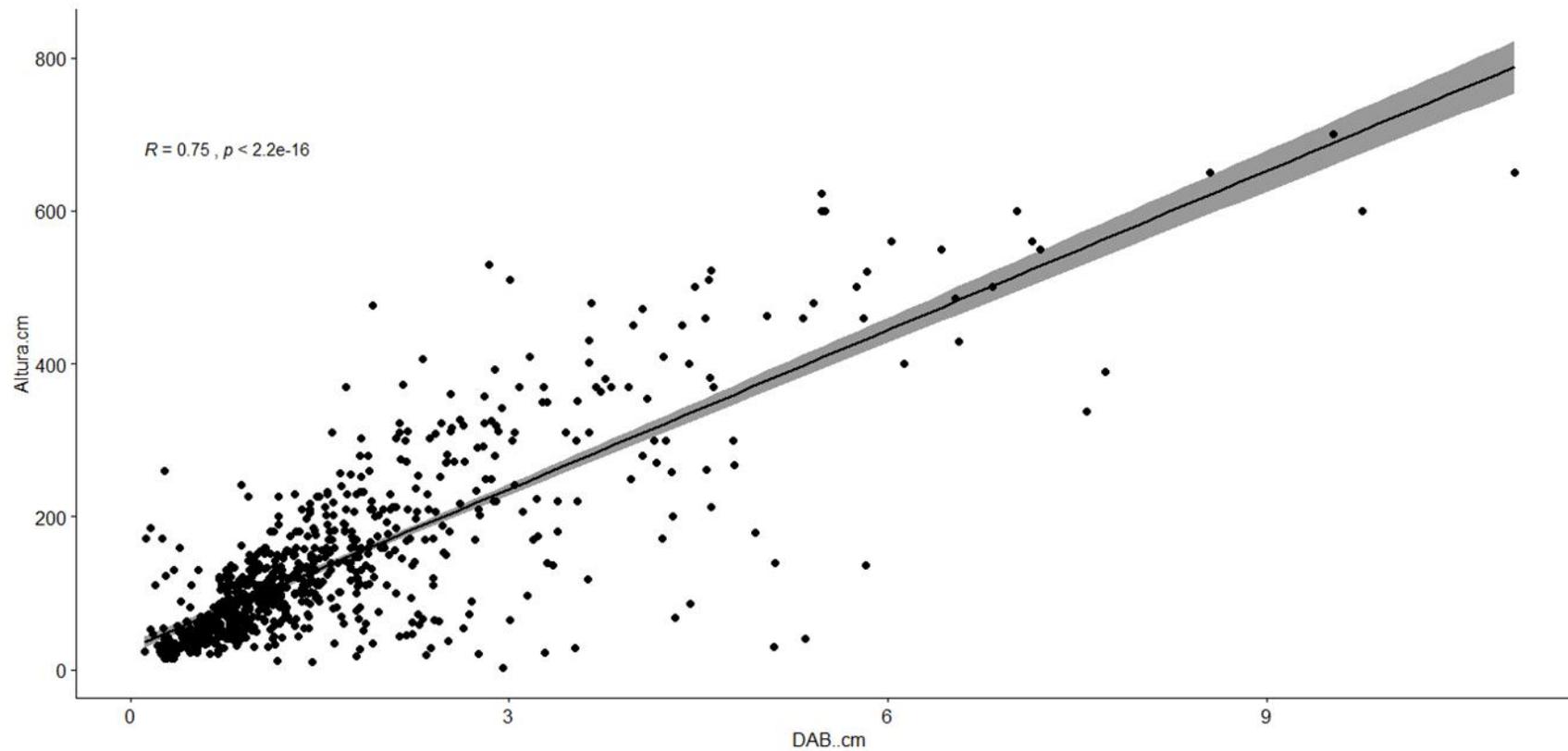


Figura 5. Regresión lineal entre la altura (eje de las ordenadas) y el DB (eje de las abscisas). Índice de correlación de Pearson= 0.80. R=0.75. Elaboración propia.

## 7.2 Factores abióticos

Los cuadros 7 y 8 muestran los valores promedio de los factores abióticos que fueron analizados. El asterisco indica aquellos factores que presentaron diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.05$ ): Potasio, pH, conductividad eléctrica, concentración de nitratos y humedad del suelo. Letras en negrita indican los valores más altos de cada factor.

Cuadro 7. Valores promedio de los factores edáficos				
Sitio	K (meq/100g)	pH	C.E (mmhos/cm)	M.O (%).
ER3	0.69±0.09*	5.90±0.19*	0.09±0.02*	16.28±3.3*
ER3	<b>1.76±0.04*</b>	<b>6.27±0.06*</b>	0.06±0.01*	15.08±0.67*
ER4	1.19±0.39*	6.22±0.16	0.08±0.01*	16.61±3.05*
ER1N	0.88±0.1*	6.10±0.17*	<b>0.10±0.02*</b>	<b>16.82±2.57*</b>
ER19	0.51±0.09*	5.92±0.08*	0.06±0.01*	16.37±2.54*

Continuación			
N kjeldah (%)	P (ppm)	N-NO3 (ppm)	N-NH4 (ppm)
0.53±0.9	11.18±2.79	65.99±25.42*	16.38±2.70
0.44±0.06	<b>13.15±1.80</b>	44.46±5.89*	13.00±3.85
0.52±0.05	9.99±4.76	36.04±6.12*	<b>26.83±5.36</b>
<b>0.57±</b>	10.63±3.35	<b>89.55±21.30*</b>	18.88±3.76
0.49±0.06±	7.56±3.61	43.66±8.24*	23.03±6.29

Cuadro 8. Valor promedio de FSG y HRS		
Sitio	Luz	Humedad
ER3S	<b>23.23±2.70</b>	17.88±2.41*
ER3N	19.30±2.73	<b>70.33±3.15*</b>
ER4N	22.65±0.72	40.27±1.42*
ER15N	15.71±1.08	36.70±1.51*
ER19N	20±1.31	41.01±2.23*

### 7.3 Relación entre estructura de tamaños y factores abióticos

El Análisis de Correspondencia Canónica (CCA) mostró una proporción explicada del eje 1 de 0.695, para el eje 2 de 0.207 y del eje 3 de 0.090 (Cuadro 9; Figura 6). Los sitios que presentaron todos los intervalos de tamaño, es decir, los sitios *ER4* y *ER19*, se relacionan con un alto porcentaje de la humedad; es importante mencionar que de acuerdo con el Cuadro 8. ambos sitios presentaron los valores más altos en la categoría de humedad. Los sitios *ER3b* y *ER15*, que presentan los dos intervalos de tamaño más pequeños, mostraron una relación positiva con la concentración de nitratos (NO<sub>3</sub>).

Cuadro 9. Resumen del Análisis de Componentes Principales

	Eje 1	Eje 2	Eje 3
Eigen valores	0.15	0.045	0.019
Proporción explicada	0.695	0.27	0.006
Proporción acumulada	0.695	0.903	1

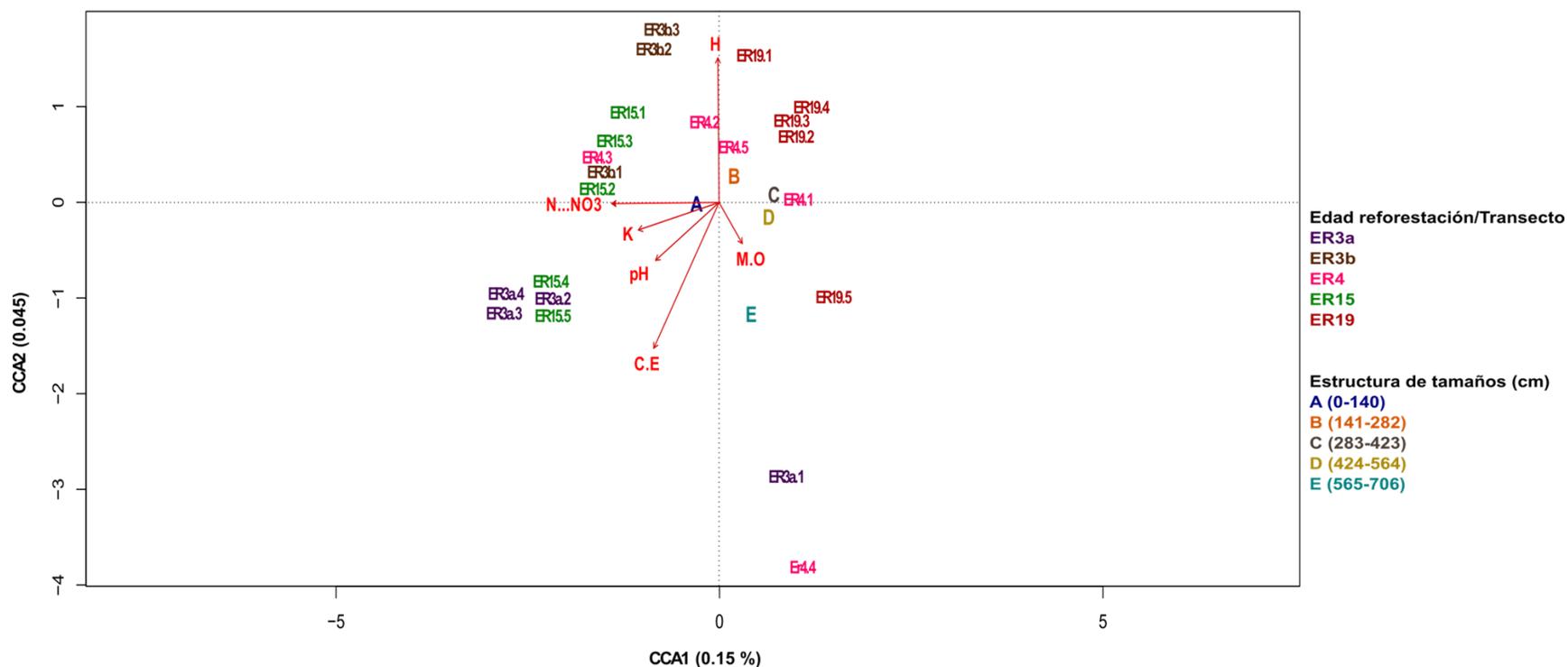


Figura 6. Análisis de Componentes Principales de la estructura de tamaños y los factores abióticos. ER3a, ER3b, ER4, ER15 y ER19 = Sitios de muestro y sus transectos. H = Humedad, N... NO 3 = Nitratos, K = Potasio, pH, C.E = Conductividad eléctrica del suelo. Intervalos: A = 10-148 cm, 0.1-2.3 cm; B = 149-287 cm, 2.4-4.5 cm; C = 288-426 cm, 4.6-6.6 cm: D = 427-565 cm, 6.7-8.8 cm: y E = 566-704 cm, 8.9-10.9 cm. Elaboración propia.

#### 7.4 Especies del sotobosque

En el Cuadro 10 se presentan los valores de riqueza de especies y el número de individuos totales en cada sitio. Además, se muestran los valores del índice de diversidad de Shannon-Weiner ( $H'$ ) y de dominancia de Berger-Parker ( $D$ ).

Sitio	Riqueza	Abundancia	$H'$	$D$
ER3a	21	1324	0.917*	0.326
ER3b	23	1924	0.879*	0.296
ER4	24	1319	0.921*	0.4
ER15	24	1491	1.096*	0.226
ER19	27	2079	1.193*	0.188

En el cuadro 10 se observó que los valores más bajos de riqueza y diversidad se encontraron en los sitios más jóvenes. Por el contrario, el sitio de mayor edad mostró la riqueza, el número de individuos y el valor de diversidad más elevados. Se presentaron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) entre los valores de diversidad de los 5 sitios.

Con respecto a la dominancia, en la Figura 7 se observa que esta disminuyó conforme aumentó la edad de los sitios estudiados, a excepción del sitio *ER4* el cual presentó un valor mayor de dominancia. Al observar el comportamiento de los valores de riqueza y de dominancia, se identificó que, en los sitios con alta riqueza, la dominancia presentó valores menores, por lo que ambos se comportan de manera inversamente proporcional.

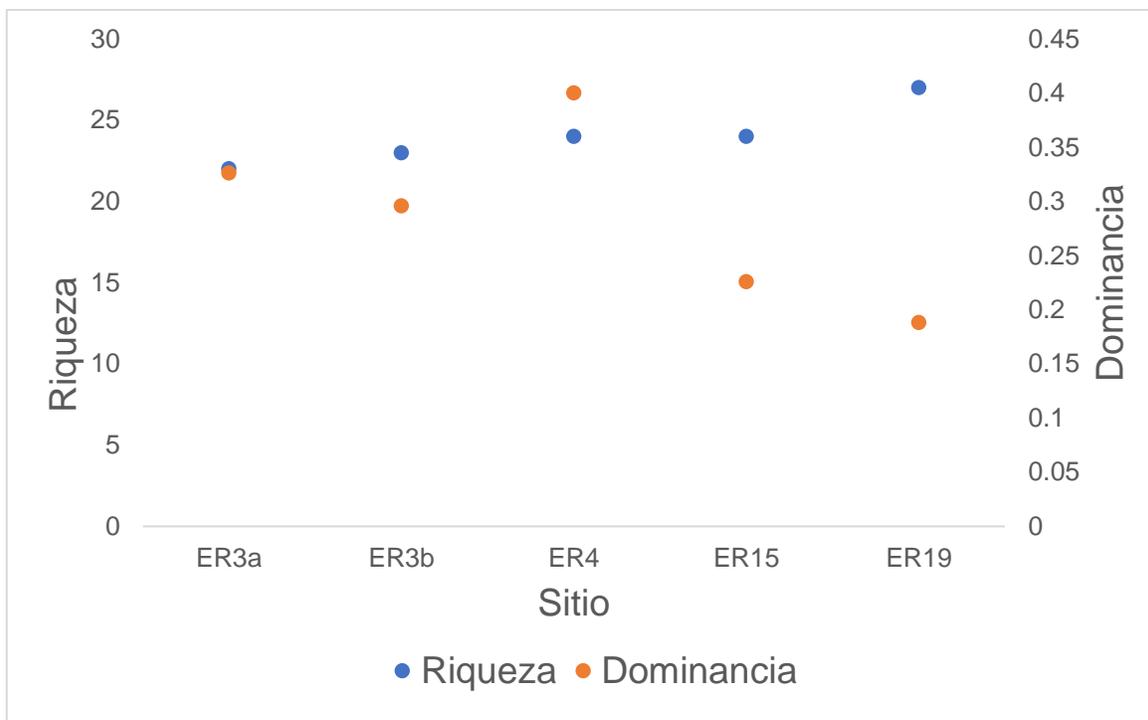


Figura 7. Comparación de los valores de riqueza y dominancia. Elaboración propia.

El cuadro 11 muestra los valores del índice de similitud de Sørensen entre los sitios, observando que los sitios que presentaron mayor similitud fueron *ER4* con *ER19* y *ER15* con *ER19*, es decir, los sitios de mayor edad.

	<i>ER3a</i>	<i>ER3b</i>	<i>ER4</i>	<i>ER15</i>	<i>Er19</i>
<i>ER3a</i>	-				
<i>ER3b</i>	0.489	-			
<i>ER4</i>	0.696	0.638	-		
<i>ER15</i>	0.696	0.553	0.708	-	
<i>Er19</i>	0.64	0.588	0.769	0.769	-

En la Figura 8 se muestran la riqueza de especies características de bosques templados y de especies de malezas, es decir, aquellas especies indicadoras de perturbación antropogénica. Los sitios de mayor edad presentaron la mayor riqueza de malezas.

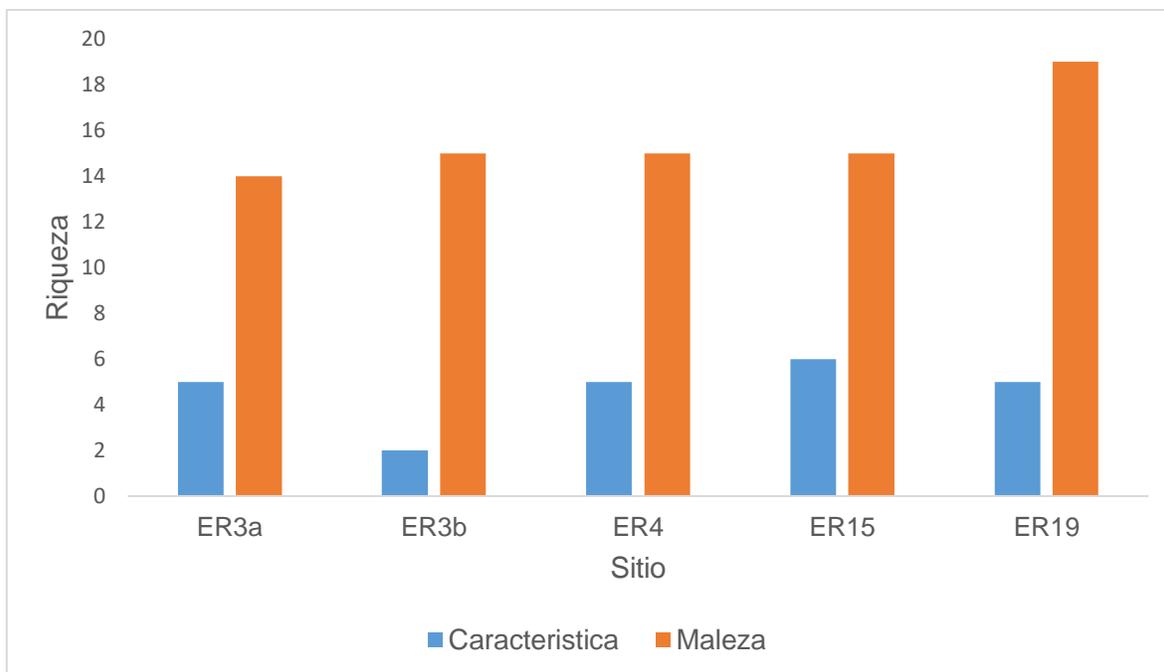


Figura 8. Riqueza de especies características de bosque templado y de especies de malezas en los sitios. Elaboración propia.

## 8 Discusión

### 8.1 Estructura de tamaños.

Analizar la edad y el tamaño de los árboles en un sitio que se ha reforestado aporta información acerca del proceso sucesional en una comunidad y de la evolución de la reforestación en un tiempo determinado (Arista, 1995). De los 5 intervalos de tamaño analizados en este estudio, para altura y el DB, el intervalo A (10 cm-148 cm; 0.1 cm-2.3 cm, respectivamente) es el que mostró el mayor número de individuos y estuvo presente en los 5 sitios, aunque principalmente en los sitios *ER3a* y *ER3b*, es decir, en los más jóvenes. El segundo intervalo con mayor presencia fue el B (149 cm-287 cm; 2.4 cm- 4.5 cm) y se registró en 4 sitios, con excepción del *ER3a*. Por el contrario, los intervalos C (288 cm-426cm; 4.6 cm-6.6 cm), D (427 cm-565 cm; 6.7cm-8.8 cm) y E (566 cm-704; 8.9 cm-10.9 cm) tuvieron la menor cantidad de individuos y únicamente se localizaron en 2 sitios (*ER4* y *ER19*). Esto quiere decir que la mayor parte de los árboles plantados en la reforestación aún se encuentran en estadios juveniles. Es importante mencionar que estos intervalos son definidos para analizar la estructura de tamaños de este trabajo. Sin embargo, también se han establecido términos, basados en altura y DB, para designar a

los diferentes estadios de crecimiento para diferentes especies, nos referimos a: plántula, latizal y brinzal.

Qian (2008) analizó la estructura de tamaños de individuos de *Abies fargessi* para lo cual utilizó 3 categorías de tamaño basadas en la altura. La primera categoría es llamada plántula, que incluye a los individuos con una altura menor a 1 m, seguida de brinzal con individuos cuya altura se encuentra entre 1 m y 3 m, para ambos el DB es menor a 4.5 cm. Por último, se encuentra brinzal alto con una altura mayor a 3 m y DB mayor a 4.5 cm. Vázquez (2018) denominó 5 categorías, el estadio de plántula tuvo una altura menor a 30 cm, seguido de los brinzales cuya altura fue mayor a 30 cm y menor a 1.49 m, el tercer estadio es conocido como latizal que comprende a las coníferas con una altura mayor a 1.49 m, pero menor a 19 m y el cuarto estadio incluye a coníferas adultas con una altura mayor a 20 m y es conocido como fustal. Das *et al.* (2021) modificó la altura para plántulas y brinzales ambos con una altura menor a 1.37 m., pero con diferencias en el diámetro basal. Además, agrego el término árbol maduro para aquellas coníferas con una altura mayor a 1.37 m.

Al comparar los 5 intervalos observados con los términos propuestos por estos autores, se puede deducir que los intervalos A y B corresponden a los estadios juveniles, tales como plántula y brinzal, respectivamente. Asimismo, se observa que el resto de los intervalos corresponden a etapas medias y adultas de crecimiento, es decir, los intervalos C y D corresponden al estadio de latizal y el intervalo E se considera como el estadio de conífera adulta.

Es importante estudiar la relación entre el diámetro basal y la altura debido a *que Abies religiosa* se comporta como una especie alométrica, es decir, sus partes guardan una relación con el tamaño total del individuo (Delgado, 2005). Según lo reportado por Hernández (2018), el diámetro puede ser utilizado como un indicador o predictor de la altura total de oyamel, igualmente, la altura es un indicador del diámetro del mismo individuo. La relación entre la altura y el DB se ve reflejada en la Figura 5, en la cual se observa que, al aumentar el diámetro, la altura también presenta un incremento. De acuerdo con Ortiz-Quijano *et al.* (2016) este comportamiento es común en estadios juveniles de algunas plantas, sin embargo, en estadios más maduros puede variar y presentar un crecimiento en DB y altura de manera asincrónica. A pesar de tener sitios con más de 15 años de haber sido reforestados, se puede observar en la gráfica que existe un comportamiento de individuos en estadios jóvenes. Esto puede deberse a las

características de la tasa de crecimiento de las coníferas y su relación con factores bióticos y abióticos.

Las especies de coníferas, incluida *Abies religiosa*, se caracterizan por presentar una pausada tasa de crecimiento. Se han realizado investigaciones para analizar esta tasa en condiciones de campo y en laboratorio. Chávez *et al.* (2002) estudió la tasa de crecimiento de *Abies religiosa* en condiciones de laboratorio, encontrando que en los primeros meses de crecimiento la tasa es lenta y que ésta se ve influenciada por la temporalidad. Navarro-Sandoval *et al.* (2013) analizó la calidad de los árboles de oyamel destinados a reforestación, los cuales fueron tratados con fertilizantes para favorecer su crecimiento, aunque la adición de estos al sustrato no modificó significativamente la tasa de crecimiento de los individuos.

En el bosque de *Abies religiosa* de la CRM se ha estudiado el crecimiento de brinzales, los cuales fueron plantados en acciones de reforestación, como parte de una evaluación. El crecimiento de estos oyameles varió de 19.34 cm/año a 42.92 cm/año y está influenciado por la temporada de lluvias, durante esta el crecimiento es más acelerado mientras que en secas, el crecimiento es más lento (Salazar, 2016; Centeno, 2017). Al momento de analizar y comparar la tasa de crecimiento del oyamel y la edad de los sitios reforestados con la estructura de tamaños, constatamos que se cumple la hipótesis sobre encontrar un mayor número de individuos en estadios juveniles, además de que se observó una disminución de esto conforme aumentó la edad de los sitios. Sin embargo, también observamos puntos interesantes, por ejemplo, en el sitio *ER4* están presentes individuos de todos los intervalos de tamaño mientras que en el sitio *ER15* se presentaron únicamente individuos de los intervalos plántula y brinzal. Por esta razón es necesario analizar los factores, tanto abióticos como bióticos, que pueden influir en el crecimiento del oyamel.

## **8.2 Relación entre factores abióticos-bióticos y la estructura de tamaños de *Abies religiosa***

La CRM se caracteriza por presentar una alta heterogeneidad espacial y temporal, tanto en la diversidad de especies como en los factores ambientales. Esta heterogeneidad ambiental tiene un impacto diferencial en el establecimiento de las especies, es decir, la supervivencia y el desarrollo de los individuos de una especie pueden ser diferentes entre dos o más sitios o micrositos (Castillo-Argüero *et al.* 2014). Además, se ha demostrado

que las especies forestales con una amplia distribución geográfica, como lo es el oyamel, presentan una gran plasticidad fenotípica debido a la respuesta de selección a diferentes ambientes (Benavides-Meza *et al.* 2011). Como parte de los programas de reforestación, es importante estudiar el impacto de los factores edáficos, calidad de la luz, humedad del suelo, temperatura y la presencia de cubierta vegetal sobre las plantas utilizadas (Castillo-Argüero *et al.*, 2014). Por esta razón en el presente trabajo se analizó la orientación de la ladera, la luz a través del dosel o factor del sitio global (FSG), humedad relativa del suelo (HRS) y factores edáficos tales como pH, conductividad eléctrica (CE), porcentaje de materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), nitratos (NO<sub>3</sub>) y amonio (NH<sub>4</sub>).

De manera general, se puede decir que la orientación de la ladera es uno de los principales factores que definen el crecimiento y distribución diferencial de la vegetación (Yang, 2020). Se ha estudiado la incidencia solar en diferentes orientaciones y se tiene conocimiento de que en el hemisferio norte las laderas orientadas hacia el sur reciben mayor radiación solar que aquellas orientadas hacia el norte y viceversa (Baigorria y Consuelo, 2010). Debido al relieve montañoso de los bosques de la CRM, las laderas presentan diferente orientación lo que genera que haya variaciones en la cantidad y calidad de la luz que incide en los sitios, en la temperatura y la humedad del suelo, es decir, se generan microclimas (Martínez-Orea, 2020). Esta relación se ve reflejada en el FSG y la HRS de los sitios más jóvenes, como se discute a continuación.

Es importante recordar que la ladera del sitio *ER3a* tiene una orientación al sur mientras que en el sitio *ER3b* la ladera tiene orientación norte. En el primer sitio se registró el valor promedio más alto de FSG ( $23.23 \pm 2.70$  MJm<sup>-2</sup>y<sup>-1</sup>) y el valor más bajo de HRS ( $17.88 \pm 2.41\%$ ) comparado con todos los sitios, así como el 100% de sus árboles plantados se encontraban en el intervalo A o estadio de plántula ( $10\text{cm} < H < 148\text{cm}$ ). En el segundo sitio se registró el menor valor de FSG ( $19.30 \pm 2.73$  MJm<sup>-2</sup>y<sup>-1</sup>) y el más alto en HRS ( $70.33 \pm 3.15\%$ ) y contrario a lo que presentó en el sitio *ER3a*, en el *ER3b* los árboles plantados se encontraban en dos estadios: A o plántula y B o brinzal ( $148\text{cm} < H < 287\text{cm}$ ), a pesar de lo anterior no se encontraron diferencias significativas en el FSG ( $p > 0.05$ ) entre estos sitios, mientras que la HRS mostró diferencias significativas entre todos los sitios ( $p < 0.05$ ). La influencia de la orientación de la ladera ha sido estudiada por otros autores, encontrado resultados similares a los reportados aquí. Loannidis (2021) realizó un estudio durante 3 años en un bosque de *Abies cephalonica* (Abeto griego) que sufrió

un incendio forestal y posteriormente fue reforestado. Encontró que las alturas (CPA) promedio de los abetos plantados en parcelas con orientación al norte fueron estadísticamente mayores (CPA=94 cm;  $p \leq 0.05$ ) que las de los abetos plantados en parcelas orientadas al sur (CPA=74 cm). La misma relación fue observada por Yang (2020), quien reportó que en las laderas orientadas al norte se encuentran plantas con altura promedio mayor ( $H=107 \pm 12.04$  cm;  $p \leq 0.05$ ) que en aquellas al sur ( $H=30 \pm 1.49$  cm). Ambos autores estudiaron el crecimiento de las plantas entre diferentes orientaciones de ladera. Sin embargo, no consideraron la relación de factores edáficos y la estructura de tamaños. Por lo anterior se puede deducir que ya que, en las laderas orientadas al norte, al ser más húmedas, fue donde se promovió un mayor crecimiento de los individuos con los que se realizó la reforestación. Relacionando esto con el presente estudio podemos decir que muy probablemente en las laderas orientadas hacia al norte el mayor porcentaje de HRS y un menor valor del FSG tuvieron una influencia positiva en los valores de altura del oyamel. Aun así, también es necesario examinar como es la relación con el resto de los factores abióticos analizados.

Los sitios más jóvenes mostraron un par de factores edáficos con un comportamiento interesante. En ambos sitios se registró el promedio más alto de fósforo ( $11.18 \pm 2.79$  ppm y  $13.15 \pm 1.80$  ppm respectivamente), mientras que ambos presentaron los promedios más bajos de materia orgánica ( $16.28 \pm 3.30\%$  y  $15.08 \pm 0.67\%$  respectivamente) sin diferencias significativas entre sí. Distintos disturbios antropogénicos y naturales pueden incidir en los factores edáficos y de acuerdo con Martínez-Orea (2020), el chaponeo que se realiza en un sitio sujeto a reforestación como práctica silvícola se puede considerar como un disturbio dado que la eliminación de la vegetación en pie modifica variables como la cantidad de materia orgánica del suelo.

Hasta este punto se ha explicado la relación encontrada entre la estructura de tamaños y algunos factores abióticos y bióticos de los sitios más jóvenes. Pero al revisar la gráfica de la estructura de tamaños del sitio *ER15*, observamos que presenta el mismo comportamiento que el sitio *ER3b* (Figura 3 y 4). Esto quiere decir que los individuos de *ER15* se encontraban en dos estadios: A o plántula ( $10 \text{ cm} < H < 148 \text{ cm}$ ) y B o brinzal ( $148 \text{ cm} < H < 287 \text{ cm}$ ). Por un lado, al comparar los valores de las variables abióticas, podemos constatar que ambos sitios compartieron los promedios más bajos de FSG ( $19.30 \pm 2.73$  MJm<sup>-2</sup>y<sup>-1</sup> y  $15.71 \pm 1.08$  MJm<sup>-2</sup>y<sup>-1</sup> respectivamente), es decir, recibieron menor incidencia lumínica a través del dosel. Por otro lado, *ER15* presentó la menor HRS con un promedio

de  $36.70 \pm 1.51\%$ , mientras que ER3b mostró la HRS mayor (70.33%) con diferencias significativas entre ambos ( $p > 0.05$ ). Un punto importante para considerar es que estos sitios presentaron los valores máximos de más factores edáficos que los sitios restantes, cada uno presentó 4 valores máximos de los diferentes factores edáficos. El sitio ER3b tuvo los valores más altos de potasio ( $1.76 \pm 0.04$  meq/100g), HRS ( $70.33 \pm 3.15\%$ ), pH ( $6.27 \pm 0.06$ ) y fósforo ( $13.15 \pm 1.80$  ppm), mientras que en ER15 se encontraron los valores máximos de conductividad eléctrica ( $0.10 \pm 0.02$  mmhos/cm), materia orgánica ( $16.82 \pm 2.57\%$ ), nitrógeno ( $0.57 \pm 0.07\%$ ) y nitritos ( $89.55 \pm 21.30$  ppm).

De acuerdo con Ruíz (2009), quien estudió las propiedades edáficas de un bosque en España 30 años después de ser reforestado, el alto porcentaje de materia orgánica debería de estar relacionado con una disminución del pH y un aumento en el potasio. Sin embargo, en el presente estudio no se visualizó ese tipo de relaciones. Por ejemplo, el sitio ER15 mostró el mayor porcentaje de materia orgánica, uno de los menores valores en potasio y uno de los más altos en pH, es decir, lo contrario a lo reportado por Ruíz. De hecho, en todos los sitios se encontraron valores más altos de pH que los reportados por Delgadillo (2011), quien registró el pH del bosque de oyamel de la CRM en 5.4, y de Facio (2015) quien reportó el pH en un intervalo de 4.7 a 5.5. A pesar de haber encontrado diferencias significativas, en este trabajo los promedios de materia orgánica mostraron valores similares (valor máximo de 16.82% y el mínimo de 15.08%), siendo resultados parecido a lo reportado por Paredes (2016) quien encontró un valor mínimo de 12.89% en distintos sitios del bosque de *Abies religiosa* de la CRM. Valores bajos de pH puede tener un efecto negativo para el crecimiento de la vegetación ya que si es muy ácido el suelo puede reaccionar con elementos como el fósforo y generar sales, causando una limitante para la absorción de este nutriente en las plantas (Chávez *et al.*, 2002) también se sabe el fósforo es un elemento importante para el crecimiento de especies vegetales (Martínez *et al.*; 2020). Los cambios en los factores edáficos en suelos reforestados se deben principalmente a la historia del uso de suelo y a las especies utilizadas (Li, *et al.*, 2019). Sin embargo, un análisis robusto de los cambios que ocurren en las variables edáficas por reforestar o por algún tipo de manejo silvícola puede realizarse en periodos largos de tiempo, al menos entre 20 y 30 años (Amiotti 2000; Ruiz-Navarro *et al.* 2009). Además, no es posible, al menos para el sitio de estudio, analizar de manera aislada los efectos de un manejo silvícola y de una reforestación, pues es común que en un sitio donde se realiza una reforestación se practique el chaponeo en algún momento o incluso periódicamente.

Sin embargo, de esto no se tiene una idea clara pues al preguntar a los comuneros ellos no tienen un registro claro ni controlado de dichas actividades en los sitios reforestados.

Es interesante observar en la Figura 6 cómo se comporta el sitio *ER15* con los factores edáficos antes mencionadas (M.O., K y pH). El sitio está relacionado positivamente con el potasio y el pH, mientras que estos factores edáficos se relacionan negativamente con la materia orgánica. Gunter (2009), encontró diferencias significativas entre alturas en árboles plantados y su influencia de estos en factores edáficos debido a la concentración de materia orgánica 3 años después de realizar la reforestación. Estos dos sitios (*ER3b* y *ER15*) mostraron relaciones interesantes tanto en su estructura de tamaños como en los factores edáficos, esto mismo se observa al analizar la composición del sotobosque ya que de acuerdo con Donahue *et al.* (1977) las características edáficas influyen en la selección de algunas especies dominantes.

Bonilla-Valencia (2021), quien realizó su tesis doctoral en el mismo sitio de estudio, encontró valores similares en cuanto a factores edáficos. El valor de pH varió de 5 a 6.9, ubicándose en valores ácidos a neutros, similar a los valores reportados en este estudio con un promedio máximo de 6.2 en el sitio *ER3b* y uno mínimo de 5.9 en el sitio *ER3a*. Contrario a lo que se esperaba, el porcentaje de materia orgánica fue menor en el presente estudio. Mientras que Bonilla-Valencia (2021) reportó un intervalo de 11% a 39 %, en este estudio el porcentaje se ubicó en 16%. Sin embargo, algunos valores coinciden, los valores de nitrógeno fueron similares ya que ambos estudios reportan el porcentaje de Kjeldahl cercano a 0.5. Otra relación similar es la observada en la conductividad eléctrica debido a que Bonilla-Valencia (2021) reportó valores menores a 0.20 y en el presente trabajo los valores fueron cercanos a 0.10. Estos valores de conductividad eléctrica están relacionados con la presencia de disturbios de origen antropogénico y por ende con la presencia de malezas.

En cuanto a la diversidad del sotobosque de *ER3a* y *ER3b* ambos tuvieron valores bajos en el índice de diversidad Shannon-Wiener (0.917 y 0.879 respectivamente). Además, el sitio *ER3a* fue el que mostró la menor riqueza con 21 especies en el sotobosque, siendo la de mayor abundancia *Ageratina glabatra* (*Asteraceae*) con 431 individuos, seguido de *Cestrum thyrsoides* (*Solanaceae*) con 277. La parcela *ER3b* presentó una riqueza de 23 especies, con *Duschesnea* sp. como la especie con mayor abundancia (569) y *Cestrum thyrsoides* como segunda especie más abundante de dicho sitio con 548 individuos. Aquí se debe mencionar que *Cestrum thyrsoides* fue la especie con mayor abundancia

al agrupar los 5 sitios y de acuerdo con Rzedowski y Rzedowski (2001) es una especie característica de bosque templado y de estadios sucesionales secundarios. Este es un resultado similar que lo que encontró Rubio-Licona *et al.* (2011) quien reportó que *Cestrum thyrsoideum* acompañada de *Monnina ciliolata* fueron las dos especies con mayor presencia en un bosque de *Quercus* en Villas del Carbón, Estado de México. También agregó que la elevada abundancia de esta especie es indicio de un buen estado de conservación del bosque. Al analizar el sotobosque del sitio *ER15*, podemos observar que las dos especies con mayor abundancia en él fueron *Alchemilla procumbens* con 390 individuos y la segunda fue *Acaena elongata* con 227 individuos, las dos pertenecen a la familia Rosaceae. Ambas especies se consideran como indicadoras de perturbación antropogénica de acuerdo con Ávila-Akerberg *et al.* (2008). La presencia de *A. procumbens* se relaciona con el sobrepastoreo, incendios y la tala ilegal que son disturbios que afectan los bosques de la CRM (Flores-Rodriguez, 2006). *Acaena elongata* al presentar dispersión de tipo exozoocora se relaciona con la presencia de ganado además de presentar una alta plasticidad fenotípica lo que le confiere una ventaja al desarrollarse en diferentes condiciones ambientales (Martínez-Camacho *et al.*, 2018). Además, Mejía-Canales *et al.* (2018) afirma que estas perturbaciones, como son el chaponeo o alguna otra actividad forestal de manejo y la presencia de ganado, modifican los nutrientes del suelo, así como la calidad del agua. La estructura de tamaños del sitio *ER15* puede relacionarse con algún efecto de los disturbios al que es sometido, es decir, el constante chaponeo ha modificado las propiedades edáficas generando la existencia de valores máximos comparado con el resto de los sitios y a su vez ha favorecido la presencia de especies de malezas que compiten por nutrientes y por luz. Schmid (2021) describió que la competencia interespecífica por la radiación solar, nutrientes y espacio son los principales factores que intervienen en el crecimiento de los árboles de *Picea abies* en los Alpes Suizos, por lo que el desarrollo de las coníferas puede depender de la competencia entre los individuos de las diferentes especies, una relación similar es observada en este estudio.

En cuanto a la diversidad del sotobosque, el sitio *ER19* tuvo el valor mayor en el índice de Shannon-Wiener ( $H' = 1.19$ ), aunque se encuentra por debajo del reportado por Ávila-Akerberg (2002) quien lo calculó en 1.63 para el bosque de oyamel de la CRM. La mayor riqueza de especies se presentó en el sitio de mayor edad (Riqueza=27 especies), no obstante, la riqueza total encontrada en los cinco sitios fue de 40 especies, siendo un dato menor al reportado por Hernández (2022) de 81 especies para el bosque de *A. religiosa*

de la CRM. Las 40 especies encontradas en este trabajo representan el 8% de las especies reportadas por Ávila-Akerberg (2010) quien encontró 534 especies para toda la CRM.

En los sitios *ER4* y *ER19* se encontró a *Asplenium* sp que de acuerdo con Hernández (2022) se relaciona con disturbios que favorecen la entrada de luz solar y el aumento en las temperaturas en este caso se le puede atribuir al chaponeo la presencia de este género y también presentaron una alta abundancia de *Acaena elongata*. Aunque también se encontraron especies características de bosque templado como lo es *Cestrum thyrsoides* y *Symphoricarpos microphyllus*. El índice de similitud entre estos dos sitios fue el más alto con el 76% de las especies compartidas, aunque *ER4* presentó la dominancia más elevada ( $D=4$ ). El tipo de sustrato es importante para la germinación de semillas, un sustrato con alto porcentaje de materia orgánica (hojarasca) desfavorece la germinación mientras que un sustrato mineral (Horizonte O) puede favorecer la germinación y posterior crecimiento de la planta (Martinez-Orea, 2013). Aquí es importante recordar que no presentaron valores extremos en las variables abióticas (a excepción del amonio), lo que podría explicar la alta riqueza en *ER19* y la similitud entre los dos sitios.

## 9 Conclusión

La reforestación que se ha practicado en el bosque de *Abies religiosa* de la CRM está influenciada por su alta heterogeneidad. Esta heterogeneidad se da tanto en factores bióticos (composición vegetal) como en los abióticos (factores edáficos, orientación de la ladera, incidencia lumínica, humedad, etc.), los cuales deben ser evaluados y considerados para realizar futuros planes de reforestación.

La estructura de tamaños del *Abies religiosa* responde a diversos factores abióticos, como lo es la orientación de la ladera, humedad relativa del suelo e incidencia lumínica. Estos factores tienen una influencia muy importante sobre los individuos plantados, no únicamente el tiempo transcurrido desde la reforestación. Por este motivo es que se pueden presentar relaciones asincrónicas, es decir, el que se encuentren más individuos de mayor tamaño en sitios jóvenes que en los sitios más longevos.

A pesar de que la reforestación es una medida para conservar los bosques, esta actividad también puede verse como un disturbio antropogénico y una mala planeación puede terminar en resultados no deseados. La presencia de especies de malezas, como *A.*

*procumbens* es un claro indicador del impacto del humano en estos bosques. El chaponeo podría ser facilitador para algunas especies de malezas. Sin embargo, es alentador encontrar también en los sitios reforestados otras especies secundarias y características de bosque templado como lo es *C. thyrsoides*.

Debido a las características propias de un bosque templado y a que el estudio fue de corto plazo, es complicado poder dar un veredicto sobre estas acciones de reforestación y prácticas silvícolas o señalar si han sido exitosas de acuerdo con los objetivos planteados en el proyecto. Sin embargo, se pueden mencionar algunas recomendaciones para que dichos proyectos logren contribuir a la conservación del bosque:

- Realizar estudios previos de los factores edáficos y de la vegetación en pie en aquellos sitios que sean candidatos para reforestar.
- Realizar un chaponeo selectivo, conservando las especies que favorezcan el desarrollo de los árboles plantados.
- Llevar un control de administración, es decir, documentar las especies utilizadas, registrar el inicio de las actividades y la periodicidad de las actividades forestales.
- Se deja la invitación a realizar un estudio de impacto antrópico y de diversidad funcional en sitios reforestados.

## 10 Referencias

- Almeida-Leñero, L., Nava, M., Ramos, A., Espinosa, M., Ordoñez, M. de J., Jujnovsky, J. (2007). Servicios Ecosistémicos en la cuenca del río Magdalena, Distrito Federal, México. *Gaceta Ecológica del Instituto Nacional de Ecología*, SEMARNAT Número especial, 84-85 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53908506>
- Amiotti, N. M., Zalba, P., Sanchez, L. F., y Peinemann, N (2000). The impact of single trees on properties of loess-derived grassland soils in Argentina. *Ecology*, 81: 3283–3290. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(2000\)081\[3283:TIOSTO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(2000)081[3283:TIOSTO]2.0.CO;2)
- Araiza-Olivare, G A. (2020). Efectos del cambio climático en la distribución del bosque de Oyamel. *Revista Geográfica de América Central*, 69, 263-282. <https://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.11>
- Arista, M. (1995). The structure and dynamics of an *Abies pinsapo* forest in southern Spain *Forest Ecology and Management*, 74(1-3): 81-89. [https://doi.org/10.1016/0378-1127\(94\)03507-S](https://doi.org/10.1016/0378-1127(94)03507-S).
- Arriaga, V, Cervantes, V y Vargas, A. (1994). Manual de reforestación con especies nativas, colecta y preservación de semillas, propagación y manejo de plantas, Instituto Nacional de Ecología, SEDESOL y Facultad de Ciencias, UNAM México, 219 pp.
- Ávila- Akerberg V. (2002). La vegetación de la cuenca alta del río Magdalena: un enfoque florístico, fitosociológico y estructural. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México 86 pp. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/234718>
- Ávila-Akerberg, V. González-Hidalgo, B. Nava-López, M. y Almeida-Leñero, L. (2008). Refugio de fitodiversidad en la ciudad de México, el caso de la cuenca del río Magdalena. *Journal of Botanical Research Institute of Texas*, 2(1): 605-619 <http://www.jstor.org/stable/41971679>
- Ávila-Akerberg. (2010). Forest quality in the southwest of Mexico City. Assessment towards ecological restoration of ecosystem services. Institut für Landespflege. Schriftenreihe des Instituts für Landespflege der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg. 209 pp.
- Ávila-Akerberg, V., Burgos-Hidalgo, I., Engracia-Hernández, M., y Almeida-Leñero, L. (2015). Mapas de vulnerabilidad en la vegetación en relación a los cambios climáticos globales. Proyecto: La cuenca del río Magdalena, D. F. como sitio de referencia para el monitoreo

de los efectos del cambio climático. 66-80 <https://www.pincc.unam.mx/wp-content/uploads/2021/05/informe-final-rio-magdalena.pdf>

Baigorria, A., y Consuelo, C. (2010). Applications of Climatic Resources in Mountainous Regions En: WMO *Guide to Agricultural Meteorological Practices (GAMP)* 630-662 pp. [http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP\\_Chap16.pdf](http://www.wamis.org/agm/gamp/GAMP_Chap16.pdf)

Benavides-Meza, H. M., Gazca-Guzmán, M. O., López-López, S. F., Camacho Morfín, F., Fernández-Grandizo, D Y., de la Garza López de Lara, M. P., y Nepamuceno-Martínez, F. (2011). Variabilidad en el crecimiento de plántulas de ocho procedencias de *Abies religiosa* (HBK) Schlecht. et Cham., en condiciones de vivero. *Madera y bosques*, 17(3): 83-102. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61722838005>

Blanco, A. (2017). Bosques, suelo y agua: explorando sus interacciones. *Ecosistemas*, 26(2): 1-9. Doi.: 10.7818/ECOS.2017.26-2.01

Bonilla-Valencia, L. (2021) El efecto del disturbio antropogénico sobre la integridad funcional de un bosque templado de México: una evaluación a través de indicadores. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México 122 pp. [https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/5EC3QJ8K944I7P8CUPCU27KYRTTPCG2GPK6PBL4EUC3QP1NMUQ-20585?func=full-set-set&set\\_number=017765&set\\_entry=000003&format=999](https://tesiunam.dgb.unam.mx/F/5EC3QJ8K944I7P8CUPCU27KYRTTPCG2GPK6PBL4EUC3QP1NMUQ-20585?func=full-set-set&set_number=017765&set_entry=000003&format=999)

Calva-Soto, K., y Pavón, P. (2018). La restauración ecológica en México: una disciplina emergente en un país deteriorado. *Madera y bosques*, 24(1): 1-9. Doi: 10.21829/myb.2018.2411135

Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., & Barajas-Guzmán, G. (2014). Establecimiento de tres especies arbóreas en la cuenca del río Magdalena, México. *Botanical Sciences*, 92(2): 309-317 <https://doi.org/10.17129/botsci.100>

Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., y Reyes-Ronquillo, I. (2016) Capítulo II: Malezas e invasiones biológicas: definición, importancia y su papel en los ecosistemas. En: Las malezas de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 144 pp.

Centeno, E. (2017). Éxito de la reforestación mediante un monitoreo participativo en la Cuenca del Río Magdalena, CD. MX., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias.

- Cepeda, I. X. G., Leñero, L. A., y Ávila-Akerberg, V. (2016). Estimación del almacenamiento de carbono y la percepción social de los servicios ecosistémicos que brinda el bosque de *Abies religiosa* de la cuenca presa Guadalupe, Estado de México. *Teoría y Praxis*, (19): 65-93.
- Challenger, A. (2003). Conceptos generales acerca de los ecosistemas templados de montaña de México y su estado de conservación. En Óscar, E., Vega, EP y Monroy O.(eds.) *Conservación de ecosistemas templados de montaña 7 (44) SEMARNAT*
- Challenger, A., y J. Soberón.(2008). Los Ecosistemas terrestres En *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad I 87-108 CONABIO  
<https://propedeuticoecologiatropical10.files.wordpress.com/2010/05/los-ecosistemas-de-mexico.pdf>
- Chávez, L. R. M., López, M. Á. L., Botello, E. E., y Martínez, A. V (2002). Diagnóstico de necesidades de fertilización de *Abies religiosa* (HBK) *Schl. et Cham.* en vivero mediante el DRIS. *Madera y bosques*, 8(1). 51-60  
<https://myb.ojs.inecol.mx/index.php/myb/article/view/1305/1475>
- Cotler, H. (2003). Características y manejo de suelos en ecosistemas templados de montaña. En *Conservación de Ecosistemas Templados de Montaña en México 1ª edición*. Instituto Nacional de Ecología. México, 153-162.
- Colín, J., Flores, M., y Hernández, L. (2002). La importancia de rescatar, preservar, mantener y cuidar la microcuenca del Río Magdalena, Distrito Federal. *Revista del Centro de Investigación Universidad La Salle*. 5(19). 5-11.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=34251901>
- Comisión Nacional Forestal (2010). *Prácticas de Reforestación. Manual básico. Gerencia de Reforestación de la Coordinación General de Conservación y Restauración de la Comisión Nacional Forestal.* México 66 pp.  
[https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL\\_PRACTICAS\\_DE\\_REFORESTACION.PDF](https://www.conafor.gob.mx/BIBLIOTECA/MANUAL_PRACTICAS_DE_REFORESTACION.PDF)
- Das, D. S., Dash, S. S., Maity, D., y Rawat, D. S (2021). Population structure and regeneration status of tree species in old growth *Abies pindrow* dominant forest: A case study from

western Himalaya, India. *Forests and People*, 5: 1-6  
<https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100101>

Delgadillo, E. (2011). Productividad primaria neta de los bosques templados de la cuenca del río Magdalena. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 82 Pp <https://repositorio.unam.mx/contenidos/73619>

Delgado, L. U. Z., Acevedo, M. F., Castellanos, H., Ramírez, H., y Serrano, J (2005). Relaciones alométricas y patrones de crecimiento para especies de árboles de la reserva forestal Imataca, Venezuela. *Interciencia* 30(5): 275-283.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33910406>

Dobler, E. (2010). Caracterización del clima y su relación con la distribución de la vegetación en el suroeste del D.F., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 50 pp.  
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/238849>

Donahue, L., Miller, W. y Shickluna, C. (1977). *Soils: An Introduction to Soils and Plant Growth*. Prentice Hall.

Engracia, M. y Dobler, C. (2018). Introducción: Clima. En *Historia natural y cultural de la Cuenca del río Magdalena, Ciudad de México*. 1ª edición. pp 33-41. Editorial de la Facultad de Ciencias. México.

Facio, J. (2015). La relación carbono-nitrógeno en el mantillo y suelo del bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del Río Magdalena, D.F., México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 74 pp.  
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/391356>

Flores-Rodríguez, A., 2006. Frecuencia de incendios forestales, su relación con la precipitación y la riqueza de especies vegetales, en la cuenca del río Magdalena, D. F., México. Tesis de Licenciatura en Biología. México. Facultad de Ciencias, UNAM.

Flores, A. (2019). Producción maderable de *Abies religiosa* (Kunth) Schlttdl. & Cham. en zonas de movimiento de germoplasma. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 10(56), 238-247.

García, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación de Köppen. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, pp 7-51.

- Gernandt, D. S., y Pérez-de la Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de *Pinophyta* (coníferas) en México. *Revista mexicana de biodiversidad*, 85: 126-133. [http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/15.-\\_1200.pdf](http://www.ib.unam.mx/m/revista/pdfs/15.-_1200.pdf)
- Godoy, A. (2017). Banco de semillas en diferentes condiciones de manejo en el bosque de *Abies religiosa*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 79 Pp. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/103341>
- Günter, S., González, P., Álvarez, G., Aguirre, N., Palomeque, X., Haubrich, F., y Weber, M. (2009). Determinants for successful reforestation of abandoned pastures in the Andes: soil conditions and vegetation cover. *Forest Ecology and Management*, 258(2): 81-91. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.03.042
- Hernández, A. (1985). Distribución y utilidad de los *Abies* en México. *Investigaciones Geográficas*. 15: 75–118. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46111985000100003&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-46111985000100003&script=sci_arttext)
- Hernández, G. (2018). Ecología e historia ambiental del bosque de oyamel: *Abies religiosa* (Kunth) Schltl. & Cham. del estado de Hidalgo, México. Tesis de maestría. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Instituto de ciencias básicas e ingeniería. 98 pp. <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/handle/231104/2410>
- Hernández, M. (2022). Estructura y composición del sotobosque en un bosque templado de la cuenca del río Magdalena, Ciudad de México, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad nacional autónoma de México. 63 pp. <http://132.248.9.195/ptd2022/mayo/0815377/Index.html>
- Honey-Rosés, J., Maurer, M., Ramírez, M. I., y Corbera, E. (2018). Quantifying active and passive restoration in Central Mexico from 1986–2012: assessing the evidence of a forest transition. *Restoration ecology*, 26(6): 1180-1189. <https://doi.org/10.1111/rec.12703>
- Huerta, E. Z., Cruz-Jiménez, H., y Ramírez, J. M (2012). Potencial de infiltración de agua de lluvia a partir de la retención de una plantación forestal. *Foresta Veracruzana*, 14(1): 23-28 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49724122004>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2017), Guía para la interpretación de cartografía: uso del suelo y vegetación: escala 1:250,000: serie VI México.

- Ioannidis, K., Tsakalidimi, M., Koutsovoulou, K., Daskalaku, E. N., y Ganatsas, P (2021). Effect of Seedling Provenance and Site Heterogeneity on *Abies cephalonica* Performance in a Post-Fire Environment. *Sustainability*, 13(11): 1-16 <https://doi.org/10.3390/su13116097>
- Le, H. D., Smith, C., Herbohn, J., y Harrison, S. (2012). More than just trees: assessing reforestation success in tropical developing countries. *Journal of Rural Studies*, 28(1): 5-19. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2011.07.006>
- León, J. (2011). Distribución espacial de las propiedades físico-químicas del suelo y su relación con diferentes variables ambientales en los bosques de *Pinus Hartwegii* y *Abies religiosa*, en la Cuenca del Río Magdalena, D. F. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 78 Pp. <https://www.pincc.unam.mx/wp-content/uploads/2021/05/tesis-rio-magdalena.pdf>
- Li, X., Li, Y., Peng, S., Chen, Y. y Cao, Y. (2019). Changes in soil phosphorus and its influencing factors following afforestation in Northern China. *Land Degrad Dev.* 30: 1655– 1666. <https://doi.org/10.1002/ldr.3345>
- Magurran, E. (1988). Ecological diversity and its measurement. Princeton university press
- Martínez-Camacho, Y. D., Castillo-Argüero, S., Martínez-Orea, Y., & Sánchez-Coronado, M. E. (2018). Ecofisiología de la germinación de *Acaena elongata* (Rosaceae), una especie indicadora de perturbación de un bosque templado, al sur de la Ciudad de México. *Revista mexicana de biodiversidad* 89(3), 806-814 <http://dx.doi.org/10.22201/ib.20078706e.2018.3.2306>
- Martínez-Orea, Y. (2020). Fisiología ecológica de la germinación de especies comunes de la vegetación secundaria en bosques templados de la cuenca de México. Tesis de doctorado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.
- Martínez-Orea, Y., Bonilla-Valencia, L., Vázquez-Santos, Y., Romero-Romero, M. A., Solís-Oberg, S., Santibáñez-Andrade, G., y Castillo-Argüero, S. (2020). Grupos funcionales en la dinámica del banco de semillas en un bosque templado de la Ciudad de México, México. *Botanical Sciences*, 98(3): 487-499. <https://doi.org/10.17129/botsci.2584>
- Martínez-Orea, Y., Castillo-Argüero, S., Álvarez-Sánchez J. Collazo-Ortega M., Zavala-Hurtado A. (2013). Lluvia de semillas como facilitadores de la regeneración natural en un bosque templado de la ciudad de México. *Rev. Interciencia*. 38(6):400-409

- Mejía-Canales, A., Franco-Maass, S., Endara-Agramont, A. R., y Ávila-Akerberg, V. (2018). Caracterización del sotobosque en bosques densos de pino y oyamel en el Nevado de Toluca, México. *Madera y bosques* 24(3): 1-15. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2431656>
- Monárrez-González, J. C., Pérez-Verdín, G., López-González, C., Márquez-Linares, M. A., & González-Elizondo, M. D. S. (2018). Efecto del manejo forestal sobre algunos servicios ecosistémicos en los bosques templados de México. *Madera y bosques*, 24(2): 1-16. <https://doi.org/10.21829/myb.2018.2421569>
- Moreno, C. (2002). Métodos para medir la biodiversidad: Vol. 1. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Oficina Regional de Ciencia y Tecnología para América Latina y el Caribe de UNESCO y Sociedad Entomológica Aragonesa. Serie Manuales y Tesis SEA. 84 p. *Revista de Biología Tropical*, 49(3-4), 1300-1302 [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-77442001000300090&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442001000300090&lng=en&tlng=es).
- Navarro-Sandoval, J. L., Vargas-Hernández, J. J., Gómez-Guerrero, A., Ruíz-Posadas, L. D. M., y Sánchez-García, P. (2013). Morfología, biomasa y contenido nutrimental en *Abies religiosa* con regímenes diferentes de fertilización en vivero. *Agrociencia*, 47(7): 707-721.
- Ortiz-Quijano, A. B., Sánchez-González, A., López-Mata, L., y Villanueva-Díaz, J (2016). Population structure of *Fagus grandifolia* subsp. mexicana in the cloud forest of Hidalgo State, Mexico. *Botanical Sciences*, 94(3), 483-497. <https://doi.org/10.17129/botsci.515>
- Paredes, S. (2016). "Respiración microbiana del suelo en sitios con diferente cobertura arbórea en el bosque de *Abies religiosa* en la cuenca del Río Magdalena, D.F., México". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <https://repositorio.unam.mx/contenidos/400831>
- Qian, Y., Zongqiang, X., Gaoming, X., Zhigang, C. y Jingyuan, Y. (2008). Community characteristics and population structure of dominant species of *Abies fargesii* forests in Shennongjia National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 28(5), 1931-1941. DOI: 10.1016/S1872-2032(08)60042-6
- Ramírez-Contreras, A., y Rodríguez-Trejo, D. A. (2009). Plantas nodriza en la reforestación con *Pinus hartwegii* Lindl. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 15(1), 43-48 <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62916073010>

- Reynolds, S. (1970). The gravimetric method of soil moisture determination, I: A study of equipment and methodological problems. *Hydrology*, 11, 258–273  
<http://quebec.hwr.arizona.edu/classes/hwr432/2014/reynolds70-1-soil-moisture-by-gravity.pdf>
- Rojo, J. (2004). Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina al año 2020: informe nacional: México. Fao. <https://www.fao.org/3/J2053S/J2053S00.htm>
- Rubio-Licon, L. E., Romero-Rangel, S., y Rojas-Zenteno, E. C. (2011). Estructura y composición florística de dos comunidades con presencia de *Quercus (Fagaceae)* en el Estado de México. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*, 17(1): 77-90.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62917370008>
- Ruiz-Navarro, A., Barberá, G. G., Navarro-Cano, J. A., Albaladejo, J., & Castillo, V. M. (2009). Soil dynamics in *Pinus halepensis* reforestation: effect of microenvironments and previous land use. *Geoderma*, 153(3-4): 353-361. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.08.024
- Rzedowski G.C., y Rzedowski J. (2001). Flora fanerogámica del Valle de México. México: Instituto de Ecología, A.C. (INECOL) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. Limusa, México, D. F. 432 p
- Rzedowski, J., (2006). Capítulo 17: Bosque de coníferas. En Vegetación de México 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México.
- Salazar, J. (2016). Monitoreo participativo de la reforestación en la cuenca del Río Magdalena, México, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 64 Pp. <https://repositorio.unam.mx/contenidos/342078>
- Sánchez, S., Flores, A., Cruz, A., y Velázquez, A. (2009). Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. En Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio. Conabio, México, 75-129  
[http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II02\\_Estado%20y%20transformacion%20de%20los%20ecosistemas%20terrestres.pdf](http://www2.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Vol%20II/II02_Estado%20y%20transformacion%20de%20los%20ecosistemas%20terrestres.pdf)
- Santibáñez, G. (2009). Composición y estructura del bosque de *Abies religiosa* en función de la heterogeneidad ambiental y determinación de su grado de conservación en la cuenca del Río Magdalena, México, D.F. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. Universidad

- Schmid, U., Bigler, C., Frehner, M., y Bugmann, H. (2021). Abiotic and biotic determinants of height growth of *Picea abies* regeneration in small forest gaps in the Swiss Alps. *Forest Ecology and Management*, 490: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119076>.
- Secretaría de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) (2019) Informe de la Situación del Medio Ambiente en México, edición 2018.
- Stage, A. R., y Salas, C. (2007). Interactions of elevation, aspect, and slope in models of forest species composition and productivity. *Forest Science*, 53(4), 486-492. [https://www.fs.fed.us/rm/pubs\\_other/rmrs\\_2007\\_stage\\_a002.pdf](https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2007_stage_a002.pdf)
- Vanegas (2016). Manual de mejores prácticas de restauración de ecosistemas degradados, utilizando para reforestación sólo especies nativas en zonas prioritarias. Informe final dentro del proyecto GEF 00089333 “Aumentar las capacidades de México para manejar especies exóticas invasoras a través de la implementación de la Estrategia Nacional de Especies Invasoras”. CONAFOR, CONABIO, GEF-PNUD. México. 158 p.
- Vásquez I. (2018). Comportamiento de la regeneración natural del pino colorado (*Pinus oocarpa*) en el bosque comunal de Cakbachuy: estudio realizado en el bosque comunal de Cakbachuy, Barrio Santa Ana Municipio de Momostenango departamento de Totonicapán (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Ventura-Ríos, A., Plascencia-Escalante, F. O., Hernández de la Rosa, P., Ángeles-Pérez, G., y Aldrete, A. (2017). ¿Es la reforestación una estrategia para la rehabilitación de bosques de pino?: Una experiencia en el centro de México. *Bosque (Valdivia)*, 38(1), 55-66. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173151032007>
- Yang, J., El, A., y Guan, W. (2020). The effect of slope aspect on vegetation attributes in a mountainous dry valley, Southwest China. *Scientific reports*, 10(1): 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73496-0>

## 11 Anexo

### Anexo 1. Especies del sotobosque

Anexo 1.1 Especies del sotobosque en el sitio ER3a				
Especie	Familia	Abundancia		Tipo
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae	34	Nativa	Maleza
<i>Acaena elongata</i> L.	Rosaceae	76	Nativa	Maleza
<i>Ageratina. enixaerivalis</i> (Greenm.) R. M. King et Rob.nexia	Asteraceae	431		
<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Benth.) S. F. Blake	Asteraceae	5	Nativa	Maleza
<i>Asplenium</i> sp	Aspleniaceae	11	-	-
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Asteraceae	1	Nativa	Maleza
<i>Cestrum thyrsoides</i> Kunth	Solanaceae	277		Bosque
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	Onagraceae	7		Bosque
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	6	Nativa	Maleza
<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Rosaceae	50	Nativa	Maleza
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Lamiaceae	21	Nativa	Maleza
<i>Salvia mexicana</i> L.	Lamiaceae	17	Nativa	Maleza
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Lamiaceae	37	Nativa	Maleza
<i>Salvia tiliifolia</i> Vahl.	Lamiaceae	8	Nativa	Maleza
<i>Senecio barba-o_johannis. barba</i> DC.	Asteraceae	2	Nativa	Bosque
<i>Senecio callesus</i> Sch. Bip.	Asteraceae	14		Maleza
<i>Senecio. angulifolius</i> DC	Asteraceae	26	Nativa	Maleza
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Asteraceae	14		Maleza
<i>Smilax moranensis</i> M.Martens & Galeotti	Smilacaceae	15	Nativa	Bosque
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	Solanaceae	228	Nativa	Maleza
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth	Caprifoliaceae	28	Nativa	Bosque
Anexo 1.2 Especies del sotobosque en el sitio ER3b				

Especie	Familia	Abundancia	SB	Tipo
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae	30	Nativa	Maleza
<i>Adiantum</i>	Pteridaceae	5		
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R. M. King et H. Rob.	Asteraceae	108	Nativa	Bosque
<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Benth.) S. F. Blake	Asteraceae	28	Nativa	Maleza
<i>Asplenium</i> sp	Aspleniaceae	78	-	-
<i>Bromus carinatus</i> Hook & Arn	Poaceae	1	Nativa	Maleza
<i>Buddleia cordata</i> Tepozan Kunth	Loganiaceae	4	Nativa	Maleza
<i>Cardamine obliqua</i>	Brassicaceae	25		
<i>Cestrum thyrsoides</i> Kunth	Solanaceae	548		Bosque
<i>Cheilanthes Asplenium monanthes</i> L.	Aspleniaceae	80		
<i>Draba jorullensis</i> Kunth	Brassicaceae	4		
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	Rosaceae	569		Maleza
<i>Galium aschenbornii</i> S. Schauer	Rubiaceae	35	Nativa	
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	23	Nativa	Maleza
<i>Phytolacca icosandra</i> Sims.	Phytolaccaceae	7	Nativa	Maleza
<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Rosaceae	291	Nativa	Maleza
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Lamiaceae	3	Nativa	Maleza
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Lamiaceae	24	Nativa	Maleza
<i>Sambucus nigra</i> L.	Adoxaceae	3		Maleza
<i>Senecio angulifolius</i> DC	Asteraceae	11	Nativa	Maleza
<i>Senecio callesus</i> Sch. Bip.	Asteraceae	22		Maleza
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Asteraceae	15		Maleza
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	Solanaceae	5	Nativa	Maleza

Anexo 1.3 Especies del sotobosque en el sitio ER4

Especie	Familia	Abundancia	SB	Tipo
<i>Abiatum Adiantum</i>	Pteridaceae	1		
<i>Acaena elongata</i> L.	Rosaceae	186	Nativa	Maleza

<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R. M. King et H. Rob.	Asteraceae	83	Nativa	Bosque
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae	104	Nativa	Maleza
<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Benth.) S. F. Blake	Asteraceae	3	Nativa	Maleza
<i>Asplenium</i> sp	Aspleniaceae	3		-
<i>Cestrum thyrsoideum</i> Kunth	Solanaceae	99		Bosque
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	Rosaceae	35		Maleza
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	Onagraceae	3		Bosque
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	38	Nativa	Maleza
<i>Physalis coztomatl</i> Moc. & Sessé ex Dunal	Solanaceae	11		Maleza
<i>Phytolacca icosandra</i> Sims.	Phytolaccaceae	37	Nativa	Maleza
<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Rosaceae	11	Nativa	Maleza
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Lamiaceae	10	Nativa	Maleza
<i>Salvia mexicana</i> L.	Lamiaceae	23	Nativa	Maleza
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Lamiaceae	81	Nativa	Maleza
<i>Senecio barba-o_johannis. barba</i> DC.	Asteraceae	1	Nativa	Bosque
<i>Senecio. angulifolius</i> DC	Asteraceae	21	Nativa	Maleza
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Asteraceae	2		Maleza
<i>Smilax moranensis</i> M.Martens & Galeotti	Smilacaceae	7	Nativa	-
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	Solanaceae	527	Nativa	Maleza
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth	Caprifoliaceae	17	Nativa	Bosque
<i>Urtica urens</i> L.	Urticaceae	6	Introducida	Maleza

Anexo 1.4 Especies del sotobosque en el sitio ER15

Especie	Familia	Abundancia	SB	Tipo
<i>Acaena elongata</i> L.	Rosaceae	146	Nativa	Maleza
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R. M. King et H. Rob.	Asteraceae	56	Nativa	Bosque
<i>Ageratina. enixaerivalis</i> (Greenm.) R. M. King et Rob.nexia	Asteraceae	11	-	-
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae	335	Nativa	Maleza
<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Asteraceae	30	Nativa	Maleza

<i>Bromus carinatus</i> Hook & Arn	Poaceae	11	Nativa	Maleza
<i>Cestrum thyrsoideum</i> Kunth	Solanaceae	56		Bosque
<i>Cirsium ehrenbergii</i> Sch. Bip.	Asteraceae	23		Maleza
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	Onagraceae	63		Bosque
<i>Fuchsia thymifolia</i> Kunth	Onagraceae	10		Bosque
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	42	Nativa	Maleza
<i>Phytolacca icosandra</i> Sims.	Phytolaccaceae	2	Nativa	Maleza
<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae	11	Introducida	Maleza
<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Rosaceae	8	Nativa	Maleza
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Lamiaceae	102	Nativa	Maleza
<i>Salvia mexicana</i> L.	Lamiaceae	240	Nativa	Maleza
<i>Salvia microphylla</i> Kunth	Lamiaceae	166	Nativa	Maleza
<i>Senecio barba-o_johannis. barba</i> DC.	Asteraceae	6	Nativa	Bosque
<i>Senecio callesus</i> Sch. Bip.	Asteraceae	6		Maleza
<i>Senecio. angulifolius</i> DC	Asteraceae	5	Nativa	Maleza
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Asteraceae	17		Maleza
<i>Smilax moranensis</i> M.Martens & Galeotti	Smilacaceae	2	Nativa	-
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	Solanaceae	28	Nativa	Maleza
<i>Stevia mordanifolia</i> Kunth	Asteraceae	19	Nativa	-
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth	Caprifoliaceae	75	Nativa	Bosque

Anexo 1.5 Especies del sotobosque en el sitio ER19

Especie	Familia	Abundancia	SB	Tipo
<i>Acaena elongata</i> L.	Rosaceae	227	Nativa	Maleza
<i>Ageratina glabrata</i> (Kunth) R. M. King et H. Rob.	Asteraceae	111	Nativa	Bosque
<i>Ageratina. enixaerivalis</i> (Greenm.) R. M. King et Rob.nexia	Asteraceae	50	-	-
<i>Alchemilla procumbens</i> Rose	Rosaceae	390	Nativa	Maleza
<i>Archibaccharis serratifolia</i> (Benth.) S. F. Blake	Asteraceae	39	Nativa	Maleza
<i>Asplenium</i> sp	Aspleniaceae	15	-	-

<i>Baccharis conferta</i> Kunth	Asteraceae	9	Nativa	Maleza
<i>Bromus carinatus</i> Hook & Arn	Poaceae	66	Nativa	Maleza
<i>Cestrum thyrsoides</i> Kunth	Solanaceae	205		Bosque
<i>Duchesnea indica</i> (Andr.) Focke	Rosaceae	45		Maleza
<i>Fragaria mexicana</i> L.	Rosaceae	10	Nativa	Maleza
<i>Fuchsia microphylla</i> Kunth	Onagraceae	207		Bosque
<i>Geranium seemannii</i> Peyr.	Geraniaceae	90	Nativa	Maleza
<i>Physalis coztomatl</i> Moc. & Sessé ex Dunal	Solanaceae	18		Maleza
<i>Plantago major</i> L.	Plantaginaceae	1	Introducida	Maleza
<i>Rubus liebmannii</i> Focke	Rosaceae	112	Nativa	Maleza
<i>Salvia gesneriflora</i> Lindl. & Paxton	Lamiaceae	17	Nativa	Maleza
<i>Salvia mexicana</i> L.	Lamiaceae	19	Nativa	Maleza
<i>Senecio barba-o_johannis. barba</i> DC.	Asteraceae	50	Nativa	Bosque
<i>Senecio callesus</i> Sch. Bip.	Asteraceae	2		Maleza
<i>Senecio. angulifolius</i> DC	Asteraceae	13	Nativa	Maleza
<i>Sigesbeckia jorullensis</i> Kunth	Asteraceae	104		Maleza
<i>Smilax moranensis</i> M.Martens & Galeotti	Smilacaceae	11	Nativa	
<i>Solanum cervantesii</i> Lag.	Solanaceae	145	Nativa	Maleza
<i>Stellaria cuspidata</i> Willd. ex Schltld.	Caryophyllaceae	10	Nativa	Maleza
<i>Symphoricarpos microphyllus</i> Kunth	Caprifoliaceae	82	Nativa	Bosque
<i>Valeriana sorbifolia</i> Kunth	Valerianaceae	7		Maleza

## Anexo 2 Valores de los factores edáficos

Anexo 2. Valores de los factores edáficos									
Sitio	Transecto	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	M.O. (%)	N kjeldahl (%)	P (ppm)	K (Meq/100g)	N- NO3 (ppm)	N- NH4 (ppm)
ER3a	Tr1	6	0.1	20.1	0.6	9.86	0.8	46.02	21.06
ER3a	Tr2	5.7	0.09	18.09	0.62	8.49	0.56	81.12	16.38
ER3a	Tr3	6	0.11	16.75	0.5	15.62	0.66	98.28	14.82
ER3a	Tr4	6.1	0.06	15.08	0.49	9.86	0.72	35.88	14.82
ER3a	Tr5	5.7	0.1	11.39	0.41	12.05	0.72	68.64	14.82
ER3b	Tr1	6.3	0.06	15.75	0.46	11.23	1.8	43.68	15.6
ER3b	Tr2	6.3	0.05	15.08	0.5	14.79	1.72	39	14.82
ER3b	Tr3	6.2	0.07	14.41	0.38	13.42	1.76	50.7	8.58
ER4	Tr1	6.1	0.09	17.76	0.44	18.36	1.18	44.46	35.1
ER4	Tr2	6.3	0.07	21.44	0.56	9.32	1.15	32.76	23.4
ER4	Tr3	6.3	0.07	14.7	0.58	6.85	1.18	32	28.08
ER4	Tr4	6.4	0.08	15.08	0.52	7.5	1.77	30.42	21.06
ER4	Tr5	6	0.07	14.07	0.51	7.95	0.68	40.56	26.52
ER15	Tr1	6	0.12	18.43	0.54	5.75	0.81	112.32	14.82
ER15	Tr2	6	0.1	15.08	0.58	9.04	0.83	74.88	15.6
ER15	Tr3	6.4	0.08	19.77	0.62	11.78	1.06	70.2	23.4
ER15	Tr4	6	0.12	13.4	0.46	14.52	0.87	113.1	21.84
ER15	Tr5	6.1	0.09	17.42	0.63	12.05	0.83	77.22	18.72
ER19	Tr1	5.9	0.06	16.75	0.43	6.58	0.55	41.34	18.72
ER19	Tr2	5.9	0.05	12.4	0.41	5.75	0.47	34.32	24.18
ER19	Tr3	5.8	0.06	16.2	0.52	13.97	0.37	42	20
ER19	Tr4	6	0.07	19.43	0.52	6.03	0.62	43.68	33.54
ER19	Tr5	6	0.07	17.09	0.55	5.48	0.54	56.94	18.72