



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS
Y BIOLÓGICAS**

MAESTRÍA INSTITUCIONAL EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

**ISLA DE CALOR URBANO Y DESEMPEÑO DE PROGENIES DE MATORRAL
SUBTROPICAL EN EL CERRO PUNHUATO, MORELIA, MICH.**

Tesis

Que como requisito para obtener el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

Área Fisiología y Genética Vegetal

Presenta:

ADRIANA CORONA MORA

Director de Tesis:

Dr. Nahum M. Sánchez Vargas

Co-director:

Dr. Roberto Lindig Cisneros

Morelia, Michoacán, Abril 2013.



**INSTITUTO DE
INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS
Y FORESTALES**

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	8
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	9
VARIACIÓN GENÉTICA CUANTITATIVA DE PLÁNTULAS DE DOS ESPECIES DE MATORRAL SUBTROPICAL (<i>Ceiba aesculifolia</i> (Kunth) Britten & Rose y <i>Albizia plurijuga</i> (Standl.) Britton & Rose.)	13
IDEAS DESTACADAS (HIGHLIGHTS)	13
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN	15
MATERIALES Y MÉTODOS	17
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
<i>Albizia plurijuga</i>	20
<i>Ceiba aesculifolia</i>	22
Implicaciones en la restauración	24
CONCLUSIONES.....	25
AGRADECIMIENTOS	25
CAPÍTULO 2	26
INTRODUCCIÓN	30
Planteamiento del problema.....	33
Hipótesis.....	34
OBJETIVOS	35
Objetivo general.....	35
Objetivos particulares.....	35
Descripción del área de estudio	35
Descripción de especies de estudio	38
Materiales y métodos	40
RESULTADOS	45
<i>Albizia plurijuga</i>	45
Efectos del gradiente altitudinal en el desempeño de las plantas.....	51

Supervivencia	52
<i>Ceiba aesculifolia</i>	54
Supervivencia	61
<i>Ipomoea murucoides</i>	62
Supervivencia	65
TEMPERATURA	67
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV)	68
DISCUSIÓN	70
CONCLUSIONES.....	74
LITERATURA CITADA.....	76
ANEXO.....	84

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Información de los sitios de colecta de <i>Albizia plurijuga</i> y <i>Ceiba aesculifolia</i>	18
Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de <i>Albizia plurijuga</i>	21
Cuadro 3. ANOVA y componentes de la varianza (%) para ALT y DAB en <i>Albizia plurijuga</i>	21
Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de <i>Ceiba aesculifolia</i>	22
Cuadro 5. ANOVA y componentes de la varianza para ALT y DAB en <i>Ceiba aesculifolia</i>	23
Cuadro 6. Resultado de ANOVA para altura de planta por ladera, de <i>Albizia plurijuga</i>	45
Cuadro 7. Resultado del ANOVA para altura de planta por familia, en <i>Albizia plurijuga</i>	46
Cuadro 8. Resultado de ANOVA para diámetro por ladera, de <i>Albizia</i>	

<i>plurijuga</i>	47
Cuadro 9. Resultado de ANOVA para diámetros por familias, de <i>Albizia plurijuga</i>	48
Cuadro 10. Resultados de ANOVA para hojas por laderas, de <i>Albizia plurijuga</i>	49
Cuadro 11. Resultados de ANOVA para hojas por familia, de <i>Albizia plurijuga</i>	50
Cuadro 12. Análisis de devianza para la variable altura de planta para altitud y familias.....	51
Cuadro 13. Análisis de devianza para la variable DAB para altitud y familias.....	52
Cuadro 14. Análisis de devianza para la variable hojas para altitud y familias.....	52
Cuadro 15. Análisis de Cox para laderas de <i>A. plurijuga</i>	52
Cuadro 16. Análisis de Cox para sitios de <i>A. plurijuga</i>	53
Cuadro 17. Análisis de Cox para familias de <i>A. plurijuga</i>	53
Cuadro 18. Resultados del ANOVA para altura de planta por laderas de <i>Ceiba aesculifolia</i>	55
Cuadro 19. Resultados de ANOVA para altura de planta por familias, de <i>Ceiba aesculifolia</i>	55
Cuadro 20. Resultados de ANOVA para diámetro por laderas de <i>Ceiba aesculifolia</i>	56
Cuadro 21. Resultados de ANOVA para diámetro por familias de <i>Ceiba aesculifolia</i>	57
Cuadro 22. Resultados de ANOVA para diámetro por familias de <i>Ceiba aesculifolia</i>	58
Cuadro 23. Resultados de ANOVA para hojas por familias de <i>Ceiba aesculifolia</i>	59

Cuadro 24. Resultados de análisis de devianza aplicado a la variable DAB para altitud y familias.....	60
Cuadro 25. Análisis de Cox para ladera, <i>C. aesculifolia</i>	61
Cuadro 26. Análisis de Cox para sitios, <i>C. aesculifolia</i>	61
Cuadro 27. Resultados de ANOVA para altura por laderas de <i>Ipomoea murucoides</i>	63
Cuadro 28. Resultados de ANOVA para diámetro por laderas de <i>Ipomoea murucoides</i>	64
Cuadro 29. Resultados de ANOVA para hojas por sitios de <i>Ipomoea murucoides</i>	65
Cuadro 30. Resultados de ANOVA entre laderas para cada especie.....	67
Cuadro 31. Coeficiente de variación supervivencia, <i>Albizia plurijuga</i>	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del ANP Cerro Punhuato.....	37
Figura 2. Polígono y ubicación de los sitios en el ANP Cerro Punhuato.....	38
Figura 3. Diseño de bloques para <i>Albizia plurijuga</i> . Cada círculo es una planta (20 plantas por parcela, pertenecientes a 10 familias de medios hermanos).....	42
Figura 4. Diseño de bloques para <i>Ceiba aesculifolia</i> . Cada círculo es una planta (6 plantas por parcela, pertenecientes a 6 familias de medios hermanos).....	43
Figura 5. Diseño de parcela para <i>Ipomoea murucoides</i> . Cada círculo es una planta, originada de una mezcla de semillas de todos los árboles colectados.....	43
Figura 6. Altura promedio por sitios de <i>Albizia plurijuga</i> , las barras negras	

corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....	46
Figura 7. Altura promedio por familias de <i>Albizia plurijuga</i>	47
Figura 8. Diámetro promedio por sitios <i>Albizia plurijuga</i> , las barras negras corresponden a la ladera sur con orientación sur, las barras grises a la ladera con orientación noroeste.....	48
Figura 9. Diámetro promedio por familias, <i>Albizia plurijuga</i>	49
Figura 10. Promedio del número hojas por sitios <i>Albizia plurijuga</i> , las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....	50
Figura 11. Promedio del número de hojas por familia, <i>Albizia plurijuga</i>	51
Figura 12. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio del 2012 (J-12) a agosto del 2013 (A-13) por altitud de <i>Albizia plurijuga</i> (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).....	54
Figura 13. Altura promedio por sitios de <i>Ceiba aesculifolia</i> , las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....	55
Figura 14. Altura promedio de familias de <i>Ceiba aesculifolia</i>	56
Figura 15. Diámetro promedio por sitios en <i>Ceiba aesculifolia</i> , las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....	57
Figura 16. Diámetro promedio por familias, <i>Ceiba aesculifolia</i>	58
Figura 17. Promedio del número hojas por sitios <i>Ceiba aesculifolia</i> , las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....	59
Figura 18. Promedio del número de hojas por familias, <i>Ceiba aesculifolia</i>	60
Figura 19. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio (J-12) del 2012 a agosto del 2013 (A-13) por altitud de <i>Ceiba aesculifolia</i> (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).....	62
Figura 20. Altura promedio por sitios de <i>Ipomoea murucoides</i> , las barras negras	

corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....63

Figura 21. Diámetro promedio por sitios de *Ipomoea murucoides*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....64

Figura 22. Promedio del número de hojas por sitios *Ipomoea murucoides*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....65

Figura 23. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio del 2012 (J-12) a agosto del 2013 (A-13) por altitud de *Ipomoea murucoides* (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).....66

Figura 24. Temperatura promedio por sitios de octubre del 2012 a junio del 2013.....67

Figura 25. Amplitud de temperatura para cada sitio, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.....68

Figura 26. Coeficiente de variación para supervivencia en *A. pluriyuga*.....69

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer a mis asesores de tesis el Dr. Roberto Lindig Cisneros y Dr. Nahum Sánchez Vargas por compartir sus conocimientos conmigo, su apoyo y disposición para este trabajo.

Quiero agradecer al comité tutorial por sus revisiones y valiosas aportaciones al manuscrito:

Dr. Roberto A. Lindig Cisneros

Dr. Nahum M. Sánchez Vargas

Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero

Dr. Christian Marc Lobit Philippe

Dr. José Cruz de León

Al posgrado en Ciencias Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) por la beca otorgada para realizar los estudios de maestría.

A mis padres especialmente por el apoyo incondicional (Apo y Chavito), hermanos (Diana y Edgar) y familia.

Al laboratorio de Ecología de la Restauración que sin su apoyo este proyecto no hubiera sido posible, muy especialmente a Mariela, gracias por los consejos y disposición incondicional, al Chinito (Arnulfo) gracias por tener siempre tiempo para resolver mis dudas en cualquier momento se les estima mucho.

A mis amigos Darinka, Uli, Susy, Dey, Ferru, Fersha, Fer, Zai, Manu, Violet y todas las demás personas que siempre estuvieron ahí, mi otra familia.

INTRODUCCIÓN GENERAL

La creciente actividad humana ha provocado un cambio drástico en la cantidad y el tipo de la cobertura vegetal del suelo teniendo como resultado la fragmentación y transformación de los hábitats originales, con la consiguiente alteración de la composición y funcionamiento de las comunidades biológicas (Delgado y Suárez-Duque, 2009). La degradación de los suelos, la contaminación del aire y disminución en la disponibilidad de agua, son sólo algunos de los problemas ambientales más conocidos que enfrentamos. Sumado a esto ahora debemos añadir el cambio climático, una de las manifestaciones más evidentes de este cambio son las alteraciones climáticas, que se hacen palpables en una subida de las temperaturas y un incremento en la frecuencia y la violencia de los fenómenos meteorológicos extremos, como inundaciones, olas de calor o sequías (Drake 2000 y Hódar *et al.*, 2004).

Por lo tanto un cambio en los patrones de temperatura y precipitación acompañando en un cambio en la disponibilidad de CO₂ en la atmósfera o de nitrógeno en el suelo, implica una alteración tan radical en el entorno que ocasiona cambios severos en la fenología, en el desarrollo, en la disponibilidad del agua, en la capacidad defensiva, en el modo de vida que hasta entonces llevaba la planta en ese entorno (IPCC, 2001). Como consecuencia, las especies deben ajustar su tolerancia al entorno abiótico en el que se encuentran, respondiendo plásticamente cambiando su fenología o respuesta fisiológicas, adaptarse a las

nuevas condiciones climáticas a través de la selección, migrar a un clima más adecuado o la extinción (Davis y Shaw, 2001 y Vitt *et al*, 2009).

Las especies que tengan éxito en un entorno que cambia rápidamente es probable que tengan una amplia variación genética, sin embargo la velocidad a la que estos cambios han ocurrido han sido muy rápidos por lo que es imposible para muchas plantas moverse a esta velocidad, hasta el punto de que el movimiento de especies es necesario para adaptarlas al clima (Vitt, 2009).

Dentro de los ecosistemas más afectados debido a los factores ya mencionados se encuentra el bosque tropical caducifolio, este tipo de vegetación se establece a mayor altitud en el bajío. Estos relictos reflejan la degradación del ecosistema, ya que solo se conserva el 5% del área original del BTC en la región del Bajío. (Peña y Neyra, 1998). Esta comunidad está mejor representada en la vertiente del pacífico y alcanza su máxima expresión en la cuenca del río Balsas (Rzedowski, 1978). Los mayores cambios en esta vegetación ocurrieron desde la segunda mitad del siglo del siglo XVIII y hasta el XX favoreciendo la agricultura y tierras abandonadas que posteriormente se convirtieron en grandes extensiones de pastizales o matorrales secundarios (Butzer y Butzer, 1997; Niembro, 2001). Dada la situación actual en la que se encuentra el BTC es necesaria la reforestación con especies nativas de esta vegetación ya que los mayores esfuerzos realizados en el siglo XX fueron con especies exóticas (Guevara-Escobar *et al*, 2008).

El Cerro Punhuato, debido a su cercanía con la ciudad, ha sufrido diversos disturbios antrópicos como son la deforestación que ocurrió en el siglo XIX y principios del XX, introducción de especies exóticas para reforestación durante la segunda mitad del siglo pasado, y en las últimas décadas el efecto de la isla de calor urbano de la ciudad de Morelia que son consideradas como indicadores de degradación ambiental tanto a escala local como global, en la medida que participan en la producción de condiciones adversas para los ecosistemas, como en los procesos de Calentamiento Global. (Romero y Molina, 2009).

El área se caracteriza por zonas con diferentes estados de conservación que incluyen remanentes de la vegetación original incluyendo encinares en las laderas más protegidas y húmedas y elementos característicos del matorral subtropical. Algunas áreas presentan grados variables de degradación del suelo y en algunos sitios los eucaliptos son el elemento arbóreo dominante. En términos generales el área es refugio de especies nativas tanto vegetales como animales incluyendo varias especies consideradas como amenazadas (Gómez-Romero *et al*, 2009).

Es por ello la importancia de la implementación con especies nativas en la restauración que sean representativas y ayuden a la recuperación de del BTC en esta zona dada las condiciones actuales, las cuales son diferentes a las históricas.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de familias de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* e *Ipomoea murucoides* representativas del matorral

subtropical y desempeño de plántulas en vivero y en campo a las variaciones climáticas actuales del Cerro Punhuato a diferentes altitudes sobre el nivel del mar.

CAPÍTULO 1

VARIACIÓN GENÉTICA CUANTITATIVA DE PLÁNTULAS DE DOS ESPECIES DE MATORRAL SUBTROPICAL (*Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Rose y *Albizia plurijuga* (Standl.) Britton & Rose.)

(El presente capítulo se encuentra en revisión en la revista Chapingo)

Título corto: Variación genética de plántulas

IDEAS DESTACADAS (HIGHLIGHTS)

- Progeny tests are scarce for native non-commercial plant species
- Progeny tests provide useful information for ecosystem rehabilitation
- *Ceiba aesculifolia* and *Albizia plurijuga* showed high heredability for height and diameter.
- These characters might be important under rehabilitation conditions

RESUMEN

Para rehabilitar ecosistemas es necesario reintroducir plantas nativas, y para lograrlo es útil realizar ensayos de progenies porque la selección temprana puede aumentar la supervivencia. Por lo anterior, se planteó el objetivo de estimar, en etapa de vivero, la variación genética de caracteres de crecimiento en ensayos de progenies de medios hermanos de *Ceiba aesculifolia* y *Albizia plurijuga*. Las dos

especies mostraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) entre familias para altura (ALT) y diámetro a la base del tallo (DAB). *Albizia* presentó coeficientes de variación genética de $CV_{G-ALT} = 9.18$ y $CV_{G-DAB} = 9.70$, *Ceiba* de $CV_{G-ALT} = 3.41$ y $CV_{G-DAB} = 11.67$. La heredabilidad individual en altura fue de $h^2_i = 0.07$ y 0.67 , en DAB de $h^2_i = 0.87$ y 0.82 ; la heredabilidad de medias de familias fue alta para las dos variables ($h^2_f = 0.98$). Estos resultados sugieren una alta heredabilidad en ambas especies de caracteres adaptativos que pueden tener considerable influencia en el desempeño, en condiciones de restauración y rehabilitación.

Palabras clave: progenies, restauración, rehabilitación, ensayos, vivero

ABSTRACT

For ecosystem rehabilitation the reintroduction of native plants is necessary, and to achieve this goal progeny tests are useful because early selection can increase the survival. For this reason, an objective was established for estimating, under nursery conditions, the genetic variation of growth characters in half sib progeny tests of *Ceiba aesculifolia* y *Albizia plurijuga*. Both species showed significant differences ($P < 0.0001$) among families for height (ALT) and diameter at stem base (DAB). *Albizia* showed genetic variation coefficients of $CV_{G-ALT} = 9.18$ and $CV_{G-DAB} = 9.70$, *Ceiba* ones of $CV_{G-ALT} = 3.41$, $CV_{G-DAB} = 11.67$. Individual heritability for height was $h^2_i = 0.07$ and 0.67 , and for DAB was $h^2_i = 0.87$ and 0.82 ; heritability of half siblings was high for both variables ($h^2_f = 0.98$). These results suggest a high

heritability, in both species, for adaptive characters that might have a considerable influence in the performance under restoration and rehabilitation conditions.

Key words: progeny, restoration, rehabilitation, essay, nursery

INTRODUCCIÓN

El bosque tropical caducifolio (BTC) se encuentra en México desde el nivel del mar hasta los 1900 m de altitud. Este tipo de vegetación ocupaba el 95 % de la vegetación del Bajío, y para la segunda mitad del siglo XX estaba reducido a su mínima expresión (Rzedowski, 1978), ocupando menos del 1% de su área original (Rzedowski y Calderon, 1987). La mayoría de los terrenos que no han sido convertidos en parcelas de cultivo, sostienen una vegetación secundaria denominada “Matorral subtropical” por Rzedowski (1978), y que se establece en los sitios que originalmente ocupaba el BTC. Por lo anterior, la restauración del BTC en el Bajío puede aportar beneficios ambientales.

Desde el punto de vista de la explotación forestal, este tipo de vegetación es de escaso interés, pues el tamaño y la forma de sus árboles no presentan características deseables para el comercio. Localmente, sin embargo, la madera se usa para construcción, artesanía, muebles y utensilios diversos, postes de cerca y leña, entre otros usos (Rzedowski y Calderon, 1987).

Ceiba aesculifolia (Kunth) Britten & Rose es un árbol de hasta 15 m de alto y 60 cm de diámetro, tronco con espinas cónicas, fuertes. Con flores bisexuales, terminales en las puntas de las ramas, actinomorfas, con pétalos blancos a crema

verdosos. Los frutos son una cápsula elipsoide, de 5 valvas, de 18-19 cm de largo y de 6-8 cm de ancho, contienen abundante algodón sedoso blanco utilizado para relleno de cojines y almohadas, maduran de enero a junio. Se encuentra distribuida en la vertiente del Pacífico formando parte de selvas bajas caducifolias, desde la costa de Sinaloa, hasta Oaxaca y Sur de Chiapas, en la cuenca del Balsas en Puebla, México, Morelos, Guerrero y Michoacán (Pennington y Sarukhán, 2005).

Albizia plurijuga (Standl.) Britton & Rose., es un árbol de tronco blanco, de hasta 10 m de altura, con flores bisexuales agrupadas en cabezuelas, corola de color crema, los frutos se presentan a mediados de noviembre, de 21-24 cm de largo, de 3-4.5 cm de ancho, con 10-12 semillas. Se le conoce como parotilla y palo blanco (Rzendowski y Rzendowski, 2001). Crece en los valles superiores del Río Lerma entre los 1600-1700 msnm, Aguascalientes, Jalisco y Puebla. Se encuentra en la lista de la NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría (A), como amenazada. Las poblaciones donde se encontraba esta especie han sido desplazadas por grandes pastizales y matorrales, por lo que la pérdida de hábitat es la principal causa de amenaza en la actualidad.

Para lograr la restauración y rehabilitación de ecosistemas se deben reintroducir plantas nativas (Gálvez, 2002), desarrollar las técnicas de propagación (Rodríguez-Sosa *et al.*, 2012), y de mejoramiento genético. Los ensayos de procedencias/progenies permiten aumentar el éxito y la supervivencia de las plantas, y evaluar su adaptación a nuevos escenarios climáticos. Sin embargo, la información sobre ensayos de especies nativas sin interés comercial es limitada

(Lahera *et al.*, 1994).

Para acelerar los beneficios del mejoramiento genético se han buscado alternativas que permitan acortar los períodos de selección genética, como la selección temprana de un carácter fuertemente correlacionado con caracteres en edades tardías (Sánchez-Vargas y Vargas-Hernández, 2007). Al aumentar la intensidad de selección en edades tempranas, se ha aumentado la heredabilidad de los caracteres juveniles y las correlaciones genéticas juvenil-adulto (Wu, 1998), y si se incluye información de caracteres tempranos en la selección, se obtienen mayores ganancias genéticas en los caracteres tardíos (Wu *et al.*, 2000).

Dado que los caracteres de crecimiento, al relacionarse con caracteres climáticos, proporcionan indicadores adaptativos (Sánchez-Vargas *et al.*, 2007;), se esperaría que al seleccionar genéticamente caracteres adaptativos, se estén seleccionando genotipos con mayores posibilidades de supervivencia.

Por lo anterior, el objetivo del presente estudio fue estimar, en etapa de vivero, la variación genética de caracteres de crecimiento en ensayos de progenies de medios hermanos de *Ceiba aesculifolia* y *Albizia plurijuga*, con la finalidad de evaluar sus posibilidades de adaptación.

MATERIALES Y MÉTODOS

En febrero de 2011 se colectaron semillas de *Albizia plurijuga* de 10 árboles madre en la carretera México-Guadalajara, (Cuadro 1) y de *Ceiba*, de 6 árboles madre de una población adyacente al Área Natural Protegida “Cerro Punhuato” en

Morelia, Mich., (Cuadro 1), en donde se pretende llevar a cabo la restauración. El número de árboles colectados para cada especie dependió de su cantidad en cada población y de las semillas disponibles en ellos, la distancia entre ellos fue de al menos 50 m y se marcaron para no perder su identidad.

Cuadro 1. Información de los sitios de colecta de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia*.

	Elevación	Coordenadas	Descripción
<i>Albizia plurijuga</i>	1,895 msnm	19°53'57.40" N 101°06'56.30" O	Población ubicada a orillas de la autopista México-Guadalajara, más o menos abundante, se combina con otras especies como <i>Ipomoea murucoides</i> , <i>Eschinus molle</i> , <i>Ceiba aesculifolia</i> y algunas especies de huizaches.
	Carr. Federal Km 15 México-Guadalajara		
<i>Ceiba aesculifolia</i>	2,020 msnm	19°42'52.71" N 101°07'39.68" O	Cañada cerca de recinto de Tres Marías, al oriente de la ciudad de Morelia, sitio abierto con algunas especies de huizaches.
	Tres Marías, Morelia, Mich.		

Las plantas se produjeron, durante seis meses, en casa sombra, en el Laboratorio de Ecología de Restauración del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México (CIEco-UNAM), en Morelia, Mich. Las semillas no tuvieron tratamiento pregerminativo, se sembraron dos en cada contenedor de plástico rígido de 380 cm³, dispuestos en rejillas de 54 cavidades; cuando brotaron dos plántulas, una fue cortada; cada familia estuvo representada por tres charolas distribuidas en el ensayo. El sustrato utilizado fue una combinación de arena y *Creciroot*® (sustrato comercial a base de fibra de coco, corteza de árbol, agrolita y fertilizante de liberación prolongada Osmocote®,

NPK 19-6-12) en proporción de 1:1.

Para cada especie se estableció un ensayo con un diseño completamente al azar, con 160 réplicas por familia. Se midió la altura total (ALT) y el diámetro a la altura de la base del tallo (DAB). Usando el paquete estadístico SAS (SAS Institute, 2006) se obtuvieron las estadísticas descriptivas con el procedimiento MEANS, el análisis de varianza con el GLM, y los componentes de la varianza con el VARCOMP y el método REML, usando el modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + F_i + E_{ij}$$

Dónde Y_{ij} es cada valor de la variable estudiada, μ es la media general de la población, F_i es el efecto de la i -ésima familia y E_{ij} es el error experimental.

Se calculó la heredabilidad a nivel individual (h^2_i), y de medias de familias (h^2_f) (Zobel y Talbert, 1992); se utilizó un coeficiente de 3 debido al número pequeño de árboles con semillas en la población y a la distancia de los árboles (Hodge *et al.*, 2002).

$$h^2_i = 3\sigma^2_{fam} / (\sigma^2_{fam} + \sigma^2_{err})$$

$$h^2_f = \sigma^2_{fam} / [\sigma^2_{fam} + (\sigma^2_{err} / n)]$$

Donde σ^2_{fam} y σ^2_{err} son las varianzas de familias y del error y n es la media armónica de número de individuos por familia, usada por el desbalance de los datos debido a la mortalidad (Wightman *et al.*, 2008). Así mismo, se estimó el error estándar de la heredabilidad (Falconer y Mackay, 2001):

$$\sigma_{h^2} = \{ [2(1+(n_a-1)h^2)^2 (1-h^2)^2] / [n_a(n_a-1)(n_f-1)] \}^{0.5}$$

Donde n_a es el promedio aritmético del número de individuos por familia y n_f es el

número de familias. De igual manera, se evaluó el coeficiente de variación genética (CV_G) para ALT y DAB con la siguiente fórmula:

$$CV_G = (\sigma_{fam} / \bar{Y}) 100$$

Donde σ_{fam} es la desviación estándar de familia y $\bar{Y} = \mu$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Albizia plurijuga

Las familias presentaron una supervivencia de entre 74.7 y 98.8 %. La media en ALT fue 10.85 ± 0.052 cm y en DAB fue 0.37 ± 0.002 cm, con una amplitud en ALT de 15 cm y en DAB de 0.5 cm (Cuadro 2); el coeficiente de variación (CV) fue similar en ambos casos ($CV_{ALT}=19.22$, $CV_{DAB}=17.28$) (Cuadro 2). Los valores de CV obtenidos en este estudio fueron similares a los valores encontrados en *Albizia chinensis* (Osbeck) Mer., ($CV_{ALT}=4$ a 21 %, $CV_{DAB}=2$ a 33 %), evaluada a un año de crecimiento en vivero (Dhanai *et al.*, 2003); e inferiores a los encontrados en *Albizia lebbek* (L.) Benth., a los 3 años de edad ($CV_{ALT}=34.7$ y $CV_{DAB}=26.5$ %) en evaluaciones de campo (Toky *et al.*, 1996); en otras latifoliadas como *Eucalyptus* spp., los valores de CV han sido similares a los 4 (20 %) y 5 meses de edad (19 %) (Bouvet y Vigneron, 1995).

Cuadro 2. Estadísticas descriptivas de *Albizia plurijuga*.

	Media	Error std.	Desv. Estd.	Máx	Min	CV%	Superv (%)
ALT	10.85	0.052	2.08	19.0	4.0	19.22	95.1±7.4
DAB	0.37	0.002	0.064	0.7	0.2	17.28	

Error std. = error estándar; Desv. Estd. = desviación estándar; Máx = máximo; Min = mínimo; CV = coeficiente de variación; Superv = Supervivencia promedio de familia±Desv. Estd.

Se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) entre familias para ALT y DAB (Cuadro 3), como en *A. chinensis* al año de edad en ALT, aunque en DAB no hubo diferencias ($P > 0.05$) entre familias, si hubo entre procedencias (Dhanai *et al.*, 2003), como en *A. lebbek* ($P < 0.01$) (Toky *et al.*, 1996). Los CV_G fueron relativamente bajos ($CV_{G-ALT}=9.18$, $CV_{G-DAB}=9.70$) (Cuadro 3). Estos CV_G fueron menores a los obtenidos en *A. lebbek* a los 3 años de edad ($CV_{G-ALT}=12.8$, $CV_{G-DBH}=15.7$) (Toky *et al.*, 1996).

Cuadro 3. ANOVA y componentes de la varianza (%) para ALT y DAB en *Albizia plurijuga*.

	F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	CV_G	σ^2	h^2_i	h^2_f
ALT	Familia	9	1384.95***	153.88	9.18	0.985	0.67±0.10	0.98±0.01
	Error	1504	5139.32	3.42		3.417		
DAB	Familia	9	1.71***	0.190	9.70	0.001	0.82±0.07	0.98±0.01
	Error	1563	4.54	0.003		0.003		

F.V. = fuente de variación; g.l. = grados de libertad; S.C. = suma de cuadrados; C.M. = cuadrados medios; *** Altamente significativo al 0.001; CV_G = coeficiente de variación genético; σ^2 = componentes de la varianza; h^2_i , h^2_f = heredabilidades individual y de medias de familias.

La h^2_i estimada fue alta para ALT ($h^2=0.67±0.10$) y DAB ($h^2=0.82±0.07$); valor de ALT cercano al obtenido respecto a la hembra a los 4 meses de edad ($h^2_{Af}=0.75$) y al macho a los 5 meses ($h^2_{Am}=0.82$), en un diseño de cruzamiento factorial de *Eucalyptus sp.* (Bouvet y Vigneron, 1995); y menores en ALT ($h^2=0.17$) y DBA ($h^2=0.22$), en un ensayo de progenies de un año de edad de *Sorbus*

torminalis. La h^2_f fue alta para ALT y DAB ($h^2_f=0.98\pm 0.01$), incluso más alta que las obtenidas en *A. chinensis* ($H^2_{ALT}=0.50$ y $H^2_{DAB}=0.03$) (Dhanai *et al.*, 2003); en *Eucalyptus sp.*, fueron menores en ALT a los 4 y 5 meses de edad ($H^2_{4m}=0.3$ y $H^2_{5m}=0.38$) (Bouvet y Vigneron, 1995).

Los altos valores de h^2 pueden deberse a un efecto materno relacionado con las características de la semilla (Ohto *et al.*, 2007), aunque no hay estudios realizados para especies tropicales caducifolias que pierden el tallo en los primeros años, sobre cuándo el efecto materno deja de influir en el desarrollo.

Ceiba aesculifolia

Las familias presentaron una supervivencia de entre 36.3 y 71.8 %. La media en ALT fue 13.0 ± 0.116 cm y en DAB fue 0.32 ± 0.004 cm (Cuadro 4); la amplitud en ALT fue de 19.5 cm y en DAB de 0.5 cm; el CV fue mayor en ALT (36.48 %) que en DAB (23.25 %).

Cuadro 4. Estadísticas descriptivas de *Ceiba aesculifolia*.

	Media	Error std.	Desv. Estd.	Max	Min	CV%	Superv (%)
ALT	13.0	0.158	2.88	19.5	3.5	22.08	47.3±14.2
DAB	0.35	0.004	0.07	0.5	0.2	21.13	

Error std. = error estándar; Desv. Estd. = desviación estándar; Máx = máximo; Min = mínimo; CV = coeficiente de variación; Superv = supervivencia promedio de familia±Desv. Estd.

Se encontraron diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) en ALT y DAB (Cuadro 5), y relativamente bajo CV_G ($CV_{GALT}=3.41$, $CV_{GDAB}=11.67$). En esta misma especie, no se encontraron diferencias entre familias ($P > 0.05$) de bosque

fragmentado y no fragmentado, a los seis meses de edad, en ALT y DAB (Aguilar-Anguiano, 2008).

Cuadro 5. ANOVA y componentes de la varianza para ALT y DAB en *Ceiba aesculifolia*.

	F.V.	g.l.	S.C.	C.M.	CV _G	σ ²	h ² _i	h ² _f
ALT	Familia	5	95.49***	19.10	3.41	0.198	0.07±0.05	0.57±0.16
	Error	746	2658.34	8.13		8.129		
DAB	Familia	5	0.47***	0.094	11.67	0.002	0.87±0.07	0.96±0.03
	Error	746	1.32	0.004		0.004		

F.V. = fuente de variación; g.l. = grados de libertad; S.C. = suma de cuadrados; C.M. = cuadrados medios; *** Altamente significativo al 0.001; CV_G = coeficiente de variación genético; σ² = componentes de la varianza; h²_i, h²_f = heredabilidades individual y de medias de familias.

La h²_i estimada fue baja en ALT (h²_i=0.07±0.04), y alta en DAB (h²_i=0.87±0.05), este alto valor puede estar relacionado con el desarrollo normal de la especie que posee una radícula pivotante, ensanchada en la base, con función de almacenamiento de nutrimentos para sobrevivir a la época de secas (Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda, 2004), por lo que se designan los recursos para el crecimiento en diámetro y no en altura. La h²_f también fue menor para ALT (h²_f=0.57±0.12) que para DAB (h²_f=0.96±0.02). Aguilar-Anguiano (2008) encontró, en bosque no fragmentado, valores de h²_{iALT}=0.51±0.10, h²_{iDAB}=0.18±0.08, h²_{fALT}=0.77±0.07 y h²_{fDAB}=0.53±0.10; y en la condición fragmentada sólo valores de h²_{iDAB}=0.10±0.04 y h²_{fDAB}=0.30±0.08, arguyendo que los valores obedecen a la adaptación de la especie a cada condición.

Implicaciones en la restauración

Las dos especies estudiadas (*A. plurijuga* y *C. aesculifolia*) son caducifolias y en estados muy juveniles pierden toda la parte aérea. Esto significa que la característica más relacionada con la permanencia de las plantas, presente durante toda su vida, es el DAB, en donde se obtuvieron los mayores parámetros genéticos para ambas especies (Cuadros 3 y 5).

Tres aspectos dan tener buenas expectativas de los resultados obtenidos en este trabajo: se pueden encontrar genotipos con buenos desarrollos en vivero y campo (Cannell, 1982); si los caracteres juveniles presentan valores relativamente altos de heredabilidad, pueden tenerse altos porcentajes de eficiencia en la respuesta correlacionada a la selección juvenil-maduro (Jonsson *et al.*, 2000); si se hace una selección bietapa, se pueden maximizar las ganancias en campo (Vargas-Hernández *et al.*, 2003).

Lo anterior abre la posibilidad de aumentar las probabilidades de éxito en los trabajos de restauración del Cerro Punhuato. Al hacer una selección bietapa, eliminando las familias con menores DAB's en vivero, se obtendrían mayores 'ganancias genéticas en adaptación' y se aumentaría la relación de este carácter con el de estados tardíos del desarrollo (Wu *et al.*, 2000).

CONCLUSIONES

Se obtuvieron valores de bajos a altos en los parámetros genéticos evaluados de ALT en *Albizia plurijuga* ($CV_{GALT}=9.18$; $h^2_i=0.67$; $h^2_f=0.98$) y *Ceiba aesculifolia* ($CV_{GALT}=3.41$; $h^2_i=0.07$; $h^2_f=0.57$). Se obtuvieron valores altos en los parámetros genéticos evaluados de DAB en *Albizia plurijuga* ($CV_{GALT}=9.70$; $h^2_i=0.82$; $h^2_f=0.98$) y *Ceiba aesculifolia* ($CV_{GALT}=11.67$; $h^2_i=0.87$; $h^2_f=0.96$). El DAB es un carácter adaptativo de la especie, por lo que los valores obtenidos se consideran parámetros genéticos adaptativos.

AGRADECIMIENTOS

Proyecto financiado por el PAPIIT IN202112 de la UNAM y el CONACYT (Fondo Mixto CONACyT-Michoacán, 2009-127128). A. Corona agradece el apoyo de CONACYT en beca de estudios de posgrado.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Anguiano, M. J. (2008). *Efecto de la fragmentación en el vigor temprano de la progenie de Ceiba aesculifolia, en la biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 68 p.

Bouvet, J. M., & Vigneron, P. (1995). Age trends and heritabilities in Eucalyptus factorial mating designs. *Silvae Genetica*, 44(4), 206-216.

Cannell, M. G. R. (1982). 'Crop' and 'isolation' ideotypes: Evidence for progeny differences in nursery-grown *Picea sitchensis*. *Silvae Genetica*, 31(2-3), 60-66.

Dhanai, C. S., Uniyal, A. K., & Todaria, N. P. (2003). Source variation in *Albizia chinensis* (Osbeck) Mer.: seed and seedling characteristics. *Silvae Genetica*, 52(5-6), 259-266.

Falconer, D. S. y Mackay, T. F. C. (2001). *Introducción a la genética cuantitativa*. Zaragoza, España: Acribia, S.A. 469 p.

Gálvez, J. (2002). *La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones*. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Revisión Bibliográfica, Serie de Documentos Técnicos No. 8.

Hodge, G. R., Dvorak, W. S., Urueña H., & Rosales, L. (2002). Growth, provenance effects and genetic variation of *Bombacopsis quinata* in field test in Venezuela and Colombia. *Forest Ecology and Management*, 158, 273-289.

Jonsson, A., Eriksson, G., Ye Z., & Yeh C. (2000). A retrospective early test of *Pinus sylvestris* seedlings grown at wide and dense spacing. *Canadian Journal Forest Research*, 30, 1443-1452.

Lahera, W., Alvarez, A., & Gamez, S. 1994. The genetic improvement program in

Cedrela odorata L. in Cuba. *Forest Genetic Resources*, 22, 27-28.

Ohto, M., Stone, S. L., & Harada, J. J. (2007). Genetic control of seed development and seed mass. In: Bradford, K. & Nonogaki, H. (Eds.). *Seed development, dormancy and germination*. Oxford, UK: Blackwell publishing. 367 p.

Pennington, T.D. & Sarukhán, J. (2005). *Arboles Tropicales de México: Manual para la Identificación de las Principales Especies UNAM/FCE* 523p.

Rodríguez-Sosa, J. L., Valdés-Roblejo, Y., & Rodríguez-Lías, R. (2012). Tratamientos a semillas para mejorar la germinación de *Colubrina ferruginosa* Brong. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18, 27-31.

Rzedowski, J. 1978. *Vegetación de México*. México: LIMUSA. pp 189-204.

Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. 1987. *El Bosque tropical caducifolio de la Región Mexicana del Bajío*. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. pp. 12-20.

Rzedowski, G. C de, J. Rzedowski y colaboradores. 2001. *Flora fanerogámica del Valle de México*, 2a. ed., Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 1406 p.

Sánchez-Sánchez, O, & Hernández-Zepeda, C. (2004). Estudio de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 6, 1-6.

Sánchez-Vargas, N. M., Sánchez, L., & Rozenberg, Ph. (2007). Plastic and adaptive response to weather events a pilot study in maritime pine tree-ring. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2090-2095. doi: 10.1139/X07-075.

Sánchez-Vargas. N. M., y Vargas-Hernández, J. J. (2007). Competencia y su relación con los parámetros genéticos en clones de Eucalipto. *Ciencia e*

Investigación Forestal, 13, 155-163.

SAS Institute. (2006). SAS/STAT Guide for personal computers. Version 9.1. Cary, North Carolina, U.S.A.: SAS Institute Inc. 1028 p.

Toky, O. P., Kumar, N. & Bisht, R. P. (1996). Variation in growth of 3-year old provenance trial of *Albizia lebbek* (L.) Benth. in arid India. *Silvae Genetica*, 45(1), 31-33.

Vargas-Hernández, J., Adams, W. T., & Joyce, D. G. (2003). Quantitative genetic structure of stem form and branching traits in Douglas-fir seedlings and implications for early selection. *Silvae Genetica*, 52(1), 36-44.

Wightman, K. E., Ward, S. E., Hagggar, J. P., Rodríguez-Santiago, B., & Cornelius, J. P. (2008). Performance and genetic variation of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in provenance and progeny trials in the Yucatan Peninsula of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255, 346-355.

Wu, H. X. (1998). Study of early selection in tree breeding. 1. Advantage of early selection through increase of selection intensity and reduction of field test size. *Silvae Genetica*, 47(2-3), 146-155.

Wu, H. X., Yeh, F. C., Dhir, N. K., Pharis, R. P., & Dancik, B. P. (1997). Genotype by environment interaction and genetic correlation of greenhouse and field performance in *Pinus contorta* spp. *latifolia*. *Silvae Genetica*, 46(2-3), 170-175.

Wu, H. X., Yeh, F. C., Pharis, R. P., Dhir, N., & Dancik, B. P. (2000). Study of early selection in tree breeding. 3. A case study using early information to enhance selection efficiency in late trait in longepole pine (*Pinus contorta* spp. *Latifolia*). *Silvae Genetica*, 49(3), 152-158.

Zobel, B. y Talbert, J. (1992). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México: Limusa. pp. 261-299.

CAPÍTULO 2

ENSAYO DE PROGENIES EN UN GRADIENTE ALTITUDINAL BAJO EL EFECTO DE ISLA DE CALOR URBANO, EN EL CERRO PUNHUATO, MORELIA, MICHOACÁN.

INTRODUCCIÓN

Los rápidos cambios climáticos que se han registrado durante los últimos 30 años a nivel mundial han provocado numerosas transformaciones en la distribución y abundancia de las especies, causando alteraciones en gran variedad de los ecosistemas. (Chapin *et al.*, 2000; Walther *et al.*, 2002; Parmesan & Yohe, 2003; Root *et al.*, 2003; Delgado, 2009). Es por eso que la restauración ecológica busca por medio de la implementación de nuevas técnicas recuperar la estructura, función, diversidad y dinámica del ecosistema específico a restaurar (Gálvez, 2002).

La restauración ecológica se define como el proceso asistido mediante el cual se recupera un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER, 2004), y que tiene por objetivo regresar a este ecosistema a una aproximación de su condición funcional y estructural previa a la perturbación que lo llevó al estado actual, o a una que proporcione funciones ecosistémicas (Van-Andel y Gootjans, 2006).

De lo anterior se desprende que el clima y el microclima son importantes para la restauración, ya que el primero es el principal factor que influye en la distribución de las especies de plantas y en los patrones de vegetación a la escala

del paisaje, mientras que las variables del microclima son fundamentales para el establecimiento de plántulas. Como parte del cambio global, se esperan cambios en la distribución de las especies vegetales como consecuencia de la variación climática, ocasionando una extensiva reorganización de la biota (Kurtner y Morse 1996; Tchebakova *et al.*, 2005; Aitkenet *et al.*, 2008), fenómenos que habría que considerar en la restauración ecológica.

Cuando se presentan cambios en el clima, particularmente los asociados a calentamiento local debido a la isla de calor urbano o calentamiento global, algunas especies pueden verse afectadas de forma positiva o negativa; las que están adaptadas a climas cálidos, podrían tener la posibilidad de establecerse en sitios que presentaron climas más templados en el pasado, generalmente al norte o a una mayor altitud (Kutner y Morse, 1996).

Respecto a la modificación climática de origen antropogénico mejor documentada y modelada, está el fenómeno conocido como isla de calor urbano (ICU) (Arnfield, 2003). Ésta se define como el aumento en la temperatura de las superficies de las ciudades y de la atmósfera inmediata en contraste con su entorno no urbanizado, se caracteriza por la intensidad o magnitud de las diferencias de temperatura entre la ciudad y las zonas rurales (generalmente de 2 a 8 °C), y está relacionada con la extensión de la ciudad: a mayor extensión más contraste térmico (Tereshchenko y Filonov, 2001 y Liang y Seagle, 2002). Estos cambios en las condiciones climáticas tienen el potencial de influir de manera significativa en la práctica y en los resultados de la restauración ecológica, ya que

las temperaturas extremas y los regímenes de perturbación, representan una barrera abiótica para el establecimiento de las especies vegetales, afectando principalmente la supervivencia, lo que altera la dinámica de las poblaciones y modifica la composición de las comunidades naturales (Kurtner y Morse, 1996 y Lavendel, 2003); bajo este escenario aparecen nuevos nichos potenciales y otros desaparecen.

En estas condiciones, es donde la plasticidad genética de las plantas toma importancia, ya que las especies mejor adaptadas y con mayor variabilidad genética facilitarán una respuesta a los ambientes cambiantes (Pistorale, 2008). Dentro de la restauración, la preservación de la variación genética es una prioridad, mientras que la traslocación de individuos es algunas veces propuesta como una estrategia para incrementar la variación genética de las poblaciones (O'Brien, 2007). Es por ello que es importante evaluar la variación genética de las especies y seleccionar aquellas con procedencias y genotipos capaces de crecer eficientemente en varias condiciones ambientales (Martínez –Hernández, 2001).

El presente trabajo evaluó la respuesta de tres especies de matorral subtropical (*Ceiba aesculifolia*, *Ipomoea murucoides* y *Albizia plurijuga*) a diferentes condiciones climáticas presentes en el cerro Punhuato, colindante a la ciudad de Morelia, y que por lo tanto sufre el efecto de isla urbana de calor y donde se han reportado temperaturas de hasta 45 °C (Valle-Díaz, 2009). Así mismo, se evaluó la supervivencia de las plántulas y su desempeño, en un gradiente altitudinal en la misma zona.

Planteamiento del problema

El Cerro Punhuato, debido a su cercanía con la ciudad, ha sufrido diversos disturbios antrópicos, como son la deforestación que ocurrió en el siglo XIX y principios del XX, introducción de especies exóticas para reforestación durante la segunda mitad del siglo pasado, y en las últimas décadas el efecto de la isla de calor urbano de la ciudad de Morelia. Particularmente la deforestación ha ocasionado que los remanentes de vegetación de matorral subtropical se encuentren aislados y la regeneración de este tipo de vegetación se vea limitada, aparentemente debido al efecto de la isla de calor urbano y la falta de propágulos (Valle-Díaz, 2009).

Debido a la modificación climática e incremento de la superficie pavimentada de las zonas urbanas de la ciudad, sus efectos representan un reto para los esfuerzos de restauración. Las áreas circunvecinas, las temperaturas e índices de sequía deben ser considerados al momento de diseñar las estrategias para la reforestación y restauración del matorral subtropical que en este sitio cuenta con algunos elementos de la vegetación original (Gómez-Romero, *et al.* 2008).

Por otro lado, las especies propuestas se clasifican en función de su tolerancia a la sequía de acuerdo a la literatura (Pennington y Sarukhán, 2005). En general, se ha reportado que *Albizia plurijuga* (reportada en la NOM-059-2001 en categoría de amenazada) es menos tolerante a condiciones estresantes como la

sequía, mientras que las especies *Ipomoea murucoides* y *Ceiba aesculifolia* se han reportado para sitios que presentan estrés hídrico considerable, como es el caso de pedregales, laderas sur y suelos someros.

Dadas las diferentes condiciones de adaptación de estas especies, es importante conocer su comportamiento en crecimiento y desarrollo bajo la influencia de la ICU que forma la ciudad de Morelia, para la toma de decisiones sobre la mejor estrategia de restauración ecológica que se debería llevar a cabo en el cerro Punhuato.

Hipótesis

- 1) Se espera que algunas familias de medios hermanos de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* tengan un desempeño diferencial dentro de los distintos niveles altitudinales evaluados, debido a la variación genética intrínseca entre y dentro de familias.
- 2) Se espera que las especies tengan un mejor desempeño en un rango altitudinal mayor a la distribución natural reportada para las poblaciones originales, a consecuencia del calentamiento generado por la mancha urbana.

OBJETIVOS

Objetivo general

- Evaluar la respuesta de *Ipomoea murucoides* y de familias de medios hermanos de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia* a través de su desempeño en las condiciones climáticas actuales del ANP Cerro Punhuato, en un gradiente altitudinal, con la finalidad de restaurar este tipo de vegetación.

Objetivos particulares

- Aportar información para identificar sitios donde la restauración del matorral subtropical en el Cerro Punhuato es viable dadas las condiciones actuales.
- Determinar la especie que sobrevivan y se desempeñen mejor en cada micrositio, con la finalidad de generar lineamientos para la restauración con especies nativas en islas de calor urbano.
- Evaluar el desempeño de las progenies de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia*, con la finalidad de determinar la contribución a la variación fenotípica de los factores genéticos y ambientales.

Descripción del área de estudio

El Área Natural Protegida Cerro Punhuato está situada al oriente de la ciudad de Morelia y pertenece a este municipio (Figuras 1 y 2), con una altitud entre los 1850 y 2300 msnm (León, 1998); presenta una estructura en forma de herradura y un abanico al oriente, formado por productos piroclásticos (Garduño-Monroy *et al.*, 2001; Madrigal-Sánchez *et al.*, 2002). Se localiza entre los 19°42' y 19°41' de latitud Norte y los 101°08' y 101°07' de longitud Oeste. El ANP Cerro Punhuato se encuentra a partir de los 1900 msnm y tiene una extensión de 47 ha (Cabeza, 2004). Por su elevación (2300 msnm), el Punhuato es el quinto cerro más alto que se encuentra en el municipio (Madrigal-Sánchez y Guridi, 2002).

El área se caracteriza por zonas con diferentes estados de conservación que incluyen remanentes de la vegetación original incluyendo encinares en las laderas más protegidas y húmedas y elementos característicos del matorral subtropical. Algunas áreas presentan grados variables de degradación del suelo y en algunos sitios los eucaliptos son el elemento arbóreo dominante. En términos generales el área es refugio de especies nativas tanto vegetales como animales incluyendo varias especies consideradas como amenazadas.

El matorral subtropical del Cerro Punhuato está caracterizado por especies como *Bursera cuneata* Schecht. (copal), *Bursera bipinnata* Sessé & Moc. (papelillo o borreguilla), *Ipomoea murucoides* Roem. & Schult (palo bobo o cazahuate),

Acacia farnesiana (L.) Willd. (huizache), *Acacia pennatula* (Cham & Schechtendal) Benth (tepame), *Acacia angustissima* (Miller Kuntze), *Opuntia fulginosa* (Griffiths), *Opuntia jonocostle* (xoconol), *Condalia velutina* (I. M. Johnst) (granjeno), *Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britton & Rose (pochote), *Eysenhardtia polystachia* (Ort.) Sarg. (palo dulce) y *Albizia plurijuga* (Standl.) Britton & Rose. (palo blanco) (Madrigal-Sánchez, 1991).

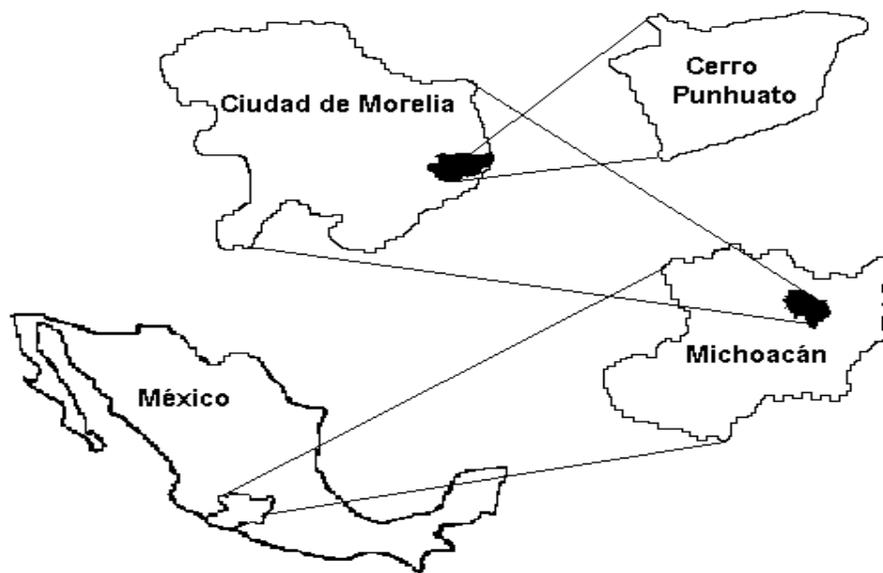


Figura 1. Ubicación geográfica del ANP Cerro Punhuato.



Figura 2. Polígono y ubicación de los sitios en el ANP Cerro Punhuato.

Descripción de especies de estudio

Ipomoea murucoides Roem. et Schult. De la familia *Convolvulaceae*. Planta originaria de México, es un árbol de 2 a 8 m de altura, de madera blanda, la lámina de la hoja es oblongo-elíptica, mide de 8 a 17 cm de largo y 3 a 5 cm de ancho. Tiene flores solitarias en las axilas de las hojas o en panículas terminales. Su corola es infundibuliforme, es blanca y pubescente desde la base hasta la zona de unión de los pétalos. La cápsula es ovoide, de más o menos 2.5 cm de longitud, con 4 semillas. Las semillas son romboides, de 11 a 12 mm de longitud, de color café oscuro, son setosas en sus bordes laterales, con pelos blancos (Rzedowski, 1985).

Se ha encontrado en Villa G. A. Madero, Xochimilco y Milpa Alta. En estas zonas, las altitudes van de 2300-2350 msnm. Se caracteriza por crecer en matorral xerófilo. Su distribución fuera del Valle de México va de Jalisco, Guanajuato y Querétaro a Guatemala (Rzedowski, 1985).

Albizia plurijuga (Standl.) Britton y Rose. De la familia *Leguminosae*. Árbol o arbusto de tronco blanco, (altura) de 6 hasta 10 m de altura, puberulento cuando es joven; de 3-5 pares de hojas; 5-9 pares de hojitas 2-5 cm de largo, y de 0.7-1.5 cm de ancho, a veces un poco asimétrico-piloso debajo cuando joven; fruto de 21-24 cm de largo, de 3-4.5 cm de ancho, de 10-12 semillas y las semillas miden de 10-12 mm de largo. Los frutos se presentan a mediados de noviembre. Se le conoce con el nombre de parotilla, palo blanco (Rzedowski y Rzedowski, 2001).

La especie crece en los valles superiores del Río Lerma entre los 1600-1700 msnm, se ha registrado en Aguascalientes, Jalisco y Puebla. Esta especie actualmente se encuentra enlistada en la NOM-059-SEMARNAT-2010, bajo la categoría (A), como amenazada, toda la información que se genere sobre esta ella servirá para mejorar la adaptación de las plantas a las condiciones actuales del ANP en el Cerro Punhuato.

Ceiba aesculifolia (Kunth) Britton & Rose. De la familia *Bombacaceae*. Árbol de hasta 15 m de alto y DAP (diámetro a la altura del pecho) de 60 cm, tronco con espinas cónicas, fuertes. La corteza es color gris plomizo, lisa a ligeramente fisurada. Hojas ovadas, caedizas dispuestas en espiral, aglomeradas en las puntas de las ramas, digitadocompuestas de 15 a 30 cm de largo, compuestas de

6 a 8 foliolos elípticos a oblanceolados, con margen aserrado. Flores terminales en las puntas de las ramas, flores actinomorfas, pétalos blancos a crema verdosos. Los frutos son una cápsula elipsoide, de 5 valvas, de 18 a 19 cm de largo y de 6 a 8 cm de ancho, verdes a morenos oscuros, contienen abundante algodón sedoso blanco en el que se encuentran las semillas de color moreno oscuro, maduran de enero a junio (Pennington y Sarukhán, 2005).

Se encuentra en la vertiente del Pacífico formando parte de selvas bajas caducifolias, desde la costa de Sinaloa, hasta Oaxaca y Sur de Chiapas, en la cuenca del Balsas en Puebla, México, Morelos, Guerrero y Michoacán (Pennington y Sarukhán, 2005).

Esta especie se distribuye en el estado de Michoacán desde el nivel del mar hasta los 1900 msnm, presentándose de manera aislada y poco frecuente hasta los 2200 msnm (Carranza y Blanco-García, 2000).

Materiales y métodos

La mayor parte del ANP Cerro Punhuato se encuentra en la ladera oeste del Cerro y por lo tanto, expuesta hacia a la mancha urbana de la ciudad de Morelia. Es en esta área en donde se estableció un ensayo de especies que combinó la exposición de la ladera, la altura sobre el nivel del mar y el desempeño de progenies para las especies de *Albizia plurijuga* y *Ceiba aesculifolia*; Para *Ipomoea murucoides* no se evaluarán progenies debido a la baja producción de

semillas en el año de colecta.

La colecta de semilla para las tres especies inició en el mes de febrero del 2011. Para *Albizia plurijuga* se colectaron de 10 árboles madre en la carretera Morelia-Zinapécuaro, en Michoacán, entre las coordenadas 19°53'57.40'' N y 101°06'56.30'' O con una elevación promedio de 1895 msnm. *Ceiba aesculifolia* se colectó de 6 árboles madre, de una población adyacente al Área Natural Protegida del "Cerro Punhuato", ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán, entre las coordenadas 19°42'52.71'' N y 101°07'39.68'' O a 2020 msnm. Para la especie *Ipomoea murucoides* se colectaron semillas de los árboles que presentaron semillas viables.

Los sitios de recolección estuvieron cercanos al área natural protegida Cerro Punhuato, ya que este es el sitio donde se llevó a cabo la restauración. El número de árboles colectados para cada especie dependió de la cantidad de árboles en cada población y de las semillas disponibles en los árboles. La distancia entre árboles fue de al menos 50 m para prevenir endogamia. Los árboles de las dos especies se marcaron para mantener su identidad.

Las semillas de las tres especies, se propagaron en una casa de sombra del Laboratorio de Ecología de Restauración del Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIEco) UNAM *campus* Morelia, bajo un diseño completamente al azar (Corona-Mora *et al.*, 2013).

Se establecieron ensayos en 5 cotas altitudinales equidistantes, entre los

2000 y 2200 msnm (aproximadamente 50 m de diferencia altitudinal entre sitios) para la ladera sur y 2 cotas para la ladera noroeste (2140 y 2170 msnm).

El diseño de cada bloque fue independiente para cada especie. Las parcelas de cada ensayo se diseñaron de la forma que sigue:

Para *Albizia plurijuga* se colocaron 2 individuos de cada progenie (10 progenies) al azar para cada parcela, dentro de cada bloque hubo 3 parcelas, y en cada altitud hubo 4 bloques, para un total de 28 bloques (Figura 3).

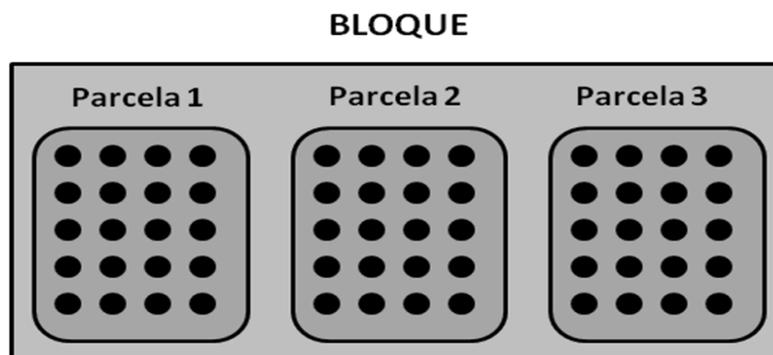


Figura 3. Diseño de bloques para *Albizia plurijuga*. Cada círculo es una planta (20 plantas por parcela, pertenecientes a 10 familias de medios hermanos).

Para el caso de *Ceiba aesculifolia* se colocó un individuo de cada progenie por parcela (6 progenies), para un total de 8 parcelas por bloque y un total de 7 bloques (Figura 4).

BLOQUE

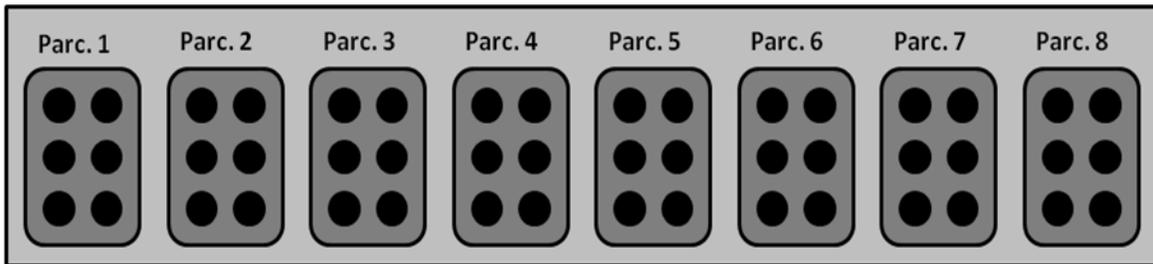


Figura 4. Diseño de bloques para *Ceiba aesculifolia*. Cada círculo es una planta (6 plantas por parcela, pertenecientes a 6 familias de medios hermanos).

En cuanto a *Ipomoea murucoides*, por la falta de semilla viable, sólo se estableció una parcela por altitud, con 20 individuos (para esta especie no hubo progenies) y 7 parcelas (una parcela por altitud).

PARCELA

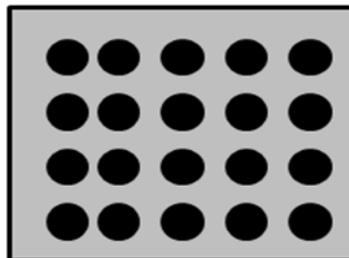


Figura 5. Diseño de parcela para *Ipomoea murucoides*. Cada círculo es una planta, originada de una mezcla de semillas de todos los árboles colectados.

El montaje del experimento se llevó a cabo en el mes de julio del 2011 durante el inicio de la temporada de lluvias. Con base en experiencias previas con una de las especies consideradas, *Ceiba aesculifolia*, se puede obtener alta supervivencia en plantas de seis meses de edad que son trasladadas a

condiciones de campo (Valle-Díaz *et al.*, 2009).

Las variables de respuesta que se evaluaron fueron: supervivencia, altura de planta y diámetro a la altura de la base (DAB), de manera bimestral, y número de hojas al inicio y al final del experimento. En cada parcela se colocó un registrador de temperatura automático (Datalogger HOBO®), que se programó para la toma de datos de temperatura cada 60 minutos durante el transcurso del experimento.

Para evaluar el desempeño de las especies de estudio los datos fueron procesados con los programas estadísticos R (2012) y S-Plus (2000).

Para cada especie se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con la finalidad de comparar cada una de las variables (altura, diámetro a la altura de la base o DAB y número de hojas). Se llevaron a cabo análisis para evaluar el efecto de ladera, tomando en cuenta los dos sitios de la ladera noroeste (que se encuentran a 2140 y 2170 msnm) (ladera 2) y dos sitios de la ladera sur (a 2150 y 2180 msnm,) (ladera 1) ya que son los sitios que se encontraban en similar rango altitudinal. Este análisis se hizo con la finalidad de conocer si existe un efecto de la isla de calor urbano, en una ladera que tiene una orientación noroeste (NO) con sitios expuestos a la ciudad, con respecto a la ladera que tiene una orientación sur (S), donde se encuentran los sitios más protegidos del efecto de la isla de calor urbano (Figura 2).

De manera similar se hicieron análisis de modelos lineales generalizados

(*devianzas*), seguidos de una prueba de hipótesis para generar tablas de análisis de varianza (análogos a pruebas de ANOVA) para evaluar el efecto de la altitud, las familias y la interacción, para cada una de las variables ya mencionadas. Para estos análisis sólo se incluyeron los sitios de la ladera sur, a fin de evaluar el efecto del gradiente altitudinal.

Se realizó un análisis de supervivencia o regresión de Cox (*Cox proportional hazards*) con el programa estadístico S-Plus (2000), para cada una de las especies.

Por último se graficó la amplitud de temperatura, la cual se obtuvo al graficar la temperatura máxima menos la temperatura mínima de cada sitio, con la finalidad de conocer el rango de variación.

RESULTADOS

Albizia plurijuga

El análisis de varianza en *A. plurijuga* mostró diferencias significativas para la variable altura entre laderas (Cuadro 6).

Cuadro 6. Resultado de ANOVA para altura de planta por ladera, de *Albizia plurijuga*.

F. V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Ladera	1	588	587.6	4.945	0.0265 *
Residuales	616	73209	118.8		

El sitio 6 (2140 msnm) de la ladera noroeste tuvo las mayores alturas (39 cm en promedio) seguido del sitio 5 (2180 msnm) de la ladera sur (35 cm), mientras que las plantas del sitio 2 de la ladera sur presentaron las menores alturas (27 cm) (Figura 6).

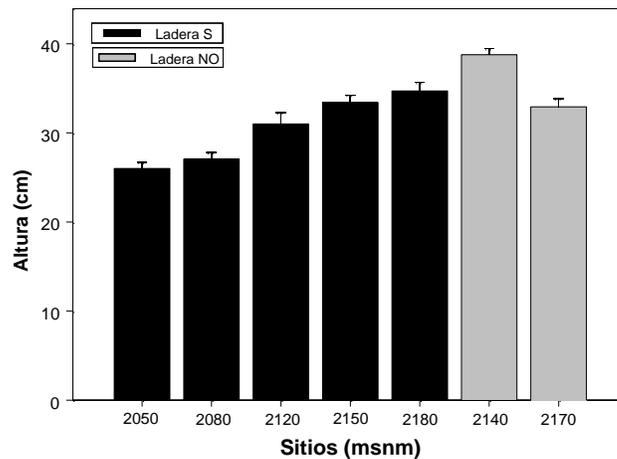


Figura 6. Altura promedio por sitios de *Albizia plurijuga*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

El análisis de varianza para familias en la variable altura de planta presentó diferencias altamente significativas ($P < 0.0001$) (Cuadro 7).

Cuadro 7. Resultado del ANOVA para altura de planta por familia, en *Albizia plurijuga*.

F. V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	9	4874	541.1	4.122	<0.0001*

Las mayores alturas las presentó la familia 1 (37 cm), seguida de la familia 3 (35 cm) y 4 (34 cm), mientras que las familias 2, 8 y 10 con 30 cm fueron las familias con menor altura (Figura 7).

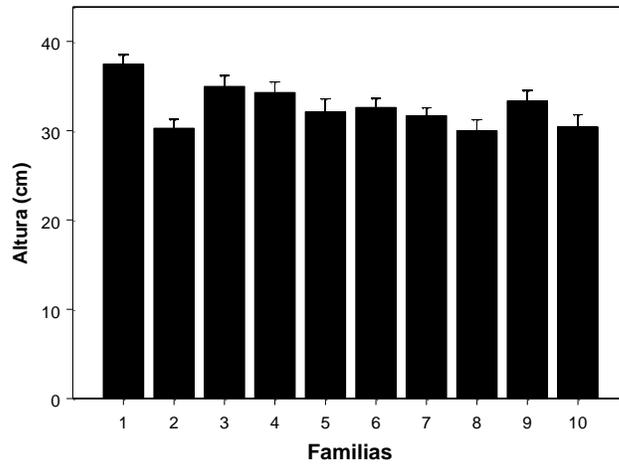


Figura 7. Altura promedio por familias de *Albizia plurijecta*.

El análisis de varianza para la variable diámetro mostró diferencias significativas entre laderas para esta especie (Cuadro 8).

Cuadro 8. Resultado de ANOVA para diámetro por ladera, de *Albizia plurijecta*.

F. V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Ladera	1	4.6	4.645	5.33	0.0213*
Residuales	616	536.8	0.871		

Los mayores diámetros se presentaron en la ladera noroeste (barras grises) a

2120 y 2170 msnm con diámetros promedio de 1 y 0.9 cm respectivamente (Figura 8).

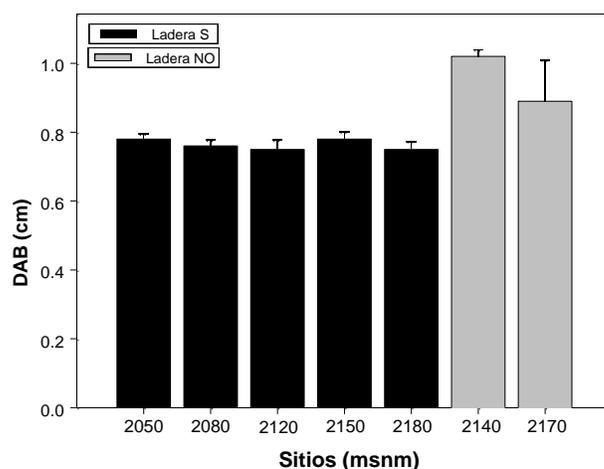


Figura 8. Diámetro promedio por sitios *Albizia plurijuga*, las barras negras corresponden a la ladera sur con orientación sur, las barras grises a la ladera con orientación noroeste.

El análisis para diámetro no mostró diferencias significativas entre familias para esta especie, (Cuadro 9). Sin embargo la familia 5 (1.00 cm) y 1 (0.96 cm) son las que presentan los mayores diámetros, mientras que las familias 9 (0.73 cm) y 10 (0.71 cm) tienen los menores diámetros (Figura 9).

Cuadro 9. Resultado de ANOVA para diámetros por familias, de *Albizia plurijuga*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	9	9.2	1.018	1.824	0.0601
Residuales	1002	559.4	0.5583		

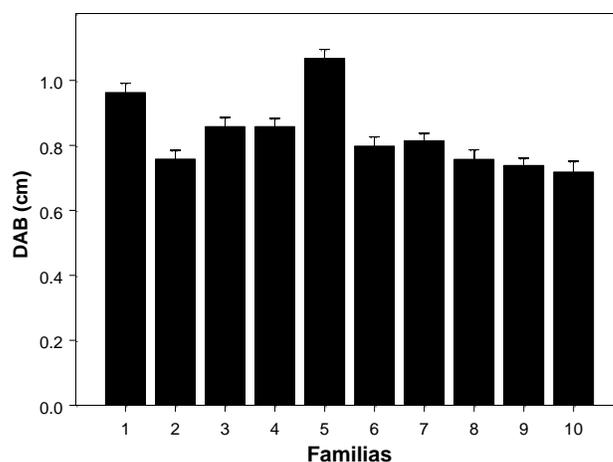


Figura 9. Diámetro promedio por familias, *Albizia plurijuga*.

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas para la variable hojas entre laderas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Resultados de ANOVA para hojas por laderas, de *Albizia plurijuga*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Ladera	1	427	427.3	1.139	0.286
Residuales	616	231	375.3		

El número de hojas aunque no fue significativo, fue mayor a 2140 msnm. Sin embargo, al comparar sólo los dos sitios de cada ladera, no se encontraron diferencias significativas. Si bien las diferencias no fueron significativas, hubo una

clara tendencia a incrementar con la altitud (Figura 10).

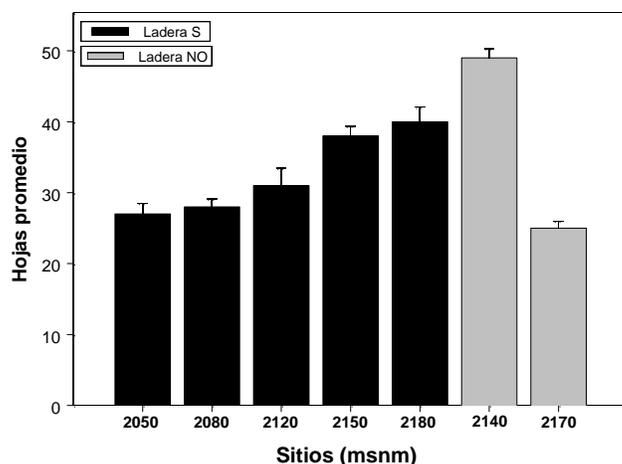


Figura 10. Promedio del número hojas por sitios *Albizia plurijuga*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

El análisis para hojas por familias si mostró diferencias altamente significativas (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados de ANOVA para hojas por familia, de *Albizia plurijuga*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	9	1293	1437	3.628	<0.0001*
Residuales	1002	3968	396		

La familia uno tuvo mayor número de hojas promedio (41), seguido de la familia 4 (39), Las familias 5 y 8 con 30 hojas promedio, son las que presentaron menor el

menor número (Figura 11).

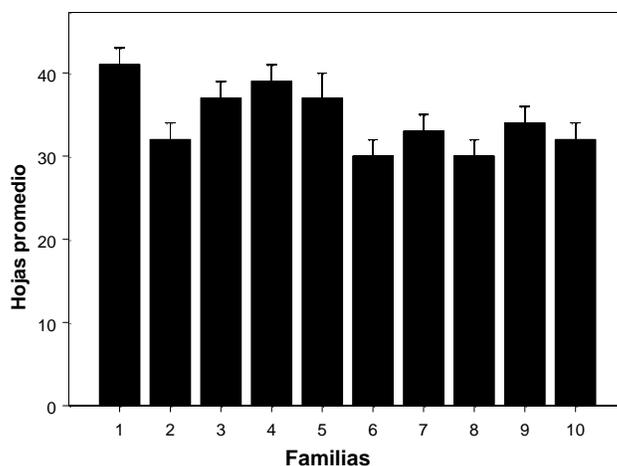


Figura 11. Promedio del número de hojas por familia, *Albizia plurijuga*.

Efectos del gradiente altitudinal en el desempeño de las plantas

El análisis de devianza para la variable altura presentó diferencias significativas por efecto de altitud y el de familia (Cuadro 12 y 13), la interacción no mostró diferencias significativas.

Cuadro 12. Análisis de devianza para la variable altura de planta para altitud y familias.

F.V.	SC	g.l.	F	Pr(>F)
Altitud	6274	1	54.94	<0.0001
Familia	2910	9	2.83	<0.01
msnm*familia	567	9	0.55	0.8363
Residuals	7114	623		

Cuadro 13. Análisis de devianza para la variable DAB para altitud y familias.

F.V.	SC	g.l.	F	Pr(>F)
Altitud	0.004	1	0.0677	0.7947
Familia	2.925	9	5.5708	<0.0001
msnm*familia	0.320	9	0.609	0.7896
Residuals	36.35	623		

Cuadro 14. Análisis de devianza para la variable hojas para altitud y familias.

F.V.	SC	g.l.	F	Pr(>F)
Altitud	1425	1	37.43	<0.0001
Familia	5439	9	1.59	0.115
msnm*familia	2300	9	0.672	0.7351
Residuals	2371	623		

Supervivencia

El análisis de supervivencia de Cox mostró diferencias significativas entre laderas, los sitios también fueron significativamente diferentes para supervivencia al igual que para familias de *A. plurijuga* (Cuadros 15, 16 y 17).

Cuadro 15. Análisis de Cox para laderas de *A. plurijuga*.

F.V.	coef	Exp(coef)	Se(coef)	z	p
Ladera	-0.461	0.631	0.0609	17.57	<0.0001

Cuadro 16. Análisis de Cox para sitios de *A. plurijuga*.

F.V.	coef	Exp(coef)	Se(coef)	z	p
Sitio 1	0.4994	1.552	0.0723	6.081	<0.0001
Sitio 2	-0.0883	0.916	0.0442	-1.998	<0.0001
Sitio 3	-0.0381	0.963	0.0388	-0.983	<0.0001
Sitio 4	-0.2130	0.808	0.0357	-5.959	<0.0001
Sitio 5	-0.0816	0.922	0.0257	-3.181	<0.0001

Cuadro 17. Análisis de Cox para familias de *A. plurijuga*.

F.V.	coef	Exp(coef)	Se(coef)	z	p
fam 1	0.3187	1.375	0.1222	2.607	<0.01
fam 2	0.0178	1.018	0.0683	0.261	0.790
fam 3	-0.0273	0.973	0.0494	-0.553	0.580
fam 4	0.1180	1.125	0.0319	3.696	<0.01
fam 5	0.1061	1.112	0.0248	4.289	<0.01
fam 6	-0.0464	0.955	0.0269	-1.725	0.084
Fam 7	0.0395	1.040	0.0189	2.086	0.037
Fam 8	0.0204	1.021	0.0171	1.199	0.230
Fam 9	0.0421	1.043	0.0167	2.528	<0.01

Hubo diferencias en la supervivencia de *A. plurijuga* entre sitios, donde la supervivencia fue mayor para los sitios de la ladera noroeste (2140 y 2170 msnm) con una supervivencia mayor al 80% y el sitio 3 de la ladera sur que presentó los porcentajes más bajos de supervivencia (53%) (Figura 12).

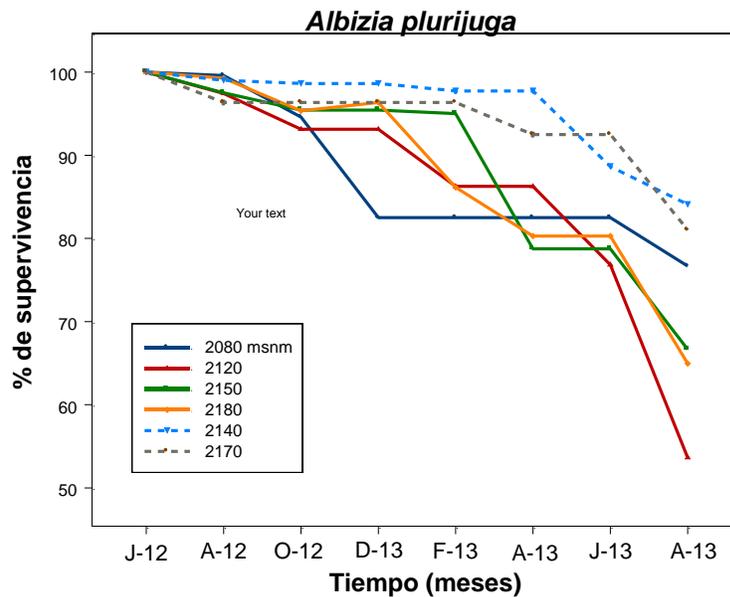


Figura 12. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio del 2012 (J-12) a agosto del 2013 (A-13) por altitud de *Albizia plurijuga* (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).

Ceiba aesculifolia

No se encontraron diferencias significativas en el análisis estadístico realizado para la variable altura de planta entre laderas, cuando se compararon únicamente los sitios que se localizaban en altitud similar en ambas laderas (Cuadro 18). No obstante, el sitio 3 (2120 msnm) de la ladera sur, fue el sitio donde se presentaron las mayores alturas (27 cm) (Figura 3). El sitio 1 (2050 msnm) y sitio 5 (2180 msnm) de la misma ladera fueron los sitios con las menores alturas (15cm).

Cuadro 18. Resultados del ANOVA para altura de planta por laderas de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	1	111	111.16	2.143	0.146
Residuals	110	571	51.87		

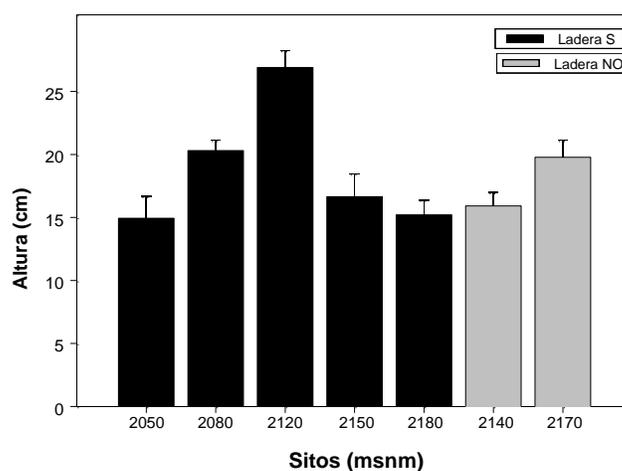


Figura 13. Altura promedio por sitios de *Ceiba aesculifolia*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

La altura tampoco fue significativamente diferente entre familias, para esta especie (Cuadro 19).

Cuadro 19. Resultados de ANOVA para altura de planta por familias, de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	5	614	122.74	2.089	<0.0682
Residuals	199	11758.74			

A pesar de eso las familias 2, 3 y 4 con 21.4, 20.44 y 20.86 cm respectivamente son las que tuvieron mejor desempeño ya que presentaron las mayores alturas (Figura 14).

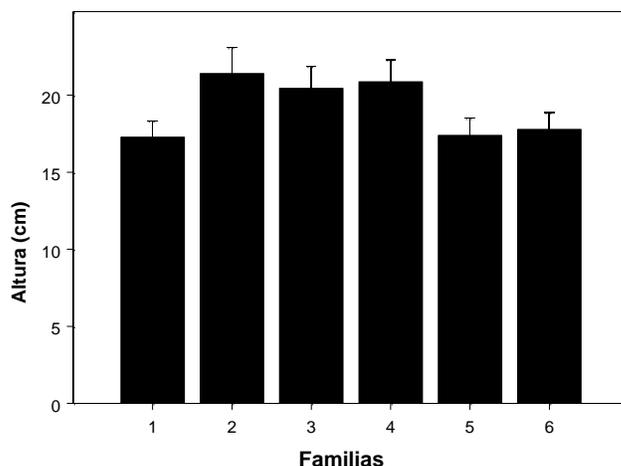


Figura 14. Altura promedio de familias de *Ceiba aesculifolia*.

El análisis de varianza solo mostraron diferencias significativas entre laderas para la variable diámetro (Cuadro 20).

Cuadro 20. Resultados de ANOVA para diámetro por laderas de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	1	0.1227	0.1227	6.523	<0.01*
Residuals	110	2.0691	0.01881		

El sitio a 2140 msnm de la ladera noroeste presentó los mayores diámetros con

0.57 cm y el sitio 1 de la ladera sur (2040 msnm) con 0.54 cm. Los sitios con menores diámetros fueron el 5 (2180 msnm) con 0.46 cm y el sitio 3(2120 msnm) con 0.47 cm de la ladera sur (Figura 15).

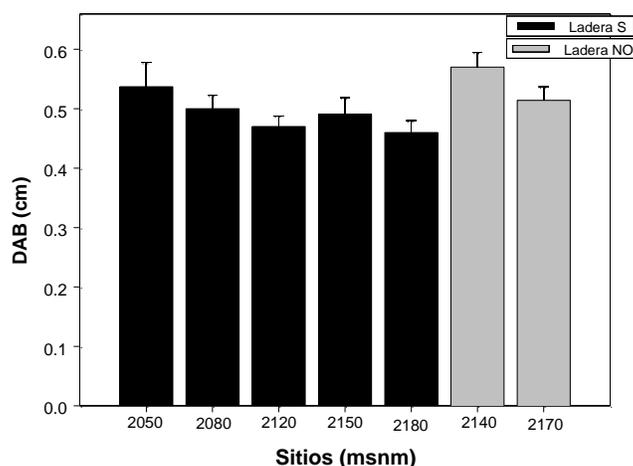


Figura 15. Diámetro promedio por sitios en *Ceiba aesculifolia*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

Para el caso de familias, el análisis estadístico para la variable diámetro no presentó diferencias significativas (Cuadro 21 y Figura 16).

Cuadro 21. Resultados de ANOVA para diámetro por familias de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	5	0.088	0.0175	0.878	0.497
Residuals	199	3.985	0.02002		

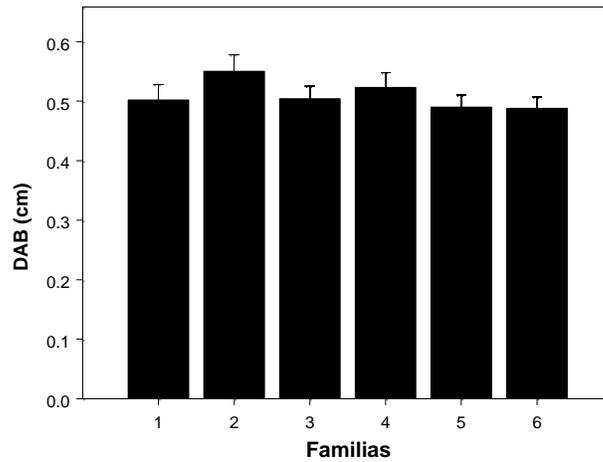


Figura 16. Diámetro promedio por familias, *Ceiba aesculifolia*.

El número de hojas promedio no fue significativo para sitios (Cuadro 22), se encontró mucha variación en cuanto al número de hojas (Figura 17).

Cuadro 22. Resultados de ANOVA para diámetro por familias de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	1	0	0.013	0.001	0.98
Residuals	110	2232	20.29		

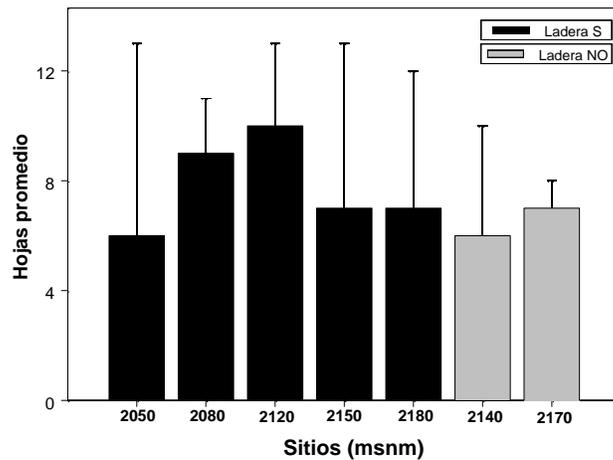


Figura 17. Promedio del número hojas por sitios *Ceiba aesculifolia*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

El número de hojas tampoco mostró diferencias significativas para familias (Cuadro 23).

Cuadro 23. Resultados de ANOVA para hojas por familias de *Ceiba aesculifolia*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Familias	5	120	24.07	1.25	0.287
Residuals	199	383	19.26		

La familia 2 seguida de las familias 3, 5 y 6 son las que presentaron el mayor número de hojas, mientras que las familias 1 y 4 son las que tuvieron el menor número de hojas, estas diferencias no fueron significativas en el análisis (Figura 18).

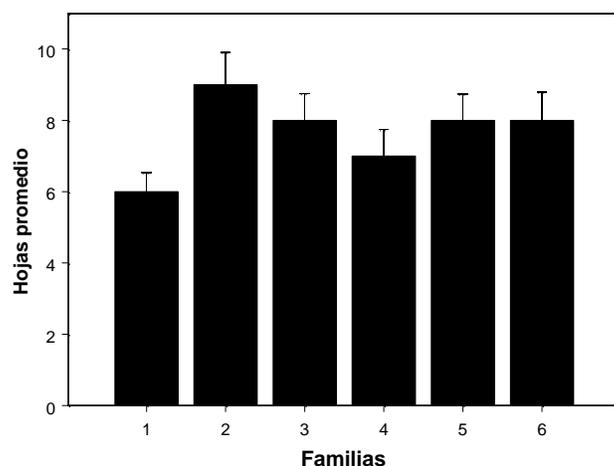


Figura 18. Promedio del número de hojas por familias, *Ceiba aesculifolia*.

Los resultados del análisis donde sólo se tomaron en cuenta los sitios de la laderas sur en *C. aesculifolia* arrojaron diferencias significativas sólo para diámetro debido al efecto de altitud y familia (Cuadro 24).

Cuadro 24. Resultados de análisis de devianza aplicado a la variable DAB para altitud y familias.

F.V.	SC	g.l.	F	Pr(>F)
Altitud	0.0765	1	4.585	0.034*
Familia	0.1972	5	2.363	0.044*
msnm*familia	0.0545	5	0.653	0.659
Residuals	2.0024	120		

Supervivencia

El análisis de Cox para esta especie mostró diferencias significativas entre laderas y sitios (Cuadro 25 y 26). La variable familia no fue significativa para esta especie.

Cuadro 25. Análisis de Cox para ladera, *C. aesculifolia*.

F.V.	coef	Exp(coef)	Se(coef)	z	p
Ladera	-0.315	0.73	0.102	-3.07	<0.01*

Cuadro 26. Análisis de Cox para sitios, *C. aesculifolia*.

F.V.	coef	Exp(coef)	Se(coef)	z	p
Sitio 1	-1.2086	0.299	0.2399	-5.037	<0.0001
Sitio 2	0.0874	1.091	0.1137	0.769	<0.0001
Sitio 3	0.2928	1.340	0.0622	4.709	<0.0001
Sitio 4	0.0846	1.088	0.0472	1.792	<0.0001
Sitio 5	-0.0411	0.960	0.0431	-0.953	<0.0001
Sitio 6	-0.1040	0.901	0.0457	-2.277	<0.0001

La supervivencia para esta especie muestra que el sitio a 2080 msnm de la ladera sur fue el sitio que mantuvo el mayor porcentaje de individuos durante el transcurso del experimento, la supervivencia de los demás sitios fue similar. El sitio a 2120 msnm tuvo una caída en el mes de octubre pero posteriormente se mantuvo estable. Los sitios con menor supervivencia fueron el sitio más bajo a 2050 msnm y el sitio a 2150 msnm de la ladera sur (Figura 19).

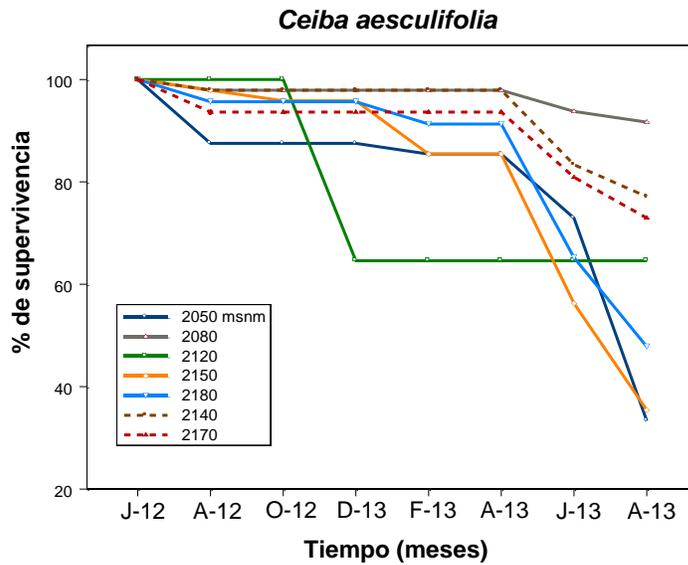


Figura 19. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio (J-12) del 2012 a agosto del 2013 (A-13) por altitud de *Ceiba aesculifolia* (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).

Ipomoea murucoides

Los resultados del análisis de varianza para *I. murucoides* arrojaron diferencias significativas para todas las variables evaluadas, sólo en sitios, ya que para esta especie no hay familias.

Los resultados muestran que el sitio a 2120 msnm de la ladera sur y el sitio a 2170 de la ladera noroeste son los que presentan las mayores alturas promedio (69 y 72 cm), el sitio 2150 msnm de la ladera sur fue el de menor altura promedio con 38 cm (Cuadro 27 y Figura 20).

Cuadro 27. Resultados de ANOVA para altura por laderas de *Ipomoea murucoides*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	6	1057	1762.6	5.144	<0.0001
Residuals	109	3735	342.6		

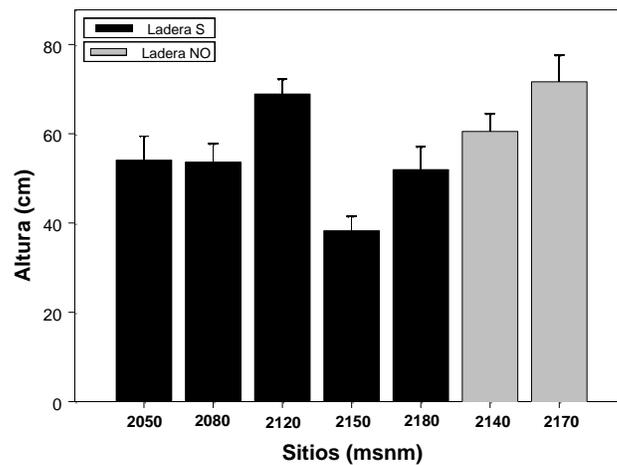


Figura 20. Altura promedio por sitios de *Ipomoea murucoides*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

Para el caso del diámetro en esta especie tuvo diferencias altamente significativas con un valor de $P < 0.0001$ (Cuadro 28), de igual manera el sitio a 2150 msnm de la ladera sur también presentó el menor diámetro promedio (1.1 cm), mientras que el sitio a 2140 y 2170 msnm (2 y 1.8 cm) de la ladera noroeste son lo que tienen los mayores diámetros (Figura 21).

Cuadro 28. Resultados de ANOVA para diámetro por laderas de *Ipomoea murucoides*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	6	7.617	1.27	6.102	<0.0001
Residuals	199	22.678	0.2081		

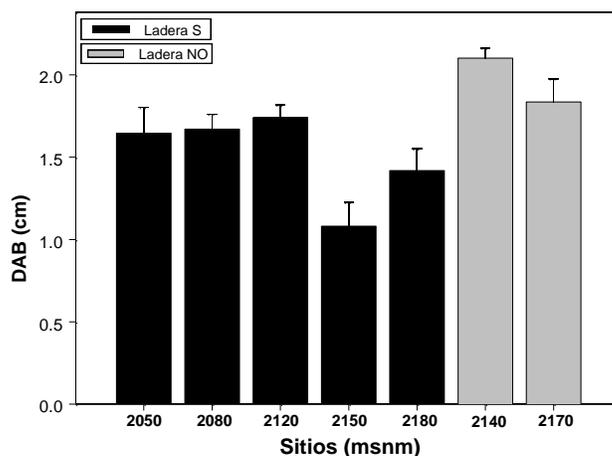


Figura 21. Diámetro promedio por sitios, de *Ipomoea murucoides*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

El número de hojas, del mismo modo, mostró diferencias altamente significativas para sitios (Cuadro 29). La gráfica muestra que a 2120 msnm de la ladera sur, seguido del sitio 2140 msnm de la ladera noroeste son los sitios con mayor número promedio de hojas, por otro lado el sitio a 2150 msnm tiene significativamente menor número de hojas (Figura 22).

Cuadro 29. Resultados de ANOVA para hojas por sitios de *Ipomoea murucoides*.

F.V.	g.l.	SC	CM	F	Pr(>F)
Laderas	6	1156	1927.0	5.75	<0.0001
Residuals	109	3654	335.2		

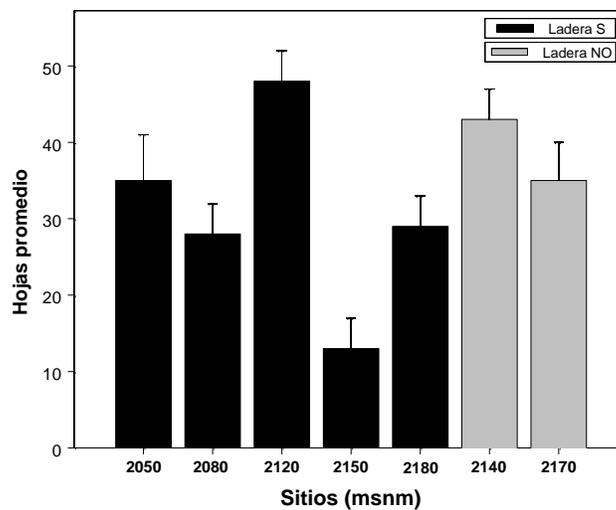


Figura 22. Promedio del número de hojas por sitios de *Ipomoea murucoides*, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

Supervivencia

No se encontraron diferencias significativas entre sitios para la supervivencia de *I. murucoides*, no obstante, en algunas familias la supervivencia fue del 100% y en

otras bajó hasta menos del 60%; la mortalidad en todos los sitios transcurrió en el mes de abril, por lo tanto, los sitios se comportaron del mismo modo (Figura 23).

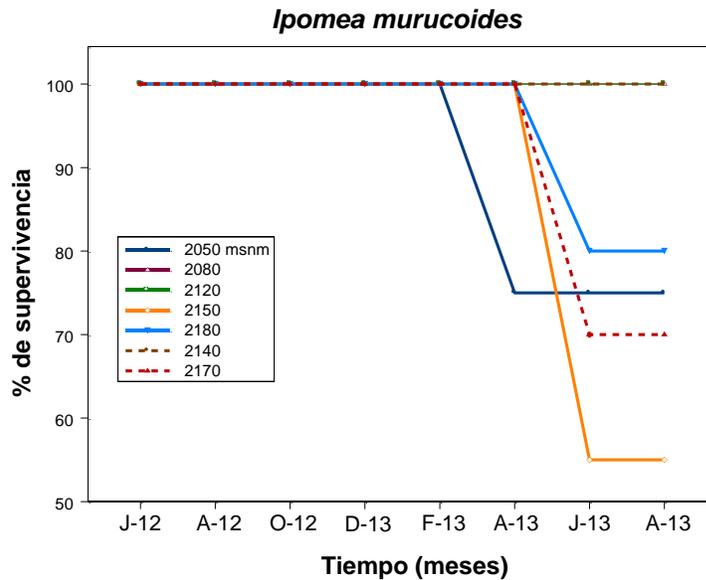


Figura 23. Comportamiento bimestral de la supervivencia de junio del 2012 (J-12) a agosto del 2013 (A-13) por altitud de *Ipomea murucoides* (las líneas punteadas representan la ladera noroeste).

Al comparar los sitios homogéneos en altitud entre laderas, el análisis de varianza muestra diferencias significativas entre laderas. Altura y diámetro a la altura de la base para *A. plurijuga* fueron mayores en la laderas NO, el diámetro a la altura de la base también fue mayor en *C. aesculifolia* para esta misma ladera y nuevamente para todas las variables en *I. murucoides* (Cuadro 30).

Cuadro 30. Resultados de ANOVA entre laderas para cada especie.

	<i>Albizia plurijuga</i>			<i>Ceiba aesculifolia</i>			<i>Ipomoea murucoides</i>		
	Altura	DAB	Hojas	Altura	DAB	Hojas	Altura	DAB	Hojas
Ladera S	33.86*	0.77*	39	15.73	0.47*	7	46.37*	1.28*	22*
Ladera NO	35.85*	0.95*	37	17.82	0.54*	7	65.1*	1.94*	40*

TEMPERATURA

La temperatura promedio no tuvo un comportamiento diferente entre sitios (Figura 24), sin embargo la amplitud de temperatura entre máximas y mínimas para cada sitio si mostró diferencias entre ellos.

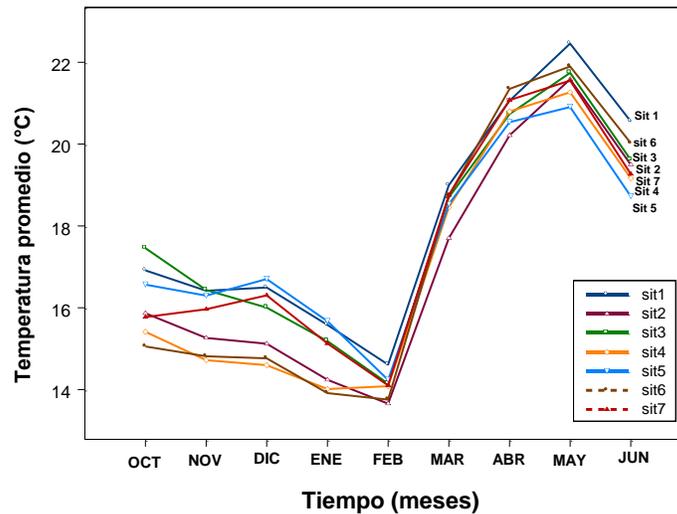


Figura 24. Temperatura promedio por sitios de octubre del 2012 a junio del 2013.

Está se calculó a partir de la temperatura máxima menos la temperatura mínima para cada sitios. La mayor amplitud entre temperaturas fue en el sitio 3 de la ladera sur a 2120 msnm seguida del sitio 1 a 2050 msnm (Figura 25).

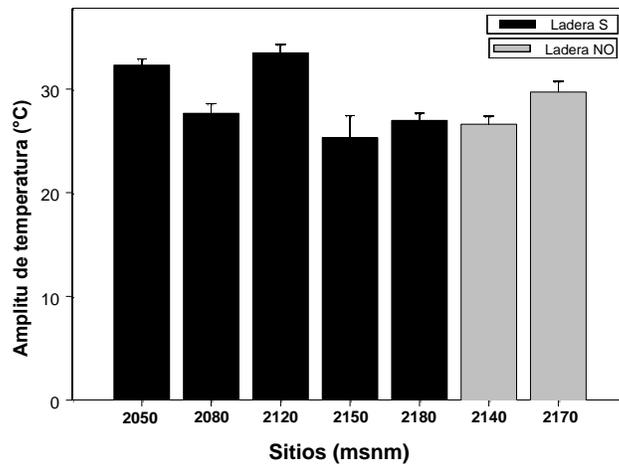


Figura 25. Amplitud de temperatura para cada sitio, las barras negras corresponden a la ladera 1 con orientación sur, las barras grises a la ladera 2 con orientación noroeste.

COEFICIENTE DE VARIACIÓN (CV).

Para obtener el coeficiente de variación se realizó un modelo lineal, el cual se entiende como la razón de la desviación típica a la media, normalmente expresada como porcentaje multiplicado por 100. Por lo tanto a mayor valor de coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor CV, mayor

homogeneidad en los valores de la variable.

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$$

Los resultados de este análisis solo fueron significativos para *A. plurijuga* para la variable supervivencia (Cuadro 26 y Figura 26).

Cuadro 31. Coeficiente de variación supervivencia, *Albizia plurijuga*.

Superv	Estimados	Error std	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	71.168	1.893	37.592	<0.0001
poly(CV,2)1	-9.328	4.637	-2.011	0.1378
poly(CV,2)2	-22.547	4.637	-4.862	<0.01

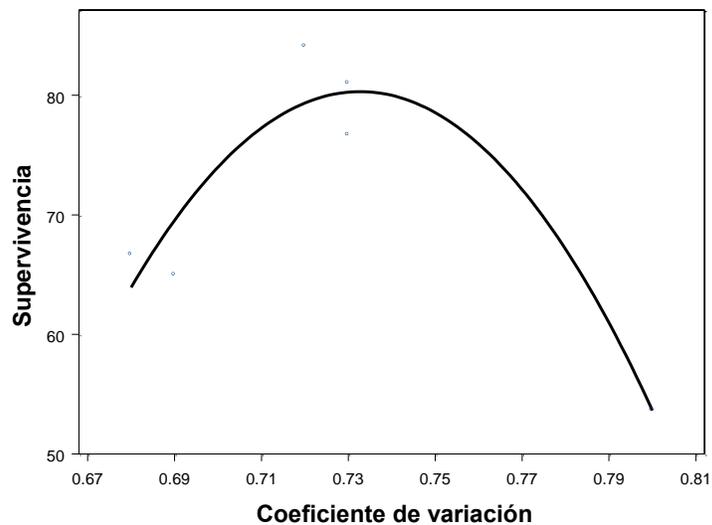


Figura 26. Coeficiente de variación para supervivencia en *A. plurijuga*.

DISCUSIÓN

Albizia plurijuga

Para *Albizia plurijuga* las plantas fueron aumentando su altura conforme aumentó la altitud, incluso cuando esta altura fue mayor a los sitios de colecta. De hecho, el crecimiento fue mayor por arriba de la elevación máxima reportada como distribución natural para esta especie que es menor a los 1800 msnm en la región en donde se encuentra el Cerro del Punhuato (Rzedowski, 1985). El sitio más bajo (2080 msnm) fue el sitio con plantas de menor altura, 280 metros por arriba del límite reportado. Las plantas tuvieron un mejor desempeño a elevaciones al menos 400 m por arriba de la distribución natural reportada, y 200 m por arriba del sitio de colecta.

El efecto altitudinal es claro para esta especie, como se vio para la ladera sur, pero incluso las plantas de la ladera noroeste tuvieron buen desempeño a pesar de que los sitios se encuentran orientados hacia la ciudad, por lo que suponemos que el efecto de la isla de calor en el crecimiento de las plantas podría ser neutralizado siempre y cuando se plante a suficiente altitud, lo que implica migrarla hacia arriba en la ladera.

De igual forma los mayores diámetros los tuvieron las plantas de la ladera noroeste. Para el caso de familias no se encontraron diferencias para esta variable. El número de hojas muestra el mismo patrón que el de altura, a excepción del sitio de la ladera noroeste a 2170 msnm.

Aunque gran parte de la variación se debe a efectos ambientales y de elevación, las familias también tuvieron un crecimiento diferencial en altura y diámetro, siendo las

familias 1, 3 y 4 las que tuvieron el mejor desempeño en cuanto altura y nuevamente la familias 1 y 5 para diámetro. La familia 1 de esta especie fue la que presentó el mejor desempeño para todos los parámetros evaluados, es decir esta familia le va bien en todos los sitios, lo cual puede ser una ventaja si se desea hacer un plan de reforestación del ANP, ya que tendremos la certeza de que responderá bien, al menos en los sitios en donde se estableció este experimento.

El análisis de devianza donde sólo se tomaron en cuenta los sitios de la laderas sur, mostraron un crecimiento diferencial para altura en respuesta a la elevación sobre el nivel del mar y a las familias; para DAB la familia fue significativa y para hojas sólo la elevación. La interacción de familias y altitud no fue significativa para ninguna de las variables.

A. plurijuga mostró una mejor supervivencia en la ladera con orientación noroeste, a pesar de que los sitios se encuentra más expuesto la isla de calor urbano generado por la ciudad. Las plantas de la ladera sur presentan mayor mortalidad en comparación a la ladera noroeste. Se ha dicho que las laderas sur se calientan más ya, que están expuestas por mayor tiempo a los rayos solares, por lo que este factor podría estar determinando la supervivencia de esta especie, incluso más que el calor generado por la ciudad. A pesar de que la mortalidad fue alta para *A. plurijuga*, el porcentaje de supervivencia se mantuvo por arriba del 50% durante los 14 meses de evaluación en campo.

Ceiba aesculifolia

Para *Ceiba aesculifolia* el análisis de varianza al comparar entre laderas no mostró diferencias significativas, sin embargo dentro de las cotas altitudinales de la ladera sur las mayores alturas fueron a 2120 msnm, a diferencia de lo que encontró Valle Díaz (2009) en esta zona, donde las mejores alturas las presentaron las plantas de los sitios a 2230 msnm (110 m más arriba). Esto apoya la hipótesis de que el efecto de la isla de calor urbano desplaza el hábitat de las especies altitudinalmente hacia arriba (Vitt *et al.*, 2009). *Ceiba aesculifolia* es una especie que creció poco a lo largo de los 14 meses de evaluación en comparación a *A. pluriyuga* e *I. murucoides*, se observó que esta especie destina la mayor parte de los recursos para crecimiento del tallo, y se sabe que destina a biomasa de raíces, ya que tiene una raíz pivotante para almacenamiento de recurso en las estaciones más críticas del año como son la temporada de secas, esta especie puede perder totalmente la parte aérea (incluso el tallo) mientras que mantienen viva la parte radicular, cuando las condiciones ambientales mejoran se vuelve a desarrollar la parte aérea de la planta (Sánchez-Sánchez y Hernández-Zepeda, 2004). Por lo que no es sorprendente que para el diámetro (medido en la base de la planta) el análisis presentó diferencias significativas.

Para el caso de familias los resultados no mostraron diferencias entre las variables evaluadas y esto puede deberse a que el número de familias para esta especie fue muy bajo, debido a los bajos porcentajes de germinación y semillas viables en las colectas de campo.

La mortalidad para *C. aesculifolia* fue mayor que para *A. pluriyuga* e *I.*

murucoides, y esta se comportaron de manera gradual a lo largo de las evaluaciones, a excepción del sitio a 2120 msnm de la ladera sur, el cual tuvo una caída abrupta en el mes de octubre y después se mantuvo estable a lo largo del experimento. Los sitios más altos de la ladera sur son los que presentaron el porcentaje más alto de mortalidad (65%), mientras que los sitios de la ladera noroeste son los que tienen el más alto porcentaje de supervivencia junto con el sitio de la ladera sur a 2080 msnm.

Ipomoea murucoides

Los resultados de los análisis para *I. murucoides* fueron significativos para todas las variables, los sitios con mejor crecimiento en altura fueron a 2170 msnm de la ladera noroeste y a 2120 msnm de la ladera sur, el desempeño de esta especie está más relacionado con las condiciones del micrositio que de la elevación, ya que para esta especie no había familias. Al igual que *C. aesculifolia*, *I. murucoides* es una especie que puede perder la mayor parte aérea durante las épocas críticas del año (como secas), parte de las observaciones que hicimos en estas dos especies al hacer las evaluaciones bimestrales algunas plantas se reportaban como muertas (ya que la parte aérea no se encontraba), al regresar en temporada de lluvia la planta había desarrollado un nuevo retoño, es por ello la gran variación en cuanto a diámetros y número de hojas encontrados para estas especies.

Para *I. murucoides* el análisis de Cox no mostró diferencias significativas ya que como se había mencionado anteriormente el análisis evalúa la mortalidad a través del tiempo y en este caso la mortalidad de la especie se da sólo en los meses de febrero y

abril.

La temperatura no mostró un comportamiento diferencial entre sitios sin embargo al graficar las temperaturas máximas y mínimas se pudo observar que la amplitud de temperatura era diferente entre sitios, es decir los sitios a 2120 y a 2150 msnm dónde la amplitud es mayor a 30° C estas temperaturas tan variantes y extremas podrían estar influyendo en el establecimiento de las especies, sin embargo creemos que es necesario indagar más con los datos obtenidos.

CONCLUSIONES

Para *A. plurijuga* la altitud es un factor determinante para su establecimiento, a mayor elevación mejor desempeño en caracteres de crecimiento como altura, diámetro y hojas. Por tanto, se sugiere establecer plantaciones de restauración a mayor altitud que la distribución natural de la especie. La familia *uno* presentó el mejor establecimiento en todos los sitios, por lo que se podría elegir esta familia para reforestaciones futuras en el ANP Cerro Punhuato. De igual forma la ladera noroeste tiene las condiciones microclimáticas favorables para el crecimiento y supervivencia de esta especie, a pesar de que la influencia de la isla de calor urbano sea más directa.

Para *C. aesculifolia*, sólo el diámetro mostró diferencias significativas entre laderas y entre sitios al comprar las cotas altitudinales de la ladera sur. Las condiciones ambientales del micrositio y forma de vida de esta especie podrían estar determinando

la supervivencia de la misma, ya que los medios en las que se encuentra determinan si el recurso es destinado para sobrevivir o para crecer en tamaño, más que la influencia por las familias, sin embargo también se cree que es necesario aumentar el número de progenies colectadas ya que para este estudio solo fue de 6. La ladera noroeste también presentó los valores más altos en supervivencia.

Ipomoea murucoides es una especie de rápido crecimiento y con altos porcentajes de supervivencia, a pesar de que la altitud no tuvo un efecto directo para el crecimiento en esta especie, el desempeño fue bueno. Al igual que *C. aesculifolia* y *A. plurijuga*, las mayores tasas de crecimiento se encontraron en la ladera noroeste, lo que hace pensar que las condiciones microclimáticas en estos sitios favorecen el desarrollo de estas especies a pesar de que la orientación de la ladera se encuentre expuesta a la ciudad.

La temperatura fue un factor determinante en el establecimiento de vegetación al igual que muchos otros factores. Sin embargo se considera que es necesario explorar más a fondo la forma en que influye este componente en el desempeño de las plantas en cada sitio evaluado.

Las especies utilizadas para este estudio son recomendadas para proyectos de restauración en esta área, ya que son plantas nativas que forman parte de la estructura de la vegetación del matorral subtropical de estas zonas, por lo que la generación de información y conocimiento servirá para el restablecimiento y recuperación de este tipo de vegetación.

LITERATURA CITADA

Aguilar-Anguiano, M. J. (2008). *Efecto de la fragmentación en el vigor temprano de la progenie de Ceiba aesculifolia, en la biosfera de Chamela-Cuixmala, Jalisco, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Biología-Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México. 68 p.

Aitken, S. N., S. Yeaman, J. A. Hollyday, T. Wang., y S. Curtis – McLane. 2008. Adaptation, migration or extirpation: climate change outcomes for tree populations. *Evolutionary Applications* 1: 95-111.

Arnfield, J. A. 2003. Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology* 23:1-26.

Bouvet, J. M., & Vigneron, P. (1995). Age trends and heritabilities in Eucalyptus factorial mating designs. *Silvae Genetica*, 44(4), 206-216.

Butzer, K. W., and E. K. Butzer. 1997. The natural vegetation of the Mexican Bajío: Archival documentation of a 16th century savanna environment. *Quat. Int.* 43/44: 161-172.

Cabeza, A. 2004. Plan Maestro para el Jardín Botánico Punhuato.

Cannell, M. G. R. (1982). 'Crop' and 'isolation' ideotypes: Evidence for progeny differences in nursery-grown *Picea sitchensis*. *Silvae Genetica*, 31(2-3), 60-66.

Carranza, G. E., y A. Blanco-García. 2000. Flora del Bajío y de regiones adyacentes Familia BOMBACACEAE. Fascículo 90. Instituto de Ecología A.C. Centro Regional del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México. CONACYT. CONABIO. 16 pp.

Corona-Mora, A. R. Lindig-Cisneros, N. Sánchez-Vargas. (2013). Variación genética cuantitativa de plántulas de dos especies de matorral subtropical (*Ceiba aesculifolia* (Kunth) Britten & Rose y *Albizia plurijuga* (Standl.) Britton & Rose.) (En revisión en la revista Chapingo).

Davis, M.B., R.G., Shaw. 2001. Range shifts and adaptive responses to quaternary climate change. *Science* 292, 673–679.

Delgado, T., D. Suárez-Duque. 2009. Efectos del cambio climático en la diversidad vegetal del corredor de conservación comunitaria reserva ecológica el ángel- bosque protector golondrinas en el norte del ecuador. *Ecología Aplicada*, Vol. 8, Núm. 1-2. pp. 27-36.

Dhanai, C. S., Uniyal, A. K., & Todaria, N. P. (2003). Source variation in *Albizia chinensis* (Osbeck) Mer.: seed and seedling characteristics. *Silvae Genetica*, 52(5-6), 259-266.

Drake, F. 2000. Global warming. The science of climate change. Arnold, Londres, Reino Unido. IPCC (International Panel on Climatic Change). 2007. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers Working Group II. Fourth Assessment Report.

Falconer, D. S. y Mackay, T. F. C. (2001). Introducción a la genética cuantitativa. Zaragoza, España: Acribia, S.A. 469 p.

Gálvez, J. (2002). La restauración ecológica: conceptos y aplicaciones. Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Revisión Bibliográfica, Serie de Documentos Técnicos No. 8.

Garduño-Monroy, V. H., E. Arreygue-Rocha, I. Israde-Alcántara., y G. M. Rodríguez-

Torres. 2001. Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 1(18):37-54.

Gómez-Romero M., Blanco-García A., Aureoles-Celso E., Marín-Togo M.C. y Lindig-Cisneros. 2008. Programa de manejo del área natural Protegida "Cerro Punhuato". Morelia, Mich. Mex. 51 p.

Guevara-Escobar, A.,E. González-Sosa, Suzán-Azpiri, H. Malda-Barrera, G., Martínez y Díaz, M., Gómez-Sánchez, M.,Hernandez-Sandoval, L., Pantoja-Hernández y D. Olvera-Valerio.2008. Distribución potencial de algunas leguminosas arbustivas en el altiplano central de México. *Agrociencia*, Vol. 42, Núm. 6, pp. 703-716.Colegio de Postgraduados.

Hódar, J.A., R. Zamora y J. Peñuelas.2004. El efecto del cambio global en las interacciones planta-animal. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Capítulo 16. pp 461-478.

Hodge, G. R., Dvorak, W. S., Urueña H., & Rosales, L. (2002). Growth, provenance effects and genetic variation of *Bombacopsis quinata* in field test in Venezuela and Colombia. *Forest Ecology and Management*, 158, 273-289.

Jonsson, A., Eriksson, G., Ye Z., & Yeh C. (2000). A retrospective early test of *Pinus sylvestris* seedlings grown at wide and dense spacing. *Canadian Journal Forest Research*, 30, 1443-1452.

Kurtner, L. S., y L. E. Morse. 1996. Reintroduction in a changing climate. En: Falk D. A., Millard C. I., y M. Olwell (Eds). 1996. Restoring diversity: strategies for reintroduction of endangered plants. Island Press.505 pp.

Lahera, W., Alvarez, A., & Gamez, S. 1994. The genetic improvement program in *Cedrela odorata* L. in Cuba. *Forest Genetic Resources*, 22, 27-28.

Lavendel, B. 2003. Ecological restoration in the face of global climate change: obstacles and initiatives. *Ecological Restoration* 3(21): 207-209.

Liang, S. Y., y S. W. Seagle. 2002. Browsing and microhabitat effects on riparian forest woody seedling demography. *Ecology* 83:212-227.

Madrigal-Sanchez, X. y L. I. Guridi-Gómez. 2002. "Los árboles silvestres del municipio de Morelia" Michoacán. México. *Ciencia Nicolaita* 33:29-58.

Manual para la Identificación de las Principales Especies UNAM/FCE 523p.

Martínez Hernández, H. C., C. Ramírez H., J. J. Vargas H. y J. López U. 2001. "Variación genética en plántulas de *Eucalyptus* spp." Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, vol. 7, No. 001, pp 21-26.

Niembro R., A. 2001. Las diásporas de los árboles y arbustos nativos de México: posibilidades y limitaciones de uso en programas de reforestación y desarrollo agroforestal. *Madera y Bosques* 7: 3-11.

O'Brien, E. K., R. A., Mazanec and S. L. Krauss. 2007. "Provenance variation of ecologically important traits of forest trees: Implications for restoration" School of Animal Biology and School of Plant Biology, Faculty of Natural and Agricultural Sciences, The University of Western Australia, 35 Stirling Highway, Crawley, Western Australia 6009, Australia; †Department of Environment and Conservation, Locked Bag 104, Bentley Delivery Centre, Western Australia 6983, Australia; and ‡Kings Park and Botanic Garden, Botanic Gardens and Parks Authority, Fraser Ave, West Perth, Western Australia 6005, Australia. *Journal of Applied Ecology*, 44, 583-593.

Ohto, M., Stone, S. L., & Harada, J. J. (2007). Genetic control of seed development and seed mass. In: Bradford, K. & Nonogaki, H. (Eds.). *Seed development, dormancy and germination*. Oxford, UK: Blackwell publishing. 367 p.

Pennington, T. D. y J. Sarukhán. 2005. *Árboles tropicales de México/manual para la*

identificación de las principales especies. 3ra edición. Editorial Fondo de cultura económica. México, D. F. 523 pp.

Pennington, T.D. & Sarukhán, J. (2005). Árboles Tropicales de México. Universidad Nacional Autónoma de México. Dirección General de Publicaciones y Fomento Editorial Ciudad Universitaria, México, DF. Tercera edición. 523 p.

Peña J., A., y L. Neyra G. 1998. Amenazas a la biodiversidad. In: La Diversidad Biológica de México: Estudio de País. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. pp: 158-181.

Pistorale, M. S., L. A. Abbott y A. Andrés. 2008. "Diversidad genética y heredabilidad en sentido amplio en agropiro alargado, *Thynopirum ponticum*". Departamento de Ciencias Básicas. Universidad Nacional de Luján, Buenos Aires, Argentina. Cien. Inv. Agr. 35 (3):259-264.

Rodríguez-Sosa, J. L., Valdés-Roblejo, Y., & Rodríguez-Lías, R. (2012). Tratamientos a semillas para mejorar la germinación de *Colubrina ferruginosa* Brong. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18, 27-31.

Romero H. y M. Molina. 2009. Relación espacial entre tipos de usos y coberturas de suelos e islas de calor en Santiago de Chile. Proyecto Fondecyt 1050423.

Rzedowski, G. C de, J. Rzedowski y colaboradores. 2001. Flora fanerogámica del Valle de México, 2a. ed., Instituto de Ecología A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán. 1406 p.

Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. México: LIMUSA. pp 189-204.

Rzedowski, J. 1988. Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Bot. Mex.* 3: 7-19.

Rzedowski, J., & Calderón de Rzedowski, G. 1987. El Bosque tropical caducifolio de la

Región Mexicana del Bajío. Pátzcuaro, Michoacán, México: Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío. pp. 12-20.

Sánchez-Sánchez, O, & Hernández-Zepeda, C. (2004). Estudio de plántulas de la familia Bombacaceae en Quintana Roo, México. *Foresta Veracruzana*, 6, 1-6.

Sánchez-Vargas, N. M., Sánchez, L., & Rozenberg, Ph. (2007). Plastic and adaptive response to weather events a pilot study in maritime pine tree-ring. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2090-2095. doi: 10.1139/X07-075.

Sánchez-Vargas, N. M., Sánchez, L., & Rozenberg, Ph. (2007). Plastic and adaptive response to weather events a pilot study in maritime pine tree-ring. *Canadian Journal of Forest Research*, 37, 2090-2095. doi: 10.1139/X07-075.

Sánchez-Vargas. N. M., y Vargas-Hernández, J. J. (2007). Competencia y su relación con los parámetros genéticos en clones de Eucalipto. *Ciencia e Investigación Forestal*, 13, 155-163.

SAS Institute, 1988. SAS/STAT User's Guide, Release 6.03 Edition. SAS Institute, Cary, NC, 1028 pp.

SAS Institute. (2006). SAS/STAT Guide for personal computers. Version 9.1. Cary, North Carolina, U.S.A.: SAS Institute Inc. 1028 p.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma oficial mexicana NOM-059-SEMARNAT-2001 protección ambiental-especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-lista de especies en riesgo. 153 pp.

Tchebakova, N.M., G. E. Rehfeld., y E. I. Parfenova. 2005. Impacts of climate change on the distribution of *Larix* spp. and *Pinus sylvestris* and their climatypes in Siberia.

Migration and Adaptation Strategies for Global Change 11: 861-882.

Tereshchenko, I. E., y A. E. Filonov. 2001. Air temperature fluctuations in Guadalajara, México, from 1962 to 1994 in relation to urban growth. *International Journal of Climatology* 21: 483-494

Toky, O. P., Kumar, N. & Bisht, R. P. (1996). Variation in growth of 3-year old provenance trial of *Albizia lebbek* (L.) Benth. in arid India. *Silvae Genetica*, 45(1), 31-33.

Valle-Díaz, O. I. 2009. Desempeño de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* en un gradiente altitudinal y de aspecto de la ladera en un sitio adyacente a una zona urbana. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. 51 pp.

Van Andel, J., y A. P. Grootjans. 2006. Concepts in restoration ecology. En: Van Andel J., y J. Aronson (Eds). *Restoration ecology the new frontier*. Blackwell Publishing. 319 pp.

Vargas-Hernández, J., Adams, W. T., & Joyce, D. G. (2003). Quantitative genetic structure of stem form and branching traits in Douglas-fir seedlings and implications for early selection. *Silvae Genetica*, 52(1), 36-44.

Vitt, P., K. Havens, A. T. Kramer, D. Sollenberger, y E. Yates. 2009. Assisted migration of plants: Changes in latitudes, changes in attitudes. *Biological conservation*. 143, 18-27.

Wightman, K. E., Ward, S. E., Haggard, J. P., Rodríguez-Santiago, B., & Cornelius, J. P. (2008). Performance and genetic variation of big-leaf mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in provenance and progeny trials in the Yucatan Peninsula of Mexico. *Forest Ecology and Management*, 255, 346-355.

Wu, H. X. (1998). Study of early selection in tree breeding. 1. Advantage of early selection through increase of selection intensity and reduction of field test size. *Silvae Genetica*, 47(2-3), 146-155.

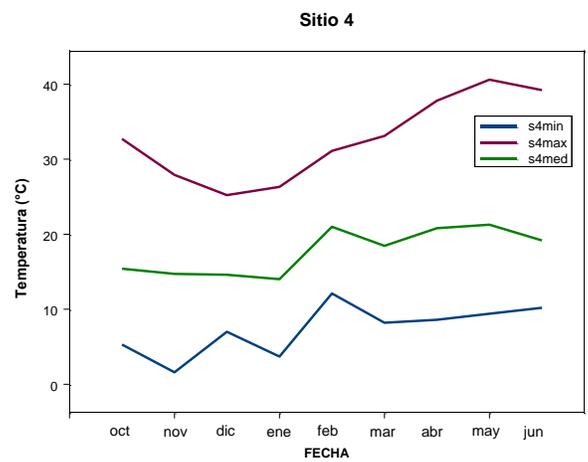
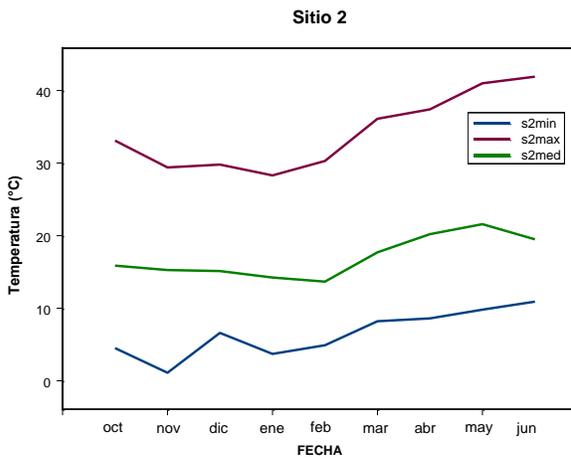
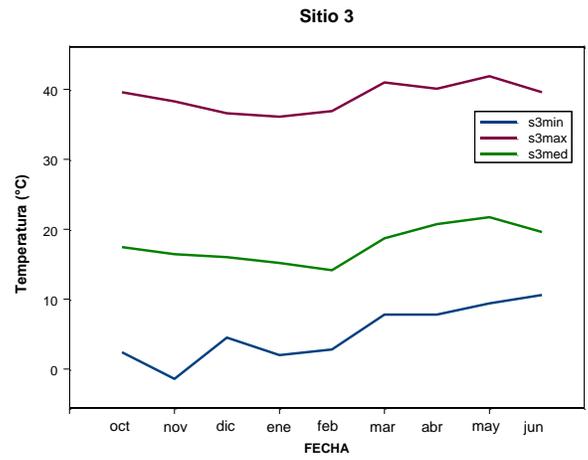
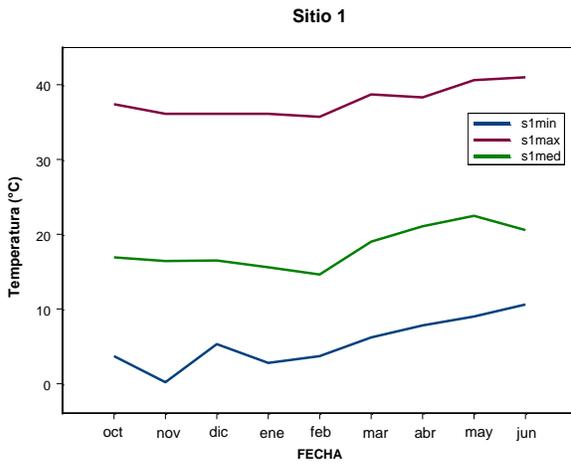
Wu, H. X., Yeh, F. C., Dhir, N. K., Pharis, R. P., & Dancik, B. P. (1997). Genotype by environment interaction and genetic correlation of greenhouse and field performance in *Pinus contorta* spp. *latifolia*. *Silvae Genetica*, 46(2-3), 170-175.

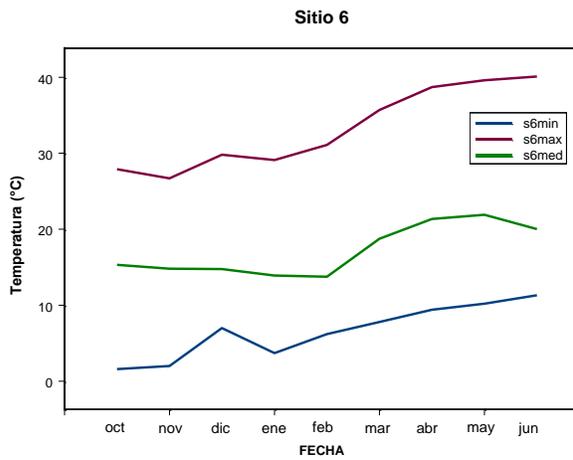
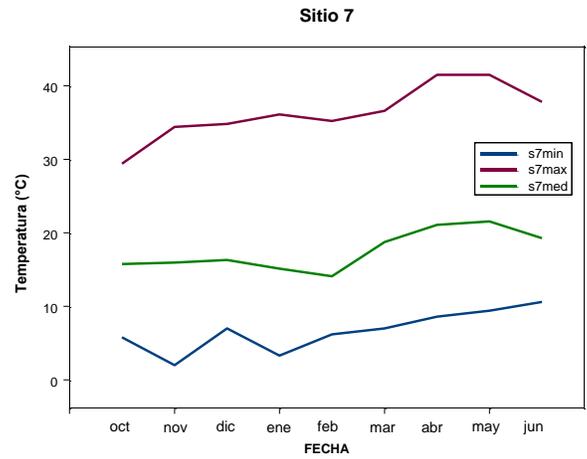
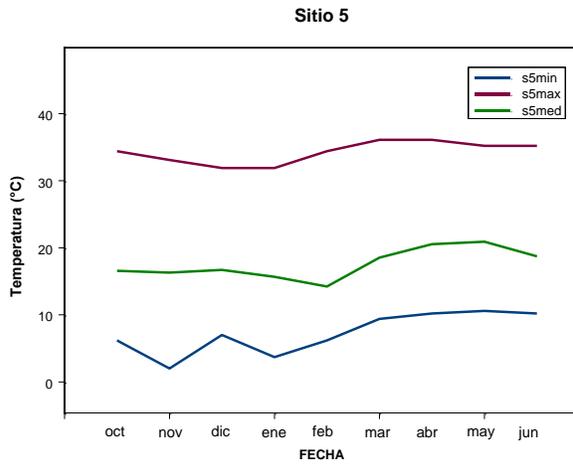
Wu, H. X., Yeh, F. C., Pharis, R. P., Dhir, N., & Dancik, B. P. (2000). Study of early selection in tree breeding. 3. A case study using early information to enhance selection efficiency in late trait in longepole pine (*Pinus contorta* spp. *Latifolia*). *Silvae Genetica*, 49(3), 152-158.

Zobel, B. y Talbert, J. (1992). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México: Limusa. pp. 261-299.

ANEXO

Temperatura máxima, mínima y promedio por sitio.





Coeficiente de variación

Cuadro 32. Coeficiente de variación altura, *A. pluriyuga*.

F.V.	Estimate	Error std.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	32.98	1.9185	17.191	0.000429
poly(CV,2)1	-3.0316	4.6993	-0.645	0.564
poly(CV,2)2	0.2784	4.6993	0.059	0.956

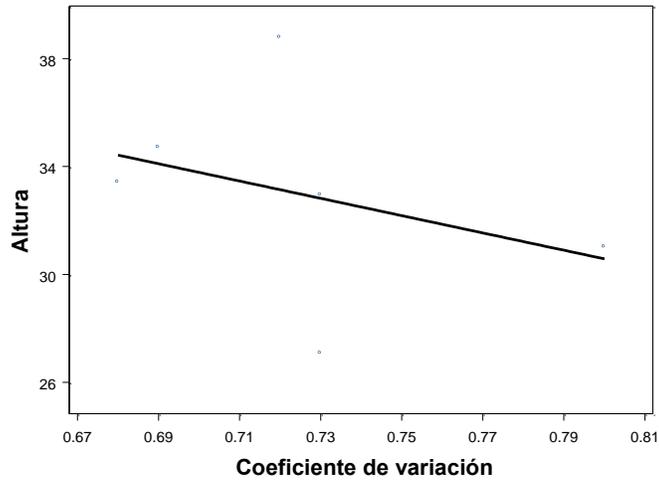


Figura 27. Coeficiente de variación para altura, *A. plurijuga*

Cuadro 33. Coeficiente de variación DAB, *A. plurijuga*

F.V.	Estimados	Error std.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	0.96	0.1626	5.904	0.0097
poly(CV,2)1	0.0222	0.3983	0.056	0.9591
poly(CV,2)2	-0.4852	0.3983	-1.218	0.3102

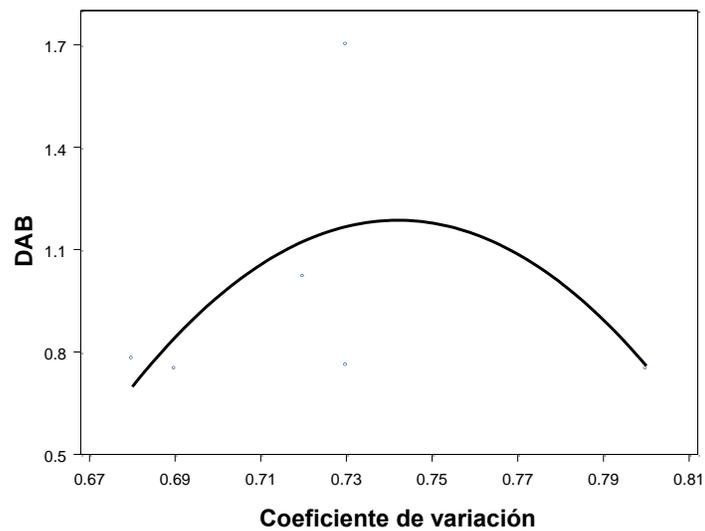


Figura 28. Coeficiente de variación para DAB, *A. plurijuga*.

COEFICIENTE DE VARIACIÓN *Ceiba aesculifolia*

Cuadro 34. Coeficiente de variación supervivencia, *C. aesculifolia*.

Superv	Estimados	Errorstd.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	60.399	7.556	7.993	0.00133**
poly(CV,2)1	4.887	19.992	0.244	0.81891
poly(CV,2)2	-36.365	19.992	-1.819	0.14304

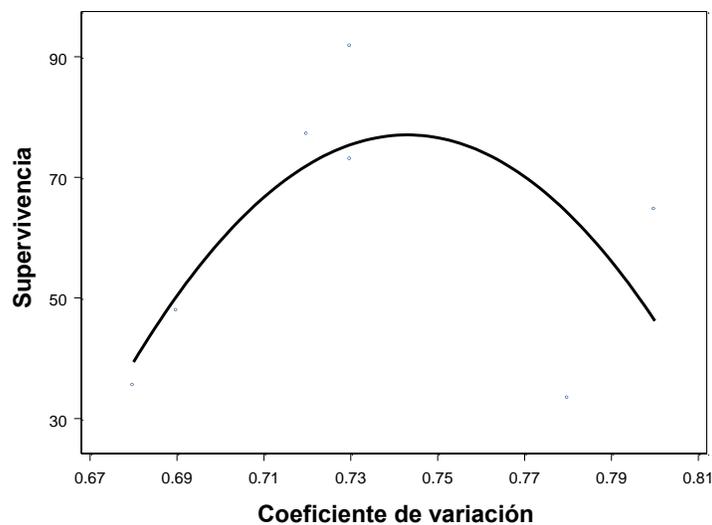


Figura 29. Coeficiente de variación para supervivencia, *C. aesculifolia*

Cuadro 35. Coeficiente de variación altura, *C. aesculifolia*

F.V	Estimados	Errorstd.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	18.53	1.55	11.953	0.000281***
poly(CV,2)1	6.141	4.102	1.497	0.2086
poly(CV,2)2	2.022	4.102	0.493	0.6478

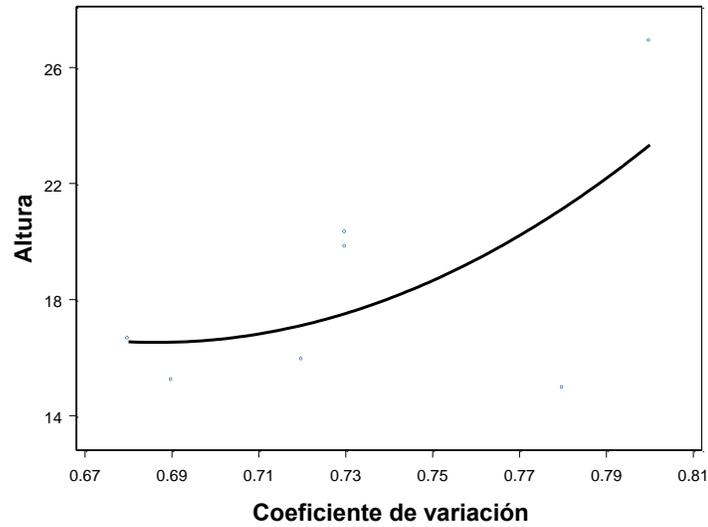


Figura 30. Coeficiente de variación para altura, *C. aesculifolia*.

Cuadro 36. Coeficiente de variación DAB, *C.aesculifolia*.

F.V.	Estimados	Errorstd.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	0.5057	0.01406	35.97	<0.0001
poly(CV,2)1	0.01104	0.0372	0.297	0.781
poly(CV,2)2	-0.05757	0.0372	-1.547	0.197

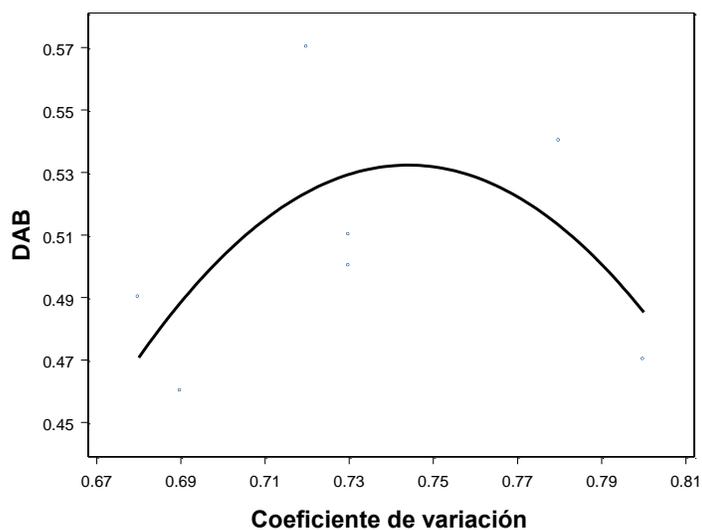


Figura 31. Coeficiente de variación para DAB, *C. aesculifolia*.

COEFICIENTE DE VARIACIÓN *Ipomoea murucoides*

Cuadro 37. Coeficiente de variación supervivencia, *I. murucoides*.

Superviv	Estimados	Errorstd.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	82.857	6.812	12.164	0.000262
poly(CV,2)1	19.945	18.022	1.107	0.3304
poly(CV,2)2	-13.997	18.022	-0.777	0.4807

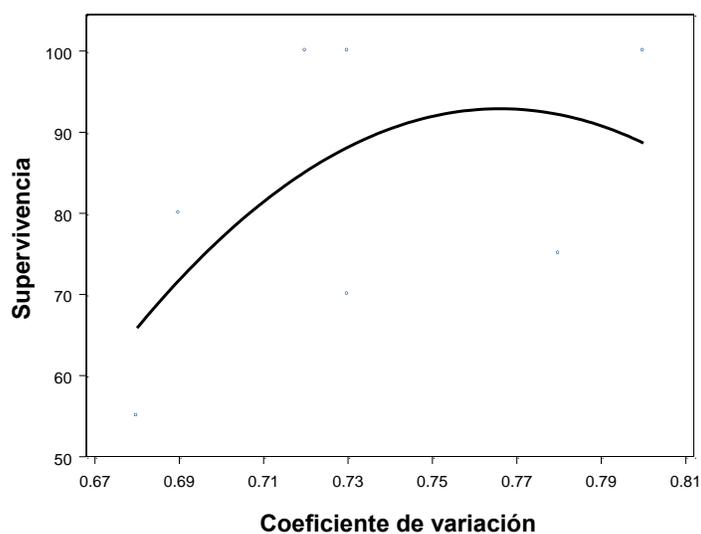


Figura 38. Coeficiente de variación para supervivencia, *I. muruoides*.

Cuadro 33. Coeficiente de variación altura, *I. muruoides*

F.V.	Estimados	Error std.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	56.992	3.630	15.702	<0.0001
poly(CV,2)1	16.648	9.603	1.734	0.158
poly(CV,2)2	-10.854	9.603	-1.130	0.322

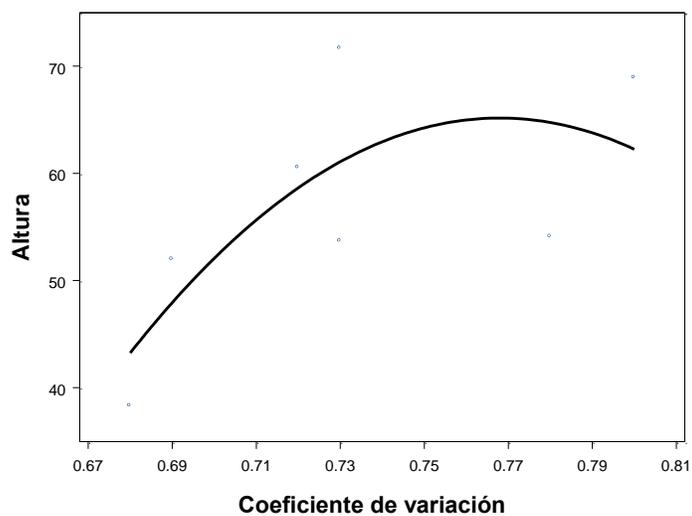


Figura 33. Coeficiente de variación para altura, *C. aesculifolia*.

Cuadro 39. Coeficiente de variación DAB, *I. murucoides*

F.V.	Estimados	Errorstd.	Valor-t	Pr(>F)
(intercept)	1.64171	0.08453	19.421	<0.0001
poly(CV,2)1	0.36743	0.22365	1.643	0.176
poly(CV,2)2	-0.53765	0.22365	-2.404	0.074

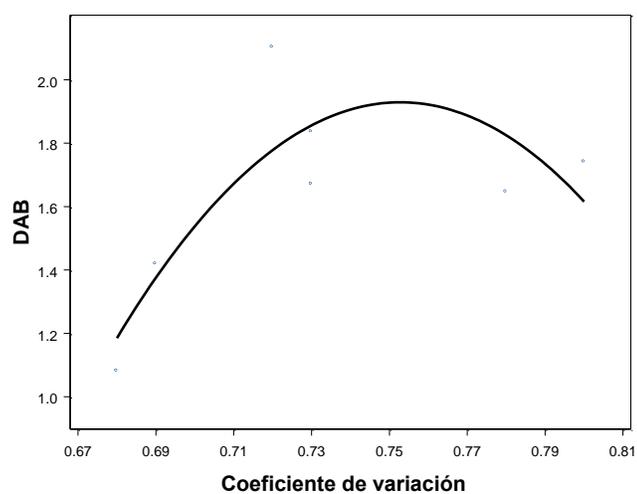


Figura 34. Coeficiente de variación para DAB, *C. aesculifolia*.