



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

**POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**

**CENTRO DE INVESTIGACIONES  
EN ECOSISTEMAS**

**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.**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS**  
**(BIOLOGÍA AMBIENTAL)**

P R E S E N T A

**OSCAR ISRAEL VALLE DÍAZ**

DIRECTOR DE TESIS: Dr. Roberto A. Lindig Cisneros

Morelia, Michoacán

mayo, 2009



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

## AGRADECIMIENTOS

- Al Posgrado en Ciencias Biológicas y al Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México.
- Al *Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología* (CONACYT) por la beca otorgada (número de becario 198218) para realizar los estudios de maestría.
- Al Comité Tutorial por sus útiles e importantes comentarios y observaciones que enriquecieron el escrito y contribuyeron a mi formación, tanto académica como personal.

Dr. Roberto Antonio Lindig Cisneros  
Dra. María del Consuelo Bonfil Sanders  
Dr. Horacio Armando Paz Hernández  
Dr. Cuauhtémoc Sáenz Romero  
Dr. Erick de la Barrera Montppellier

Particularmente quiero agradecer a Roberto Lindig por compartir su manera de ver y hacer ciencia, por abrirme las puertas al maravilloso mundo de la ecología de la restauración, su paciencia, disposición y apoyo incondicional para la realización de este proyecto. Principalmente por ser un Doctor en toda la extensión de la palabra.

Al **Laboratorio de Ecología de la Restauración**, especialmente a Arnulfo (Chino), Mariela, Esteban, Steven, Sandra, Irma y Adriana. Su atención, carisma, buena disposición y amistad; las llevaré siempre en el corazón. Gracias por compartirme su pasión por la restauración y la colaboración. ¡¡¡¡¡¡¡¡¡¡QUE BUEN EQUIPO!!!!!!!!!!!!

A los “técnicos” de campo Lucía Martínez Hernández y Pavka Patiño Conde, sin su ayuda la toma de datos hubiera sido un suplicio, gracias por sus observaciones e intercambio de ideas.

Porque son compañeros de mi pasado pero más aun porque son parte de mi presente: Ana Laura, Elisa, Gabee, Ivette, Thor.

Alumnos de la optativa de restauración ecológica, 2005 y 2006, de la UMSNH por su ayuda en el montaje del experimento.

Por su apoyo y enseñanza: Alfredo, Robertín, Whaleeha, Luisa.

Por compartir y contagiar la pasión por la ciencia: Xime, Carlitos, Ignacio, especialmente a Ian por sus aportaciones al manuscrito.

Por su visión de la ciencia: Dr. Alejandro Casas, Dr. Omar Masera, Dr. Horacio Paz, Dr. Diego Pérez, Dr. Ken Oyama y particularmente a la Dra. Alicia Castillo por su motivación y apoyo.

A las Unidades de apoyo académico por su disposición y colaboración en el desarrollo de nuestras actividades: Vinculación: Leonor Solís; Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota: Jesús Fuentes; y Telecomunicaciones y cómputo: Heberto Ferreira, Alberto Valencia y Atzimba López.

Al Departamento de Posgrado, especialmente a Dolores Rodríguez Guzmán ya que sin su valiosa ayuda, orientación, apoyo y buena disposición no daríamos una en la tramitología.

Al chico de las empanadas, no recuerdo su nombre pero gracias por alimentarme y ser mi amigo.

Ese calor de hogar no hubiera sido posible sin ustedes: Lucy, Negra, Greta y Riscy.

A los compañeros de viaje, aprendizaje, aventuras y desventuras: Pablo, Rafa, Toño, Chechi (Casa guanga), Leo, Fabiola, Selene, Burgos, Karin, Juan Carlos, Gaby Guate, Moi, Ise, Adrianita.

Al Comité Técnico Científico del Área Natural Protegida Cerro Punhuato y a la Secretaría de Urbanismo y Medio Ambiente (SUMA) del Gobierno del Estado de Michoacán de Ocampo por permitirnos trabajar en el Cerro Punhuato.

## DEDICATORIAS

### MAMÁ PAPÁ Y HERMANA

Los sueños se construyen a mano y sin permiso. Gracias por brindarme las oportunidades para soñar y materializar aquellos sueños lejanos, ahora realizados y otros jamás imaginados, por apoyarme y estar siempre a mi lado.

### HOMERO (†)

**Tu fortaleza siempre será un ejemplo.**

### LUCY

Todo el crecimiento alcanzado en esta etapa de mi vida no hubiera sido posible sin los jalones de oreja, charlas, discusiones, más charlas, más discusiones e incondicional apoyo.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
ÍNDICE.....	1
LISTA DE FIGURAS.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
LISTA DE CUADROS.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
RESUMEN.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
ABSTRACT.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
INTRODUCCIÓN	
Condiciones de referencia para la restauración ecológica y alteraciones climáticas.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
CAPÍTULO 1	
Descripción del área de estudio: jardín botánico Punhuato.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
CAPÍTULO 2	
Ensayo piloto de establecimiento de Ceiba aesculifolia y Quercus castanea en un gradiente altitudinal.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
CAPÍTULO 3	
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.....	; <b>Error!</b>
<b>Marcador no definido.</b>	
LITERATURA CITADA.....	46

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ubicación del Cerro Punhuato al oriente de la ciudad de Morelia.....	15
<b>Figura 2.</b> Comportamiento de la supervivencia de <i>Ceiba aesculifolia</i> y <i>Quercus castanea</i> durante los 11 meses de estudio.....	19
<b>Figura 3.</b> Porcentaje de supervivencia final (Julio 2006) por parcela a lo largo del gradiente altitudinal.....	19
<b>Figura 4.</b> Comportamiento mensual de la supervivencia de <i>Ceiba aesculifolia</i> por altitud.....	20
<b>Figura 5.</b> Comportamiento mensual de la supervivencia de <i>Quercus castanea</i> por altitud. ....	20
<b>Figura 6.</b> Localización de las parcelas por cota altitudinal en el Cerro Punhuato...	26
<b>Figura 7.</b> Diseño de cuadro latino realizado en cada una de las parcelas.....	26
<b>Figura 8.</b> Gráfica de las temperaturas máximas por parcela en cada cota altitudinal.....	31
<b>Figura 9.</b> Comportamiento de la supervivencia en cada cota altitudinal.....	33
<b>Figura 10.</b> Curva de supervivencia de <i>Ceiba aesculifolia</i> para diferentes altitudes (m snm).....	34
<b>Figura 11.</b> Curva de supervivencia de <i>Ceiba aesculifolia</i> con respecto a la orientación de las parcelas.....	34
<b>Figura 12.</b> Curva de supervivencia de <i>Quercus castanea</i> para diferentes altitudes (m snm).....	35
<b>Figura 13.</b> Curva de supervivencia de <i>Quercus castanea</i> con respecto a la orientación de las parcelas.....	35
<b>Figura 14.</b> Relación entre la supervivencia final de <i>Ceiba aesculifolia</i> con respecto a la insolación después de un año de establecido el ensayo.....	36

<b>Figura 15.</b> Relación entre la supervivencia mensual de <i>Ceiba aesculifolia</i> con respecto a la pendiente después de un año de establecido el ensayo.....	37
<b>Figura 16.</b> Relación entre el crecimiento en altura (cm), de los individuos de <i>Ceiba aesculifolia</i> con respecto a la pendiente, después de un año de establecido el ensayo.....	37
<b>Figura 17.</b> Relación entre el crecimiento de <i>Ceiba aesculifolia</i> en diámetro basal (cm), con respecto a la altitud, después de un año de establecido el ensayo....	38
<b>Figura 17a.</b> Relación entre el crecimiento de <i>Ceiba aesculifolia</i> en diámetro basal (cm), con respecto a la insolación, después de un año de establecido el ensayo.....	38
<b>Figura 18.</b> Relación entre la supervivencia final de <i>Quercus castanea</i> con respecto a la altitud después de un año de establecido el ensayo.....	39
<b>Figura 19.</b> Relación entre la supervivencia mensual de <i>Quercus castanea</i> , con respecto al gradiente de orientación después de un año de establecido el ensayo.....	39
<b>Figura 20.</b> Relación entre el crecimiento, en altura (cm), de <i>Quercus castanea</i> con respecto a la orientación al cumplir un año de edad.....	40
<b>Figura 20a.</b> Relación entre el crecimiento, en altura (cm), de <i>Quercus castanea</i> con respecto a la insolación al cumplir un año de edad.....	40
<b>Figura 21.</b> Relación entre el crecimiento de <i>Quercus castanea</i> , en diámetro basal (cm), con respecto a la altitud, al cumplir un año de edad.....	41



## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro 1.</b> Categorías de daño foliar utilizada para calcular el nivel de daño por herbivoría por individuo.....	29
<b>Cuadro 2.</b> Condiciones físicas de las parcelas.....	30
<b>Cuadro 3.</b> Condiciones químicas de las parcelas.....	32
<b>Cuadro 4.</b> Porcentaje final de supervivencia de <i>Ceiba aesculifolia</i> y <i>Quercus castanea</i> .....	33

## RESUMEN

Para llevar a cabo proyectos de restauración ecológica, se debe conocer la respuesta de las especies a las variaciones climáticas que presenta el sitio a restaurar. Esto es particularmente importante en sitios cercanos a zonas urbanas pues las condiciones del clima cambian por la influencia de la ciudad. Este es el caso del matorral subtropical y del bosque de encino en el Cerro Punhuato en la Ciudad de Morelia. El presente trabajo de investigación buscó, mediante un ensayo de restauración, evaluar la respuesta a través del desempeño de las especies nativas *Ceiba aesculifolia*, del matorral subtropical y *Quercus castanea* del bosque de encino, a las condiciones climáticas actuales en un gradiente altitudinal, con la finalidad de definir las áreas más adecuadas para restaurar el matorral subtropical o encinar en el Cerro Punhuato de la Ciudad de Morelia, Michoacán.

Las hipótesis del estudio son: que el desempeño de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* en el Cerro Punhuato responderá al microclima, generado por la altitud y la orientación de la ladera. De esta hipótesis se desprende la predicción de que *C. aesculifolia* tendrá un mejor desempeño en áreas relativamente más cálidas y con temperaturas mínimas menos severas y *Q. castanea* en las áreas con menor temperatura promedio. La segunda hipótesis es que, debido a que las condiciones microclimáticas responden a diversos factores, incluyendo el clima regional, se espera que las condiciones para el mejor desempeño de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* se encontraran desplazadas respecto a su distribución altitudinal máxima reportada, debido al efecto de calentamiento del clima regional producido por la mancha urbana.

Para determinar la supervivencia de las plántulas y su desempeño temprano se realizó un ensayo, con las especies mencionadas, de agosto de 2006 a julio de 2007 en una ladera del Cerro Punhuato a partir de los 2170 hasta 2260 m snm. Se encontró que la supervivencia de las ceibas fue mayor que la de los encinos, 71% y 13.5% respectivamente; así como una marcada estacionalidad en la mortalidad, la cual coincide con la temporada de secas.

Los análisis de supervivencia muestran que ambas especies respondieron de manera significativa a la altitud y orientación de las parcelas. Para las ceibas, la diferencia entre la altitud de mayor supervivencia (2 230 m snm) y la de menor (2170 m snm) es ( $\chi^2 = 23.1$ , gl = 3, P = 0.00004). Respecto a la orientación, la diferencia es ( $\chi^2 = 2.3$ , gl = 3, P = 0.025) entre las de mayor supervivencia (OSO y NNO) y las de menor (SSO y ONO). Para los encinos, la diferencia entre la altitud de mayor supervivencia (2 230 m snm) y el resto es ( $\chi^2 = 46.3$ , gl = 3, P < 0.001). Para la orientación, la diferencia es ( $\chi^2 = 25.3$ , gl = 3, P = 0.0000131) entre las de mayor supervivencia (OSO, NNO, SSO) y la de menor (ONO).

Los análisis de regresión para las ceibas muestran que la supervivencia aumenta conforme disminuye la insolación de las parcelas ( $F_{[1,14]} = 5.954$ ,  $R^2 = 0.298$ , P = 0.03) y aumenta en sitios con menor pendiente ( $F_{[1,14]} = 4.07$ ,  $R^2 = 0.225$ , P = 0.06). El crecimiento en altura fue menor conforme aumenta la pendiente ( $F_{[1,14]} = 5.503$ ,  $R^2 = 0.2822$ , P = 0.03). El diámetro basal se incrementa a medida que aumenta la altitud y disminuye la insolación ( $F_{[2,13]} = 11.44$ ,  $R^2 = 0.6376$ , P = 0.0014). En los encinos, las altitudes medias presentaron las mejores proporciones de individuos vivos respecto a las demás ( $F_{[3,12]} = 3.433$ ,  $R^2 = 0.4619$ , P = 0.05). El crecimiento en altura en los encinos, es mayor en las parcelas con orientación norte ( $F_{[4,11]} = 7.302$ ,  $R^2 = 0.7264$ , P = 0.004). El aumento en el diámetro basal, es mayor en las parcelas de ubicación altitudinal intermedia ( $F_{[2,13]} = 3.336$ ,  $R^2 = 0.3392$ , P = 0.068). Finalmente, se concluye que las condiciones abióticas, principalmente el incremento de temperatura debido al efecto conjunto de la isla de calor urbano y la insolación jugaron un papel considerable en el establecimiento temprano de ceiba y encino, lo cual pudo favorecer el desplazamiento altitudinal de las ceibas. Los encinos respondieron a condiciones particulares de las parcelas, lo que indica que *Q. castanea* no es adecuada para responder las hipótesis de este estudio.

Palabras clave: Isla de calor urbana, Restauración, *Ceiba aesculifolia*, *Quercus castanea*.

## ABSTRACT

In order to undertake ecological restoration projects, it is necessary to know the response of species planned for reintroduction to climatic variations of the site. This is particularly important in sites close to urban zones as climate conditions change due to the influence of cities. This is the case of subtropical scrubland and oak forest on the Punhuato Hill in the city of Morelia. Through a restoration trial, the above-mentioned response to microclimate was evaluated through the performance in an altitudinal gradient of the native species: *Ceiba aesculifolia*, from the subtropical scrubland, and *Quercus castanea*, from the live oak forest. The purpose of this research was to define the areas most suited for restoration of subtropical scrubland or oak forest on the Punhuato hill in the city of Morelia, Michoacan.

The hypotheses of this study were: The performance of the *C. aesculifolia* and *Q. castanea* on the Punhuato hill will respond to the microclimate generated by the altitude and orientation of the hillside. From this hypothesis stems the prediction that *C. aesculifolia* will have a better performance in relatively warmer areas and less severe minimum temperatures while *Q. castanea* will do in areas with lower average temperature. The second hypothesis states that due to the fact that microclimate conditions respond to a number of factors - regional climate included- it is expected that the conditions for the best performance of *C. aesculifolia* and *Q. castanea* will be displaced with respect to their maximum altitudinal distribution as a result of the warming effect of the regional climate caused by the urban sprawl.

In order to determine the survival of seedlings and early performance, a test with both species was carried out from August '06 – July '07 on a hillside of the Punhuato hill starting at 2170 and up to 2260 m asl It was found that the survival of the ceiba tree was higher than that of the live oak trees, 71% and 13.5% respectively. Also, a well-defined mortality seasonality which coincides with the drought season was observed.

The survival analyses show that both species responded dramatically to the altitude and orientation of the plantations. For ceiba trees, the difference between the altitude corresponding to the highest (2230 m asl) and the lowest (2170 m asl) survival performance was  $\chi^2 = 23.1$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.00004$ ). Regarding orientation, the difference between the highest (WSW y NNW) and the lowest (SSW y WNW) survival was  $\chi^2 = 2.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.025$ ). For live oak trees, the difference between the altitude with the highest survival (2230 m asl) and the rest was  $\chi^2 = 46.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P < 0.001$ ). With respect to orientation, the difference between the highest (WSW y NNW) and the lowest (SSW y WNW) survival was  $\chi^2 = 25.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.0000131$ ).

The regression analysis for ceiba trees show that survival increases as the insolation of the plantations decreases ( $F_{[1,14]} = 5.954$ ,  $R^2 = 0.298$ ,  $P = 0.03$ ) and on the other hand, it does increase in sites with a less steep incline. The growth in height was less as incline increased ( $F_{[1,14]} = 5.503$ ,  $R^2 = 0.2822$ ,  $P = 0.03$ ). Basal diameter increases as both altitude and insolation drop ( $F_{[2,13]} = 11.44$ ,  $R^2 = 0.6376$ ,  $P = 0.0014$ ). For live oak trees, mean altitudes showed the best proportions of alive individuals in comparison with the other altitudes ( $F_{[3,12]} = 3.433$ ,  $R^2 = 0.4619$ ,  $P = 0.05$ ). The change in height of live oak trees is higher in plantations facing north ( $F_{[4,11]} = 7.302$ ,  $R^2 = 0.7264$ ,  $P = 0.004$ ). The increase in basal diameter is larger in plantations corresponding to middle altitudinal locations ( $F_{[2,13]} = 3.336$ ,  $R^2 = 0.3392$ ,  $P = 0.068$ ). Live oak trees responded to particular conditions of the plantations, which indicates that *Q. castanea* is not suited to respond to the hypotheses of this study.

Key words: Urban heat island, Restoration, *Ceiba aesculifolia*, *Quercus castanea*.

# INTRODUCCIÓN

## **Condiciones de referencia para la restauración ecológica y alteraciones climáticas**

La Ecología de la Restauración es la disciplina que sustenta y provee de bases científicas para la Restauración Ecológica (Young *et al.* 2005, Van Andel y Aronson 2006), que se define como el proceso asistido mediante el cual se recupera un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido (SER 2004). La restauración busca regresar un ecosistema degradado a una aproximación de su condición funcional y estructural previa a la perturbación que lo llevó al estado actual, o a una que proporcione servicios ecosistémicos a las poblaciones humanas (Van Andel y Gootjans 2006).

Para determinar las condiciones preexistentes a la perturbación las fuentes de información sobre el ecosistema o sitio a restaurar pueden ser: ecológicas, culturales o históricas (SER 2004). Con base en ellas se establece un sistema de referencia, el cual sirve como modelo para planear la restauración ecológica del ecosistema y contra el cual se contrastará para evaluar el proyecto en el corto, mediano y largo plazo.

Establecer el sistema de referencia es en sí motivo de controversia debido a las diferencias entre éste y el que se desea restaurar, ya que al hablar de restauración se asume una perturbación natural o antropogénica (*e.g.* erupción volcánica o deforestación), de manera que el ecosistema a restaurar presenta condiciones particulares que difícilmente estarán presentes en el sistema de referencia (SER 2004). Es por ello que la relevancia de estos sistemas se encuentra en discusión, además de que sólo aportan información sobre las condiciones potenciales a restaurar, son una guía, pero no nos permiten prescribir acciones o decisiones, encaminadas a recuperar los ecosistemas (Harris *et al.* 2006). Tampoco aporta información respecto a la distribución que tendrán las especies a introducir, ni la manera en que éstas responderán a las nuevas condiciones ambientales.

En sitios donde las condiciones ambientales resultan modificadas, como producto de la perturbación que lo llevó al estado actual, el sistema de referencia necesita definirse bajo un contexto en el que las especies a introducir respondan a las condiciones generadas. Por ejemplo, un área deforestada presenta cambios en el microclima y no sólo en el suelo (que es en donde más se han estudiado los cambios asociados con la deforestación); estas modificaciones en su conjunto pueden limitar el establecimiento de ciertas especies a introducir, ya que funcionan como una barrera física (Barradas 2000) o un filtro ambiental (Fattorini y Halle 2004).

Enriqueta García (1986) define al clima como “el estado más frecuente de la atmósfera en un lugar determinado”. 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, principalmente la temperatura, son fundamentales para el establecimiento de plántulas. La temperatura, la precipitación y sus patrones estacionales son los factores físicos más importantes que afectan la distribución de especies, poblaciones y comunidades de plantas. Al haber variación climática se esperan cambios en la distribución de las especies vegetales, ocasionando una extensiva reorganización de la biota (Kurtner y Morse 1996, Tchebakova et al. 2005, Aitken et al 2008).

Al modificarse las condiciones climáticas se afecta la distribución de las plantas nativas y su hábitat histórico, pudiendo producirse una reestructuración de los ecosistemas existentes (Gian-Rethro 2003). Cuando se presentan cambios en el clima, particularmente los asociados a calentamiento local o regional, algunas especies pueden verse beneficiadas y otras no; esto es, especies adaptadas a climas cálidos tienen la posibilidad de establecerse en sitios

con climas más templados en el pasado, generalmente al norte o a una mayor altitud (Kutner y Morse 1996).

Debido a esto, el esfuerzo de restauración debe considerar la respuesta de las especies al ser introducidas en zonas con diferentes condiciones climáticas, ya sea de manera natural o por influencia de actividades humanas. Los sitios que presentan mayor variación espacial respecto a las condiciones climáticas de manera natural son las montañas, las cuales presentan una alta heterogeneidad en variables como la precipitación pluvial, la radiación solar, la intensidad del viento y las variaciones de la temperatura (Barry 1992, Srutek y Leps 1994, Turbina 2006). Ante tal variabilidad climática la distribución histórica de las especies a reintroducir no es una buena referencia, puesto que esta información no nos asegura la colonización de sitios que posiblemente presentan condiciones diferentes en el presente (Titus y del Moral 1998, Walker *et al.* 2006), principalmente porque la interacción entre las características de los sitios y de las especies, frecuentemente determina el potencial de germinación y establecimiento, así como la supervivencia de las plantas (Titus y del Moral 1998, Liang y Seagle 2002). Este último es particularmente importante en el esfuerzo de restauración, por ser uno de los factores que limita el reclutamiento de individuos, el cual es vital para el mantenimiento de las poblaciones y por consiguiente en la regeneración de la vegetación (Harper 1977).

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, Liang y Seagle 2002).

Este fenómeno ha sido estudiado en diferentes latitudes y climas, ya sean húmedos, secos, tropicales, monsonicos, marinos, continentales, de montaña, desérticos, subtropicales y de latitud media, aunque en los últimos se han realizado la mayoría de los estudios (Jáuregui 1997, Tereshchenko y Filonov 2001, Arnfield 2003). En 1997, Jáuregui fue el primero en describir dicho fenómeno en un área tropical de montaña. Este trabajo reporta un aumento de temperatura (2 a 3 °C) en la Ciudad de México cuando es comparada con una zona rural (Texcoco), con un comportamiento diferenciado entre la estación seca y húmeda. Además de esta diferencia de temperatura entre los ámbitos rural y urbano, se ha documentado una relación positiva entre el incremento de la temperatura y el crecimiento urbano en 15 ciudades del país (Oke *et al.* 1999, Tereshchenko y Filonov 2001, Jáuregui 2005).

El incremento de la población humana en las ciudades genera inquietudes desde el punto de vista de la climatología urbana. Hasta ahora se sabe que la masa de aire caliente sobre las ciudades tiene implicaciones en el consumo de energía, en la demanda de agua, en la calidad del aire, en la salud, en el bienestar humano y en la actividad biológica de las especies silvestres (Jáuregui 1997, Voogt 2004, Jáuregui 2005). En este sentido se reporta que la influencia de las ciudades en el crecimiento y fenología de las plantas es notoria hasta 10 km a partir del límite de las mismas (Ramanujan 2004), afectando a las especies vegetales que se encontraban antes de la urbanización, muchas de las cuales no se adaptan exitosamente al cambio en las condiciones climáticas.

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, Lavendel 2003); bajo este escenario aparecen nuevos nichos potenciales y otros desaparecen. En la restauración ecológica de comunidades de plantas, los cambios en las condiciones climáticas pueden imposibilitar o dificultar el regresar a una condición funcional y estructural similar al sistema de referencia histórico (Harris *et al.* 2006), desarrollándose en su lugar un nuevo ecosistema, denominado emergente, el cual tendrá características funcionales desconocidas.

Es por ello que zonas cercanas a las ciudades resultan particularmente interesantes debido a sus condiciones climáticas, las cuales actualmente son diferentes a las históricas. Por ejemplo: el incremento en la temperatura de la ciudad de Morelia, relacionado con el crecimiento urbano, ha sido descrito por Antaramián y Múzquiz (1989), León (1998) y Vargas (2006), este último reporta una oscilación térmica “siete grados mayor a lo reportado un siglo atrás”.

Por lo anterior, en zonas con alta variación climática, como en las ciudades, se requiere investigación experimental orientada a conocer la manera en que las especies, comunidades o ecosistemas a restaurar responden al clima actual (Lavendel 2003). En este sentido, evaluar la respuesta de las plantas fuera de su área de distribución histórica, la propagación *ex situ* de especies y el trasplante de poblaciones en áreas nuevas (potencialmente apropiadas en términos de la tolerancia fisiológica de las especies), adquiere un carácter prioritario para la ecología de la restauración (Kurtner y Morse 1996). Al determinar experimentalmente las especies, los sitios y bajo qué condiciones (climáticas, edáficas y fisiográficas) se podrían introducir especies nativas (Zavala 1998), es posible elegir entre diferentes prácticas de restauración y desarrollar técnicas óptimas, menos costosas pero

efectivas, con la finalidad de incrementar el desempeño de las especies a reintroducir, aumentando las posibilidades de éxito en los proyectos (Young *et al.* 2005) y conducir a buen término los trabajos de restauración ecológica.

En el presente trabajo se evaluó la respuesta de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* a las variaciones climáticas que presenta el Cerro Punhuato, colindante con la Ciudad de Morelia. Para determinar la supervivencia de las plántulas y su desempeño temprano se realizó un experimento de especies con *C. aesculifolia*, y *Q. castanea* de 2170 - 2260 m snm., el cual busca determinar las condiciones favorables para el buen desempeño y éxito de ambas especies, lo que nos permitirá diseñar la estrategia de restauración del matorral subtropical y del bosque de encino dentro del Jardín Botánico Punhuato. Como respuesta a la variación climática del sitio espero un desplazamiento altitudinal en la distribución de ambas especies.

La presente tesis está estructurada de la siguiente manera: el primer capítulo se refiere al sitio de estudio, ubicación, tipo de vegetación a restaurar y selección de las especies *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea*.

En el segundo se describe un ensayo piloto, realizado de 2005 a 2006, con la intención de establecer las posibles limitaciones relacionadas con el establecimiento de individuos en el Cerro Punhuato, siendo los principales resultados los siguientes: El primer año es determinante para el establecimiento de las especies, no hubo una relación entre supervivencia y altitud, la mortalidad se concentró en la temporada invernal y en la seca, no hubo mortalidad relacionada con la herbivoría y se sugiere poner a prueba los factores abióticos en una escala mayor.

El tercero incluye los resultados de un experimento desarrollado de 2006 a 2007, en el cual se explora un intervalo altitudinal más amplio junto con un gradiente de exposición a la urbanización, para explorar la posible influencia del fenómeno de isla de calor urbano. Entre

los resultados principales de la tesis se encontró: La temperatura fue mayor en las parcelas bajas. El porcentaje de supervivencia del experimento fue del 42%. *Ceiba aesculifolia* presentó el mayor porcentaje de supervivencia, 71%, contra el 13.5% de *Quercus castanea*. La temporada fría y seca del año presentaron la mayor mortalidad. Destaca la supervivencia de *Ceiba aesculifolia* 330 m arriba de la distribución más común para la especie y que los encinos respondieron a condiciones particulares de las parcelas, lo que sugiere una posible reestructuración de las comunidades vegetales en el Cerro Punhuato. Los resultados de esta tesis permitirán reconocer las condiciones más favorables para la supervivencia y crecimiento de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* y así determinar las áreas potencialmente favorables para restaurar el matorral subtropical y bosque de encino en el Cerro Punhuato bajo las condiciones climáticas actuales.

# CAPÍTULO 1

## **Descripción del área de estudio: jardín botánico Punhuato**

El Plan Estatal de Desarrollo “Michoacán 2003-2008” señala que la conservación de las especies de plantas, animales, hongos y microorganismos amenazados o en peligro de extinción requieren de la protección y conservación de su hábitat, conjuntamente con la defensa de la integridad de los ecosistemas donde se refugian, mantienen y reproducen (Periódico oficial 26 de enero de 2005). Por este motivo, en el año 2003 surgió la iniciativa de crear el área natural protegida Cerro Punhuato en el municipio de Morelia, Michoacán, el cual alojará al “Jardín Botánico Punhuato” debido a las características biológicas del sitio, como la presencia de manchones de vegetación característica del matorral subtropical, bosque de encino y otras. Uno de los objetivos del Jardín Botánico es restaurar la cobertura vegetal del sitio, mediante plantaciones con especies nativas (Periódico oficial 26 de enero de 2005) principalmente del matorral subtropical y el bosque de encino, por ser los tipos de vegetación existentes en la subcuenca de Morelia previo a la fundación de la Ciudad de Valladolid, ahora Morelia (Madrigal-Sánchez y Guridi 2002).

Se considera que el matorral subtropical era el tipo de vegetación que cubría el área donde se fundó la ciudad de Morelia (Madrigal-Sánchez y Guridi 2002). En Michoacán, este tipo de vegetación presenta un intervalo altitudinal de los 1500 a 2000 m snm (Bello y Jean-Noel 1987, León 1998). En el municipio de Morelia se puede encontrar en las partes elevadas correspondientes a lomeríos y en las estribaciones de las pendientes mayores, casi siempre sobre terrenos poco empinados, muy pedregosos y sobre rocas volcánicas.

Es una comunidad vegetal más o menos densa en la que predominan arbustos de 1-3 m; con árboles bajos de 3- 10 m de altura. Las especies arbóreas más comunes son: *Cedrela*

*dugesii*, *Ipomoea murucoides*, *Ceiba aesculifolia*, *Bursera bipinnata*, *B. fagaroides* y *B. palmeri* (Bello y Jean-Noel 1987, Madrigal- Sánchez 1997, Villaseñor y Villaseñor 1997, Madrigal-Sánchez y Guridi 2002). Casi todas las especies pierden sus hojas en la época de sequía (Madrigal- Sánchez 1997, Pennington y Sarukhán 1998, Madrigal-Sánchez y Guridi 2002).

Entre las especies reportadas para el matorral subtropical destaca *Ceiba aesculifolia* (Madrigal-Sánchez 1997, Villaseñor y Villaseñor 1997, Madrigal-Sánchez y Guridi 2002). En el estado de Michoacán se distribuye desde el nivel del mar hasta los 1900 m snm, presentándose de manera aislada y poco frecuente hasta los 2200 m snm (Carranza y Blanco-García 2000) y está asociada a precipitaciones medias anuales de 300 a 1,800 mm. Alcanza de 4 a 12 m de altura (Carranza y Blanco-García 2000), presenta pérdida total de hojas al principio de la temporada de secas (Madrigal- Sánchez 1997, Pennington y Sarukhán 1998, Madrigal-Sánchez y Guridi 2002), lo cual podría contribuir a incrementar la materia orgánica del suelo. Adicionalmente, en el Cerro Punhuato se encuentra una población de esta especie, confinada a las partes bajas del mismo.

Resulta importante mencionar la necesidad de investigar a los encinos desde el punto de vista de la propagación, particularmente por ser México, junto con China (Kaul 1985), uno de los principales centros de diversificación del género *Quercus* (Zavala 1998). Debido a esto y por la importancia que los encinos tienen, desde el punto de vista de su utilidad maderable, no maderable, escénica y recreativa, estas últimas de nuestro interés, se consideran especies prioritarias para su estudio (Bello y Jean-Noel 1987).

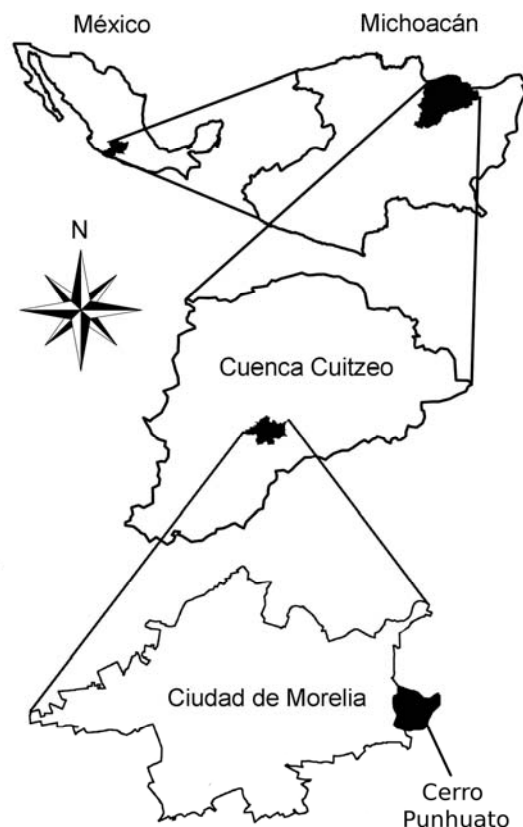
En el estado de Michoacán hay 34 especies de encino reportadas, de las cuales ocho se encuentran en el municipio de Morelia (Bello y Jean-Noel 1987, Madrigal –Sánchez 1997,

Zavala 2002, Valencia *et al.* 2002, Zavala 2003, Valencia 2004). El bosque de encino se distribuye en las faldas de los cerros que se encuentran alrededor del municipio de Morelia, principalmente en las áreas de transición entre el matorral subtropical y el bosque de pino – encino. En algunas localidades está relacionado con suelos erosionados. Se presenta entre los 1000 y 2500 m de altitud (Bello y Jean-Noel 1987, Madrigal- Sánchez 1997, Villaseñor y Villaseñor 1997). En las áreas cuyo clima tiende a semiárido, los encinos sólo miden de 5 a 15 m de altura (Madrigal- Sánchez 1997, Villaseñor y Villaseñor 1997), tienen troncos cortos, a menudo gruesos y amplias copas, cubiertos por un monte bajo formado por herbáceas y arbustos (Challenger 1998). Las especies registradas para esta comunidad vegetal son: *Quercus castanea*, *Q. crassipes*, *Q. deserticola*, *Q. glaucoides* y *Prunus capuli*. (Madrigal- Sánchez y Guridi 2002).

*Q. castanea* presenta un amplio intervalo altitudinal (1200 a 2800 m snm) así como de temperatura, alcanza una altura de 10 a 15 m, es la única de las ocho especies reportadas para el municipio que se encuentran en el límite del bosque tropical caducifolio y que se ve favorecida por el disturbio; generalmente se encuentra en laderas rocosas (Rzedowski y Rzedowski 2001, Valencia *et al.* 2002, Madrigal-Sánchez y Guridi 2002).

El área natural protegida Cerro Punhuato está situada al oriente del municipio de Morelia (Fig. 1), con una altitud entre 1850 y 2300 m snm (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' Latitud Norte y 101° 08', y 101° 07' Longitud Oeste. El área destinada para el Jardín Botánico se encuentra a partir de los 1900 m snm y tiene una extensión de 47 has (Cabeza 2004). Por su elevación (2300 m snm), el Punhuato es el quinto cerro más alto que se encuentra en el municipio (Madrigal-Sánchez y Guridi 2002).

El clima del municipio de Morelia es: Cb (w<sub>1</sub>) (w) (i') g, templado subhúmedo con lluvias en verano (el más húmedo de los subhúmedos) y lluvia invernal menor al 5% de la precipitación total anual. La temperatura media anual es de 17.7°C (media máxima 32.6°C en mayo, media mínima 4.8°C en enero), el verano es fresco y largo con oscilación térmica entre 5.0 y 7.0°C. El mes más caliente se presenta antes de que inicie la temporada de lluvias, generalmente en junio. La precipitación total anual es de 765 mm. Los vientos predominantes provienen del suroeste y sur del municipio, son variables en los meses de julio, agosto y octubre, con intensidades de 2 a 14.5 y de 14 a 25 km/h (Carrillo y Cisneros 1995).



**Figura 1.** Ubicación del Cerro Punhuato al oriente de la ciudad de Morelia.

El Cerro Punhuato, debido a su cercanía con la ciudad, presenta diversos disturbios antrópicos como deforestación, introducción de especies exóticas y el efecto potencial de la isla de calor urbano de la ciudad de Morelia. Particularmente la deforestación ha ocasionado que los remanentes de vegetación de matorral subtropical y de bosque de encino se



encuentren aislados y se espera que la influencia de la Isla de Calor Urbana sea cada vez más evidente conforme crezca la mancha urbana, influyendo ambas en las condiciones climáticas del cerro, las cuales actualmente son diferentes a las históricas.

Este panorama representa un reto para los esfuerzos de restauración, los cuales deben ser considerados al momento de diseñar la estrategia para restaurar el matorral subtropical y el bosque de encino y posiblemente para la reintroducción de especies en el área destinada al Jardín Botánico Punhuato, así como en la reforestación o restauración en zonas urbanas o bajo su influencia, debido a la modificación climática antes mencionada y al incremento de la superficie cementada de las zonas urbanas.

## CAPÍTULO 2

### **Ensayo piloto de establecimiento de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* en un gradiente altitudinal**

En el área natural protegida Cerro Punhuato desconocemos cuáles son las zonas propicias para la reintroducción, establecimiento y crecimiento de especies nativas del matorral subtropical y del encinar, debido al incremento en la temperatura de la ciudad de Morelia. Por ello, en el área en que se planea restaurar los tipos de vegetación antes mencionados, es conveniente evaluar el desempeño de las especies a introducir bajo las condiciones climáticas actuales, con la finalidad de determinar cuáles son las zonas óptimas para su reintroducción.

El presente ensayo tuvo como objetivo evaluar la dinámica de la supervivencia, durante la primera temporada de crecimiento, de dos especies nativas: *Ceiba aesculifolia*, perteneciente al matorral subtropical y *Quercus castanea*, elemento del bosque de encino, en un gradiente altitudinal en el Cerro Punhuato, así como identificar algunas de las posibles limitaciones para la reintroducción de plantas a mayor escala en esta área natural protegida.

#### 2.1 MÉTODOS

##### *2.1.1 Diseño experimental*

El ensayo se realizó de agosto del 2005 a junio del 2006, con 90 plántulas de *Ceiba aesculifolia* de seis meses de edad. La propagación de estas plántulas se inició en febrero de 2005 en contenedores grandes de plástico rígido (Broadway Plastics de México APB) con volumen de 350 cm<sup>3</sup>, se utilizó como sustrato creci-root® (medio sintético comercial a base de fibra de coco, corteza de árbol, fertilizante de liberación prolongada y agrolita) y arena (1:1). Se establecieron 88 plántulas de *Quercus castanea* que fueron donadas por el Gobierno

del Estado de Michoacán, los individuos donados tenían una edad de dos años al momento de establecer el ensayo.

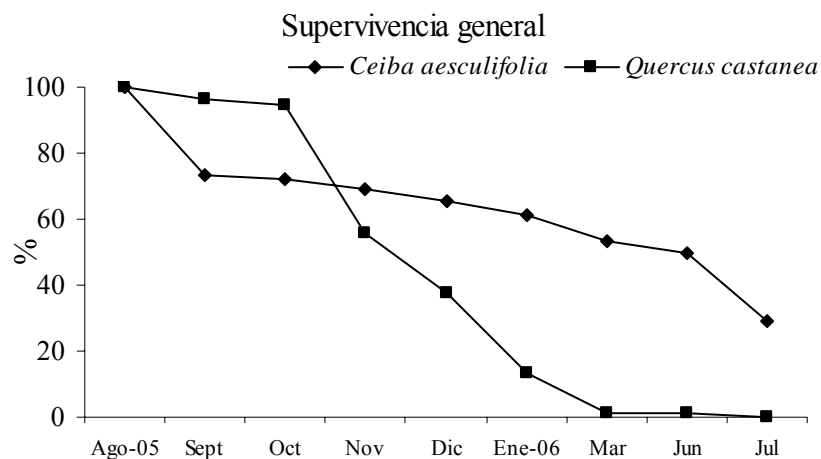
En agosto de 2005 se trasplantaron 178 individuos al Cerro Punhuato, para tal efecto se establecieron 5 cotas altitudinales; 2120, 2130, 2144, 2165 y 2195; en cada una se estableció una parcela de  $6 \times 6$  m y se plantaron 18 individuos de cada especie por parcela (salvo en la cota de los 2130 y 2144 m snm donde el número de encinos fue de 17). Los individuos se plantaron con una separación de un metro entre sí, siguiendo un diseño de cuadro latino. La evaluación de la supervivencia se realizó mensualmente, septiembre de 2005 a enero de 2006, en la temporada de secas las visitas se realizaron cada dos meses; en julio de 2006 se realizó el último muestreo.

### 2.1.2 Análisis estadístico

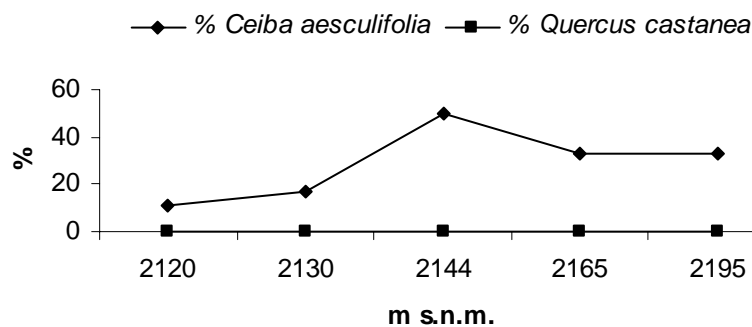
Para evaluar el desempeño de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea*, los datos se sometieron a un análisis de supervivencia (GLM) con el paquete estadístico S-Plus (Statistical Sciences 1999). Este análisis, no paramétrico, se utilizó debido a que las plántulas se encuentran identificadas y mapeadas de forma individual. También se realizó un análisis de devianza, con el mismo paquete estadístico, para probar el posible efecto de la altitud en la supervivencia.

## 2.2 RESULTADOS

Se encontró una mortalidad inicial del 3% para ceibas y 1% para encinos, debido al efecto de trasplante. Las ceibas presentaron un mayor porcentaje de supervivencia (15%) al final de los 11 meses de este ensayo (Fig. 2), mientras los encinos presentaron una mortalidad del 100%; la mayoría sólo sobrevivieron cinco meses después de la plantación (Cuadro 1). Respecto al gradiente altitudinal, la respuesta de las ceibas fue mejor a los 2144 m (Fig. 3).



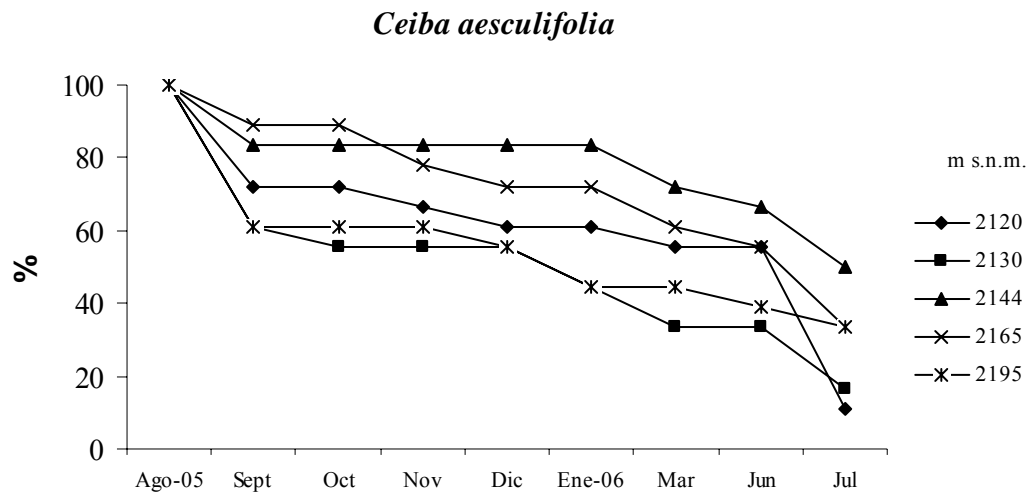
**Figura 2.** Comportamiento de la supervivencia de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* durante los 11 meses de estudio.



**Figura 3.** Porcentaje de supervivencia final (Julio 2006) por parcela a lo largo del gradiente altitudinal.

### 2.2.1 Supervivencia de Ceiba

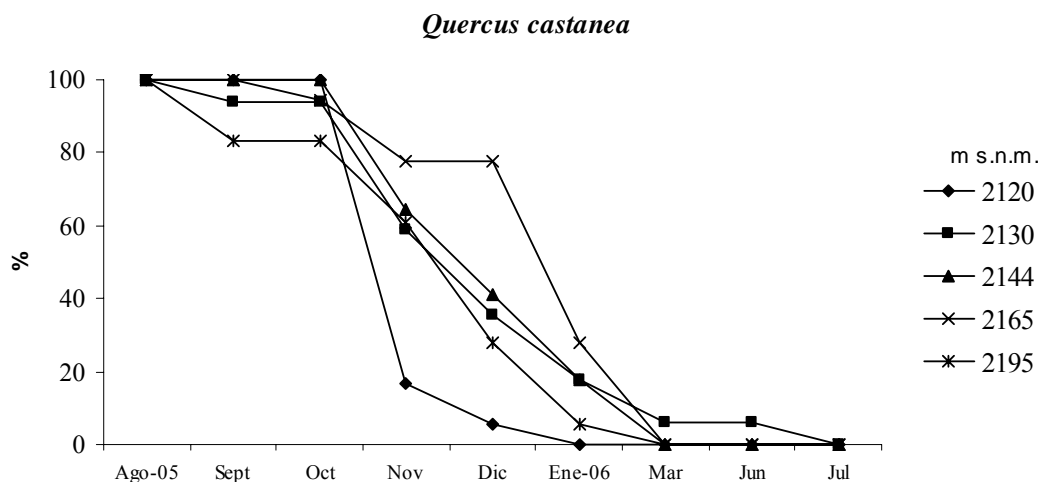
Los análisis mostraron que en las ceibas no hubo diferencia significativa en la supervivencia a distintas altitudes ( $\chi^2 = 7.2$ ,  $gl = 4$ ,  $P = 0.128$ ), en enero se aprecia una diferencia entre los 2130 y 2195 m s.n.m. respecto a las demás, debido a que son las primeras en estar por debajo del 45% de supervivencia. También podemos ver una rápida disminución en la supervivencia al primer mes, la cual posiblemente está relacionada con el estrés causado por el trasplante (Fig 4).



**Figura 4.** Comportamiento mensual de la supervivencia de *Ceiba aesculifolia* por altitud.

### 2.2.2 Supervivencia de Encinos

Los análisis de supervivencia muestran que hubo diferencias significativas entre las altitudes del ensayo ( $\chi^2 = 19$ ,  $gl = 4$ ,  $P < 0.001$ ), y meses; siendo los meses de noviembre ( $P < 0.002$ ), diciembre ( $P < 0.001$ ) y enero ( $P = 0.051$ ) los principales componentes de estas diferencias, debido a que en la altitud de 2120 m la supervivencia fue de 17%, 5.6% y 0% contra 78%, 78% y 28% en la de 2165 m durante noviembre, diciembre y enero. Adicionalmente se observa que la mayor supervivencia ocurrió durante los tres meses siguientes a la plantación (por arriba del 55%), salvo el 17% a los 2120 m snm presentado en el mes de noviembre y después decayó en todas las altitudes (Fig. 5).



**Figura 5.** Comportamiento mensual de la supervivencia de *Quercus castanea* por altitud.

### 2.3 DISCUSIÓN

La baja supervivencia de las ceibas y encinos durante los 11 meses de este ensayo piloto muestra que el primer año es determinante para el establecimiento de las plantas, como se ha reportado en otros trabajos (Castro *et al.* 2004). Este fenómeno ha sido observado en una amplia variedad de ecosistemas, como sitios alpinos (Forbis 2003), árticos (Gartner *et al.* 1983), campos de cultivo abandonados (De Steven 1991), bosques tropicales (Álvarez-Buylla y Martínez-Ramos 1992) y bosques templados (Tanouchi *et al.* 1994), lo que corrobora que plantas con estrategias de historia de vida muy diferentes comparten una etapa muy limitante, el primer año de vida (Forbis 2003).

No se encontraron diferencias en la supervivencia de las ceibas a lo largo del gradiente altitudinal, sin embargo los encinos si mostraron diferencias; en ambos casos no fue posible apreciar un cambio gradual en la supervivencia relacionado con la altitud, al contrario de lo reportado por Kondo y Tsuyuzaki (1999), en el Monte Koma, al norte de Japón, quienes reportan que la densidad de árboles de *Larix kaempferi* (Pinaceae) disminuye gradualmente con la elevación altitudinal, indicando que la supervivencia cambia gradualmente a través del gradiente (Akasaka y Tsuyuzaki 2005).

La supervivencia final de las ceibas fue del 29% y se aprecian dos eventos de mortalidad considerable, en enero y junio, lo que se debe posiblemente a las condiciones climáticas predominantes en las parcelas más que al efecto de la altitud. Estos eventos se concentraron en la temporada invernal y al final de la temporada de secas. No existen, hasta la fecha estudios que permitan hacer comparaciones con respecto a la supervivencia de ésta especie. Una búsqueda bibliográfica en el Science Citation Index ([http://apps.isiknowledge.com/summary.do?qid=3&product=UA&SID=3CgI6c%402ao332A02apN&search\\_mode=GeneralSearch](http://apps.isiknowledge.com/summary.do?qid=3&product=UA&SID=3CgI6c%402ao332A02apN&search_mode=GeneralSearch)) sobre *Ceiba aesculifolia* sólo muestra 10 trabajos, que

son sobre polinización, manejo, patógenos y sobrevivencia de semillas. No hay trabajos sobre desempeño de plántulas

La alta mortalidad que presentó *Quercus castanea* en nuestro ensayo, coincide con lo reportado por Tyler *et al.* (2006) para los encinos costeros y del valle de California, Estados Unidos, cuya mortalidad es excepcionalmente alta durante el primer y segundo año de vida. Adicionalmente a la nula supervivencia del encino, nuestros resultados muestran una concentración de la mortalidad a partir de enero, temporada invernal y seca del año, la cual podría ser el factor limitante en el establecimiento de este encino durante la primera temporada de crecimiento. Esta alta mortalidad estacional también ha sido reportada para *Quercus rugosa* en el volcán del Ajusco, México, durante la germinación y el primer año de establecimiento (Bonfil 2006).

En el caso de los encinos, se conocen poco los factores que limitan el establecimiento de plántulas, la supervivencia y la manera en que los tratamientos y los sitios influyen en ellos, pero los años con baja precipitación se han reportado frecuentemente como limitantes para el establecimiento de plantas de este género (Pulido 2002, Tyler *et al.* 2006)

Nuestros resultados sugieren que fueron los factores abióticos, más que los bióticos, los que influyeron en la supervivencia de ceiba y encino en nuestro sitio de estudio, ya que durante el desarrollo del ensayo no se observó un efecto considerable de la herbivoría. En otras localidades la herbivoría es un factor importante en la supervivencia de encinos, durante diferentes fases de su desarrollo, desde la pre-dispersión hasta el establecimiento (Pulido 2002, Bonfil 2006, Tyler *et al.* 2006,).

Vale la pena considerar otros factores abióticos además de la altitud, para tratar de explicar la supervivencia registrada en el Cerro Punhuato, porque no se apreció una clara relación entre la supervivencia y dicho factor. Para ello es recomendable explorar un intervalo altitudinal mayor, considerando la temperatura, el tipo de suelo, la exposición a la urbanización y la orientación de las parcelas, así como disminuir lo más posible el efecto del estrés asociado al evento de plantación. Esto permitirá establecer con mayor detalle los factores limitantes para la supervivencia de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* en el Cerro Punhuato, lo que serviría de base para diseñar una estrategia de restauración del matorral subtropical y del bosque de encino adecuada a las condiciones climáticas actuales del cerro.



## CAPÍTULO 3

### **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**

Conocer la relación sitio-supervivencia en un gradiente altitudinal, así como la manera en que las especies responden a las limitaciones tanto bióticas como abióticas que pudieran existir a lo largo del mismo, es particularmente importante en montañas cercanas a las ciudades debido a la influencia que éstas tienen en el clima de sus regiones circundantes, 3 °C entre las zonas urbanas y rurales (Oke *et al.* 1999, Tereshchenko y Filonov 2001, Jáuregui 2005), además de la heterogeneidad climática existente en las montañas (Hampe y Arroyo 2002, Tyler *et al.* 2006, Turbina 2006). Estas condiciones podrían estar generando que las limitaciones que pudieran existir sean más severas ahora que en el pasado.

Entre las principales limitaciones resultantes del ensayo piloto tenemos: una alta mortalidad en la temporada de secas e invernal, así como la imposibilidad de apreciar un cambio gradual en la supervivencia de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* relacionado con la altitud. Debido a ello, se diseñó un experimento en un rango altitudinal más amplio para determinar el efecto de la altitud, en el desempeño temprano de las especies a introducir, así como su interacción con otros factores abióticos,

En este experimento evalué la respuesta, a través del desempeño (entendido como supervivencia y crecimiento), de las especies nativas *Ceiba aesculifolia* -del matorral subtropical- y *Quercus castanea* -del bosque de encino-, a las condiciones climáticas actuales en un gradiente altitudinal y de orientación de la ladera, con la finalidad de definir las áreas más adecuadas para restaurar el matorral subtropical y encinar en el Cerro Punhuato.

Con base en el ensayo piloto, generé dos hipótesis principales para esta sección. La primera, que el desempeño de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* en el Cerro Punhuato responderá al microclima generado por la altitud y la orientación de la ladera. De esta hipótesis se desprende la predicción de que *C. aesculifolia* tendrá un mejor desempeño en áreas relativamente más cálidas y con temperaturas mínimas menos severas y *Q. castanea* en las áreas con menor temperatura promedio. En la segunda, debido a que las condiciones microclimáticas responden a diversos factores, incluyendo el clima regional, se espera que las condiciones para el mejor desempeño de *C. aesculifolia* y *Q. castanea* se encontraran desplazadas respecto a su distribución altitudinal máxima reportada, debido al efecto de calentamiento del clima regional producido por la mancha urbana.

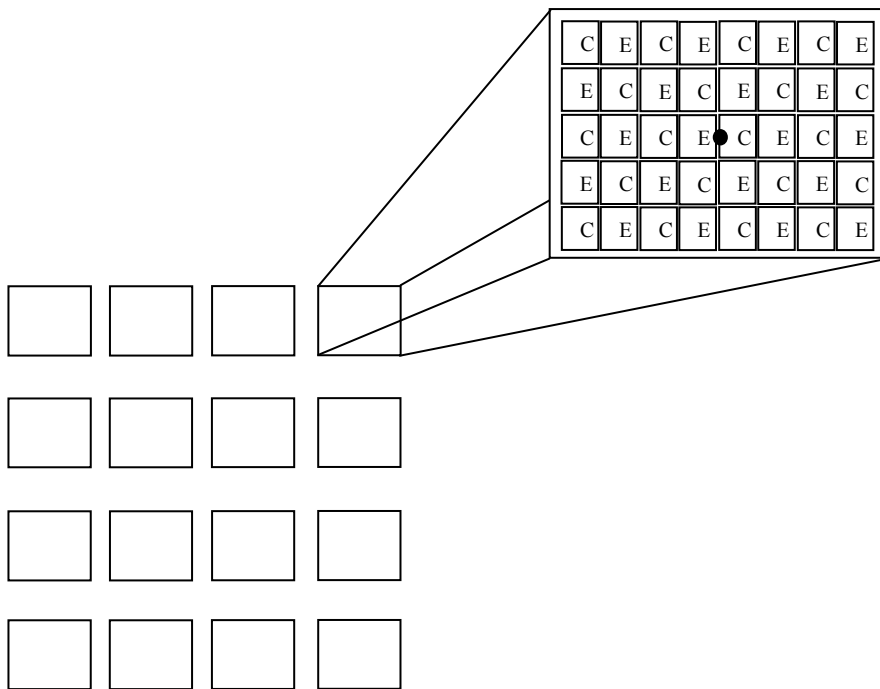
### 3.1 MÉTODOS

#### 3.1.1 *Diseño experimental*

El presente experimento se realizó de julio del 2006 a julio de 2007, se establecieron 16 parcelas, cuatro en cada una de las siguientes cotas altitudinales: 2170, 2200, 2230 y 2260 m snm, para ampliar el intervalo altitudinal al que las especies seleccionadas fueron sometidas originalmente (Fig. 6). A lo largo de cada cota altitudinal, cada parcela estuvo separada 22 m de las contiguas. De esta manera se estableció un gradiente de orientación, de Norte a Sur, en cada cota altitudinal. Para la plantación, en cada parcela de 5 × 8 m, se siguió un diseño de cuadro latino con 20 individuos por especie, 40 plantas por parcela en total. Las plantas se colocaron de 1 a 1.5 m de distancia entre sí al azar (Fig. 7), con la finalidad de evitar un patrón regular no deseable en la zona de restauración y conservación del Área Natural Protegida Cerro Punhuato. En total se plantaron 640 individuos, 320 de cada especie.



**Figura 6.** Localización de las parcelas por cota altitudinal en el Cerro Punhuato. Las cotas altitudinales, de izquierda a derecha, 2170, 2200, 2230, 2260 msnm.



**Figura 7.** Diseño de cuadro latino realizado en cada una de las parcelas. El punto negro indica la localización del registrador de temperatura. La letra **C** hace referencia a un individuo de *Ceiba aesculifolia*, la letra **E** a un individuo de *Quercus castanea*.

Adicionalmente, en 2005 se ubicaron las poblaciones de ceiba y encino en el Cerro Punhuato para colectar semillas del sitio. La colecta de semillas para las ceibas se realizó en los meses de diciembre de 2005 y enero de 2006. Para germinarlas se usaron charolas de germinación con envases rígidos de 350 cm<sup>3</sup> (Broadway Plastics de México APB), los cuales se llenaron con un sustrato de creci-root® (medio sintético comercial a base de fibra de coco, corteza de árbol, fertilizante de liberación prolongada y agrolita) y arena (1:1). En cada envase se colocaron 2 semillas (total 1188), se les brindó riego diario hasta la emergencia de las plántulas. A partir de ese momento el riego se realizó cada tercer día para evitar el ataque de hongos. En este sentido se aplicaron tres riegos con una solución de captán (1 gr/l H<sub>2</sub>O), al inicio de la germinación, durante el endurecimiento de las plántulas y previo al montaje del experimento en campo. Los encinos del Punhuato no produjeron bellotas en 2005, por lo cual se obtuvieron ejemplares en viveros locales, cuya procedencia es de la zona de estudio, los cuales tenían tres años al momento del trasplante.

El experimento se montó una vez iniciada la temporada de lluvias en julio de 2006. Para reducir el efecto de trasplante se sustituyeron al mes los individuos muertos. A partir de este momento se procedió a realizar la evaluación de los componentes físicos (orientación, pendiente, temperatura, insolación y humedad) y químicos: pH, materia orgánica, macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio) y nutrientes secundarios (calcio y magnesio) (Miller *et al.* 1998), así como de las variables de respuesta, las cuales fueron supervivencia y crecimiento.

Respecto a los componentes físicos se utilizó una brújula para establecer la orientación y pendiente de cada parcela. La temperatura se midió con registradores HOBO (Onset Corp. Mod. H01-001-01) colocados a 90 cm del suelo, en el centro de cada parcela, los cuales tomaron lecturas cada hora durante el desarrollo del experimento. Para la insolación se realizó

una única medición, a finales del mes de septiembre, con un medidor de radiación fotosintéticamente activa (Apogee BQM-SUN); se tomaron cinco lecturas por parcela, el mismo día, se promediaron y contrastaron con la lectura de un sitio abierto sin cobertura vegetal cercano a cada una de las parcelas. Las lecturas se tomaron al medio día. Se procuró que fuera un día sin nubes o con el menor número de ellas.

Para los componentes químicos del suelo, en cada parcela se colectaron cinco muestras de manera aleatoria, a una profundidad de 20 cm, se homogeneizaron para medir el contenido de humedad y nutrientes. Las muestras se colectaron al finalizar la temporada de lluvias octubre de 2006.

Para el contenido de humedad se utilizó la fórmula:

$$H = [(Ph-Ps/Ph)*100]$$

, donde H = Porcentaje de humedad, Ph = Peso húmedo, Ps = Peso seco.

Las muestras se pesaron en una balanza semi-analítica (OHAUS triple beam 700/800), se colocaron en un horno de secado (Lúmina IHC-41) a 60°C durante una semana. El análisis de nutrientes se realizó en el Laboratorio de Suelos del CBTA 7 de la Ciudad de Morelia. Se usaron los siguientes análisis: Para pH potenciómetro, nitrógeno con el método de digestión Kjeldahl (Wilke 2005), fósforo con Bray y Kurtz P-1, la cual se realiza en suelos ácidos (Frank *et al.* 1998); Para K, Ca y Mg se usó la prueba de Mehlich 3 (Frank *et al.* 1998).

La supervivencia se midió mensualmente de agosto 2006 a julio 2007, se registraron individuos vivos, muertos y daños causados por la herbivoría. Para evitar hacer daño a los individuos presumiblemente muertos se consideró la flexibilidad de la plántula (los individuos muertos no presentaron un tallo flexible) y la coloración del tallo (café en los individuos muertos). Adicionalmente los encinos presentaban un tallo más áspero, mientras que las ceibas presentaron un adelgazamiento en el mismo. Las observaciones mensuales permitieron

registrar los cambios en el vigor de las plantas a través del tiempo, para validarlas se terminó de hacer la evaluación una vez establecida la temporada de lluvias cuando las plantas vivas presentaron rebrotes (Julio 2007).

Para evaluar el crecimiento se midió la altura, el diámetro a la base del tallo y el número de hojas de las plantas al inicio y al final del experimento; en los dos primeros casos el cálculo se realizó mediante la fórmula  $(T_2 - T_1) / T_1$ ; para el número de hojas  $T_2 - T_1$ . Siendo  $T_1$  el inicio del experimento (julio 2006) y  $T_2$  el final (julio 2007). Adicionalmente se evaluó la herbivoría utilizando la categoría de daño propuesta por Dirzo y Domínguez (1995), Cuadro 1, modificándola al hacerla por individuo y no por hojas como inicialmente se propuso.

**Cuadro 1.** Categorías de daño foliar utilizadas para evaluar el nivel de daño por herbivoría por individuo.

Categoría	Porcentaje de daño
0	0
1	1 a 6
2	6 a 12
3	12 a 25
4	25 a 50
5	50 a 100

### 3.1.2 Análisis estadístico

Para evaluar el desempeño de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea*, los datos se sometieron a un análisis de supervivencia (GLM), este análisis no paramétrico se utilizó debido a que las plántulas se encuentran identificadas y mapeadas de forma individual. También se realizó un análisis de devianza, para probar el posible efecto de la altitud en la supervivencia. Para determinar la relación entre las características de las parcelas y la supervivencia se llevaron a cabo análisis de regresión por pasos y a partir de ellos se seleccionaron los factores que mejor se correlacionaron con la supervivencia y el crecimiento. Todos los análisis se realizaron con el paquete estadístico S-Plus (Statistical Sciences 1999).

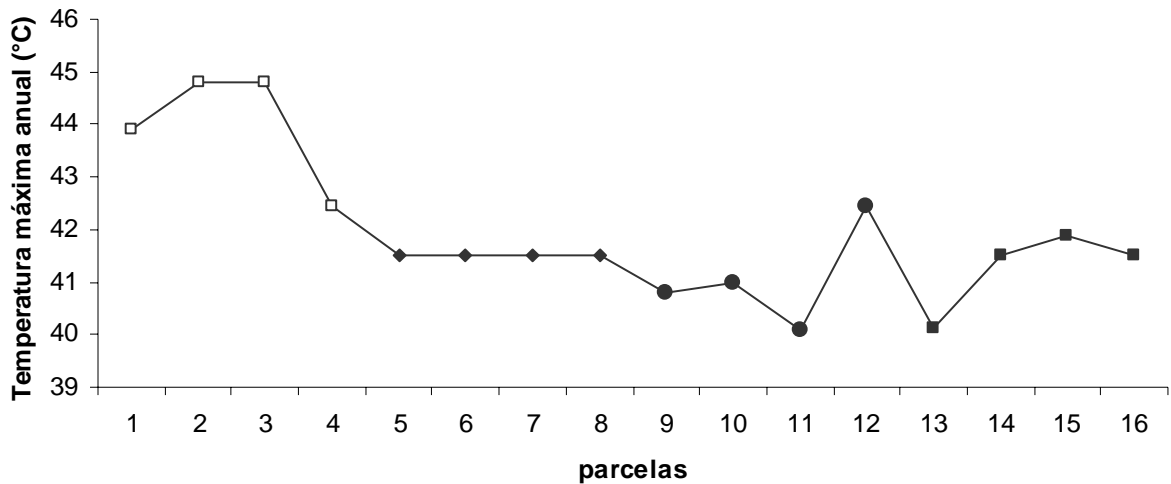
## 3.2 RESULTADOS

### 3.2.1 Descripción de las condiciones físicas de las parcelas

Se apreció una considerable variación en las condiciones físicas predominantes entre cada parcela, producto de la heterogeneidad existente en el sitio de estudio. La variación de la pendiente y la orientación son un reflejo de lo accidentado del terreno, lo que contribuyó a que en cada parcela se presentaron condiciones particulares, principalmente en los valores de insolación y de temperatura máxima anual (Cuadro 2); para esta última se puede apreciar que en las parcelas correspondientes a la altitud más baja se registró en promedio una mayor temperatura (Fig. 8). La humedad promedio de las parcelas es bajo, 18%, a pesar de que se muestreó al final de la temporada de lluvias. El porcentaje de humedad en las parcelas medias (5-9, 10-12) es de 19%, esto es mayor que el de las parcelas más bajas (1-4) y altas (13-16) 16 y 17% respectivamente.

**Cuadro 2.** Condiciones físicas de las parcelas. Donde: **Or** orientación principal de las parcelas, **°Or** grados de orientación de la parcela, **Pend** grados de pendiente, **T** Temperatura promedio anual, **Tmín** Temperatura mínima anual, **Tmáx** máxima anual, **Ins** porcentaje de insolación, **Hum** porcentaje de humedad del suelo.

Parcela	Or	°Or	Pend	T (°C)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Ins (%)	Hum (%)
1	NNO	342	6	17	1.1	44	63	19
2	OSO	260	10	18	1.1	45	27	17
3	SSO	232	44	18	1.1	45	95	16
4	OSO	316	40	18	2	42	79	13
5	NNO	254	14	18.5	1.1	41.5	79	22
6	OSO	208	10	18.5	1.1	41.5	38	16
7	SSO	218	30	18.5	1.1	41.5	61	20
8	SSO	358	24	18.5	1.1	41.5	32	19
9	NNO	236	16	16	0.2	41	61	24
10	OSO	240	24	18	2	41	23	10
11	OSO	234	26	17	0.2	40	77	22
12	OSO	276	20	18.5	2	42	76	19
13	ONO	248	30	17	-0.1	40	98	21
14	OSO	218	22	18	1.1	41.5	62	12.5
15	SSO	228	22	17	1.1	42	60	17
16	OSO	228	22	18	0.7	41.5	81	17



**Figura 8.** Gráfica de las temperaturas máximas por parcela en cada cota altitudinal. Donde: 2170 —□— , 2200 —◆— , 2230 —●— , 2260 —■—.

La textura del suelo encontrado en las parcelas es: arena (56%), limo (24%) y arcilla (20%). Respecto a las condiciones químicas predominantes en las parcelas se encuentran suelos cuyo pH es predominantemente ácido (4.7 – 5.0), salvo en la parcela 16, la cual es moderadamente ácido, 5.1 (Cuadro 3). En términos de los nutrientes (Cuadro 3), destaca la parcela tres por presentar los valores más bajos del análisis. También encontramos poco cambio en variables como la materia orgánica, siendo todas las parcelas extremadamente ricas, así como en nitrógeno aprovechable; mientras que el fósforo asimilable fue extremadamente pobre en todas las parcelas, principalmente en las más altas. En el caso de los nutrientes secundarios, el magnesio presentó valores entre medio y medio rico, el potasio presentó mayor variación, de pobre a medio rico y el calcio osciló entre medio pobre a medio rico.

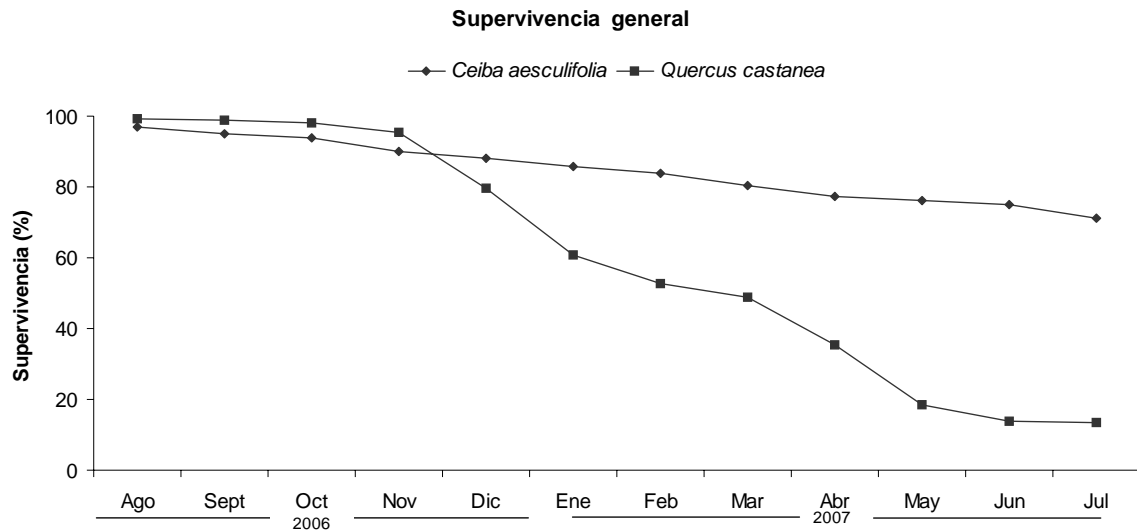


**Cuadro 3.** Condiciones químicas de las parcelas. Donde: **MO** porcentaje de materia orgánica, **N** Nitrógeno aprovechable, **P** Fósforo asimilable, **K** Potasio, **Ca** Calcio, **Mg** Magnesio.

<b>Parcela</b>	<b>pH</b>	<b>MO (%)</b>	<b>N</b>	<b>P (kg/ha)</b>	<b>K (kg/ha)</b>	<b>Ca (kg/ha)</b>	<b>Mg (kg/ha)</b>
1	4.8	6.4	160	15.2	208.8	2124	234
2	4.7	6.5	162	9.6	177.2	2323	222
3	4.7	6.2	149	6.4	208	2384	194
4	4.9	7	176	6.3	159.6	2192	242
5	5	6.8	170	11.3	198.8	2229	238
6	4.9	6.6	167	11.6	233.6	2050	234
7	4.8	6.6	166	15.3	236.8	2028	201
8	4.9	7.4	176	11.3	197	2128	223
9	5	6.9	173	13.2	161.2	2221	211
10	5	6.3	158	11.2	232.2	2131	223
11	5	7.1	179	4.4	177.6	2050	184
12	5	7.4	185	5.3	252.8	2084	201
13	5	7.1	179	2.8	204	2121	222
14	4.9	6.8	172	5.9	198	1724	204
15	5	6.8	172	9.2	186	1884	298
16	5.1	7.2	180	9.6	172	3124	204

### 3.2.2 Supervivencia de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea*: análisis de supervivencia no paramétricos.

En conjunto, la supervivencia de las dos especies manejadas en el experimento al final del ciclo anual fue del 42%. Las ceibas presentaron el mayor porcentaje de supervivencia con un 71% contra el 13.5% de los encinos. Se aprecia una tasa constante de mortalidad para ambas especies, en la que se aprecian una marcada mortalidad para ceibas, entre octubre y noviembre así como entre febrero y marzo; para encinos entre noviembre y enero, así como entre marzo y mayo (Fig. 9, Cuadro 4).

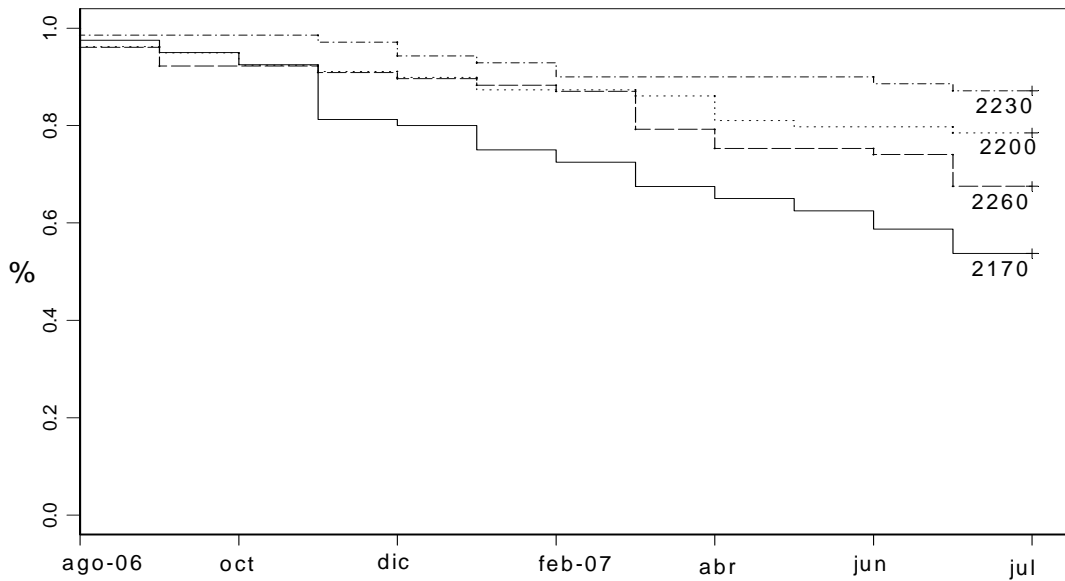


**Figura 9.** Comportamiento de la supervivencia de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* durante los 12 meses del estudio.

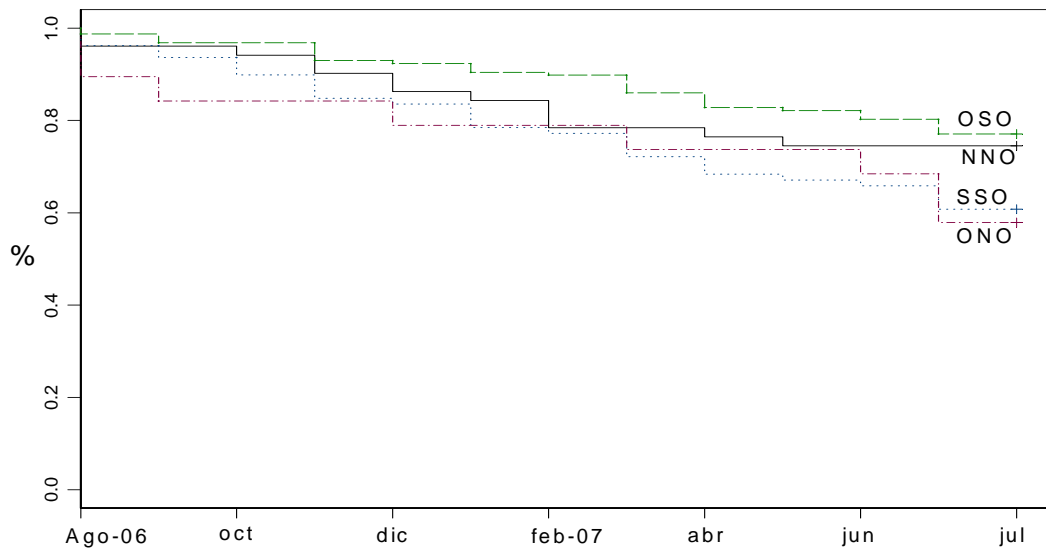
**Cuadro 4.** Porcentaje final de supervivencia de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea*.

% mensual	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
<i>Ceiba</i>												
<i>aesculifolia</i>	97	95.1	94	89.9	88.2	85.6	84	80.4	77.5	76.1	74.8	71.2
<i>Quercus</i>												
<i>castanea</i>	99	98.7	98	95.3	79.6	60.7	52.8	48.7	35.5	18.6	13.8	13.5

Las ceibas respondieron tanto a la altitud como a la orientación de las parcelas. El análisis de supervivencia muestra una diferencia significativa para la altitud ( $\chi^2 = 23.1$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.00004$ ), presentándose la mayor supervivencia a 2230 m, mientras que a 2170 m snm se presentó la menor (Fig. 10). Respecto a la orientación, se aprecia una diferencia entre las orientaciones con mayor supervivencia, OSO y NNO, y las parcelas donde la supervivencia fue menor SSO y ONO ( $\chi^2 = 2.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.025$ ) (Fig. 11).



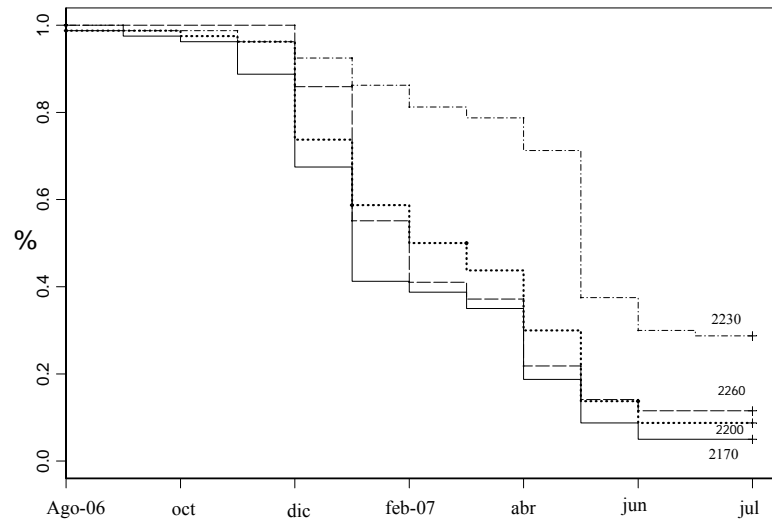
**Figura 10.** Curva de de supervivencia de *Ceiba aesculifolia* para diferentes altitudes (m snm). El eje  $y$  es el porcentaje de supervivencia. El valor 1.0 representa el 100%.



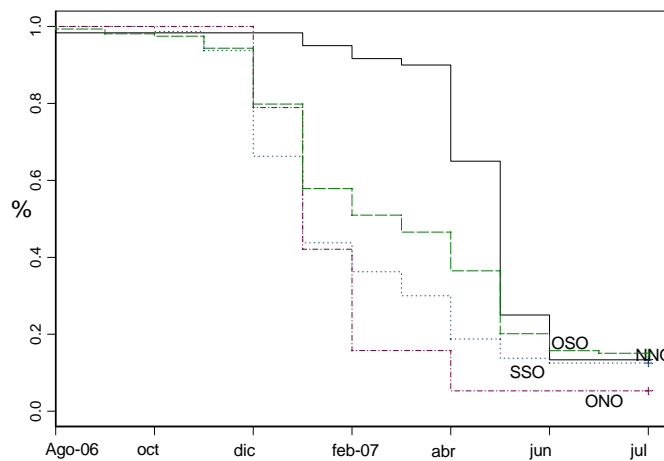
**Figura 11.** Curva de supervivencia de *Ceiba aesculifolia* con respecto a la orientación de las parcelas. El eje  $y$  es el porcentaje de supervivencia. El valor 1.0 representa el 100%.

El porcentaje de supervivencia de los encinos fue en general bajo; a 2 230 m snm se registró el mayor porcentaje de supervivencia. Una vez realizado el análisis correspondiente, se aprecia que hubo una respuesta de los encinos a la altitud, así como a la orientación. En el

caso de la altitud, la diferencia fue significativa entre las parcelas de mayor y menor elevación ( $\chi^2 = 46.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P < 0.001$ ; Fig. 12). Respecto a la orientación, se aprecia una clara diferencia entre exposiciones OSO, NNO, SSO, las de mayor supervivencia, con respecto a ONO ( $\chi^2 = 25.3$ ,  $gl = 3$ ,  $P = 0.0000131$ ; Fig. 13).



**Figura 12.** Curva de supervivencia de *Quercus castanea* para diferentes altitudes (m snm). El eje  $y$  es el porcentaje de supervivencia. El valor 1.0 representa el 100%.



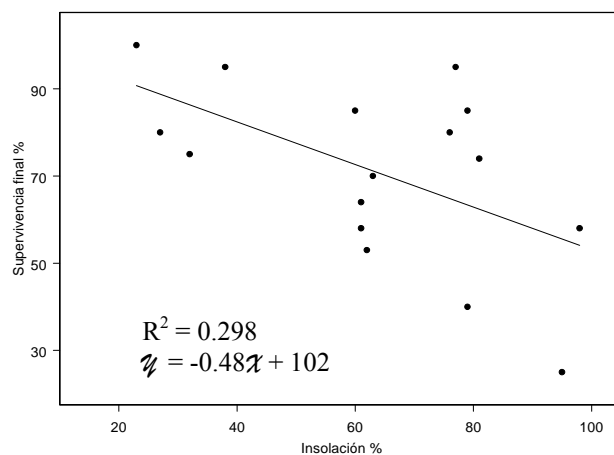
**Figura 13.** Curva de supervivencia de *Quercus castanea* con respecto a la orientación de las parcelas. El eje  $y$  es el porcentaje de supervivencia. El valor 1.0 representa el 100%.

### 3.3 FACTORES ASOCIADOS CON LA SUPERVIVENCIA Y CRECIMIENTO DE *CEIBA AESCULIFOLIA* Y *QUERCUS CASTANEA*: ANÁLISIS DE REGRESIÓN

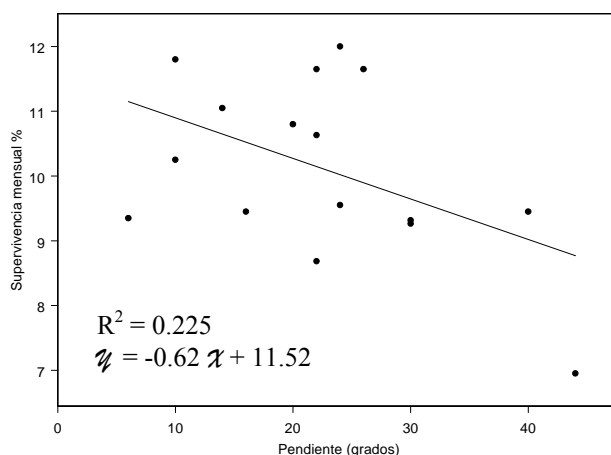
Los factores seleccionados para el análisis fueron la altitud, la orientación, la pendiente, la temperatura (máxima, mínima y promedio), la insolación, la humedad, el pH, la materia orgánica y el fósforo. Los restantes no se incluyeron en el análisis debido a que no presentaron relación con la supervivencia ni el crecimiento.

#### 3.3.1 Ceibas

El número de ceibas que sobrevivieron al final del experimento (12 meses) aumentó conforme disminuyó la insolación de las parcelas ( $F_{[1,14]} = 5.954$ ,  $R^2 = 0.298$ ,  $P = 0.03$ ; Fig. 14) y aumentó en sitios cuya pendiente fue menor (Fig. 15), aunque este efecto fue marginalmente significativo ( $F_{[1,14]} = 4.07$ ,  $R^2 = 0.225$ ,  $P = 0.06$ ).

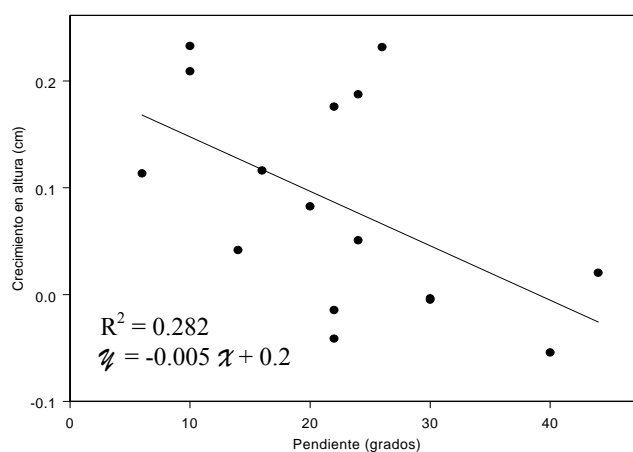


**Figura 14.** Relación entre la supervivencia final de *Ceiba aesculifolia* con respecto a la insolación después de un año de establecido el ensayo ( $R^2 = 0.298$ ,  $y = -0.48x + 102$ ).

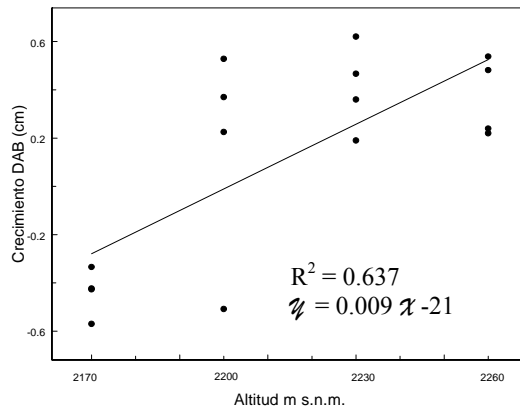


**Figura 15.** Relación entre la supervivencia mensual de *Ceiba aesculifolia* con respecto a la pendiente después de un año de establecido el ensayo ( $R^2 = 0.225$ ,  $\mathcal{Y} = -0.62 \mathcal{X} + 11.52$ ).

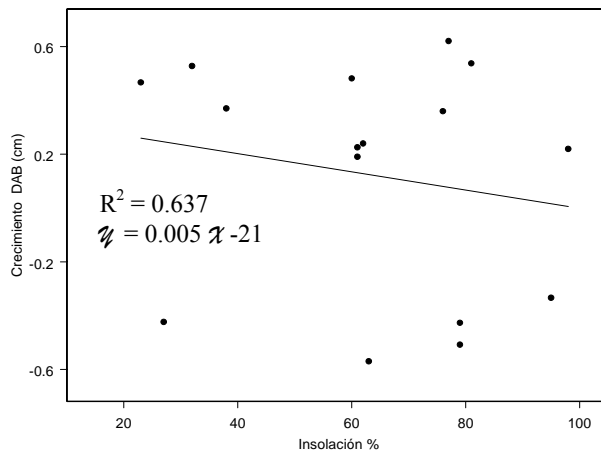
Se detectan frecuencias altas de crecimiento negativo, lo que indica que hubo un alto número de ceibas en las que el ápice murió pero que rebrotaron, por lo tanto la altura inicial fue mayor que la final. Esta diferencia respecto al crecimiento se presentó también en el DAB, por ser la raíz y la parte baja del tallo un sistema de almacenamiento de agua. Los análisis de regresión indican que el crecimiento en altura de las ceibas fue menor conforme aumentó la pendiente ( $F_{[1,14]} = 5.503$ ,  $R^2 = 0.2822$ ,  $P = 0.03$ ; Fig. 16). Respecto al diámetro, éste se incrementa a medida que aumenta la altitud (Fig. 17) y disminuye la insolación ( $F_{[2,13]} = 11.44$ ,  $R^2 = 0.6376$ ,  $P = 0.0014$ ; Fig. 17a).



**Figura 16.** Relación entre el crecimiento en altura (cm), de los individuos de *Ceiba aesculifolia* con respecto a la pendiente, después de un año de establecido el ensayo ( $R^2 = 0.282$ ,  $\mathcal{Y} = -0.005 \mathcal{X} + 0.2$ ).



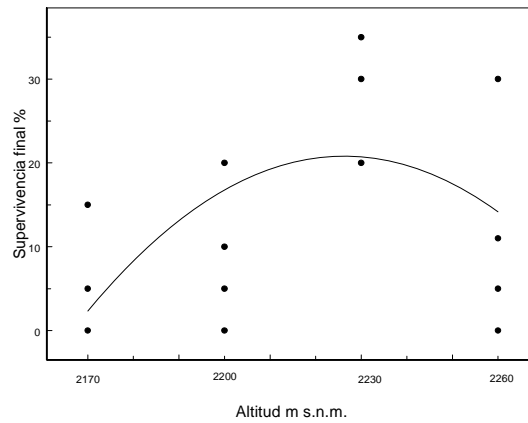
**Figura 17.** Relación entre el crecimiento de *Ceiba aesculifolia* en diámetro basal (cm), con respecto a la altitud ( $R^2 = 0.637$ ,  $\eta = 0.009$   $\chi$  -21), después de un año de establecido el ensayo.



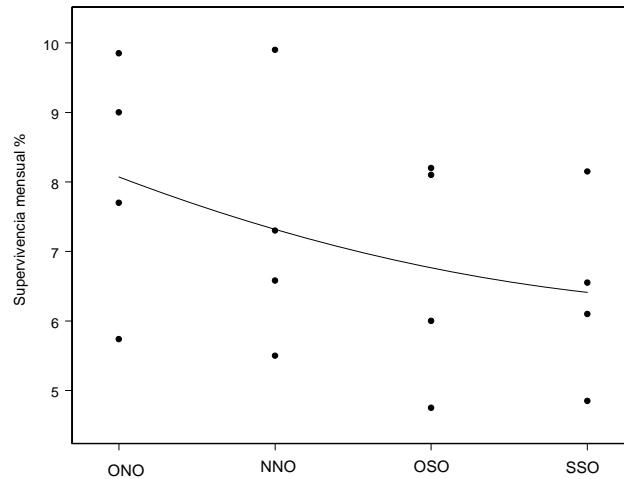
**Figura 17a.** Relación entre el crecimiento de *Ceiba aesculifolia* en diámetro basal (cm), con respecto a la insolación ( $R^2 = 0.637$ ,  $\eta = 0.005$   $\chi$  -21), después de un año de establecido el ensayo.

### 3.3.2 Encinos

Respecto a la supervivencia de los encinos, las altitudes medias presentaron las mejores proporciones de individuos vivos respecto a las demás ( $F_{[3,12]} = 3.433$ ,  $R^2 = 0.4619$ ,  $P = 0.05$ ; Fig. 18). La evaluación mensual muestra que las altitudes medias con orientación norte presentaron una mayor supervivencia, lo que se refleja en que el mejor ajuste se obtiene con una ecuación de segundo orden ( $F_{[3,12]} = 3.638$ ,  $R^2 = 0.4763$ ,  $P = 0.04$ ; Fig. 19).



**Figura 18.** Relación entre la supervivencia final de *Quercus castanea* con respecto a la altitud después de un año de establecido el ensayo.

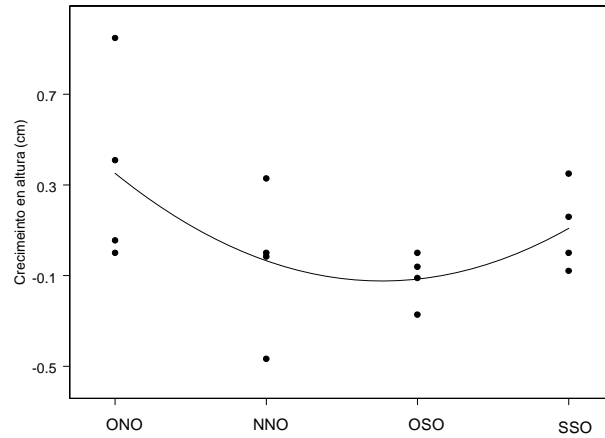


**Figura 19.** Relación entre la supervivencia mensual de *Quercus castanea*, con respecto al gradiente de orientación después de un año de establecido el ensayo.

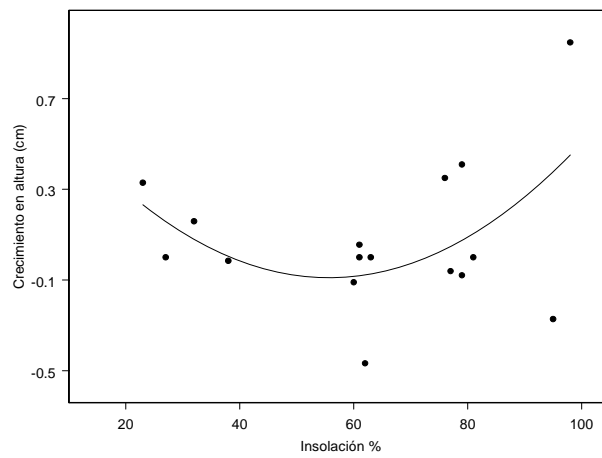
Respecto al crecimiento, tanto en altura como en diámetro basal, podemos observar que respondió a la orientación de las parcelas, los encinos crecieron en las parcelas con orientación norte (Fig. 20). Respecto a la insolación, se aprecia que en los porcentajes cercanos a 20 y 80% presentó mayor crecimiento, el hecho de que a mayor insolación hay mayor crecimiento se debe a un único dato de la parcela 13, en donde se presentó un incremento promedio en altura de casi de un centímetro, por lo cual hay que tomar este dato con reserva ( $F_{[4,11]} = 7.302$ ,  $R^2 = 0.7264$ ,  $P = 0.004$ ; Fig. 20a). El aumento en el diámetro de la



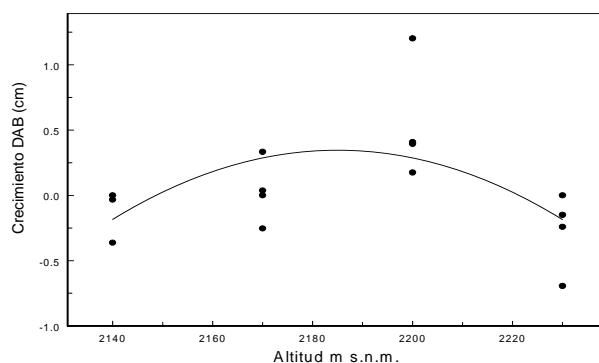
base, fue mayor en las parcelas de localización altitudinal intermedia ( $F_{[2,13]} = 3.336$ ,  $R^2 = 0.3392$ ,  $P = 0.068$ ; Fig. 21).



**Figura 20.** Relación entre el crecimiento, en altura (cm), de *Quercus castanea* con respecto a la orientación al cumplir un año de edad.



**Figura 20a.** Relación entre el crecimiento, en altura (cm), de *Quercus castanea* con respecto a la insolación al cumplir un año de edad.



**Figura 21.** Relación entre el crecimiento de *Quercus castanea*, en diámetro basal (cm), con respecto a la altitud, al cumplir un año de edad.

### 3.4 DISCUSIÓN

El desempeño de *Ceiba aesculifolia* y *Quercus castanea* durante el desarrollo del experimento fue claramente diferente entre las especies, así como entre parcelas para la misma especie. El porcentaje para *C. aesculifolia* fue dos veces mayor al estatal y superior al reportado por Ayala (2008) quien registró un 59% de supervivencia anual. Los resultados no son alentadores para *Q. castanea* al contrastarlos con lo reportado para la misma especie en Guadalajara por De la Peña (2007), quien reporta una supervivencia *ca.* 32%, en sus tratamientos sin manejo, en otro trabajo se encontró una supervivencia de 14.6% de plántulas de un año de *Q. castanea* con exposición total a la radiación y de 32.5% bajo plantas nodriza (Bonfil *et al.* 2000). Para la especie de encino *Quercus rugosa*, se ha reportado un 34% de supervivencia en el Ajusco (Bonfil y Soberón 1999).

La característica más conspicua de la mortalidad en este experimento es su estacionalidad, principalmente en la temporada fría y en la seca del año, lo cual coincide con los resultados del ensayo piloto (2005). Las temperaturas bajas de la temporada fría del año pueden ocasionar tres diferentes tipos de daño a las plantas: a) sequía por congelación, b) el

agua del suelo no se encuentra disponible; c) daño en los vasos conductores, que se debe a la entrada de aire al momento en que estos se descongelan y causa la muerte de tejidos (Terradas 2001). Las temperaturas registradas en el Cerro Punhuato se encuentran lejos de la temperatura de congelación, salvo en cuatro parcelas. Tres de ellas se acercaron a 0°C y una se encontró por debajo (-0.1 °C), este evento se registró durante un breve periodo en el mes de noviembre y ninguno de los eventos fue suficiente en intensidad ni en frecuencia como para causar la muerte de los individuos por las razones antes mencionadas. En el caso de algunos encinos se sabe que presentan una resistencia considerable al frío, por ejemplo la tolerancia de *Q. ilex* va de los -15 a -25 °C (Terradas 2001), pero en los encinos de origen tropical probablemente es menor.

La temporada de secas es particularmente difícil para la supervivencia de muchas especies. En los encinos se ha reportado que la primera temporada de sequía es una barrera considerable para su establecimiento (De La Peña 2007, Bonfil y Soberón 1999). En nuestro caso, la mortalidad de encinos coincide con el final de la temporada de lluvias. Se ha reportado que los años con baja precipitación son otro factor limitante en el establecimiento de encinos, en California EE.UU. (Tyler *et al.* 2006). En nuestro caso, la precipitación registrada a partir del montaje del experimento, en julio 2006 y hasta la última medición en julio 2007, fue de 1026.4 mm, 21% mayor que las registradas en las temporadas de lluvias de la década pasada y 34% mayor que el año anterior, lo que explica la mayor supervivencia de encinos en el 2006 comparado con el 2005. Respecto a la disponibilidad de agua, los análisis de humedad arrojan bajas concentraciones de agua, a pesar de haber tomado las muestras al final de la temporada de lluvias en octubre 2006. Estos resultados no son contundentes debido a que no hubo un muestreo del suelo a lo largo del experimento, esta limitación obedece al diseño del mismo, el cual está enfocado a la interacción de los factores más que a la respuesta fisiológica de las especies.

En esfuerzos de restauración en Guadalajara, el Ajusco y la Meseta Purhépecha también se reporta a la herbivoría como un factor limitante para el establecimiento de encinos y pinos (Bonfil *et al.* 2000, Blanco-García 2005, Bonfil 2006, De La Peña 2007). En nuestro experimento sólo el 2.7% de las Ceibas que murieron fueron visiblemente afectadas por herbivoría de roedores; las marcas dejadas en la base del tallo y la raíz así lo indicaron. Los encinos solamente presentaron herbivoría en las hojas, pero ésta aparentemente no fue suficiente para incidir en la supervivencia de los individuos.

Otros factores que afectaron el establecimiento de las especies fueron la insolación y la pendiente, los cuales no son independientes. El primero, es un factor que puede incidir en el contenido de humedad del suelo, cuando es alta ocasiona una mayor pérdida de agua debido al incremento en la evaporación. En las parcelas con menor insolación hubo una respuesta positiva tanto en la supervivencia final como en el crecimiento (incremento en el DAB). Respecto a la pendiente, Terradas (2001) indica que este factor provoca fluctuaciones en la incidencia solar, ya que, dependiendo de la pendiente y orientación de los sitios, la cantidad de radiación solar incidente será diferente. En nuestros resultados la supervivencia se vio favorecida, al igual que el crecimiento, conforme las pendientes fueron menores.

La supervivencia registrada en el presente experimento respondió de manera significativa a la altitud, pero no a través del gradiente. Resulta interesante el hecho de que las ceibas presentaron la mayor supervivencia 330 m por arriba de la altitud más común para esta especie en el estado (1900 m snm) (Carranza y Blanco-García 2000), desplazamiento que pudo verse favorecido por las altas temperaturas registradas en las parcelas. Respecto a los encinos, la supervivencia y crecimiento respondieron a condiciones particulares de las parcelas (microambiente), esto a pesar de que el experimento se encuentra dentro del rango de

distribución reportada para la especie, lo cual indica que *Quercus castanea* no encuentra condiciones adecuadas para su establecimiento dentro del gradiente altitudinal ensayado.

Se puede proponer que las condiciones abióticas, principalmente el incremento de temperatura debido al efecto conjunto de la isla de calor urbano y la insolación, jugaron un papel considerable en el establecimiento temprano de ceiba y encino en el sitio de estudio. Las ceibas tuvieron un mejor desempeño debido a la mayor tolerancia de esta especie a temperaturas más cálidas y a mayor estrés hídrico. Por el contrario, los encinos respondieron de manera poco favorable ante estas condiciones climáticas, que ocasionaron la alta mortalidad registrada, confinando el área potencial para su reintroducción a las zonas del cerro que le brinden las condiciones de humedad y temperatura óptimas para su desarrollo, principalmente altitudes medias a altas y con orientación norte.

Nuestros resultados sugieren una posible reestructuración de las comunidades vegetales en el Cerro Punhuato, principalmente la potencial sustitución del bosque de encino por matorral subtropical en la ladera sur y por arriba de los 2170 m snm, debido a la modificación de las condiciones climáticas del sitio ocasionada por la influencia de la isla de calor urbano que genera la ciudad de Morelia. Dicha sustitución de vegetación menos tolerante, encinos, por una más tolerante a estrés hídrico y sequía, ya ha sido reportada en el Mediterráneo (Ogaya y Peñuelas. 2003).

A pesar de encontrarnos en la etapa inicial de la generación del conocimiento necesario para la restauración del matorral subtropical y del bosque de encino, los resultados obtenidos y la experiencia en el sitio de estudio permiten suponer que lo obtenido en el experimento refleja la realidad de manera cercana, aunque aun nos encontramos lejos de poder hacer una afirmación categórica al respecto. Es recomendable estudiar la respuesta de

otras especies de matorral subtropical, ya que las condiciones climáticas podrían ser severas incluso para algunas especies de este tipo de vegetación, así como realizar estudios de nodricismo, herviboría y poblacionales, principalmente murciélagos.

En las área del cerro que presentaron condiciones climáticas favorables para la supervivencia de encinos, se sugiere explorar el uso de otras especies del mismo género que presenten mayor tolerancia a la sequía, al igual que la inoculación con micorrizas, así como probar el efecto que tendría el uso de acolchados en la disminución de la evaporación de agua. Estas dos últimas opciones permitirían disminuir los costos adicionales que implica brindar riegos de auxilio, en el sitio de estudio, debido a lo accidentado del terreno y a la limitación que se tiene respecto a la falta de acceso al agua.

Esta primera aproximación al esfuerzo de restauración en el Cerro Punhuato permitió conocer el comportamiento de las especies, las necesidades de información, la posibilidad de reconsiderar la restauración del bosque de encino, al menos en la parte del cerro previamente establecida en los estudios técnicos para la creación del Jardín Botánico Punhuato y considerar la influencia de la isla de calor urbano como un factor limitante para el establecimiento temprano de especies vegetales, principalmente en proyectos de restauración ecológica en zonas urbanas y bajo su influencia. Esto es particularmente interesante porque al conocer la manera en que las especies responden a este fenómeno, podemos establecer acciones adecuadas a las condiciones climáticas actuales del sitio y de esta manera atenuar su efecto, garantizando el establecimiento de especies a un bajo costo, permitiendo el incremento de la superficie vegetal urbana, periurbana y por consiguiente la amortización de la isla de calor, lo que se traduce en mejores condiciones de salud, habitabilidad y confort para la población de las ciudades.

## LITERATURA CITADA

- 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.
- Akasaka, M., y S. Tsuyuzaki. 2005. Tree seedling performance in microhabitats along an elevational gradient on Mount Koma, Japan. *Journal of Vegetation Science* 16:647-654.
- Alvarez-Buylla, E. R., y M. Martínez-Ramos. 1992. Demography and allometry of *Cecropia obtusifolia*, a neotropical pioneer tree: an evaluation of the climax-pioneer paradigm for tropical rain forests. *Journal of Ecology* 80:275-290.
- Antaramián, E. H., y L. E. Múzquiz. 1989. Fluctuaciones y tendencias climáticas en Morelia. *Boletín CIC/UMSNH* 13: 40-51.
- 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.
- Ayala G, J. F. 2008. Desempeño de plantas de tres especies arbóreas en tres unidades de ladera de la estación de restauración Barranca del río Tembembe, Morelos. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional Autónoma de México. 87 pp.
- Barradas, L. V. 2000. Modificación del microclima con énfasis en la conservación y restauración ecológica. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 65: 83-88.
- Barry, R.G., 1992. *Mountain Weather and Climate*, 2nd ed. Routledge, London. En: Zhiyao, T., y Jingyun, F. 2006. Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. *Agricultural and Forest Meteorology* 139: 200-207
- Bello, G., y L. Jean-Noel. 1987. Los encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán, México. Centre d'Études Mexicaines et Centraméricaines, SARH, INIFAP, CEMCA (eds.). México. 97 pp.
- Blanco-García, J. A. 2005. Efecto del esfuerzo de restauración de la vegetación nativa aledaña al volcán Parícutín, Michoacán, México. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas (Biología Ambiental). Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. 53 pp.
- Bonfil, S. C. 2006. Regeneration and population dynamics of *Quercus rugosa* at the Ajusco Volcano, México. *Ecological Studies* 185:155-163. Springer.
- \_\_\_\_\_ y J. Soberón. 1999. *Quercus rugosa* seedling dynamics in relation to its re-introduction in a disturbed Mexican landscape. *Applied Vegetation Science* 2:189-200.
- \_\_\_\_\_, Rodríguez de la Vega, H., y V. Peña Ramírez. 2000. Evaluación del efecto de las plantas nodrizas en el establecimiento de una plantación de *Quercus* L. *Ciencia Forestal en México* 25 (88):59-73

- Cabeza, A. 2004. Plan Maestro para el Jardín Botánico Punhuato.
- 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.
- Carrillo, S. A., y P. S. Cisneros. 1995. Resumen de datos climatológicos en 4 estaciones de Michoacán. Revista Científica Biológicas No.3 Facultad de Biología U.M.S.N.H. Morelia, Michoacán, México.
- Castro, J., Zamora, R., Hódar, J. A., Gómez, J. M., y L. Gómez-Aparicio. 2004. Benefits of using shrubs as nurse plants for reforestation in Mediterranean Mountains: a 4-year study. *Restoration Ecology* 12 (3):352-358.
- Challenger, A. 1998. Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México. Pasad, Presente y Futuro. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Instituto de Biología, UNAM, Agrupación Sierra Madre, S.C. México. 847 pp.
- De La Peña, D. M. 2007. Restauración ecológica en un bosque de Pino-Encino en Jalisco, México: sobrevivencia y crecimiento de plántulas. Tesis de Licenciatura. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 79 pp.
- De Steven 1991. Experiments on mechanisms of tree establishment in old-field succession: seedling survival and growth. *Ecology* 72:1076-1088.
- Dirzo, R y C. Domínguez. 1995. Plant-herbivore interactions in Mesoamerican tropical dry forest. En: Bullock, S.H., Mooney, A. y E. Medina: *Seasonally dry tropical forest*. Cambridge University Press. Cambridge. pp. 304-309.
- Fattorini, M., y S. Halle. 2004. The dynamic environmental filter model: How do filtering effects change in assembling communities alter disturbance?. En: Temperton, V. M., R. J. Hobbs, T. Nuttle y S. Halle (Eds). 2004. *Assembly Rules and Restoration Ecology: Bridging the gap between theory and practice*. Island Press- Society of Ecological Restoration International. 439 pp.
- Forbis, T. A. 2003. Seedling demography in an alpine ecosystem. *American Journal of Botany* 90 (8):1197-1206.
- Frank, K., D. Beegle, y J. Denning. 1998. Phosphorus. En: Denning, J., R. Eliason, R.J. Goos, B. Hooskins, M. V. Nathan, y A. Wolf 1998. *Recommended Chemicals soil test procedures for the North Central Region*. Missouri Agricultural Experimental Station. 72 pp.
- García, E. 1986. *Apuntes de Climatología*. México D.F.
- 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.



- Gartner, B. L., F. S. Chapin., y G. R. Shaver. 1983. Demographic patterns of seedling establishment and growth of native graminoids in an Alaskan tundra disturbance. *Journal of Applied Ecology* 20:965-980.
- Gian-Rethro, W. 2003. Plants in a Warmer World. *Perspectives in plant ecology, Evolution and Systematics* 6: 169-185.
- Hampe, A., y J. Arroyo. 2002. Recruitment and regeneration in populations of an endangered South Iberian Tertiary relic tree. *Biological Conservation* 107:263-271.
- Harper, J. L. 1977. *Population biology of plants*. Academic Press. London. En: Arista, M. 1993. Supervivencia de las plántulas de *Abies pinsapo Boiss*, en su hábitat natural. *Anales del Jardín Botánico de Madrid* 51:193:198.
- Harris, J. A., R. J. Hobbs, E. Higgs, y J. Aronson. 2006. Ecological restoration and global climate change. *Restoration Ecology* 14:170-176.
- Jáuregui, E. 2005. Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México. *Atmósfera* 18 (4):247-248
- \_\_\_\_\_. 1997. Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment* 31 (22): 3821-3831.
- Kaul, R. B. 1985. Reproductive morphology of *Quercus* (Fagaceae). *American Journal of Botany* 72(12): 1962-1977.
- Kondo, T., y S. Tsuyuzaki. 1999. Natural regeneration patterns of the introduced larch *Larix kaempferi* (Pinaceae), on the volcano Mount Koma, northern Japan. *Diversity Distribution* 5:223-233.
- 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.
- Lavendel, B. 2003. Ecological restoration in the face of global climate change: obstacles and initiatives. *Ecological Restoration* 3(21): 207-209.
- León, CH. 1998. Evaluación climático-ambiental del espacio urbano de Morelia, periodo 1941- 1990. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras Colegio de Geografía. UNAM. 134 pp.
- Liang, S. Y., y S. W. Seagle. 2002. Browsing and microhabitat effects on riparian forest woody seedling demography. *Ecology* 83:212-227.
- Madrigal- Sánchez, X. 1997. Ubicación fisiográfica de la vegetación en Michoacán, México. *Ciencia Nicolaita* 15:65-75.
- \_\_\_\_\_, y L. I. Guridi, 2002. Los árboles silvestres del Municipio de Morelia, Michoacán. México. *Ciencia Nicolaita* 33:29-58.
- Miller, R. W., D. T. Gardiner, y J. U. Miller (Eds). 1998. *Soils in our Environment*. Prentice Hall. 763 pp.

- Ogaya, R., y J. Peñuelas. 2003. Comparative field study of *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*: photosynthetic response to experimental drought conditions. *Environmental and Experimental Botany* 50: 137-148.
- Oke, T. R., R. A. Spronken-Smith, E. Jáuregui, y C.S.B. Grimmond. 1999. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric Environment* 33: 3919-3930.
- Pennington, T. D., y J. Sarukhán. 1998. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. Ediciones Científicas Universitarias. Texto Científico Universitario. Universidad Nacional Autónoma de México. Fondo de Cultura Económica. México. 521 pp.
- Periódico Oficial del Gobierno Constitucional del Estado de Michoacán de Ocampo. Miércoles 26 de Enero del 2005 TOMO CXXXV Morelia, Mich., NUM. 38
- Pulido, F. J. 2002. Biología reproductiva y conservación: el caso de la regeneración de bosques templados y subtropicales de robles (*Quercus* spp.). *Revista Chilena de Historia Natural* 75:5-15.
- Ramanujan, K. 2004. Urban heat islands make cities greener. URL [http://www.eurekalert.org/pub\\_releases/2004-07/nsfc-uhi072904.php](http://www.eurekalert.org/pub_releases/2004-07/nsfc-uhi072904.php)
- Rzedowzky , G.C. de, J. Rzedowsky 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 pp.
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (SER). 2004. The SER Primer for Ecological Restoration. <http://www.ser.org>.
- Srutek, M., y J. Leps. 1994. Variation in structure of *Larix olgensis* stands along the altitudinal gradient on Paektusan Changbai-shan, North Korea. *Arctic and Alpine Research* 26:166-173.
- Statistical Sciences (1999) S-Plus, Version 2000 for Windows. Mathsoft Inc. Seattle Washington, USA.
- Tanouchi, J., T. Sato., y K.Sateshita. 1994. Comparative studies on acorn and seedling dynamics of four *Quercus* species in an evergreen broad-leaved forest. *Journal of Plant Research* 107:153-159. En: Forbis, T. A. 2003. Seedling demography in an alpine ecosystem. *American Journal of Botany* 90 (8):1197-1206.
- 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
- Terradas, J. 2001. Ecología de la vegetación. Ediciones Omega. Barcelona. 703 pp.

- Titus, J. H., y R. del Moral. 1998. Seedling establishment in different microsites on Mount St. Helens, Washington. *Plant Ecology* 134:13-26.
- Turbina, M. R. 2006. Distribution of plants differing in attitude toward thermal conditions in communities of the timberline ecotone on Mount Iremel, the Southern Urals. *Russian Journal of Ecology* 37 (5):306-315.
- Tyler, C. M., Kuhn, B., y F. W. Davis. 2006. Demography and recruitment limitations of three oak species in California. *The Quarterly Review of Biology* 81 (2): 127-152.
- Valencia, A. S. 2004. Diversidad del Género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México* 75: 33-53.
- Valencia, A. S., M. Gómez – Cárdenas, y F. Becerra – Luna. 2002. Catálogo de encinos del estado de Guerrero, México. Libro Técnico No.1 INIFAP – CENID COMEF. México. 180 pp.
- Vargas, G. U. 2006. Cambios del entorno ecológico de Valladolid-Morelia. Una perspectiva desde la historia ambiental. En: Tapia, E. C., y U. G. Vargas (Eds). 2006. El impacto del desarrollo urbano en los recursos naturales. CIDEM, UMSNH. 161 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.
- Van Andel, J., y J. Aronson (Eds). 2006. *Restoration ecology the new frontier*. Blackwell Publishing. 319 pp.
- Villaseñor, L., y J. Villaseñor. 1997. Diversidad de aves como indicador de áreas prioritarias para conservación biológica en Michoacán. *Ciencia Nicolaita* 15: 83 – 101.
- Voogt, J. A. 2004. Urban heat islands: hotter cities. *ActionBioscience.org* URL <http://www.actionbioscience.org/environment/voogt.html>.
- Walker, L. R., P. J. Bellingham., y D. A. Peltzer. 2006. Plant characteristics are poor predictors of microsite colonization during the first two years of primary succession. *Journal of Vegetation Science* 17: 397-406.
- Wilke, B. M., 2005. Determination of chemical and physical soil properties. En: Margesin, R., y F. Schinner. (Eds). *Manual of Soil Analysis. Monitoring and assessing soil bioremediation*. Springer. 79 pp.
- Young, T.P., D.A. Petersen, y J.J. Clary. 2005. The ecology of restoration: historical links, emerging issues and unexplored realms. *Ecology Letters* 8:66-673.
- Zavala, Ch. F. 2002. Encinos y robles. *Notas fitogeográficas*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 44 pp.
- \_\_\_\_\_. 2003. Identificación de encinos de México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 188 pp.
- \_\_\_\_\_. 1998. Observaciones sobre la distribución de los encinos en México. *Polibotánica* 8:47-64.

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.

Tesis impresa en papel elaborado con fibra reciclada de bagazo de caña.