



Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería  
Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

**DISEÑO Y PRUEBA DE UN PROTOTIPO DE INVERNADERO NODRIZA PARA PROTECCIÓN  
IN SITU DE EJEMPLARES JÓVENES DE *Albizia occidentalis* EN TEMPORADA INVERNAL.**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

**Presenta:**

Beatriz Maruri Aguilar

**Dirigida por:**

Dr. Enrique Rico García.

**Sinodales**

Dr. Enrique Rico García

Presidente

Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez

Secretario

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval

Vocal

Dr. Irineo Torres Pacheco

Suplente

Dr. Ramón Gerardo Guevara González

Suplente

Dr. Gilberto Herrera Ruiz

Director de la Facultad de Ingeniería

Firma

Firma

Firma

Firma

Firma

Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval  
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario, Querétaro, Qro.

Septiembre de 2009.

México



**Universidad Autónoma de Querétaro**  
**Facultad de Ingeniería**

Diseño y prueba de un prototipo de invernadero nodriza para protección *in situ* de ejemplares jóvenes de *Albizia occidentalis* en temporada invernal.

**Tesis**

Que como parte de los requisitos para obtener el Diploma de Especialidad en Ingeniería de Invernaderos

**Presenta**

Beatriz Maruri Aguilar

**Director**

Dr. Enrique Rico García

Santiago de Querétaro, Qro. Septiembre de 2009.

## RESUMEN

La destrucción de los tipos de vegetación naturales, debida a cambios de uso de suelo u otro tipo de presiones ambientales, genera severas amenazas para el equilibrio de la diversidad biológica y para la permanencia de los individuos en su medio natural. En México, un tipo de vegetación severamente amenazado y destruido es el Bosque Tropical Caducifolio, hábitat de numerosas especies de gran relevancia ambiental y estética, adaptadas a vivir bajo un régimen de clima más bien seco. Una de estas especies, *Albizia occidentalis*, está presente en la normatividad ambiental mexicana con estatus de categoría de protección. Estos hechos conducen a la necesidad de desarrollar estrategias y técnicas de restauración mediante diversas acciones como la reintroducción planeada y cuidadosamente realizada. En este trabajo se realizó el diseño y construcción de un prototipo de invernadero “nodriza” o estructura protectora como una primera aproximación al desarrollo de estructuras protectoras de flora silvestre a ser empleadas en procesos de restauración. La estructura nodriza se construyó siguiendo los principios generales de diseño y construcción de invernaderos, y se puso a prueba con el establecimiento de plantas jóvenes de *Albizia occidentalis*, que se mantuvieron en el interior durante el invierno. La comparación entre el desempeño de las plantas –medida a través del diámetro, la altura y la defoliación– que estuvieron en las nodrizas con otros grupos que se mantuvieron en la intemperie y otros más que se instalaron dentro de invernaderos hortícolas y piscícolas convencionales, muestra que al menos en esa etapa de desarrollo de *Albizia occidentalis*, una estructura como la diseñada no amortigua lo suficiente el efecto de las bajas temperaturas del invierno, y no presta el efecto de nodriza. A partir de la revisión del comportamiento de las variables climatológicas medidas bajo cada tratamiento se concluye de manera preliminar que el reducido volumen de la estructura nodriza es un factor desventajoso para la protección de plántulas en la época invernal, y que el diseño debe corregirse para brindar una protección más efectiva, cerrándolo totalmente. Se proponen consideraciones de diseño de estructuras y de factores a tener en cuenta para futuros trabajos en los que se pretenda reintroducir individuos brindándoles alguna ventaja adaptativa a través de una estructura especialmente construida o de un tratamiento previo.

## SUMMARY

Changes of soil use and other types of environmental pressures causes devastation of natural vegetation types and generates several threats to the natural balance of biological diversity; it even threatens the endurance of individual species in their natural environment.

One of Mexico's more threatened vegetation type is the named tropical deciduous forest. It is the habitat of a huge number of species with great ecological, aesthetical and cultural importance, well adapted to live in a dry climate. One of these species, *Albizia occidentalis*, is currently present in the Mexican Environmental Rules (NOM in Spanish, for Norma Oficial Mexicana), with the status of "Protected".

These facts take us to the necessity of developing strategies and techniques of restoration by several operations such as the reintroduction, well planned and carefully carried out.

It was performed, in this work, the design and construction of a prototype of "nurse" or protective structure as a previous approach to the development of protective structures of wild flora to be employed in the process of restoration. The "nurse" structure was built following the general principles in design and construction of greenhouses. It was tested with the establishment of *Albizia occidentalis* seedlings, and this treatment was compared to other three conditions: seedlings unsheltered, and some others that were settled inside the conventional horticulturist and pisciculturist greenhouses. The result show that, at least in this state of development of *Albizia occidentalis*, a structure like the designed does not absorb enough the effect of low temperature in winter and does not give the effect of "nurse". The review of the behavior of climate features, measured under each treatment, lead to conclude, as a preliminary manner, that the small volume of the "nurse" structure is a major disadvantage for the protection of seedlings in winter time and the design must be corrected to give more effective protection by totally enclosing it.

We propose some considerations of structure designs and factors to have in mind for future tasks in which we pretend the reintroduction of members, by giving them an adaptable advantage through a structure especially built or by a previous treatment.

## DEDICATORIA

*Para mis Padres,  
que son mi apoyo, mi ejemplo, mi motivo.*

*Para quienes lean o consulten este trabajo.*

## AGRADECIMIENTOS

Muchas personas intervienen para que uno salga con éxito de los retos que decide emprender. Expreso aquí mi sincera gratitud y reconocimiento a todos aquellos que directa o indirectamente facilitaron el término de mis estudios y la realización de este trabajo; especialmente:

A mis hermanos, Jorge y Hugo, y mis “hermanas”, Adriana y Mary, por su amistad, su cariño, su apoyo y su ánimo constante.

Al Dr. Enrique Rico García, por su dirección, su apoyo y su amistad en todo este tiempo.

A mis sinodales: Dra. Rosalía Virginia Ocampo Velázquez, Dr. Luis Gerardo Hernández Sandoval, Dr. Irineo Torres Pacheco y Dr. Ramón Gerardo Guevara González, por leer y enriquecer este trabajo.

Al Jardín Botánico Regional de Cadereyta, institución que donó los ejemplares de *Albizia occidentalis*.

Al Ing. Emiliano Sánchez Martínez, Director del Jardín Botánico Regional de Cadereyta, por sus aportaciones a este trabajo y por permitirme disponer de un tiempo valioso para atender mi experimento.

Al Lic. Pedro Castro Rodríguez, Jefe del Centro de Información Agropecuaria de la SEDEA, por su amistad y por haberme permitido adaptar mi horario de trabajo a mis días de clase.

A todos mis maestros por su voluntad y enseñanzas; particularmente al Ing. Esp. Adán Mercado Luna, Dr. Mario González Chavira, Dr. Ramón Guevara González y Dr. Enrique Rico García, por haber accedido a darme clase individualmente; y por haberlo hecho con la misma dedicación y compromiso que hubiesen tenido ante un grupo numeroso.

Al Dr. Gilberto Herrera Ruiz, Director de la Facultad de Ingeniería, por su amabilidad constante y su apoyo al haber facilitado mi inscripción individual en algunas materias.

Al Dr. Eusebio Ventura Ramos, Jefe de la División de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, por su muy gentil ayuda en los asuntos administrativos.

A Adán Mercado y su esposa Lore por echarme una mano y además, brindarme su compañía y su sonrisa durante mi trabajo en el Campus Amazcala.

A Lupita Centeno, asistente de la Jefatura de Postgrado, por su atención siempre eficiente y amable.

A Migue, Martín y Enrique, los muchachos del Campus Amazcala, por su disposición para ayudarme a regar mis plantas y a traer y llevar cosas de aquí para allá y de allá para acá.

A mis compañeros de generación: Faby, Laura, Marce, Judith, Paula, Lulú, Sergio, Goyo, Mario, Abel, Fidel, Don Agus, Javier, Ricardo, Omar; por los momentos gratos que pasamos juntos... por haber hecho equipo tantas veces...

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	3
<b>SUMMARY</b> .....	4
<b>DEDICATORIA</b> .....	5
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	6
<b>CONTENIDO</b> .....	7
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	8
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	9
<b>I. INTRODUCCIÓN.</b> .....	11
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA.</b> .....	14
<b>III. OBJETIVOS.</b> .....	21
Objetivo general. ....	21
Objetivos particulares.....	21
<b>IV. HIPOTESIS</b> .....	21
<b>V. METODOLOGÍA</b> .....	22
Ensayos preliminares para selección de cubierta de las nodrizas.....	22
Diseño y montaje de la estructura nodriza.....	23
<i>Albizia occidentalis</i> , la especie empleada.....	25
Experimento. ....	26
Variables medidas: .....	28
Análisis de los datos:.....	29
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	30
Ensayos preliminares.....	30
Diseño de la estructura .....	37
Variables climatológicas.....	39
Variables de los individuos de <i>Albizia occidentalis</i> .....	47
<b>VII. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS.</b> .....	62
Conclusiones. ....	62
Propuestas.....	63
<b>VIII. REFERENCIAS</b> .....	65
Recursos electrónicos.....	69
<b>ANEXO 1. <i>Albizia occidentalis</i>, la especie empleada.</b> .....	70

## INDICE DE CUADROS

<b>Tabla 6.1.</b> ANOVA de temperatura entre las 3 coberturas probadas.....	33
<b>Tabla 6.2.</b> ANOVA de humedad relativa entre las 3 coberturas probadas. ....	34
<b>Tabla 6.3.</b> ANOVA de humedad relativa entre las 3 coberturas probadas. ....	35
<b>Tabla 6.4</b> Valores de Entalpía de las 3 coberturas evaluadas a la medianoche, al mediodía y a la hora de los registros mínimos y máximos de temperatura, según diagrama de Mollier. ....	36
<b>Tabla 6.5.</b> Valores de Entalpía de los 4 tratamientos a la medianoche y al mediodía, según diagrama de Mollier. ....	45
<b>Tabla 6.6.</b> Porcentajes de crecimiento promedio semanal por grupo. ....	50

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1.</b> Un ejemplar adulto de <i>Albizia occidentalis</i> , establecido en su medio natural, al occidente de la ciudad de Santiago de Querétaro. ....	13
<b>Figura 2.1.</b> Imagen de un protector de plantas, cuyo empleo se recomienda para el trasplante exitoso de árboles frutales. Ilustración del Dr. Mario Calvino en su informe de la División de Horticultura en 1912. ....	18
<b>Figura 2.2.</b> Protector de plantas desarrollado por Koffler y Schoch (1989). US Pat.4829707. ....	19
<b>Figura 5.1.</b> Transferencia de los datos del sensor a la PC. ....	23
<b>Figura 5.2.</b> Plano de la estructura empleada. (No está a escala). ....	25
<b>Figura 5.3</b> Una plántula de <i>Albizia occidentalis</i> . ....	26
<b>Figura 5.4.</b> Grupo de individuos a ser introducidos en las estructuras nodriza –a la izquierda- y a ser dejados a la intemperie –a la derecha-. ....	27
<b>Figura 5.5.</b> Lote colocado en el invernadero piscícola. ....	27
<b>Figura 5.6.</b> Lote colocado en el invernadero hortícola. ....	28
<b>Figura 5.7.</b> Interior de la estructura nodriza que tuvo los sensores instalados. ....	28
<b>Figura 6.1.</b> Valores comparativos de Temperatura (°C) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla. ....	31
<b>Figura 6.2.</b> Valores comparativos de Humedad Relativa (%) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla. ....	32
<b>Figura 6.3.</b> Valores comparativos de Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> ) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla. ....	32
<b>Figura 6.4.</b> Media y desviación estándar de cada variable climática –temperatura (a.), humedad relativa (b.) y radiación solar (c.)- en cada cubierta probada. ....	33
<b>Figura 6.5.</b> Construcción de la primera idea de estructura: un cono. ....	38
<b>Figura 6.6.</b> Estructuras en forma de pirámide truncada empleadas en el experimento. ....	39
<b>Figura 6.7.</b> Evolución diaria de la temperatura en 4 fechas diseminadas a lo largo del experimento (a., 20 de Diciembre; b., 20 de Enero; c., 20 de Febrero y d., 19 de Marzo). ....	40
<b>Figura 6.8.</b> Media y desviación estándar de la temperatura dentro de cada cobertura, a la medianoche (a.) y al mediodía (b.). ....	41
<b>Figura 6.9.</b> Evolución diaria de la temperatura en 4 fechas diseminadas a lo largo del experimento (a., 20 de Diciembre; b., 20 de Enero; c., 20 de Febrero y d., 19 de Marzo). ....	42
<b>Figura 6.10.</b> Media y desviación estándar de la humedad relativa dentro de cada cobertura, a la medianoche (a.) y al mediodía (b.). ....	43
<b>Figura 6.11.</b> Diagrama de Mollier. ....	44
<b>Figura 6.12.</b> Valores de radiación solar al exterior y al interior de la nodriza. ....	46
<b>Figura 6.13.</b> Promedio de la medida del perímetro de las plantas, por grupo. a. intemperie, b. nodrizas, c. hortícola, d. piscícola. ....	47

<b>Figura 6.14.</b> Promedio de la medida de la altura de la fusta de las plantas, por grupo. a. intemperie, b. nodrizas, c. hortícola, d. piscícola. ....	49
<b>Figura 6.15.</b> Defoliación y rebrote por grupo de tratamiento (valores acumulados por número de folíolos)..	52
<b>Figura 6.16.</b> Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Hortícola. ....	54
<b>Figura 6.17.</b> Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Piscícola. ....	55
<b>Figura 6.18.</b> Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Nodrizas. ....	56
<b>Figura 6.19.</b> Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Testigo. ....	57
<b>Figura 6.20.</b> Apariencia de los individuos del Grupo Hortícola al término del experimento. ....	59
<b>Figura 6.21.</b> Apariencia de los individuos del Grupo Piscícola al término del experimento. ....	60
<b>Figura 6.22.</b> Apariencia de los individuos del Grupo Nodrizas al término del experimento. ....	60
<b>Figura 6.23.</b> Apariencia de los individuos del Grupo Testigo al término del experimento. ....	61
<i>Albizia occidentalis</i> (Standl.) Britt. & Rose. ....	73

## I. INTRODUCCIÓN.

Los tipos de vegetación son comunidades vegetales que pueden ser reconocidas por su aspecto general o fisonomía y que se originan por una mezcla de características geológicas, climáticas, hidrológicas y del suelo, y donde las plantas componentes tienen arreglos y composiciones definidas, así como funciones ambientales esenciales (PNUMA 2008); la vegetación es un sistema de plantas relacionadas geográficamente, que interactúan en forma compleja (Jensen-Salisbury, 1998). En el Estado de Querétaro la presión ejercida por los cambios de uso de suelo resulta en un efecto de fragmentación de los tipos de vegetación, fenómeno claramente presente en el entorno de la mancha urbana de la capital, donde aún con la fuerte presión del crecimiento urbano, la zona metropolitana posee relictos de varios tipos de vegetación característicos de un paisaje de alta heterogeneidad espacial y ecológica (Pineda y Hernández, 2005; Suzán, 2006, en PNUMA 2008). Ejemplo de esto son los manchones de bosque tropical caducifolio presentes en el Parque Nacional El Cimatario (Baltazar *et al.*, 2004), y otras zonas del norte del municipio de Querétaro (Pineda y Hernández, 2000).

Este bosque pertenece a los tipos de vegetación tropical más extensamente distribuidos en México (Hernández-Oria, 2007), cuya mayor distinción biológica es la riqueza y el alto nivel de endemismo que alberga (Hernández-Oria, 2007). En el bosque tropical caducifolio mexicano existen diversas especies cuya importancia ecológica es relevante; Gentry (1995) en Carranza *et al.* (2003) mencionan que en el centro y occidente de México es un centro de endemismo de plantas. Varias de ellas se encuentran actualmente en un estatus de categoría de protección de acuerdo con la normatividad mexicana especializada en la materia, concretamente en la NOM-ECOL-059-2001 (Especies nativas mexicanas de flora y fauna. Categorías de riesgo. Acciones para inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo).

Ante esta situación, es necesario realizar trabajos de restauración que conduzcan a la recuperación de las zonas amenazadas y disminuyan o amortigüen en lo posible los efectos de la presión del entorno. Parte de las acciones a realizar son reintroducciones de ejemplares de flora obtenidos a través de reproducción en viveros, maniobra que debe ser planeada cuidadosamente dado que la tasa de supervivencia de las reforestaciones tiende a

ser baja cuando no se toman medidas precautorias que aminoren las condiciones ambientales extremas a que puede estar expuesta la plántula, como variaciones abruptas en la temperatura ambiental (Méthy *et. al.* 1996 en Rey Benayas *et. al.* 2005) y la humedad del suelo (Rey Benayas, *et. al.* 2005).

Entre las especies de interés para reintroducción en el Bosque Tropical Caducifolio se cuenta el “Palo Blanco” *Albizia occidentalis* Brand.- *Mimosoidae* (*Leguminosae, Fabaceae*), debido a su estatus de conservación. Es una especie con categoría de Protección Especial dentro de la NOM-ECOL-059-2001, publicada en el Diario Oficial de la Federación (2002). Forma parte del bosque tropical caducifolio, en el dosel maduro, que se desarrolla después de muchos años de evolución de la vegetación. Ambientalmente es benéfico y se considera excelente para resguardar la fauna silvestre. (Sánchez *et al.*, 2007). La figura 1.1 muestra una imagen de un ejemplar maduro de esta especie, al occidente de la mancha urbana de la ciudad de Santiago de Querétaro.

En este trabajo se realizó el diseño y construcción de un prototipo de invernadero “nodriza” o estructura protectora como una primera aproximación al desarrollo de estructuras protectoras de flora silvestre a ser empleadas en procesos de restauración. La estructura nodriza se construyó siguiendo los principios generales de diseño y construcción de invernaderos, y se puso a prueba con el establecimiento de plantas jóvenes de *Albizia occidentalis*, que se mantuvieron en el interior durante el invierno. La comparación entre el desempeño de las plantas que estuvieron en las nodrizas con otros grupos que se mantuvieron en la intemperie y otros más que se instalaron dentro de invernaderos hortícolas y piscícolas convencionales, muestra que al menos en esa etapa de desarrollo de *Albizia occidentalis*, la estructura no amortigua lo suficiente el efecto de las bajas temperaturas del invierno, y no presta el efecto de nodriza. Se proponen consideraciones de diseño de estructuras y de factores a tener en cuenta para futuros trabajos en los que se pretenda reintroducir individuos brindándoles alguna ventaja adaptativa a través de una estructura especialmente construida o de un tratamiento previo.



**Figura 1.1.** Un ejemplar adulto de *Albizia occidentalis*, establecido en su medio natural, al occidente de la ciudad de Santiago de Querétaro.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA.

El género *Albizia* tiene importancia económica y ecológica porque en su mayoría está integrado por árboles de usos múltiples. Se trata de un género pantropical que incluye al menos 470 nombres diferentes en 120-140 especies. Doce de ellas son nativas o están naturalizadas en México y América Central, donde son empleadas para diversos fines: como sombra para plantaciones, controladores y estabilizadores de la erosión del suelo, como forraje para el ganado y como fuente de goma soluble en agua, entre otros (Rico Arce *et. al.*, 2008)

Se hace referencia al tipo de vegetación propio de la especie de interés, *Albizia occidentalis*: el bosque tropical caducifolio. En el Estado de Querétaro, este bosque ocupa cerca del 4.5% de la superficie del territorio (Municipio de Querétaro, 2004). En la porción del Estado correspondiente a la altiplanicie existe este tipo de vegetación en forma de rodales aislados en medio de matorral xerófilo, principalmente en los alrededores de Querétaro, San Juan del Río y Tequisquiapan. Es probable que antes de la intervención del hombre ocupara una extensión mucho más grande; hoy la mayoría de los manchones son muy reducidos. Como en muchas partes de México, las familias mejor representadas en el estrato arbóreo son *Leguminosae* y *Burseraceae* (Municipio de Querétaro, 2004).

Rzedowski (1998) describe al bosque tropical caducifolio como un conjunto de bosques propios de regiones de clima cálido y dominado por especies arborescentes que pierden sus hojas durante la época seca del año durante un lapso variable, pero que por lo general oscila alrededor de seis meses. Un factor ecológico significativo para la distribución geográfica del bosque tropical caducifolio es la temperatura, en especial la mínima extrema, que en general no es menor de 0°C. La temperatura media anual es del orden de 20 a 29°C. En cuanto a la humedad, el aspecto de mayor importancia es su distribución francamente desigual a lo largo del año, dividiéndose en dos estaciones bien marcadas: la lluviosa y la seca. El número de meses secos consecutivos varía de 5 a 8, lo cual da idea de lo acentuado de la aridez entre diciembre y mayo. El monto de la precipitación media anual varía entre 300 y 1800 mm, una gran amplitud de tolerancia ecológica.

A pesar de su indudable relevancia biológica, el bosque seco ha sido severamente destruido en los últimos 40 años, más que cualquier otra vegetación en el país (Hernández-Oria, 2007).

Las condiciones ambientales de las zonas que han sido degradadas normalmente difieren de aquellas donde tiene lugar un proceso de regeneración natural de árboles y arbustos, y diferentes factores bióticos y abióticos dificultan el establecimiento de especies leñosas (Rey Benayas *et al.*, 2005). Los tipos de estrés a que pueden estar sometidas las plántulas varían de estación en estación. Durante el verano la elevada radiación solar y la baja disponibilidad de agua pueden limitar la supervivencia en ambientes secos a través del daño por luz y el descenso de agua disponible en el suelo mediante evaporación y transpiración. Por otro lado, las temperaturas bajas en invierno dañan las plantas. (Rey Benayas *et al.*, 2005).

En otro orden de ideas, tras la germinación, las plántulas son individuos muy vulnerables que están expuestos a diversas amenazas bióticas –como presencia de herbívoros y competencia con otras plantas- y abióticas -como desecación del suelo, niveles de radiación y temperatura inadecuada-. Estos factores limitan su supervivencia, y provocan que sólo una pequeña fracción de los individuos germinados consiga establecerse y que la fase de plántula sea una de las más críticas en el ciclo de vida de una planta. Si bien los factores abióticos y bióticos inciden en la supervivencia de las plantas, parece que los factores abióticos predominan en los ambientes limitantes o degradados, mientras que en hábitat más benignos la competencia con otras plantas cobra protagonismo (Padilla Ruiz, 2008). En ecosistemas áridos, se ha observado que el establecimiento de determinadas especies es mayor debajo de la cubierta de ciertos arbustos que mejoran las condiciones de crecimiento; así, el éxito de establecimiento de las plántulas depende en gran medida del lugar en el que crezcan (Padilla Ruiz, 2008).

Un mecanismo de defensa ante el estrés biótico es la producción de metabolitos secundarios como mecanismo de defensa contra los herbívoros. La familia *Leguminosae* ha sido ampliamente estudiada en sus aspectos fotoquímicos (Wink y Mohamed, 2003). Entre los compuestos más relevantes para defensa se encuentran los aminoácidos no proteicos, como la mimosina, canavanina, latrina y albizzina, ésta última propia de las *Mimosoideae*. (Wink y Mohamed, 2003), aunque la mimosina parece ser común a un

amplio número de *Leguminosae*, donde está presente principalmente en estados tempranos y en hojas nuevas (Xuánt *et. al.*, 2006; Soedarjo y Borthakur, 1996), declinando su presencia a medida que el tiempo pasa y disminuyendo drásticamente después de 10 semanas de vida de la hoja (Tangendjaja *et. al.*, 1986). Sin embargo, estudios específicos acerca de la presencia de este metabolito en *Leguminosae* están más bien encaminados hacia *Leucaena leucocephala*, dada su importancia pecuaria como alimento de ganado en zonas áridas. Smith y Fowden (1966) evaluaron la degradación de mimosina y de 3-4 dihidroxipiridina de *L. leucocephala*; y mencionan el papel que en ello juega una enzima denominada C-N liasa en la lisis de la 3-4 dihidroxipiridina; enzima que se encuentra también en el género *Albizia*. Esto podría indicar indirectamente la presencia de estos metabolitos secundarios en la especie de interés, aunque se desconoce su distribución y la evolución de la presencia de los compuestos a lo largo del tiempo de vida de la planta.

El momento de la reintroducción de plantas debe ser seleccionado adecuadamente a lo largo del año. Harker *et. al.* (1999) mencionan que la plantación debe tener lugar en un momento adecuado que permita aprovechar la precipitación, así como para evitar los meses más cálidos y los más fríos. Los mismos autores recomiendan, para la restauración completa de comunidades de plantas nativas, realizar la mayor introducción de diversidad posible.

En cuanto al manejo de los diferentes factores abióticos que inciden en el establecimiento y desarrollo de los individuos, el control de la radiación solar es un factor determinante para lograr un porcentaje de supervivencia elevado de plántulas que se introducen a los ecosistemas a través de acciones de reintroducción o reforestación, y diversos autores han experimentado varias técnicas para inducir condiciones favorables. Ejemplos de esto son los trabajos de Rey Benayas *et al.*, (2005) que muestran la ventaja que brinda la administración de sombreo artificial y control de malezas al establecimiento de especies leñosas como *Quercus* sp. en parcelas abandonadas, encontrando un efecto benéfico sinérgico con la combinación de estas dos técnicas; el sombreo es una práctica adecuada en el establecimiento de plántulas, sin embargo es cara al aplicarse a gran escala. Harker *et. al.* (1999) mencionan también que el empleo de coberturas en áreas grandes puede ser muy costoso. Rey Benayas *et al.*, (2001) prueba a manejar plántulas de *Retama sphaerocarpa* (*Leguminosae*) con sombreo artificial y control de malezas en lugares de

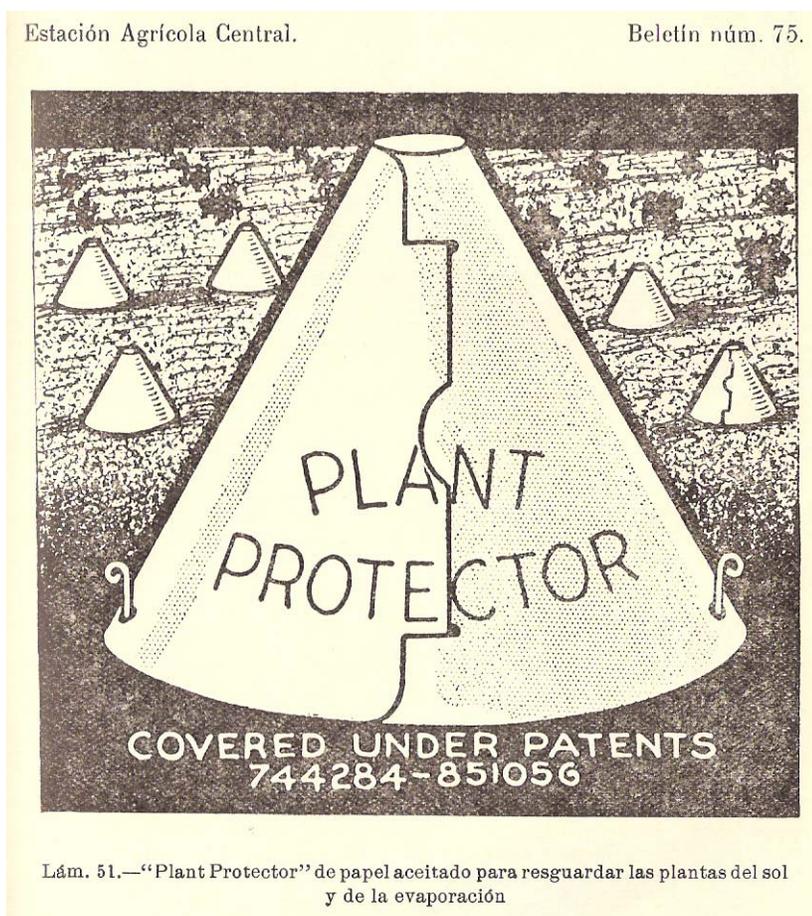
cultivo que han sido abandonados, encontrando que el sombreado artificial mejora el desempeño de la plántula y que el manejo combinado de sombra artificial con control de maleza es todavía más conveniente. Castro Cepero *et al.*, (2006) han llevado a cabo trabajos con especies de cactáceas como *Melocactus* sp. y *Haageocereus* sp. bajo condiciones de sombreado artificial, y han encontrado que ello favorece el crecimiento de las plántulas, lo que podría estar mediado por diferencias en temperatura, humedad, radiación solar o cualquier otro factor relacionado a la característica de sombra. Otro tipo de técnicas han sido las experimentadas por Soliveres Codina *et al.*, (2007), quienes favorecieron las condiciones de crecimiento de *Rhamnus lycioides* con el empleo de parches de ramas de pino que inducen sombreado artificial y captura de escorrentía superficial. En ese trabajo encontraron que la radiación PAR se redujo en cerca del 30%, pero no se detectaron efectos significativos en el crecimiento de la planta o en la retención de sedimentos.

No obstante, el sombreado puede jugar un rol diferente en cada especie y su manejo adecuado es un factor determinante para una exitosa reintroducción, sea proporcionado con una nodriza artificial o en condiciones naturales. Joesting *et. al.* (2009) evaluaron las respuestas fotosintéticas y de crecimiento –patrones fisiológicos y morfológicos- en una población de Castaño americano (*Castanea dentata* Marsh. Borkh.), una especie sumamente dañada debido a la nula resistencia a las plagas de hongos traídas por el Castaño asiático, para determinar si la reintroducción de plántulas jóvenes debe realizarse proporcionando sombreado parcial o absoluto. El resultado de ese estudio en particular determinó que el Castaño americano es parcialmente tolerante a la sombra.

El viento es otro factor abiótico que reviste importancia en tanto posible causa de maltrato de las plantas o del hábitat en general. El establecimiento de barreras protectoras artificiales o naturales se ha empleado desde hace mucho tiempo. En la revisión hecha por Nuberg (1998), se enumeran diferentes tipos de barreras naturales y artificiales contra el viento, principalmente empleadas para resguardar cultivos de interés económico. Un ejemplo con un dato preciso es el incremento del 10 a 15% en el rendimiento de arroz en Corea, como resultado de empleo de una barrera artificial (Nuberg 1998).

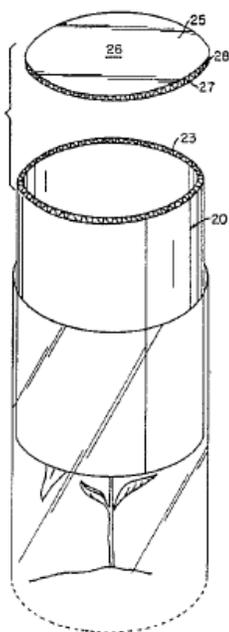
Pese a la escasez de datos sobre el tema, la idea de proteger a las plantas jóvenes durante su establecimiento en el campo no es nueva. Calvino (1913) enumera diversas prácticas de protección a realizar durante el trasplante de árboles frutales; y una de las

prácticas aconsejadas consiste en “(...) proteger las plantitas con ‘*plant protectors*’ de papel aceitado, como hacen en algunas regiones de sol ardiente en los Estados Unidos (...)”. La figura 2.1 muestra la estructura referida.



**Figura 2.1.** Imagen de un protector de plantas, cuyo empleo se recomienda para el trasplante exitoso de árboles frutales. Ilustración del Dr. Mario Calvino en su informe de la División de Horticultura en 1912.

En años recientes, diversas patentes de protectores de plantas, con diversos fines, han sido registradas en Estados Unidos: Markowitz (1983) registró una cobertura en forma de disco (US Pat. 4395845) a ser colocada en torno del tallo de una planta plantada en maceta, y evitar así la pérdida de la humedad del suelo. Koffler y Schoch (1989) desarrollaron una estructura cilíndrica (US Pat. 4829707) para protección de plantas de agentes meteorológicos, insectos, aves y otros animales pequeños. El artefacto tiene la característica de ser expansible a medida que la planta va ganando altura. (Figura 2.2.).



**Figura 2.2.** Protector de plantas desarrollado por Koffler y Schoch (1989). US Pat.4829707.

Hadrava (1989) desarrolló otra cobertura protectora para la superficie de suelo que rodea a la planta (US Pat. 5918411A); y Brown (2003) registró una patente para una cobertura expansible (US Pat. 2003/0097787 A1) de tela que protege a la copa de un árbol de fenómenos meteorológicos drásticos.

En cuanto a los parámetros empleados para determinar las respuestas de las plantas a condiciones de estrés, uno de ellos es la defoliación. La defoliación se emplea para diversas finalidades en investigaciones agronómicas y ecológicas como un indicador de procesos de deterioro de la vegetación o de actividad de animales herbívoros. Lowman (1994) midió durante tres años la defoliación de diversos árboles del bosque templado, subtropical y selva australiana, para determinar niveles de actividad entomológica, encontrando que los resultados que se obtienen de esta manera son más precisos que aquellos obtenidos a través de la medición de área foliar.

Bajo un enfoque agronómico, Derner *et. al.*, (1994) compararon patrones de defoliación de pasto bajo diferentes tratamientos: pastoreo rotacional y pastoreo continuo, bajo un coeficiente de agostadero determinado. A través de la medición de altura, número

de defoliaciones en una estación de pastoreo, porcentaje de sierpes defoliadas por muestra y estación de pastoreo, encontraron que la altura disminuye si el pastoreo aumenta, y esto se presenta de manera más clara en los lotes donde se realiza pastoreo continuo en vez de pastoreo rotacional.

Mediciones periódicas de variables como grosor de tallo e incremento de diámetro -otros parámetros a emplear para estimar respuesta a condiciones favorables o adversas-, han sido abordadas con tecnologías más o menos sofisticadas para estimar el crecimiento de diversas plantas. Cruz Johnson *et al.*, (2007) efectuaron un estudio de medición periódica de incremento de diámetro y de volumen a una amplia población de *Nothofagus pumilio*, empleando herramientas informáticas de SIG para análisis de rodelas y estimación de crecimiento a partir de los anillos de los árboles empleados como muestra en un bosque de la región XII de Chile. Se trata de árboles de alrededor de 200 años de edad. La baja tasa de supervivencia de las reforestaciones debe mejorarse para optimizar recursos naturales, materiales y humanos. Una vía puede ser el desarrollo de métodos que faciliten el establecimiento de especies de importancia ecológica relevante.

En este trabajo se desarrolló una estructura individual con la intención de brindar protección a individuos jóvenes de *Albizia occidentalis* frente a los fenómenos meteorológicos extremos de la temporada invernal, aplicando los principios básicos de diseño de invernaderos. Se midieron variables de crecimiento y “caducifoliedad” mediante defoliación, así como variables climatológicas, a fin de establecer una correlación entre ambos y concluir si la protección brindada por la estructura brinda una ventaja significativa a la planta.

### III. OBJETIVOS.

El objetivo general y los objetivos particulares de este trabajo son los siguientes:

#### *Objetivo general.*

- Diseñar un prototipo de invernadero nodriza a ser empleado en etapas tempranas de establecimiento de plántulas de *Albizia occidentalis*, para protección ante los agentes climáticos.

#### *Objetivos particulares.*

- Realizar un experimento de prueba del prototipo a campo abierto para establecer comparaciones entre el comportamiento de un lote de *Albizia occidentalis* establecido bajo invernadero nodriza, y otro establecido a cielo abierto.
- Mantener de manera paralela dos lotes de *Albizia occidentalis* en los invernaderos hortícola y piscícola del Campus Amazcala de la UAQ, a fin de observar su comportamiento.
- Cuantificar el retraso en la caducifoliedad en las plantas mediante mediciones de defoliación y crecimiento.
- Detectar si existen diferencias en la caducifoliedad y el crecimiento de plántulas de *Albizia occidentalis* protegidas con el invernadero nodriza, respecto de plántulas de la misma especie sin proteger, después de la temporada invernal.
- Elaborar el reporte del trabajo.

### IV. HIPOTESIS

La protección otorgada a los ejemplares de *Albizia occidentalis* disminuye la defoliación y favorece la elongación del tallo durante el invierno.

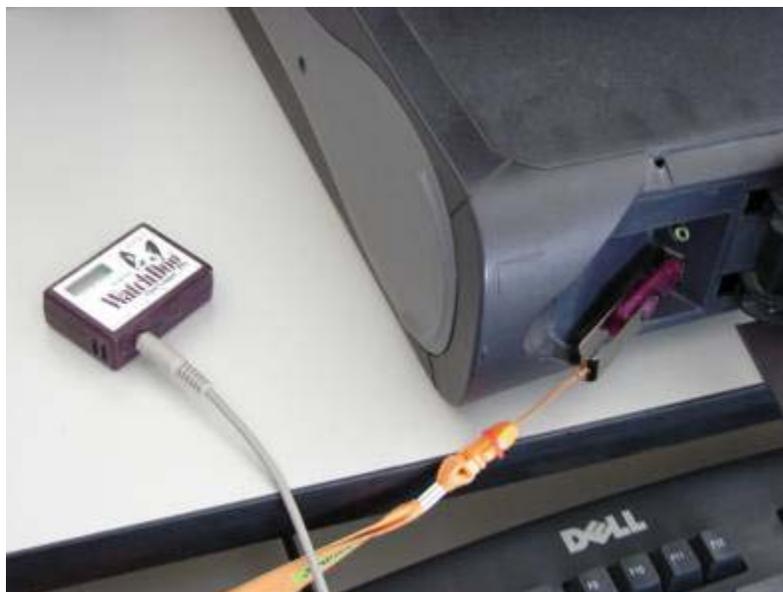
## V. METODOLOGÍA

### *Ensayos preliminares para selección de cubierta de las nodrizas.*

La idea original contempló el empleo de una estructura de forma piramidal, cubierta con dos capas de material aislante (una capa de polietileno y otra de malla) y un pequeño porcentaje –entre 10 y 30%- de superficie perforada, siguiendo un patrón alternado de perforaciones para evitar la incidencia directa del viento en la plántula y para proporcionarle una fuente de ventilación. Ante la ausencia de datos sistemáticos que comparasen el comportamiento de las variables climatológicas bajo diferentes combinaciones de materiales de cubierta, la elección de la misma se realizó después de una etapa de prueba y de la medición de radiación solar ( $W/m^2$ ), humedad relativa (%) y temperatura ( $^{\circ}C$ ) al interior de tres estructuras cubiertas con diferentes combinaciones de las 3 graduaciones diferentes de las mallas de sombreado convencionales (35%, 50% y 75%) y distintas capas de polietileno (una o dos). Esta medición se realizó de manera previa al establecimiento de las plántulas, para generar un sombreado parcial, similar al que podría encontrarse en el estrato inferior de un bosque seco y para determinar cual era la combinación más adecuada de materiales en términos de economía y maniobrabilidad. Las combinaciones fueron las siguientes:

- Estructura Nodriza 1: Cubierta con dos capas de polietileno (PET Doble)
- Estructura Nodriza 2: Cubierta con una capa de polietileno y otra de malla sombra (PET+Malla)
- Estructura Nodriza 3: Cubierta con dos capas de polietileno y otra de malla sombra (PET Doble+Malla)

Se instalaron dentro de cada una de estas estructuras un juego de sensores Spectrum Watch Dog Data Logger 450 para medir las variables ya citadas, y se mantuvieron en colecta de datos durante la semana del 6 al 12 de diciembre de 2008. Al cabo de ese lapso, se desmontaron y los datos almacenados fueron transferidos a la computadora mediante el Software SpecWare 6.03 build 0036. (Figura 5.1.)



**Figura 5.1.** Transferencia de los datos del sensor a la PC.

Para escoger cual combinación de materiales de cobertura debería emplearse en las estructuras nodrizas, se revisaron las gráficas resultantes del monitoreo de datos climatológicos durante los 6 días que duró la prueba. Se condujeron análisis de varianza de 1 factor (ANOVA) para revisar las diferencias entre los valores promedio de las variables monitoreadas. El ANOVA se considera el procedimiento estándar para probar diferencias entre 3 o más muestras (Johnson, 2000).

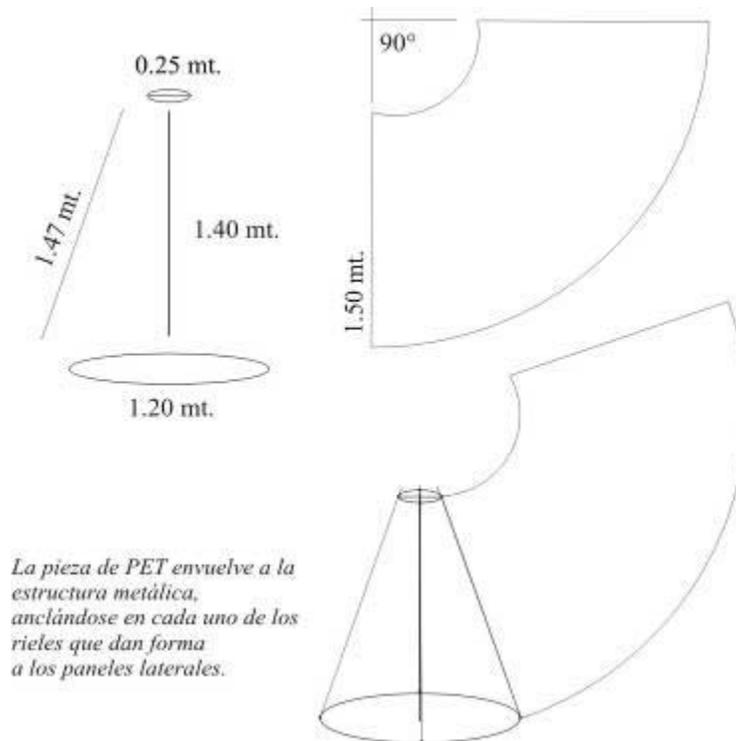
#### ***Diseño y montaje de la estructura nodriza.***

Los invernaderos se emplean como un medio controlado para la propagación y mantenimiento de diversos seres vivos, primordialmente plantas, y no existen muchos antecedentes sobre el empleo de una estructura de este tipo para fines diferentes a la propagación bajo condiciones controladas. Sin embargo, algunos autores han diseñado estructuras de protección específicas para proteger plantas que son reintroducidas a su medio natural, actuando como modificadores de los factores climáticos de su entorno inmediato (Rey Benayas *et al.*, 2005). Además de este, no se encontraron muchos más antecedentes de este tipo de estructuras; sin embargo, existen en los mercados de varios países diferentes tipos de estructuras especiales para proteger las plantas en época invernal, principalmente para uso en la jardinería doméstica (Graines Baumaux, Asocoa).

Partiendo de la idea de que los invernaderos pueden condicionar alguno o varios de los principales elementos del clima (Matallana y Montero, 1995), y dado que el objetivo del trabajo fue el diseño y prueba de un prototipo de estructura nodriza para ser empleado en el establecimiento de *Albizia occidentalis* en etapa temprana durante la temporada invernal, se concibió a esta estructura como un “invernadero miniatura”, involucrando al diseño los materiales que se emplean actualmente en México en la construcción de invernaderos, y cuya naturaleza hizo suponer que podrían ser adaptados a una estructura pequeña. El diseño finalmente empleado es una pirámide truncada, construida en torno a un eje central hecho con un tramo de perfil de acero, con dos anillos de alambón concéntricos enterrados en el suelo. Los lados de la pirámide se consiguen a través del anclaje de 4 tramos de riel a los aros de alambón, y la posterior sujeción del correspondiente corte de PET y malla sombra a estos rieles, con la ayuda de tramos de alambre en zigzag. No se emplean cortes de PET y malla sombra para cada lado, sino una sola pieza de cada material, cortada en forma de cono extendido. Los 4 rieles se emplean para tensar la cubierta con ayuda de tramos de alambre en zigzag. El primer riel en tener plástico anclado es a la vez el que cierra el cono; este riel entonces cuenta con un doble tramo de alambre en zigzag que se remueve para liberar el plástico y acceder al interior de la estructura.

En la figura 5.2 se ilustra el plano original de la estructura. Las medidas de cada parte son las siguientes:

- Altura del eje central, 1.40 m.
- Anillo inferior de sujeción: 1.20 m de diámetro
- Anillo superior de sujeción: 25 cm de diámetro.
- Longitud de los paneles laterales: 1.47 m de altura.



**Figura 5.2.** Plano de la estructura empleada. (No está a escala).

### ***Albizia occidentalis*, la especie empleada.**

Conocida comúnmente en el Bajío Mexicano como “Palo Blanco”, la *Albizia plurijuga*, recientemente renombrada como *Albizia occidentalis*, está presente en la lista de especies de flora con categoría de protección especial en la NOM-ECOL-059-2001 (Especies nativas mexicanas de flora y fauna. Categorías de riesgo. Acciones para inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo), publicada en el Diario Oficial de la Federación (2002). Este árbol era otrora uno de los importantes componentes del bosque tropical caducifolio del sur de la región de estudio. En la actualidad se ha encontrado mayormente matorrales secundarios, pero la cantidad de individuos no es grande y la repoblación natural es escasa (Andrade *et. al.*, 2007). Se emplearon plántulas de *Albizia occidentalis* de seis meses de edad, proporcionadas por el Jardín Botánico Regional de Cadereyta “Manuel González de Cosío”, del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro. La descripción de la especie se encuentra en el Anexo 1. La figura 5.3 muestra un individuo “tipo” de plántula de *Albizia occidentalis*, tal y como fueron empleados en el experimento.



**Figura 5.3** Una plántula de *Albizia occidentalis*.

### ***Experimento.***

Se establecieron 4 lotes de plantas de 5 individuos cada uno, bajo las siguientes condiciones:

- Grupo Uno.- Dentro de las estructuras “nodriza”. (**Grupo Nodrizas**, de aquí en adelante).
- Grupo Dos.- Dentro de un invernadero hortícola con árboles de aguacate. (**Grupo Hortícola**, de aquí en adelante).
- Grupo Tres.- Dentro de un invernadero piscícola con cultivo de tilapias. (**Grupo Piscícola**, de aquí en adelante).
- Grupo Cuatro o Testigo.- Situadas a la intemperie. A fin de eliminar el estrés de trasplante, los individuos de este grupo no fueron removidos de sus macetas, sino establecidos dentro de ellas en el terreno, de manera semi fija a 15 centímetros de profundidad. (**Grupo Testigo**, de aquí en adelante).

Se muestra en la siguiente secuencia fotográfica (Figuras 5.4, 5.5 y 5.6) la apariencia de los individuos al momento de ser introducidos a cada una de las condiciones anteriormente descritas. En la figura 5.7 se muestra un individuo del lote testigo en mitad del experimento.



**Figura 5.4.** Grupo de individuos a ser introducidos en las estructuras nodriza –a la izquierda- y a ser dejados a la intemperie –a la derecha-.



**Figura 5.5.** Lote colocado en el invernadero piscícola.



Figura 5.6. Lote colocado en el invernadero hortícola.



Figura 5.7. Interior de la estructura nodriza que tuvo los sensores instalados.

***Variables medidas:***

Se midieron las siguientes variables en las plantas:

- Incremento y decremento del diámetro en la base de la plántula, considerado como el promedio obtenido a partir de 3 mediciones semanales con un

Vernier en una porción marcada con tinta roja en la base del tallo, justo encima del sustrato.

- Tasa de defoliación, obtenida a partir del conteo semanal de ramas, pinnas, foliolos y brotes, especialmente al término del experimento.
- Incremento y decremento de la longitud del tallo, medido con una cinta de sastre, entre la base del tallo y la punta de la planta, a la altura del meristemo en su porción basal.

Junto con la supervivencia *per se*, los criterios comúnmente empleados para evaluar el desarrollo de especies son la altura y el incremento del diámetro (Foroughbakhch *et. al.*, .2006).

La distribución de individuos dentro de los grupos se realizó al azar. Todos los lotes recibieron un riego semanal de supervivencia –a saturación de capacidad de campo- a fin de eliminar el efecto del estrés hídrico en la medición de las variables.

Las variables climáticas medidas fueron las siguientes:

- Temperatura (°C)
- Humedad relativa (%)
- Radiación (W/m<sup>2</sup>).

#### ***Análisis de los datos:***

Se empleó la prueba estadística ANOVA (Analysis of Variance, Análisis de Varianza) para la determinación de diferencias significativas en los datos resultantes del monitoreo preliminar de variables climatológicas. Las variables bióticas se discuten sin empleo de pruebas estadísticas, dada la naturaleza de los datos obtenidos.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan primero los datos obtenidos en el primer monitoreo de variables climatológicas y los razonamientos para decidir la combinación de materiales de cubierta.

A continuación se discute el proceso de diseño de la estructura nodriza y las razones por las cuales se escogió el modelo empleado.

Posteriormente se enuncian los resultados de la medición de los factores climatológicos durante el experimento.

Finalmente, se muestran los resultados correspondientes a la medición de las variables en los ejemplares de *Albizia occidentalis*, y se enumeran diversas consideraciones sobre la interacción de las variables climatológicas con el comportamiento de las plantas.

### *Ensayos preliminares.*

Para escoger la combinación de materiales de cobertura a emplear en las estructuras nodrizas, se revisaron las gráficas resultantes del monitoreo de datos climatológicos durante los 6 días que duró la prueba. Las observaciones se describen a continuación:

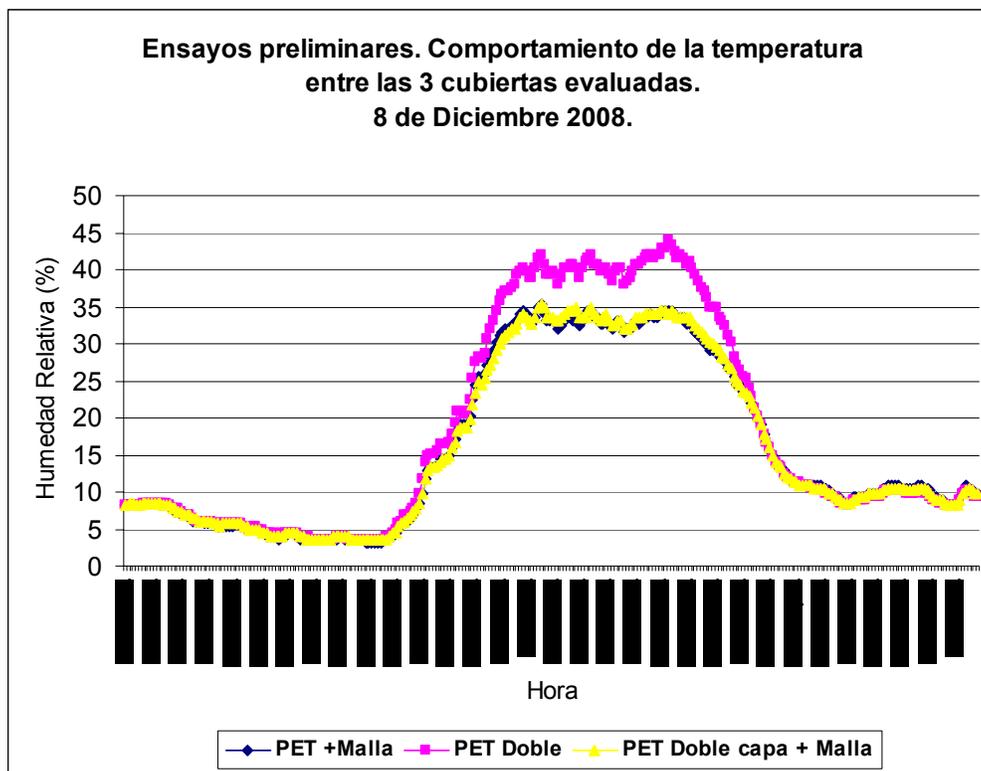
El PET Doble incrementa en alrededor de 10°C la temperatura al interior del cono, respecto de las otras dos condiciones, mientras que con los otros dos factores sucede lo siguiente: la humedad relativa se mantiene prácticamente igual a lo largo del día; únicamente en la noche la condición de PET+Malla ocasiona que este factor sea comparativamente mayor. En las otras dos condiciones, la humedad relativa presenta un comportamiento “atípico”, pues unas noches es más elevada en PET Doble+Malla y otras en PET Doble. La malla no juega un papel relevante en el desempeño de la humedad relativa, pues el uso de este tipo de pantalla tiene como utilidad principal la modificación de la radiación, tanto en calidad como en cantidad (Valera y Molina, 2003). Es la presencia de polietileno doble la que ocasiona una disminución porcentual de esta variable, pero la razón no es clara, dado que los niveles de temperatura nocturnos son muy similares entre las tres coberturas.

En cuanto a la radiación solar, PET Doble deja pasar la mayor cantidad de radiación. Los siguientes son los valores máximos registrados de radiación solar promedio al mediodía (12:00) en cada una de las condiciones.

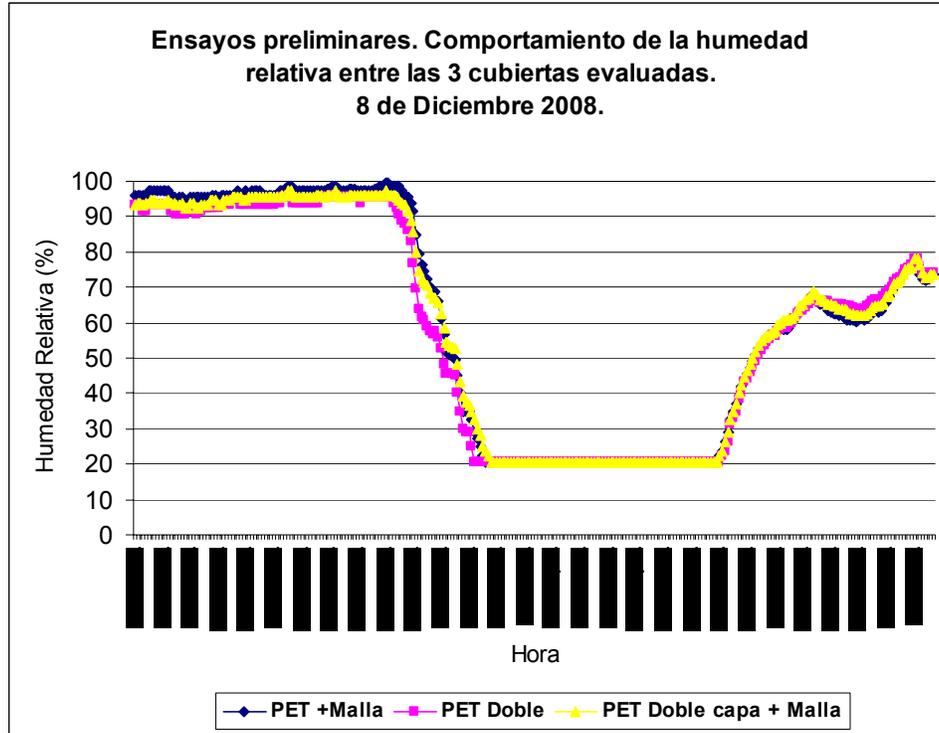
- PET Doble: 504.67 W/m<sup>2</sup>
- PET+Malla: 250.6714 W/m<sup>2</sup>
- PET Doble+Malla: 231.5142 W/m<sup>2</sup>

Tomando estos datos promedio, se puede decir que ambas cubiertas -PET+Malla y PET Doble+Malla- dejan pasar alrededor de la mitad de la radiación que permite pasar el PET Doble. PET+Malla permite el paso del 49.65% de la radiación solar que permite PET Doble, y PET+ Doble Malla permite el paso de 45.87%.

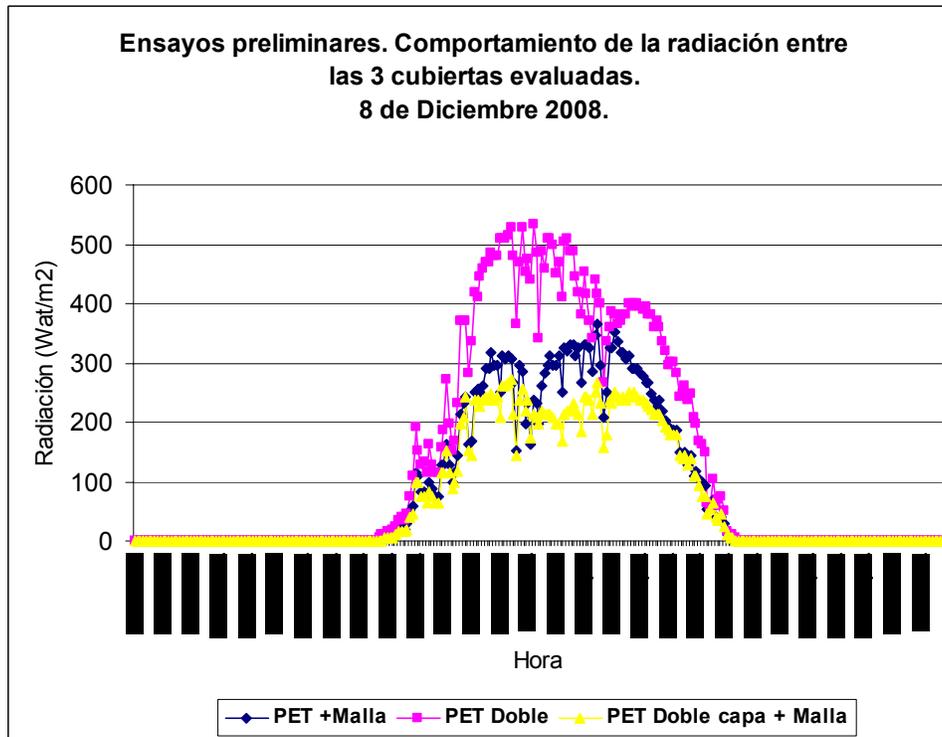
Las siguientes figuras ilustran lo aquí expuesto. Primeramente se presentan las gráficas de evolución continua de cada variable a lo largo de un día (Figuras 6.1, 6.2 y 6.3). Posteriormente se presentan las gráficas de valores medios y desviación estándar de cada variable medida a las 12 del día de cada uno de los días que duró este ensayo preliminar (Figura 6.4). Estas últimas permiten ver de una manera simplificada la diferencia entre cada cobertura, con un solo dato promedio.



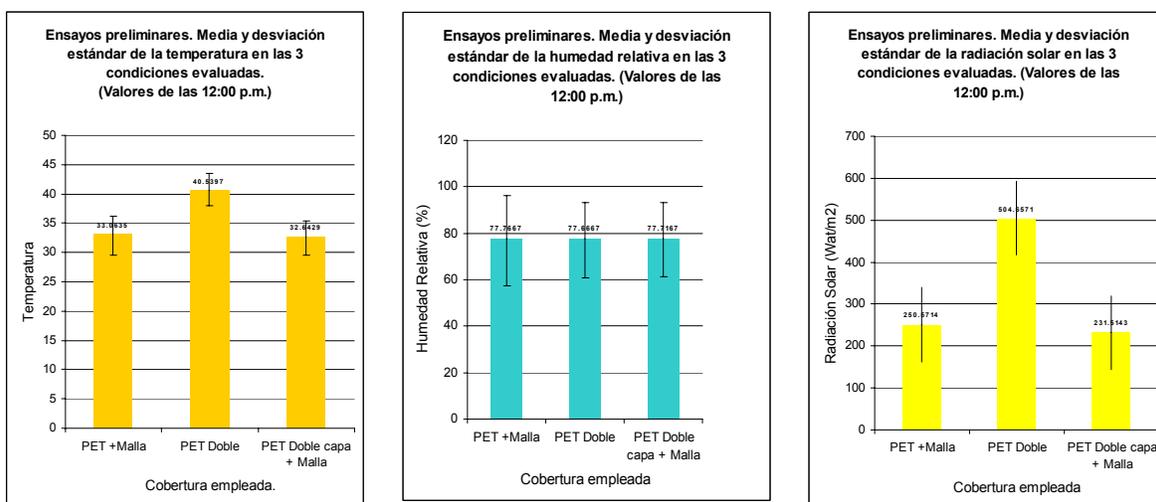
**Figura 6.1.** Valores comparativos de Temperatura (°C) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla.



**Figura 6.2.** Valores comparativos de Humedad Relativa (%) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla.



**Figura 6.3.** Valores comparativos de Radiación Solar (W/m<sup>2</sup>) entre las 3 cubiertas probadas: PETDoble, PET+Malla y PETDoble+Malla.



**a. b. c.** **Figura 6.4.** Media y desviación estándar de cada variable climática –temperatura (a.), humedad relativa (b.) y radiación solar (c.)- en cada cubierta probada.

Los datos obtenidos de este lapso de tiempo de prueba fueron sometidos a una sencilla prueba estadística: el Análisis de Varianza (ANOVA, por sus siglas en inglés), a fin de detectar las diferencias existentes entre ellos y de este modo, decidir la cobertura más adecuada a emplear.

La tabla 6.1 muestra los resultados del Análisis de Varianza realizado para detectar las diferencias en temperatura dentro de las tres coberturas empleadas:

**Tabla 6.1.** ANOVA de temperatura entre las 3 coberturas probadas.

Análisis de varianza de un factor		(Temperatura, °C)				
RESUMEN						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
PET +Malla	7	231.4444444	33.06349206	4.391387419		
PET Doble	7	283.7777778	40.53968254	4.546002352		
PET Doble capa + Malla	7	228.5	32.64285714	3.097589653		
ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	276.3371546	2	138.1685773	34.44174828	7.031E-07	3.554557146
Dentro de los grupos	72.20987654	18	4.011659808			
Total	348.5470312	20				

El valor crítico de F a 2 y 18 grados de libertad es menor que el estadístico de contraste, por lo que se puede afirmar que al interior de los 3 tratamientos evaluados hay

diferencias significativas en cuanto a valores de temperatura. El factor que aparentemente ocasiona valores más elevados es la presencia de una capa adicional de polietileno doble. La adición de la malla sombreadora amortigua ligeramente ese efecto.

ANOVAs de 1 factor conducidos para detectar las diferencias de temperatura entre uno y otro tratamiento dan como resultado que no hay dos tratamientos similares entre sí, sino que cada uno de los 3 es significativamente distinto de los otros dos.

En la tabla 6.2 se muestran los valores obtenidos para el Análisis de Varianza realizado para detectar diferencias significativas en los valores promedio de humedad relativa dentro de las tres coberturas empleadas.

**Tabla 6.2.** ANOVA de humedad relativa entre las 3 coberturas probadas.

<b>Análisis de varianza de un factor</b>					<b>(Humedad relativa, %)</b>		
<b>RESUMEN</b>							
<i>Grupos</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>			
PET +Malla	6	466.6	77.76666667	207.2746667			
PET Doble	6	466	77.66666667	152.8586667			
PET Doble capa + Malla	6	466.3	77.71666667	144.4816667			
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>							
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>	
Entre grupos	0.03	2	0.015	8.91769E-05	0.999910828	3.682320344	
Dentro de los grupos	2523.075	15	168.205				
Total	2523.105	17					

En este caso, el valor crítico de F es mucho mayor que el estadístico de contraste, por lo que la hipótesis nula se acepta y se concluye que en los tres tratamientos la humedad relativa se comporta de manera similar o sin diferencias significativas.

Los ANOVAs conducidos posteriormente para detectar si hay algún grupo cuyos resultados sean significativamente diferentes de los otros dos no arrojan diferencias significativas. Esto quiere decir que la humedad relativa se comporta de manera similar entre las tres estructuras empleadas, sin diferencias significativas.

Finalmente, se presenta la tabla 6.3, que resulta del Análisis de Varianza realizado para detectar las diferencias en cuanto a la radiación solar entre las tres coberturas.

**Tabla 6.3.** ANOVA de humedad relativa entre las 3 coberturas probadas.

Análisis de varianza de un factor		Radiación Solar (W/m <sup>2</sup> )				
<b>RESUMEN</b>						
Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza		
PET +Malla	7	1754	250.5714286	568.0257143		
PET Doble	7	3532.6	504.6571429	5243.919524		
PET Doble capa + Malla	7	1620.6	231.5142857	239.9814286		
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	325569.4057	2	162784.7029	80.69398978	1.03113E-09	3.554557146
Dentro de los grupos	36311.56	18	2017.308889			
Total	361880.9657	20				

Nuevamente hay una diferencia significativa al interior de los tratamientos evaluados. En este caso, es la presencia de la malla sombreadora la que ocasiona una disminución significativa de los valores de radiación solar al interior de las estructuras; las pruebas conducidas posteriormente para detectar cual es el tratamiento que es diferente muestran que la diferencia significativa se da con el PET Doble, que recibe menor cantidad de radiación solar que los otros dos tratamientos.

Para decidir la cubierta a emplear en el ensayo, se siguió el siguiente razonamiento: el PET Doble+Malla y el PET+Malla presentan niveles de temperatura relativamente similares, o cuando menos, sin la drástica diferencia que proporciona el polietileno doble sin malla sombreadora. Sin embargo, el PETDoble+Malla obscurece más el interior de la estructura nodriza. Por otro lado, comparando los niveles de temperatura en cubiertas de polietileno doble, con y sin malla (PETDoble+Malla y PETDoble), se tiene que la malla sirve como agente amortiguador de la temperatura durante el día. Es esta facultad y no específicamente la cantidad de radiación solar que permite pasar la que hizo decidir su empleo en las nodrizas.

Al presentar comportamientos similares en temperatura, y al tener una amortiguación de la luz respecto del exterior, se optó por la cubierta de PET+Malla. Un factor adicional para tomar esta decisión es que con una cubierta sencilla de plástico, se ahorra en material para la estructura nodriza, sin que esto repercuta de manera negativa en

el comportamiento de las variables climáticas. La humedad relativa no sufre cambios significativos entre una cobertura y otra.

Con los valores medios de temperatura y humedad relativa obtenidos al mediodía y a la media noche, y con ayuda del software Psicro (mc4software), que realiza automáticamente los cálculos del diagrama de Mollier, se obtuvieron los valores de entalpía de cada condición a media noche, a medio día y a dos horas escogidas en función de los registros mínimos (06:30 horas) y máximos (14:30 horas) de temperatura. Puesto que la humedad relativa es una función inversa de la temperatura (Valera y Molina, 2003), se considera suficiente escoger uno de los dos parámetros para seleccionar los valores de cálculo. Por otro lado, cabe resaltar aquí que el límite inferior de registro del sensor de humedad es fijo a 20.7%, lo que impide conocer el valor real de la humedad relativa. En ese sentido, los cálculos de entalpía a la hora de temperatura máxima se presentan como una referencia aproximada y para efectuar comparaciones solamente entre las tres coberturas en ese instante; no para hacer comparaciones con cálculos efectuados con datos de otros horarios. En la tabla 6.4 se muestran los resultados.

**Tabla 6.4** Valores de Entalpía de las 3 coberturas evaluadas a la medianoche, al mediodía y a la hora de los registros mínimos y máximos de temperatura, según diagrama de Mollier.

Cobertura	<b>Mediodía (12:00 hrs.)</b>		
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Entalpía KJ/Kg
PET Doble	40.540	77.667	139.560
PET + Malla	33.063	77.767	97.260
PET Doble + Malla	32.643	77.717	95.270
<b>Medianoche (0:00 hrs.)</b>			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Entalpía KJ/Kg
PET Doble	5.565	77.667	16.500
PET + Malla	5.843	77.767	17.010
PET Doble + Malla	5.917	77.717	17.140
<b>Hora a la que se registró el valor más alto de Temperatura (14:30 hrs.)</b>			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Entalpía KJ/Kg
PET Doble	42.786	20.700	71.300
PET + Malla	33.556	20.700	50.640
PET Doble + Malla	32.706	20.700	48.980
<b>Hora a la que se registró el valor más bajo de Temperatura (6:30 hrs.)</b>			
	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Entalpía KJ/Kg
PET Doble	0.324	92.550	9.270
PET + Malla	0.472	93.783	9.640
PET Doble + Malla	0.620	92.300	9.740

Los niveles de entalpía de cada una de las condiciones varían ampliamente entre el día y la noche. La entalpía de la condición diurna es más elevada que la nocturna, debido principalmente al desplazamiento de la temperatura hacia niveles superiores, dado que la humedad relativa es una función inversa de la temperatura (Valera y Molina, 2003). Puede apreciarse que los valores de entalpía de las dos coberturas que cuentan con protección de malla sombra se aproximan mucho más entre sí que aquellos que son los resultantes de los datos de la cobertura de PET Doble. Por otro lado, el intervalo entre los valores máximos y mínimos de la entalpía siempre es mayor en la estructura de PET Doble.

### ***Diseño de la estructura***

Siendo este el primer ensayo para una estructura individual, se buscó que el invernadero nodriza cumpliera con los siguientes principios de diseño:

- Tamaño reducido pero suficiente para alojar en su interior, holgadamente, una plántula de la especie seleccionada. Considerando que los coeficientes de transmisividad de las coberturas convencionales de polietileno son elevados – entre 85 y 92% a la luz solar directa- (Hernández y Soriano, 2003), es necesario asegurarse de que la planta no estará en contacto directo con el plástico.
- Presencia de los elementos básicos de un invernadero: estructura, cobertura, fuentes de ventilación.
- Sencillez en la construcción de la estructura.
- Facilidad de operación, especialmente en la apertura y el cierre.

*Cono truncado.* La idea inicial fue un diseño en forma de cono trunco, construido en torno a un eje central. La superficie convexa del exterior del cono opone menos resistencia que un poliedro con facetas, aunque en una estructura de dimensiones tan reducidas más bien hubo que dar importancia a un buen anclaje, dado que las ráfagas rápidas de viento de corta duración podrían afectarles. (NTC-DF, 2004). Sin embargo, como lo muestran las imágenes de la figura 6.5, la construcción de un cono no es práctica, dada la dificultad de estirar una sola pieza curva de PET y lograr que el cono exterior quede sin arrugas ni pliegues.



**Figura 6.5.** Construcción de la primera idea de estructura: un cono.

La manera de construir el cono fue la siguiente: se emplea una estructura central a manera de eje, con dos juegos perpendiculares de círculos concéntricos de alambón en los extremos; el de la parte superior soldado al eje central, y el inferior clavado al suelo mediante ganchos. La pieza de plástico que formaría el cono contaría con una ceja en la parte superior e inferior, para anclarla mediante un dobléz asegurado con grapas a los aros de alambón que forman la base y la punta del cono trunco. Cabe señalar que en este primer prototipo se probó la colocación de dos capas de PET, pero la estructura nodriza resultante no tenía los lados tensos; la superficie convexa exterior no resultaba lo suficientemente tensa y a consecuencia de ello, el área interna se reducía mucho, permitiendo el contacto de la plántula con la pared de PET.

Pirámide truncada. Ante las dificultades que presentó la construcción del cono, se optó por construir la pirámide trunca que se describe en el apartado de metodología. Se muestran en la figura 6.6 las imágenes de la estructura finalmente empleada.



**Figura 6.6.** Estructuras en forma de pirámide truncada empleadas en el experimento.

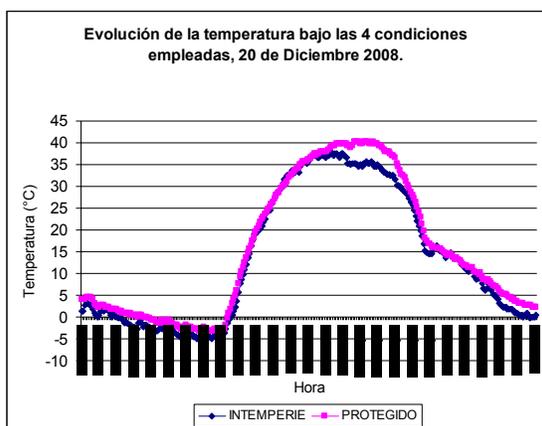
Solamente resta señalar que si estas estructuras llegan a ser portátiles, es conveniente que sólo se emplee una pieza de plástico y una de malla anclada en 4 rieles. Es más tardado emplear 4 piezas de PET y de Malla y ponerlas una por una.

### ***Variables climatológicas.***

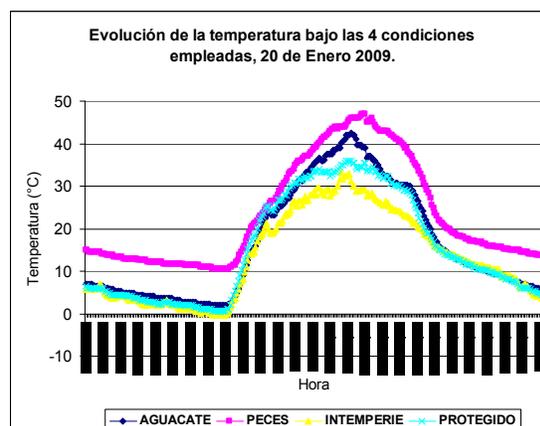
Temperatura. Se ha mencionado ya que se establecieron grupos de plantas bajo cuatro condiciones diferentes. En la figura 6.7 se muestra la evolución de la temperatura bajo las 4 condiciones, tomando un día de cada uno de los meses que duró el experimento. La figura 6.7 (a) solamente incluye dos condiciones; se ha mencionado ya que fue en el mes de enero cuando se introdujeron plantas adicionales en los invernaderos hortícola y

piscícola. El sensor empleado almacena los datos empleando la escala de Fahrenheit; para su interpretación fueron convertidos a la escala de Celsius a través de la siguiente fórmula:

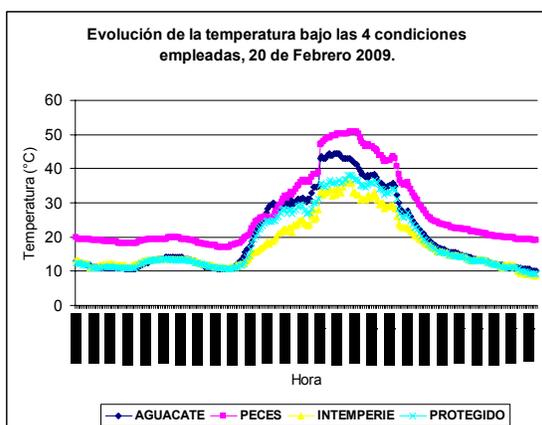
$$^{\circ}\text{C} = [ (^{\circ}\text{F} - 32) * 5 ] / 9$$



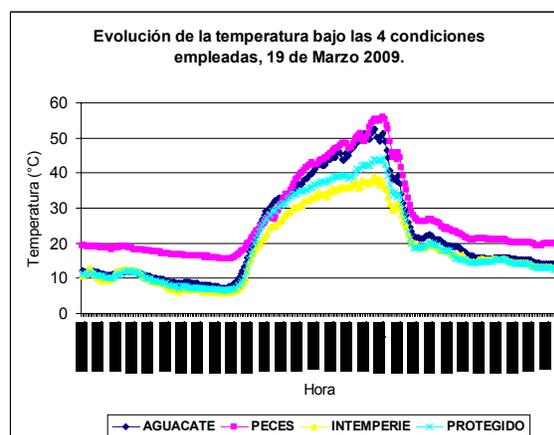
a.



b.



c.



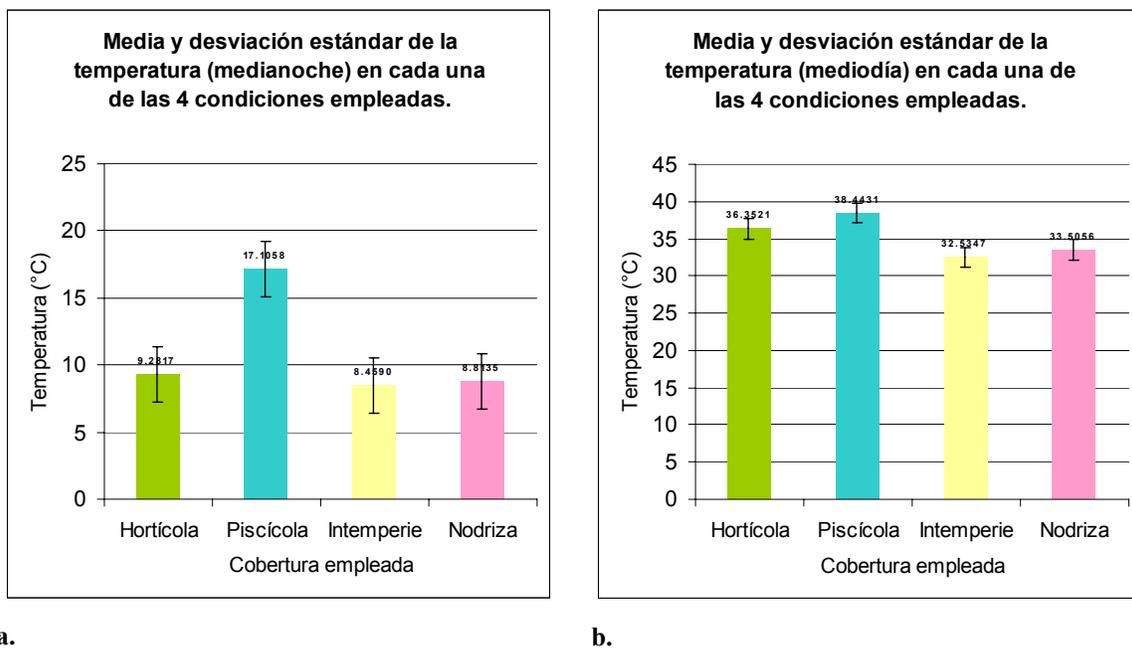
d.

**Figura 6.7.** Evolución diaria de la temperatura en 4 fechas diseminadas a lo largo del experimento (a., 20 de Diciembre; b., 20 de Enero; c., 20 de Febrero y d., 19 de Marzo).

Se puede apreciar en las gráficas anteriores que en los cuatro grupos la temperatura sigue la tendencia cíclica propia de los lugares con el invierno de los climas del tipo Templado Seco, concretamente el BS1kw'(w) según la clasificación de Köppen modificada por Enriqueta García (INEGI, 1986): ascenso diurno y descenso nocturno.

Las diferencias al interior de los cuatro grupos se presentan de la siguiente manera: el Grupo Nodrizas (Protegido) sigue en general los valores del Grupo Intemperie,

si bien el rango se amplía para los valores máximos y mínimos. I. e., a media mañana, el Grupo Nodriza tiene una mayor temperatura interior que los valores de intemperie, medidos en el Grupo Testigo. El Grupo Hortícola tiene asimismo la tendencia similar, pero ligeramente suavizada, lo que quiere decir que la temperatura nocturna no llega a descender tanto. El Grupo Piscícola sigue los valores del Grupo Testigo, pero entre cinco y diez grados más arriba. En la figura 6.8 se aprecia de manera puntual el comportamiento promedio de la temperatura, al mediodía y a la medianoche, con el cálculo de la media y desviación estándar de cada cobertura empleada.

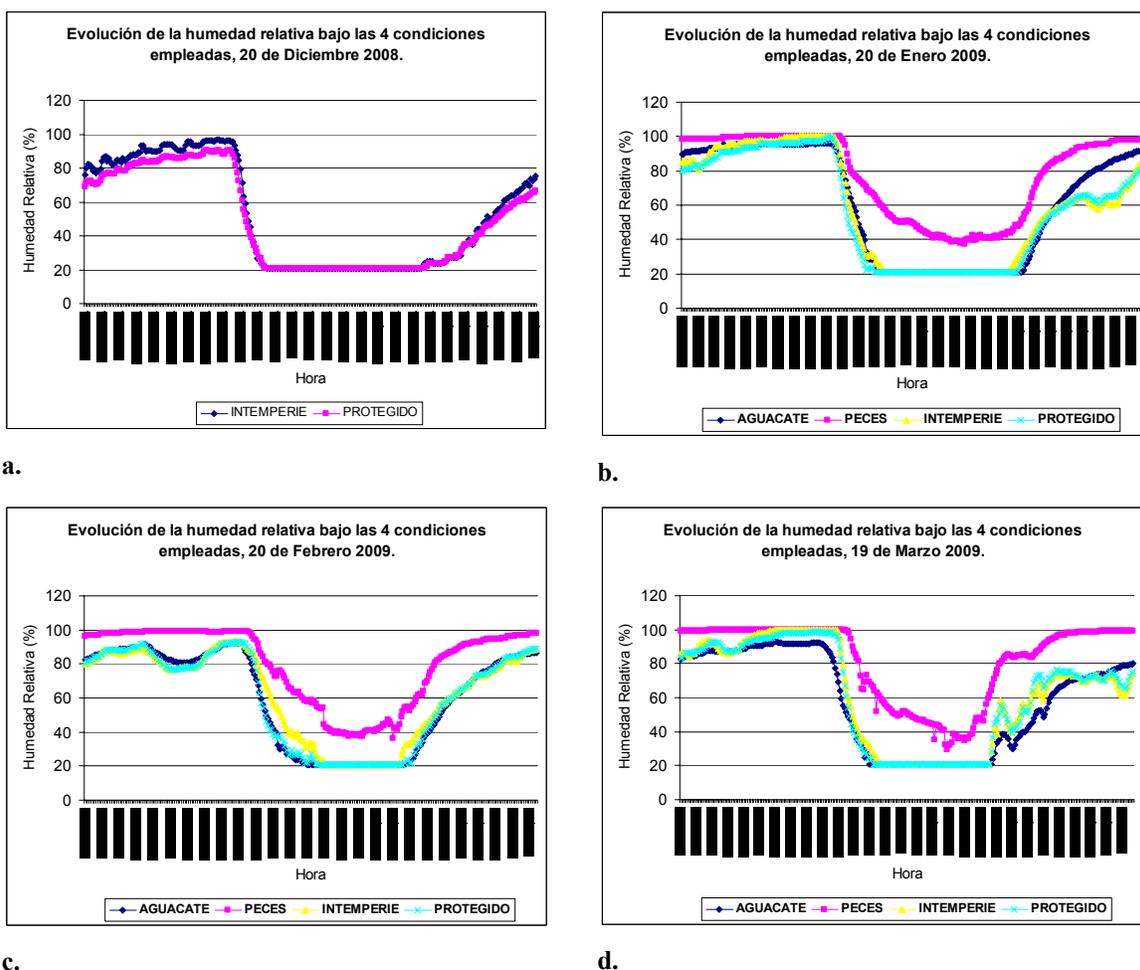


**Figura 6.8.** Media y desviación estándar de la temperatura dentro de cada cobertura, a la medianoche (a.) y al mediodía (b.).

Rzedowski (1998) mencionó que la temperatura mínima extrema –no menor a los 0°C- es un factor determinante para la distribución del Bosque Tropical Caducifolio, tipo de vegetación donde *Albizia occidentalis* habita. De acuerdo con los datos expuestos en la figura anterior, y con la memoria completa de los datos almacenados en los sensores, los grupos Nodrizas y Testigo sufrieron cambios drásticos de temperatura en las primeras semanas del invierno, con descensos por debajo de los 0°C prácticamente desde el primer

día de establecimiento. Puede ser posible que estos valores extremos fuesen determinantes para la respuesta de las plántulas.

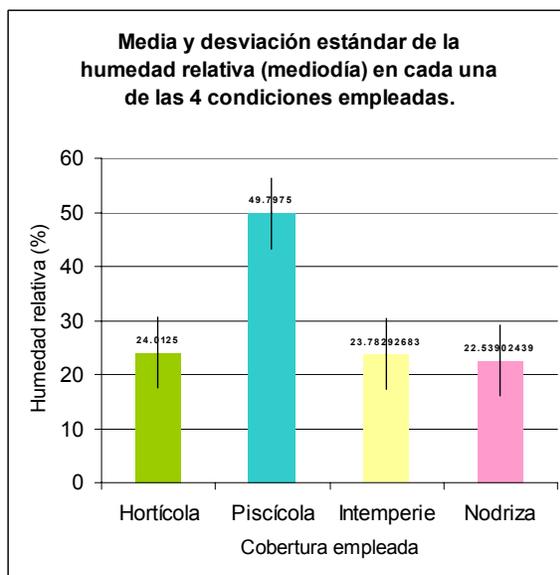
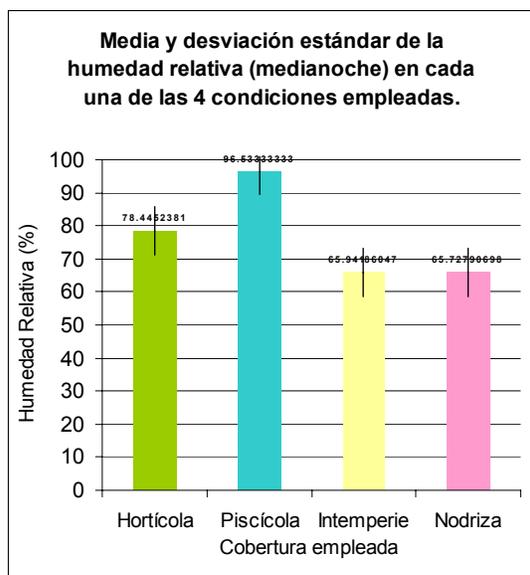
Humedad relativa. Los datos de esta variable, que es la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el aire húmedo y la presión de saturación a la misma temperatura se presentan como valores porcentuales en la figura 6.9. En estas gráficas se presenta el comportamiento de la humedad relativa de los 4 grupos en un día seleccionado de cada uno de los meses que duró el experimento.



**Figura 6.9.** Evolución diaria de la temperatura en 4 fechas diseminadas a lo largo del experimento (a., 20 de Diciembre; b., 20 de Enero; c., 20 de Febrero y d., 19 de Marzo).

El sensor está programado para medir humedad relativa en un rango de 20 a 100%. El comportamiento del Grupo Nodrizas sigue en general el del Grupo Testigo, aunque con frecuencia los valores nocturnos del Grupo Nodrizas van demorados en tiempo

con respecto a la intemperie, especialmente en la noche, madrugada y primeras horas de la mañana. Por el contrario, en la mañana, los valores en ese Grupo Nodrizas disminuyen más rápidamente que en el Grupo Testigo. En ningún caso los valores del Grupo Nodrizas alcanzan los valores más altos de humedad relativa del Grupo Testigo. El Grupo Hortícola presenta un comportamiento mucho más suavizado que el Grupo Nodrizas; el periodo de “demora” para alcanzar los valores de Humedad Relativa de la intemperie es todavía más amplio que el del Grupo Nodrizas. Dicho en otras palabras, el rango de valores de humedad relativa del Grupo Hortícola es más corto que el de los Grupos Testigo y Nodrizas. El caso extremo es el Grupo Piscícola, cuyos valores de humedad relativa son superiores a todos los de las otras series y llegan a la saturación cada noche. En la figura 6.10 se aprecia de manera puntual el comportamiento promedio de esta variable, al mediodía y a la medianoche, con el cálculo de la media y desviación estándar de cada cobertura empleada.



a.

b.

**Figura 6.10.** Media y desviación estándar de la humedad relativa dentro de cada cobertura, a la medianoche (a.) y al mediodía (b.).

Hanan (1997) menciona que una mala ventilación puede traer problemas en instalaciones con elevada humedad relativa, concretamente al nivel del follaje de las plantas. Este caso parece presentarse en el invernadero piscícola.

La interacción entre la temperatura y la humedad genera condiciones específicas de energía disponible al interior de un invernadero. La entalpía es una función de estado

que indica el calor total a presión constante disponible en una masa de aire (Valera y Molina, 2003). Expresa una medida de la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, o, lo que es lo mismo, la cantidad de energía que tal sistema puede intercambiar con su entorno, y las unidades con que se mide son Kilo Joules por kilogramo.

Los diagramas psicrométricos o de aire húmedo se desarrollaron con la intención de facilitar los cálculos relacionados con el aire húmedo de forma gráfica. Uno de los más conocidos es el diagrama de Mollier, esquema oblicuángulo que representa en abscisas la humedad absoluta y en ordenadas la entalpía. El eje vertical representa la temperatura ordinaria. A través de la localización de valores de humedad y temperatura en el diagrama puede inferirse el valor de entalpía presente en el interior de la estructura en un momento dado. En la figura 6.11 se ilustra un diagrama de Mollier.

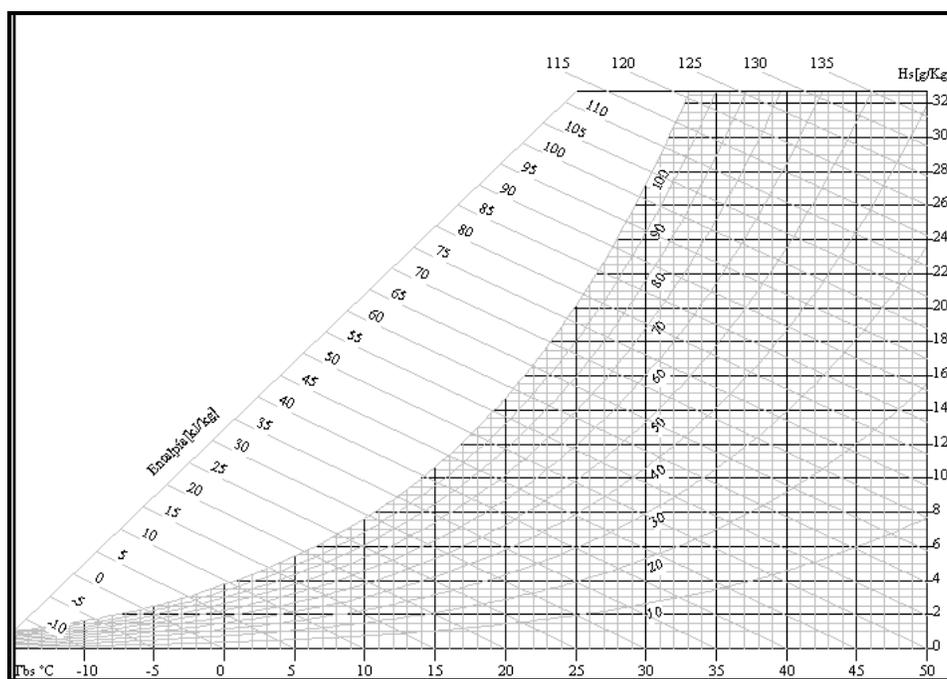


Figura 6.11. Diagrama de Mollier

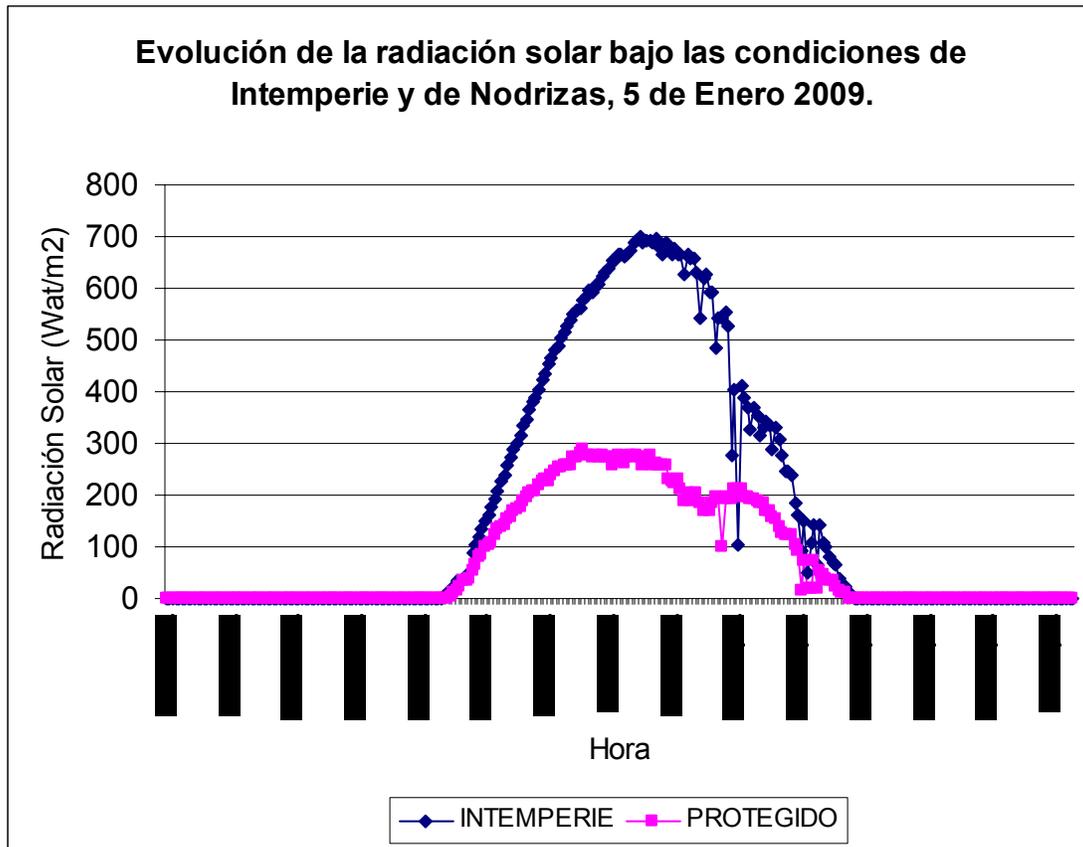
Con los valores medios de temperatura y humedad relativa obtenidos al mediodía y a la media noche, y con ayuda del software Psicro (mc4software), que realiza automáticamente los cálculos del diagrama de Mollier, se obtuvieron los valores de entalpía de cada condición a media noche y a medio día. En la tabla 6.5 se muestran los resultados.

**Tabla 6.5.** Valores de Entalpía de los 4 tratamientos a la medianoche y al mediodía, según diagrama de Mollier.

	Temperatura °C	Humedad Relativa (%)	Entalpía KJ/Kg
<b>Medianoche</b>			
Invernadero Hortícola	9.281	78.445	23.60
Invernadero Piscícola	17.105	96.533	46.93
Estructura Nodriza	8.813	65.727	20.41
Intemperie	8.459	65.941	19.81
<b>Mediodía</b>			
Invernadero Hortícola	36.352	24.012	59.62
Invernadero Piscícola	38.443	49.797	93.65
Estructura Nodriza	33.505	22.539	52.07
Intemperie	32.534	23.282	50.68

Los 2 invernaderos –hortícola y piscícola- y la estructura nodriza pueden considerarse como sistemas cerrados, mientras que la intemperie es un sistema abierto. En la tabla anterior puede observarse que los niveles de entalpía de cada una de las condiciones varían ampliamente entre el día y la noche. La entalpía de la condición diurna es más elevada que la nocturna, debido principalmente al desplazamiento de la temperatura hacia niveles superiores, dado que la humedad relativa es una función inversa de la temperatura (Valera y Molina, 2003). No obstante, en la noche hay una estructura que mantiene un nivel comparativamente elevado de entalpía: el invernadero piscícola, cuyos niveles de humedad relativa llegan cerca de la saturación a la media noche, muy probablemente debido a los grandes volúmenes de agua que contienen los estanques del interior. Hay diversas fuentes de vapor de agua dentro de un invernadero: la transpiración del cultivo, la evaporación desde el suelo y posibles aportes por sistemas de refrigeración (Nisen *et.al.*, 1998, en Valera y Molina, 2003). La mayor presencia de humedad absoluta en el medio podría traducirse en una ventaja con que contaron los individuos del invernadero hortícola. La temperatura diurna promedio es mayor en el invernadero hortícola que en la estructura nodriza, así como el valor de humedad relativa. No son diferencias muy grandes en apariencia; lo que podría representar la ventaja del invernadero sobre la estructura es el volumen interior de aire que tiene esas condiciones y que por ende, al lo largo del día y de la noche, participa dentro de un valor de entalpía más elevado. En cuanto a las estructuras Nodriza, el orificio superior es un sitio de fuga de energía que no resulta conveniente dejar abierto.

Radiación Solar. La radiación solar se midió a razón de  $W/m^2$ , y a lo largo del experimento se registraron de manera continua solamente para dos condiciones: el Grupo Nodrizas y el Grupo Testigo. La figura 6.12 muestra esta comparación para el día 5 de Enero de 2009.



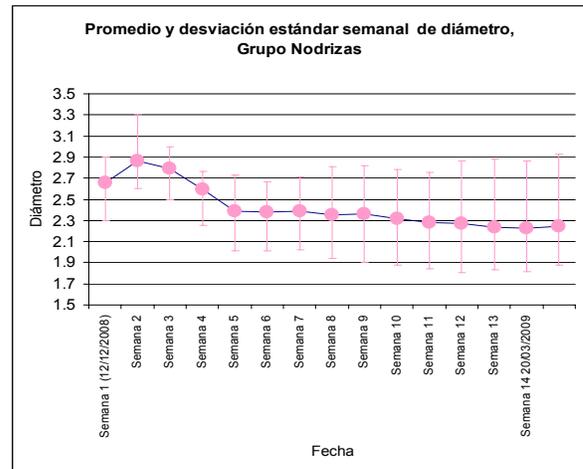
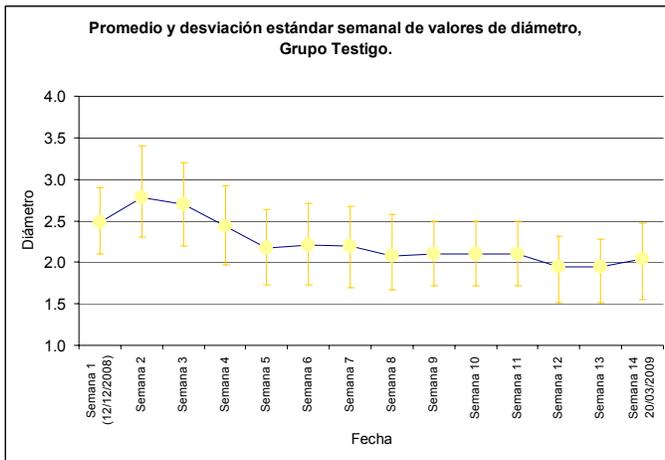
**Figura 6.12.** Valores de radiación solar al exterior y al interior de la nodriza.

Entre la puesta del sol y la salida del sol la medición de radiación solar es cero. En términos generales, los valores del Grupo Nodrizas siguen a los del Grupo Testigo, aunque con una atenuación. Es notable como el valor de la atenuación de radiación se mantiene estable la mayor parte del tiempo, entre un 40% y 55%. Este dato también sugiere que la malla sombreadora no amortigua la radiación a una tasa constante. Los puntos en donde los valores descienden súbitamente podrían obedecer a presencia instantánea de nubosidad.

### *Variables de los individuos de Albizia occidentalis.*

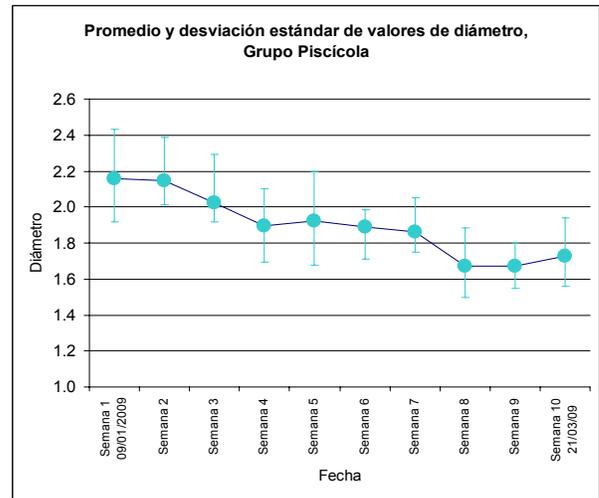
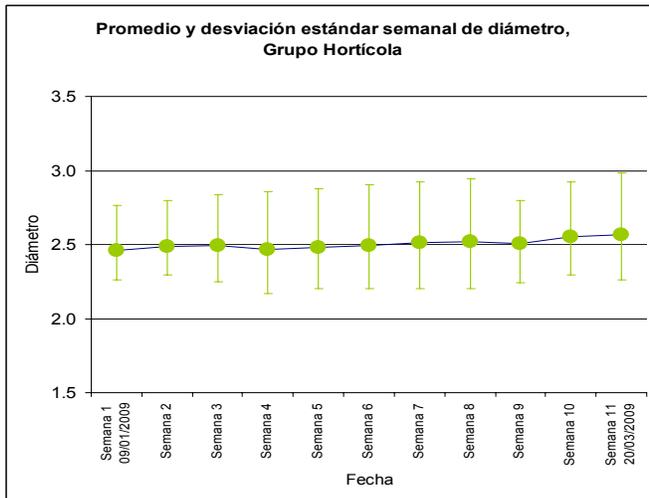
Se ha mencionado ya que los datos considerados para las plantas fueron: diámetro basal del tallo, altura de la base del tallo al meristemo apical, y defoliación semanal. Se presentan a continuación los resultados de cada variable, por grupo.

Incremento del diámetro basal del tallo. En la figura 6.13 se muestra la evolución del diámetro basal de los 4 grupos. Los datos se agruparon y se presentan de manera promediada, incluyendo en cada marca la desviación estándar.



a.

b.



c.

d.

**Figura 6.13.** Promedio de la medida del perímetro de las plantas, por grupo. a. intemperie, b. nodrizas, c. hortícola, d. piscícola.

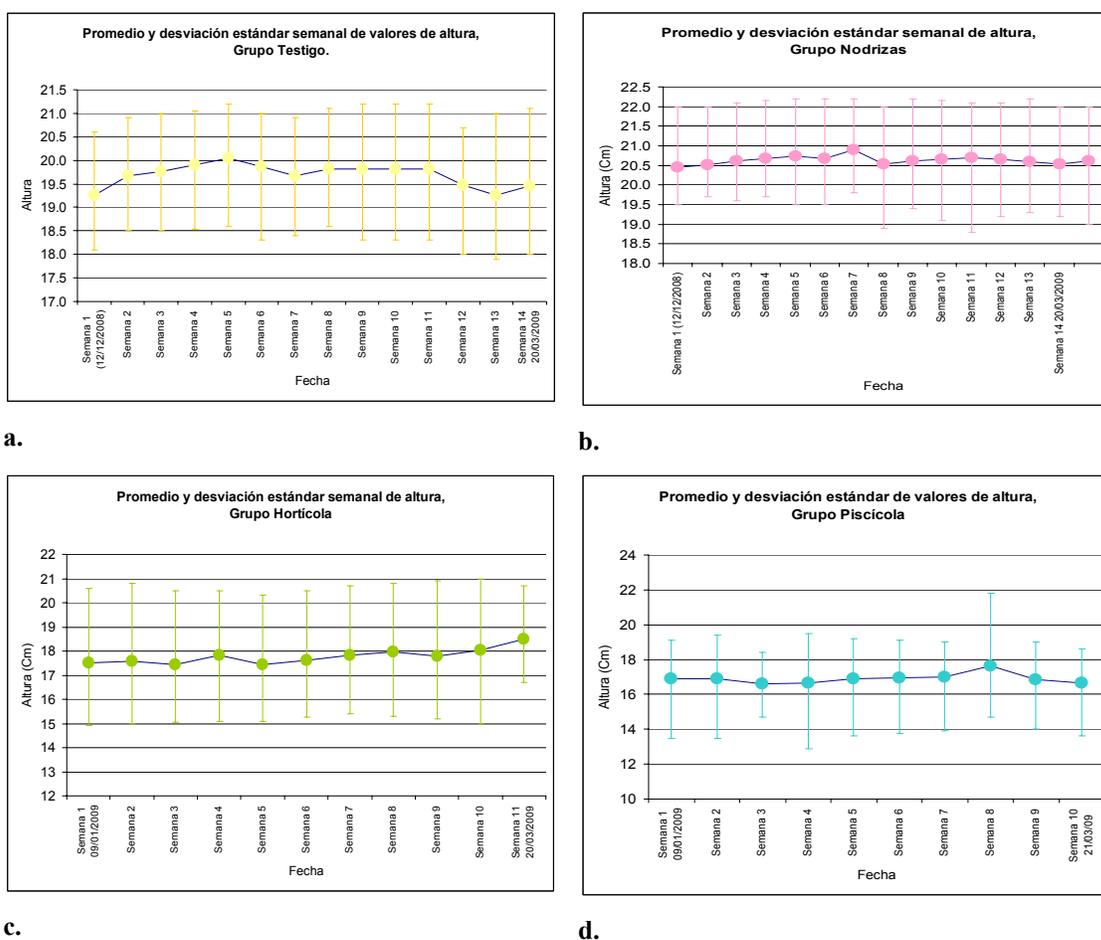
Si bien los datos iniciales aparentan un ligero aumento en el perímetro de los individuos del Grupo Nodriz, la tendencia general es una reducción en las dimensiones del tallo de las plantas, lo que se debe a una completa deshidratación de los individuos que estuvieron bajo tratamiento en esta condición. Este comportamiento se asemeja mucho al que presentaron otras dos condiciones: el Grupo Piscícola y el Grupo Testigo. Todos los individuos de esos grupos sufrieron una reducción en sus medidas del diámetro del tallo a la altura de la base. Este descenso tuvo un desenvolvimiento similar en los tres grupos: una bajada drástica inicial, con una fase de estabilización y una posterior continuación del descenso en las dimensiones. Esto puede deberse a los fenómenos relacionados con las respuestas fisiológicas de la planta al estrés hídrico ocasionado por las bajas temperaturas, que conducen a una deshidratación celular; la congelación del medio extracelular reduce la absorción y la conducción de agua al nivel de la raíz (Levitt 1980 en Busó 2005). El estrés hídrico lleva al daño de la membrana, dado que está relacionado a efectos de detrimento o desecación del protoplasma. La remoción del agua lleva a un incremento en la concentración de solutos, a medida que el volumen del protoplasma se encoge, lo que trae serias consecuencias estructurales y metabólicas (Hopkins y Hüner, 2004). El Grupo Hortícola, por el contrario, presentó una ligera tendencia de engrosamiento del tallo, si bien, -a manera semejante con los otros tres grupos- tuvo una primera etapa de disminución del diámetro con una franca recuperación y engrosamiento posterior. Una respuesta de las plantas ante el estrés puede ser la formación de aerénquima (Camarena Gutiérrez, 2006), lo que podría llevar a pensar que el engrosamiento inicial de los grupos Nodriz y Testigo se debe a este fenómeno; no obstante, la formación de aerénquima está más identificada con condiciones de hipoxia.

No se cuenta con datos previos específicos para crecimiento de etapas tempranas de *Albiza occidentalis*; sin embargo, en un trabajo realizado por Foroughbakhch *et. al.* (2006), al introducir diversas especies exóticas de *Leguminosae* de la zona Sur de México a condiciones de clima semiárido subhúmedo con invierno seco en el NE de México, el género *Albizia* (*A. caribea*, *A. guachapele*) mostró un crecimiento limitado en comparación con otros géneros manejados (*Gliricidia septium*, *Enterolobium cyclocarpum*, *Pithecellobium dulce*), atribuido a una mayor sensibilidad y baja tolerancia a sequía y

temperaturas bajas. No obstante, estos datos fueron conseguidos tras 15 años de mediciones.

Los valores negativos presentados por tres de los cuatro grupos evaluados, y la condición fisiológica de los individuos –muerte en los grupos Nodriza, Piscícola y Testigo–, hace innecesaria la comparación estadística en estas variables.

Incremento de la altura de la fusta hasta el meristemo. La figura 6.14 muestra la evolución del diámetro basal de los cuatro grupos. Los datos se agruparon y se presentan de manera promediada:



**Figura 6.14.** Promedio de la medida de la altura de la fusta de las plantas, por grupo. a. intemperie, b. nodrizas, c. hortícola, d. piscícola.

A excepción del Grupo Piscícola, todos los grupos de tratamiento y el Grupo Testigo presentaron al menos un ligero incremento en los valores promediados de la altura de

los individuos. El incremento se midió restando la cifra promedio de la primera semana de la cifra promedio de la última semana del experimento; para esta afirmación no se toman en cuenta las fluctuaciones intermedias. De manera similar al comportamiento de los datos de diámetro, es el Grupo Hortícola el que presenta un mayor incremento en la altura de los individuos, con un incremento promedio de 9.8 mm. Le siguen los individuos del Grupo Testigo, que en promedio tuvieron un incremento de 2.0 mm., y los del Grupo Nodrizas, que presentaron un aumento de 1 mm. Los datos promedio de los individuos del Grupo Piscícola sugieren que hubo una disminución promedio de la altura de 2.6 milímetros.

Debido a que los fenómenos que tuvieron lugar en las plantas son opuestos, se desistió de la realización de una prueba estadística para comparar a los grupos, de manera que solamente se presentan en la tabla 6.6 los datos de crecimiento porcentual promedio por grupo.

**Tabla 6.6.** Porcentajes de crecimiento promedio semanal por grupo.

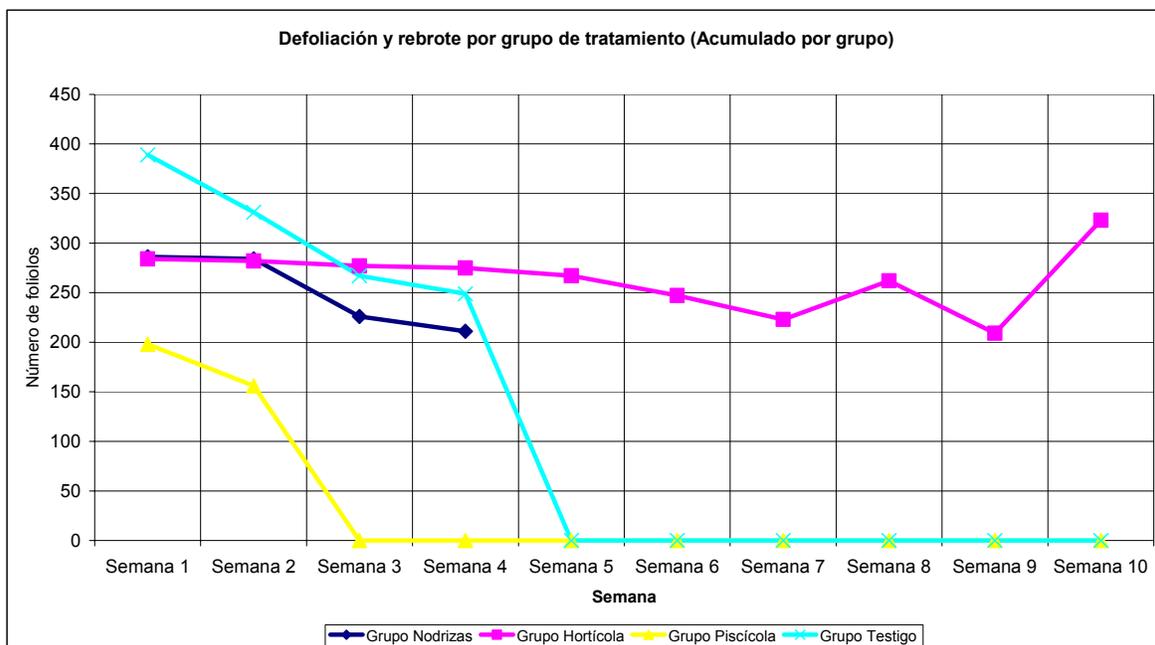
Fecha	Porcentaje de crecimiento (%) por grupo			
	Testigo	Nodrizas	Hortícola	Piscícola
16/01/2009	-0.8982	-0.2893	0.3425	-0.1182
23/01/2009	-0.9063	1.0638	-0.7395	-1.7751
31/01/2009	0.7114	-1.7225	2.1203	0.4819
06/02/2009	0.0000	0.3895	-2.1324	1.3189
14/02/2009	0.0000	0.1940	1.0894	0.2367
20/02/2009	0.0000	0.1936	1.0777	0.2361
27/02/2009	-1.7154	-0.1932	0.8979	4.0047
06/03/2009	-1.1294	-0.2904	-1.0011	-4.6433
13/03/2009	1.0384	-0.2913	1.2360	-1.0689

Como puede verse en la tabla anterior, muchos de los valores promedio son negativos. Algunas de estas mediciones pueden deberse a falta de precisión en el instrumento de medición; pero como se mencionó en el párrafo anterior, en tres grupos las comparaciones finales –y el propio estado de las plantas- no deja lugar a dudas acerca de la reducción de talla. Las bajas temperaturas conducen a una reducción de la disponibilidad de agua para las células vegetales, lo que se traduce en un fuerte estrés hídrico. La temperatura baja *per se* no juega un papel tan importante como la congelación del agua dentro y fuera del organismo (Bidwell, 1979). Ahora bien, hay que considerar que durante varias semanas de mediciones, los valores mínimos y máximos de temperatura fueron

extremos, por lo que las causas del estrés pudieron haber sido múltiples y las respuestas al estrés, también. Las elevadas temperaturas alcanzadas hacia las 14 horas pueden haber inducido un incremento en la transpiración. Respecto al cambio de talla, de acuerdo con lo descrito por Faiz y Weatherley (1982), las raíces de algunas plantas se contraen hasta en un 25% de su volumen original cuando el potencial hídrico del entorno de la raíz disminuye bajo condiciones de temperatura muy elevada, y cuando la tasa de transpiración se eleva. Lo anterior se debe a la resistencia presentada por la interfase raíz-suelo a que el agua del suelo se desplace por el sistema suelo-planta-atmósfera. La resistencia probablemente se debe al surgimiento de pequeñas grietas o huecos en torno a las raíces, con lo que la disponibilidad de agua del suelo se reduce. El “encogimiento” de la raíz ha sido reportado junto con un incremento en la transpiración (Mac Dougal 1936 en Faiz y Weatherley, 1982). El fenómeno fue descrito para *Helianthus annuus*, pero no se descarta que suceda en muchas especies de familias diferentes.

Defoliación y rebrote. Esta variable se tomó observando la evolución de las ramas, pinnas y foliolos. Se elaboró el esquema de cada planta al momento del inicio del experimento, y con la ayuda de ese esquema se realizó el registro semanal de pérdida o surgimiento de nuevas ramas, pinnas y foliolos.

La figura 6.15 muestra como fue que se desarrollaron los individuos en cuanto a esta variable. Los datos se presentan agrupando a los cinco individuos de cada grupo, y es importante resaltar que el eje X no presenta fechas, sino número de semanas, dado que para los individuos de los Grupos Hortícola y Piscícola el conteo comenzó en una fecha posterior.



**Figura 6.15.** Defoliación y rebrote por grupo de tratamiento (valores acumulados por número de foliolos).

En esta gráfica se puede apreciar que los Grupos Nodriza, Piscícola y Testigo sufrieron una defoliación constante. La cuenta se interrumpe para los Grupos Nodriza y Testigo a la semana número tres, ya que en ese momento todos los foliolos restantes estaban completamente secos, a consecuencia del estrés hídrico provocado por las bajas temperaturas invernales, y la cuenta no siguió realizándose. El Grupo Piscícola presentó una evolución todavía más drástica que las anteriores, pues en la semana número tres de observación, ninguno de los tallos tenía ya ni una rama. El Grupo Hortícola presentó una primera fase estable, con el mantenimiento del mismo número de ramas, pinnas y foliolos, que hacia las semanas 7 a 9 descendió. Sin embargo, en la última semana de observación, coincidiendo con el cambio estacional de invierno a primavera, los individuos ya se encontraban en franco crecimiento, con surgimiento de nuevas ramas, pinnas y foliolos. Esto se refleja en el último valor de la figura anterior.

Las plantas nativas de lugares calidos sufren daño cuando son expuestas a temperaturas bajas, no de congelación. Los signos de daño por frío pueden tener una gran variedad de formas, dependiendo de la especie y la edad de la planta, y la duración de la exposición al frío. Las plántulas jóvenes típicamente muestran signos de reducción de área foliar, marchitez y clorosis (Hopkins y Hüner 2004). Este dos últimos fenómenos se

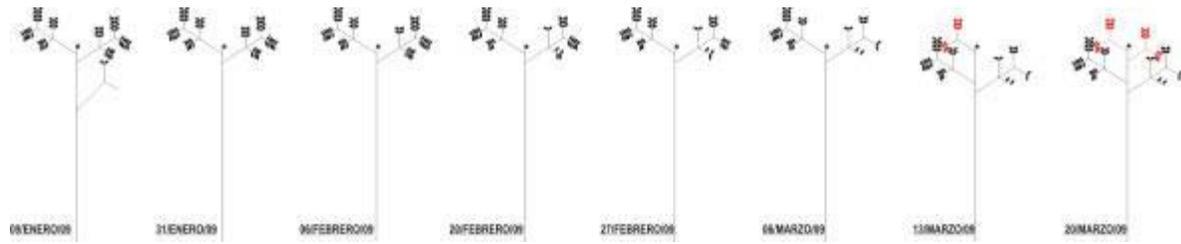
presentaron casi de inmediato en prácticamente todos los individuos de los grupos Nodriza y Testigo.

*Albizia occidentalis* es una especie que se distribuye en lugares donde la vegetación pierde sus hojas durante la estación invernal. La especie y sus variedades *Albizia occidentalis* Brandegees var. *occidentalis* y *Albizia occidentalis* var. *plurijuga* (Standl.) toleran entre 6 y 7 meses de sequía (Rico Arce *et. al.*, 2008), que coinciden ampliamente con el invierno del Bajío Mexicano. Otra variación estacional característica de *Albizia occidentalis* y de diversas *Leguminosae* es el cambio de los niveles y la distribución de trealosa sintetizada por bacterias en sus reservas nodulares. Altamirano-Hernández *et. al.* (2004) mencionan que esta azúcar está presente en los nódulos de las raíces, y aparentemente, situaciones como estrés por baja disponibilidad de agua, senescencia nodular e inducción de la floración están vinculadas directamente con un incremento de sus niveles. En un estudio conducido por estos autores, se menciona que la presencia de la trealosa ayuda a la planta a superar periodos de sequía; a futuro esta medición puede ser un criterio adicional para medir el desempeño de la planta bajo condiciones controladas.

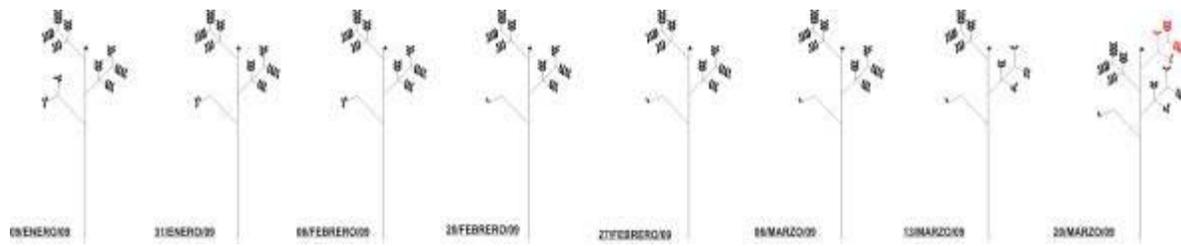
En las siguientes figuras se muestra de manera esquemática cual fue el desenvolvimiento de los individuos por grupo en cuanto a pérdida y rebrote de folíolos. Los esquemas están arreglados cronológicamente. Los dibujos en negro muestran la estructura original de cada plántula, tal y como llegó al Campus Amazcala de la U.A.Q. Las estructuras en rojo son brotes nuevos –presentes casi exclusivamente en el grupo hortícola- y las estructuras en azul pizarra son hojas y tallos completamente secos –situación presentada por los demás grupos. Se emplea la nomenclatura original de los individuos. La figura 6.16 muestra el grupo Hortícola; la 6.17 el grupo Piscícola; la 6.18 el grupo Nodrizas y la 6.19, el grupo Testigo.

## Grupo Hortícola

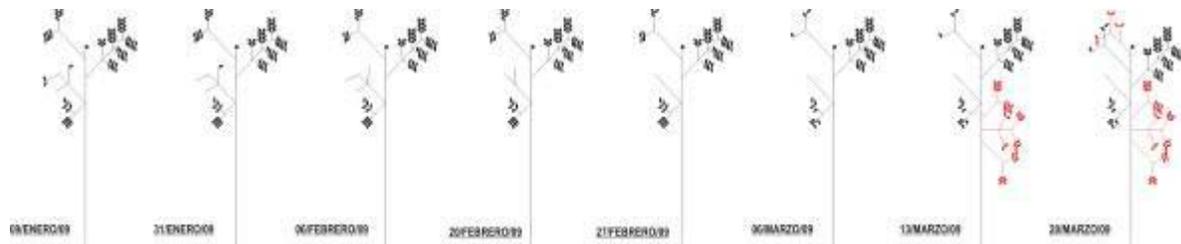
### Planta 15



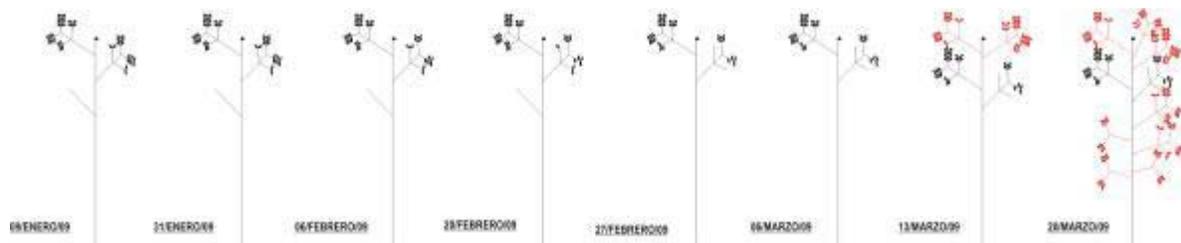
### Planta 16



### Planta 17



### Planta 18



### Planta 19

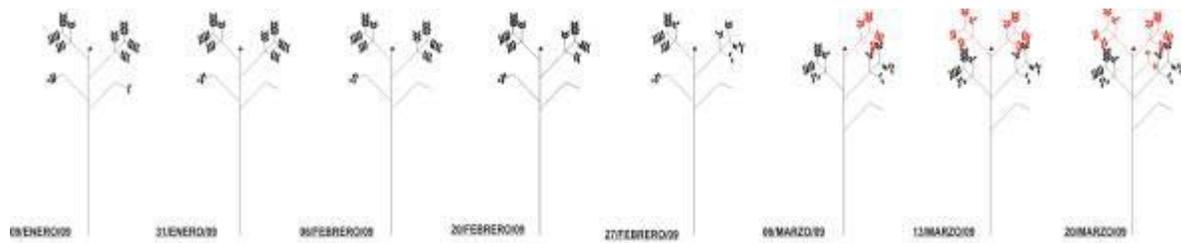
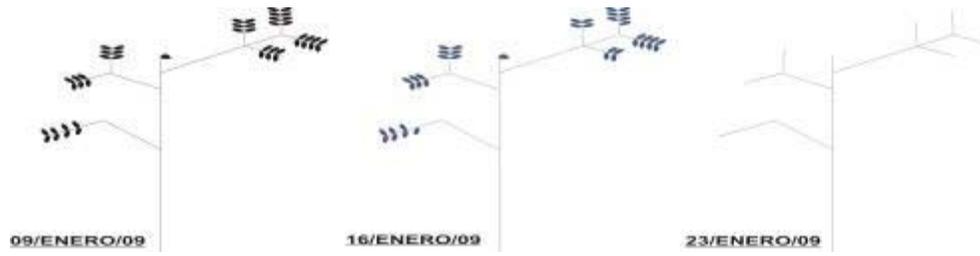


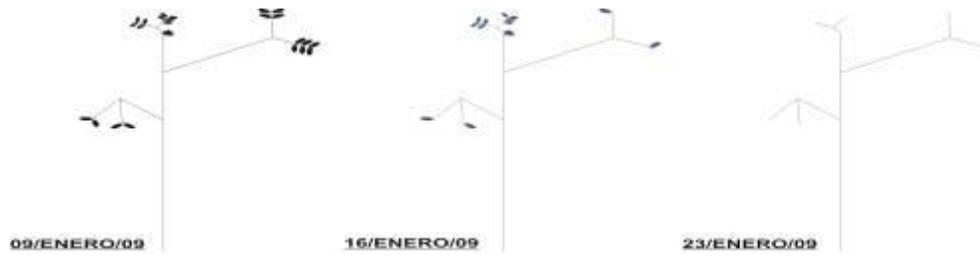
Figura 6.16. Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Hortícola.

## Grupo Piscícola

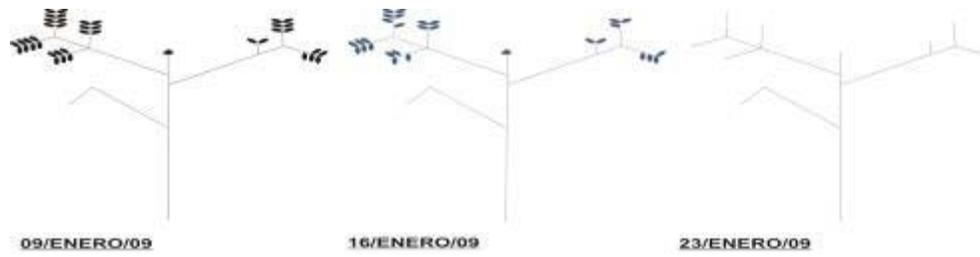
### Planta 20



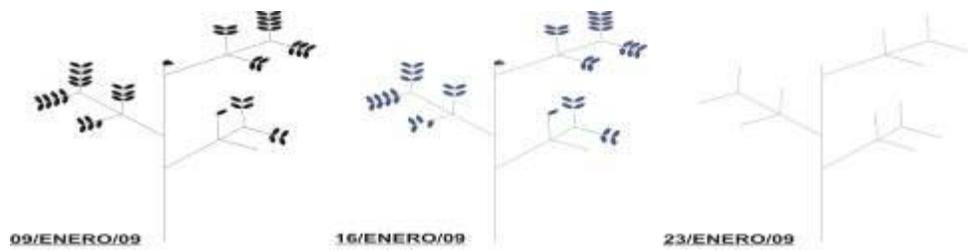
### Planta 21



### Planta 22



### Planta 23



### Planta 24

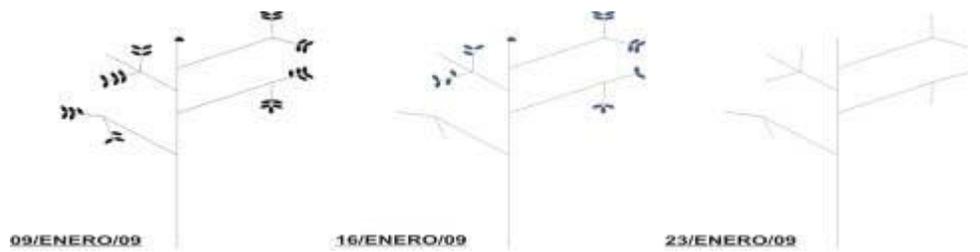
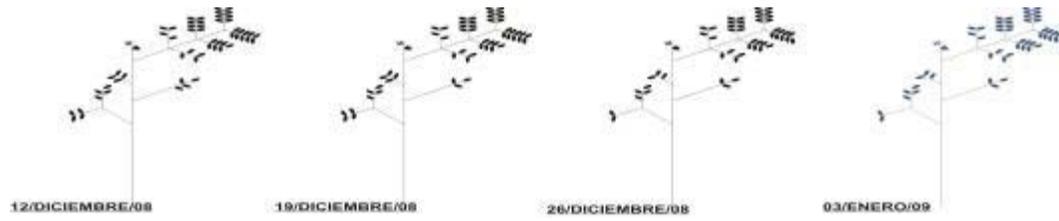


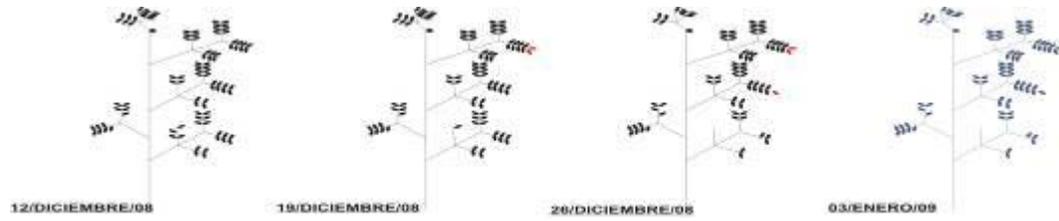
Figura 6.17. Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Piscícola.

## Grupo Nodrizas

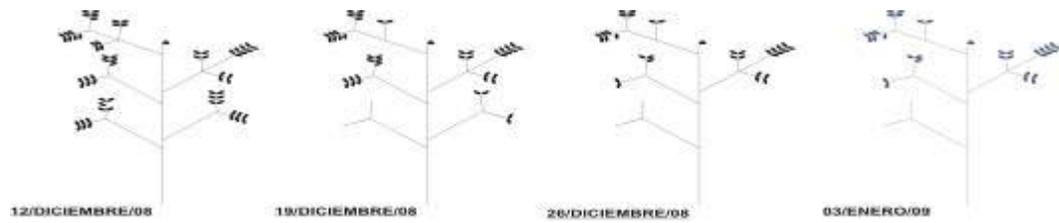
### Planta 1



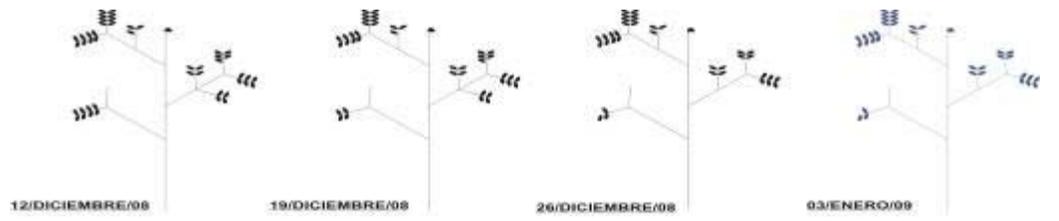
### Planta 2



### Planta 6



### Planta 11



### Planta 13

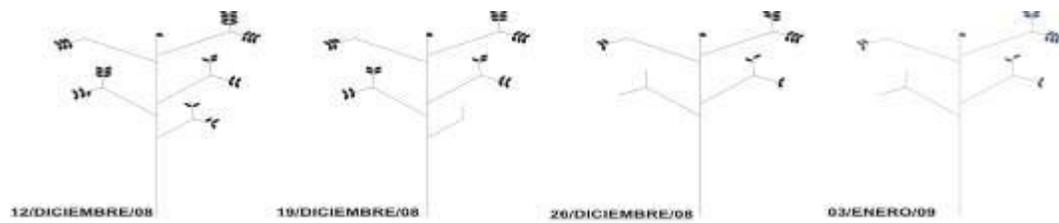
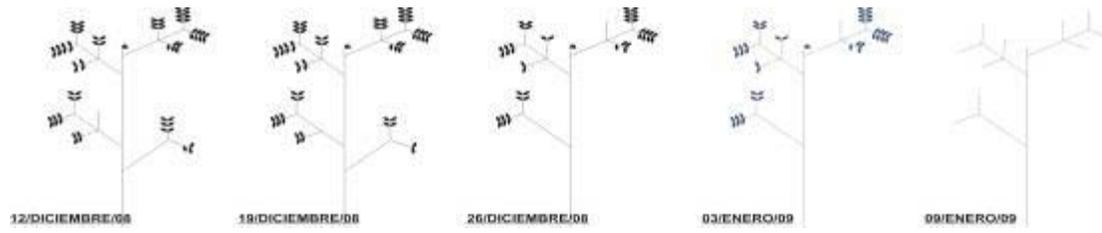


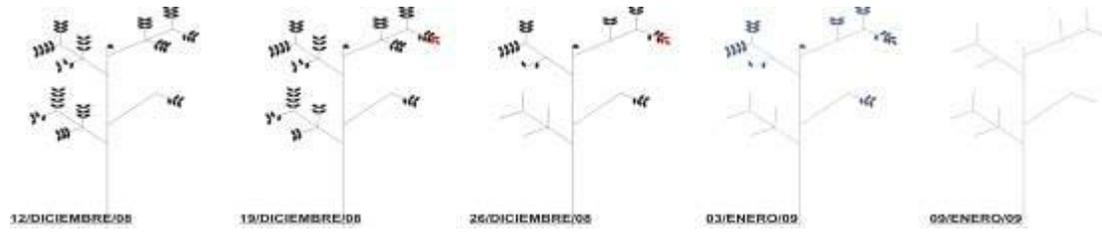
Figura 6.18. Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Nodrizas.

## Grupo Testigo

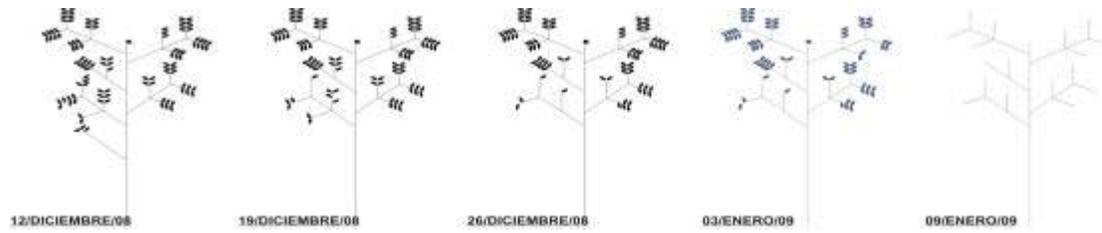
### Planta 5



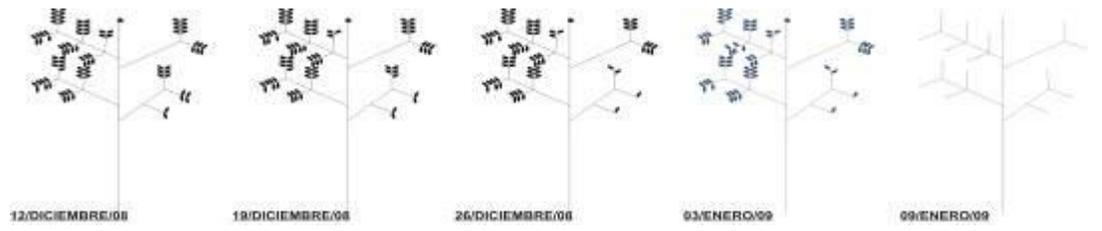
### Planta 7



### Planta 9



### Planta 10



### Planta 12

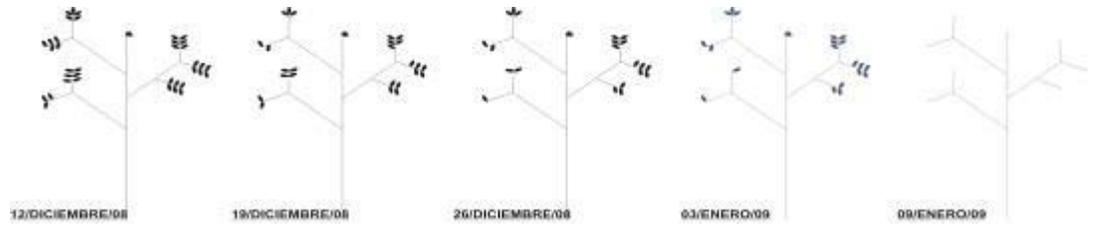


Figura 6.19. Evolución de defoliación y rebrote de los individuos del Grupo Testigo.

Puede observarse que solamente los individuos pertenecientes al Grupo Hortícola, resguardados durante la temporada invernal en un invernadero convencional de árboles de aguacate lograron sobrevivir exitosamente la temporada invernal, mostrando incluso presencia de nuevas pinnas de manera coincidente con las primeras semanas del mes de marzo, en las que la temperatura de todas las condiciones en general mostró un ascenso.

La estructura de protección individual –nodriza- sirvió como barrera protectora contra el viento. De ahí que los individuos de este grupo permanecieran con las hojas en su sitio, si bien la planta ya estaba seca. No es posible discernir si la malla sombra tiene un efecto determinado dada la respuesta de las plantas. El Bosque Tropical Caducifolio tiene comúnmente una altura de 5 a 12 metros, y los árboles que lo constituyen forman un techo de altura uniforme (Rzedowski, 1998), aunque no se disponen de datos del porcentaje de luz solar que atraviesa este dosel. Ahora bien, la característica más sobresaliente de esta formación vegetal la constituye la pérdida de sus hojas durante un periodo de 5 a 8 meses, que afecta a la gran mayoría o a veces la totalidad de los componentes de la comunidad, y aunque la caída del follaje no es necesariamente simultánea para las diferentes especies, son muchos los meses durante los cuales se mantiene la fisonomía correspondiente al letargo estacional, que coincide precisamente con el invierno, por lo que es posible que ni aun con una protección que ofrezca las condiciones ideales de la época estival, se pueda evitar la defoliación de una planta que habita un bosque caduco. Harker *et. al.* (1999) mencionan la necesidad de escoger un momento propicio para la introducción de una especie, y sugieren evitar los meses fríos. La nodriza empleada en este caso no aminora lo suficiente el impacto de las condiciones de clima invernales sobre los individuos jóvenes de *Albizia occidentalis*.

En este sentido, la “no defoliación”, del Grupo Nodriza, no obedece a la condición fisiológica de la planta, sino a la protección contra el viento que ofrece la mampara. Las hojas sufrieron clorosis y marchitez evidentes en un tiempo muy rápido. En casos extremos, las hojas se tornan de color café y mueren por necrosis (Hopkins y Hüner, 2004). La pérdida de hojas –ya dañadas- en el lote Testigo tal vez no se debe estrictamente a la necrosis del pecíolo sino al arrastre por el viento.

Los individuos del Grupo Piscícola estuvieron sometidos a condiciones extremas de temperatura y humedad relativa. Hanan (1997) menciona que una mala ventilación puede traer problemas en instalaciones con elevada humedad relativa, concretamente al nivel del follaje de las plantas. En este invernadero en particular habría hecho falta algún sistema de ventilación para las plantas, aunque la finalidad de la instalación no es la de propagación de plantas. El mecanismo fisiológico por el cual perdieron las hojas queda fuera del alcance de este trabajo.

En la siguiente secuencia fotográfica, mostrada en las figuras 6.20 a 6.23, se muestra la apariencia de cada uno de los lotes al concluir el experimento.



**Figura 6.20.** Apariencia de los individuos del Grupo Hortícola al término del experimento.



**Figura 6.21.** Apariencia de los individuos del Grupo Piscícola al término del experimento.



**Figura 6.22.** Apariencia de los individuos del Grupo Nodrizas al término del experimento.



**Figura 6.23.** Apariencia de los individuos del Grupo Testigo al término del experimento.

## VII. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS.

### *Conclusiones.*

Las plántulas que se mantuvieron dentro de las estructuras nodriza, a la intemperie, y dentro del invernadero piscícola no sobrevivieron a la temporada invernal.

Los grupos de plantas mencionados en el punto anterior enfrentaron condiciones de estrés de diverso origen: fluctuaciones drásticas entre valores máximos y mínimos de temperatura y baja disponibilidad de agua en los grupos Nodriza e Intemperie; y valores muy elevados de temperatura y de humedad relativa en el grupo Piscícola.

Las plántulas que se mantuvieron dentro del invernadero hortícola sobrevivieron a la temporada invernal y hacia el inicio de la primavera acusaban ya surgimiento de nuevos brotes.

La estructura nodriza no modifica de manera significativa los factores abióticos que inciden sobre la plántula, respecto de los que enfrentaron los individuos que fueron establecidos a la intemperie.

Esta falta de reducción de extremos de temperatura puede deberse a lo reducido del volumen interior de la estructura nodriza. La radiación neta que calienta a la estructura se absorbe por la cubierta, el suelo y las plantas; sin embargo, lo reducido del volumen interior y el reducido tamaño de la plántula no permiten una gran absorción de radiación que permita una liberación prolongada durante la noche, y con ello, una disminución menos drástica de los valores nocturnos de temperatura.

Por otro lado, el diseño es deficiente al no estar completamente cerrado: la abertura superior convierte a la estructura Nodriza en una pantalla de protección más que en un sistema cerrado.

Lo anterior cobra sentido al comparar los valores de temperatura del invernadero hortícola –una estructura de mayor volumen cubierta con el mismo tipo de PET- con los de las nodrizas. La elevación diurna de la temperatura es mayor en el invernadero hortícola; el descenso vespertino y nocturno es ligeramente menos drástico que en las nodrizas.

### ***Propuestas.***

Una estructura nodriza individual para protección de plántulas durante el invierno podría no ser la mejor alternativa para ayudar al establecimiento de plántulas en la temporada invernal. Algunos autores señalan la conveniencia de cubrir superficies amplias donde se hayan establecido varios individuos (Rey Benayas *et. al.* 2005, Harker *et. al.* 1999); pero también señalan el elevado costo que ello significa. Este es un amplio campo de posibilidades para proponer materiales de sombreado o técnicas combinadas de sombreado/protección artificial con infraestructura o condiciones naturales, como sombreado adicional proporcionado por árboles maduros ya establecidos en la zona de interés, establecimiento de parches de protección con ramas secas alrededor de los nuevos individuos, construcción de microcuencas de captación de agua en torno al tallo de los individuos a establecer.

Otra opción potencial es el empleo de estructuras de protección individual – nodrizas- en un momento o un lugar en que la temperatura anual no fluctúe de manera tan drástica como la registrada durante la temporada invernal en la zona del Campus Amazcala de la U.A.Q.

Es necesario replantear el diseño de la estructura Nodriza, modificando el tamaño para ampliar el volumen interno, eliminando el orificio superior y probando una combinación diferente de materiales de cobertura que tienda a estabilizar los valores internos de temperatura y humedad relativa y con ello, a la energía interna del sistema.

La evolución de las plántulas al interior de una estructura nodriza puede derivar en una gran cantidad de mediciones para determinar el papel preciso que juegan los diversos factores que se están controlando –temperatura, humedad relativa, y radiación solar-. Esto puede guiar a una gran diversidad de estudios. Mediciones más finas, como de niveles de clorofila, carotenoides, o actividad de la enzima Ribulosa 1-5 bifosfato carboxilasa (RuBPC), pueden ser vías alternativas para determinar si la cantidad de sombreado altera de manera significativa los procesos fotosintéticos (Bertamini *et. al.*, 2006)

Las plantas originarias de regiones tropicales pueden estar poco adaptadas al frío. No se encontró información específica del comportamiento de plántulas de *Albizia occidentalis* al frío. Sin embargo, existe información que dice que en plantas no tolerantes al frío un síntoma que se presenta es la transformación de la estructura de la membrana, de

ser un mosaico fluido, a ser un gel -o estructura semicristalina-, debido al endurecimiento de sus ácidos grasos no saturados (Hopkins y Hüner, 2004). La integridad de la membrana se ve interrumpida, lo que resulta en fragmentación y con ello, pérdida de solutos que llevan a un desequilibrio total de funciones celulares. Las plantas tolerantes al frío pueden mantener este efecto de mosaico fluido a temperaturas bajas. Estos son fenómenos físicos que pueden medirse para determinar la tolerancia o intolerancia al frío de una especie, de manera previa a su introducción en la temporada invernal.

Diversos autores coinciden en la posibilidad de favorecer la adaptación de las plantas poco tolerantes al frío. Bidwell (1979) sugiere el tratamiento de los tejidos con soluciones de sacarosa para superar el estrés. Hopkins y Hüner (2004) describen que puede darse un periodo de aclimatación al frío para favorecer la tolerancia en especies herbáceas y leñosas, a través del manejo de foto período –para detener el crecimiento-, combinado con un periodo de baja temperatura. Estas condiciones podrían brindarse en una estructura de condiciones controladas y preparar así a las plantas de manera previa a ser introducidas en la estación invernal.

En todo caso, conviene valorar el objetivo de plantar individuos en plena época invernal. Como se ha mencionado previamente, es recomendable aprovechar el momento más adecuado del año, según la especie, para proceder a su establecimiento (Harker *et. al.* 1999).

En ese sentido, las especies que pierden las hojas durante la estación seca probablemente requieren de otro tipo de mediciones más finas para detectar su evolución durante el invierno.

## VIII. REFERENCIAS.

- Altamirano-Hernández, J., Farías-Rodríguez, R., Jaramillo, V.J., Peña-Cabriales, J.J. 2004. Seasonal variation in trehalose contents of roots and nodules of leguminous trees in a tropical deciduous forest in Mexico. Short communication. *Soil Biology & Biochemistry*. 36:869-871.
- Andrade M. G., Calderón de Rzedowski G., Camargo Ricalde S. L., Grether R., Hernández M. H., Martínez Bernal A., Rico L., Rzedowski J. y Sousa S. M. 2007. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo 150, Familia *Leguminosae*, Subfamilia *Mimosoidae*. ISSN 0188-5170, ISBN 970-709-092-8. Publicado por el Instituto de Ecología, Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, Michoacán, México, en colaboración con CONACYT y CONABIO.
- Baltazar Ramírez J.O, Martínez y Días de Salas M., Hernández Sandoval L.G. 2004. Guía de Plantas Comunes del Parque Nacional “El Cimatario” y sus alrededores. Primera edición. Licenciatura en Biología, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Bertamini, M., Muthuchelian, K., Nedunchezian N. 2006. Shade effects alter leaf pigments and photosynthetic responses in Norway spruce (*Picea abies* L.) grown under field conditions. *Photosynthetica* 44(2) 237:246
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología Vegetal. Segunda reimpresión, 1993. AGT Editor, S.A.
- Brown, P. (2003). Plant Protector, US 20030097787 A1. United Status Patent Application Publication.
- Busó Sáez, Enrique. 2005. Efectos de la sobreexpresión de S-adenosil-L-metionina descarboxilasa 1 en la respuesta a estrés en *Arabidopsis*. Tesis para obtención de Doctorado. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Universitat de Valencia.
- Carranza Montaña, M.A., Sánchez Velásquez L.R., Pineda López M. del R., Cuevas Guzmán, R. 2003. Calidad y potencial forrajero de especies del bosque tropical caducifolio de la Sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*, 37 (2), 203:210.
- Calvino, M. 1913. Informe de los trabajos ejecutados por la División de Horticultura en 1912. Boletín Número 75 de la Estación Agrícola Central. Dirección General de Agricultura, Secretaría de Fomento.
- Camarena Gutiérrez, G. 2006. Muerte celular programa como respuesta al estrés ambiental. *Revista Chapingo. Serie Ciencias forestales y del ambiente*. 12(02):93-99.
- Castro Cepero, V.; Eyzaguirre Pérez, R., Ceroni Stuva, A. 2006. Supervivencia de plántulas de *Melocactus peruvianus* Vaupel y *Haageocereus pseudomelanostele*

Subsp. *aueriespinus* (Rauh & Backeberg) Ostolaza, en condiciones experimentales. *Ecología aplicada*, 5 :(1,2)

- Cruz Johnson, P. Honeyman Lucchini, P., Pezo Correa, A., Schutae del Canto, C. 2007. Análisis de crecimiento de árboles maduros de lenga (*Nothofagus pumilio*) en bosques de la Región XII, Chile. *BOSQUE*, 28(1):18-24
- Derner, J.D., Gillen R.L., Mc Collum F.T., Tate K.W. 1994. Bluestern tiller defoliation patterns under continuous and rotational grazing. *Journal of Range Management* 47(3):220-225
- Faiz, S.M.A, Weatherley, P.E. 1982. Root contraction in transpiring plants. *The New Phytologist*. 92, 333-343.
- Foroughbakhch, R., Alvarado-Vázquez, M.A., Hernández-Piñero, J.L., Rocha-Estrada, A., Guzmán-Lucio, M.A., Treviño-Garza, E.J. 2006. Establishment, growth and biomass production of ten woody species introduced for reforestation and ecological restoration in northeastern México. *Forest Ecology and Management*, 235:194-201.
- Hadrava, D. 1999. Plant Protector, US 005918411A. . United Status Patent Application Publication.
- Hanan, Joe. 1997. Greenhouses. Advanced technology for protected horticulture. 1<sup>st</sup> Edition. CRE Publishers.
- Harker, D.; Libby, G.; Harker, K.; Evans, S.; Evans, M. 1999. Landscape restoration handbook. 2<sup>nd</sup> Edition. Lewis Publishers.
- Hernández, J. y Soriano, T. (2003). La radiación solar en invernadero. En: “Control Climático en Invernaderos”, de Grupo de Investigación en Ingeniería Rural de la Universidad de Almería, España. Edición Electrónica.
- Hernández-Oria, José Guadalupe. 2007. Desaparición del bosque seco en el bajío mexicano: implicaciones del ensamblaje de especies y grupos funcionales en la dinámica de una vegetación amenazada. *Zonas Áridas* (11)1, 13:26.
- Hopkins, William G., y Hüner, Norman P.A. 2004. Introduction to plant physiology. 3<sup>rd</sup> Edition. John Wiley & Sons.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1986. Síntesis Geográfica, Nomenclátor y Anexo Cartográfico del Estado de Querétaro.
- Jensen, William A., Salisbury, Frank B. 1998. Botánica. Primera edición en español. Editorial Mc. Graw-Hill.

- Joesting, Heather M., McCarthy, Brian C., Brown, Kim J. 2009. Determining the shade tolerance of American Chestnut using morphological and physiological leaf parameters. *Forest Ecology and Management* 257, 280:286.
- Johnson, Evert W. 2000. Forest sampling desk reference. CRC Press.
- Koffler, N.J., Schoch, R.J. 1989. Plant Protector, US 4829707. United Status Patent Application Publication.
- Lowman M.D. (1984) An assessment of techniques measuring herbivory: is rainforest defoliation more intense than we thought? *Biotropica* 16(4):264-268
- Markowitz, E.M. 1983. Plant Protector, US 4395845. . United Status Patent Application Publication.
- Matallana González A., Montero Camacho, J.I. 1995. Invernaderos. Diseño, Construcción y Climatización. 2ª Edición. Ediciones Mundi Prensa. Pag. 21.
- Municipio de Querétaro, 2004. Árboles y arbustos para el municipio de Querétaro. Edición Única.
- NOM-059-ECOL-2001. Especies nativas mexicanas de flora y fauna. Categorías de riesgo. Acciones para inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación.
- Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Viento. 2004. Gaceta Oficial del Distrito Federal.
- Nuberg, I.K. 1998. Effect of shelter on temperate crops: a review to define research for Australian conditions. *Agroforestry systems*. 41, 3:34.
- Padilla Ruiz, F. 2008 Factores limitantes y estrategias de establecimiento de plantas leñosas en ambientes semiáridos. Implicaciones para la restauración. *Ecosistemas* 17(1):155-159.
- Pineda López R.F. y Hernández Sandoval L.G. (Eds.) 2000. La microcuenca Santa Catarina: estudios para su conservación y manejo. Serie Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Querétaro.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Secretaría de Desarrollo Sustentable de Querétaro y Centro Queretano de Recursos Naturales del Consejo de Ciencia y Tecnología de Querétaro. 2008. GEO Zona Querétaro, Perspectivas del Medio Ambiente Urbano.
- Rey Benayas, J.M., López Pintor A., García C., De la Cámara N., Strasser, R., Gómez Sal, A. 2001. Early establishment of planted *Retama sphaerocarpa* seedlings under

- different levels of light, water and weed competition. *Plant Ecology* 159: 201-209, 2002.
- Rey Benayas, J.M., Navarro, J., Espigares, T., Nicolau, J.M., Zavala, Miguel A. 2005. Effects of artificial shading and weed mowing in reforestation of Mediterranean abandoned cropland with contrasting *Quercus* species. *Forest Ecology and Management* 212: 302-314.
- Rico Arce, M. de L., Gale, S.L., Maxted, N. 2008. A taxonomic study of *Albizia* (*Leguminosae: Mimosoideae: Ingae*) in Mexico and Central America. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 65(2):255-305.
- Rzedowski, Jerzy. 1998. Vegetación de México. 7ª reimpresión. Editorial Limusa.
- Sánchez Martínez E., Chávez Martínez R.J., Hernández Martínez M.M., Hernández Oria J.G. 2007. Ausencia de Flora. Ideas para alinear el pensamiento con la naturaleza. Cuadernillo 1. Publicado por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro a través del Jardín Botánico Regional de Cadereyta.
- Smith, I.K., Fowden, L. 1966. A study of mimosine toxicity in plants. *Journal of Experimental Botany*. 17, 53: 750-761.
- Soedarjo, M.; Borthakur, D. 1996. Simple procedures to remove mimosine from young leaves, pods and seeds of *Leucaena leucocephala* used as food. *International Journal of Food Science and Technology*. 31, 1:97-104.
- Soliveres Codina, S., Monerris, J.J., Cortina, J. 2007. El uso de parches artificiales mejora el rendimiento de una repoblación de *Rhamnus lycioides* en medio semiárido. Cuadernos de la SECF (En Prensa).
- Tangendjaja, B., Lowry, J.B., Wills, R.B.H. 1986. Changes in mimosine, phenol, protein and fibre content of *Leucaena leucocephala* leaf during growth and development. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 26(3):315-317.
- Valera Martínez, D.L. y Molina Aiz, F.D. (2003). Pantallas térmicas y mallas de sombreado. En: "Control Climático en Invernaderos", de Grupo de Investigación en Ingeniería Rural de la Universidad de Almería, España. Edición Electrónica.
- Wink, M., Mohamed, G.I.A. 2003. Evolution of chemical defense traits in the *Leguminosae*: mapping of distribution patterns of secondary metabolites on a molecular phylogeny inferred from nucleotide sequences of the *rbcL* gene. *Biochemical systematics and ecology*, 31:897-917.
- Xuant, T.D., Elzaawely, A.A., Deba, F., Fukuta, M., Tawata, W. 2006. Mimosine en *Leucaena* as a potent herbicide. *Agronomy for sustainable development*. 26, 2:89-97.

*Recursos electrónicos.*

Página Web de Asocoa, proveedora agrícola y de jardinería española

<http://www.asocoa.com>

Página Web de Free Patents, información sobre patentes de inventos estadounidenses con acceso libre.

<http://www.freepatentsonline.com>

Página Web de Graines Baumaux, proveedora agrícola y de jardinería francesa.

<http://www.graines-baumaux.fr>

## **ANEXO 1. *Albizia occidentalis*, la especie empleada.**

Conocida comúnmente como Palo Blanco, la *Albizia plurijuga*, recientemente renombrada como *Albizia occidentalis*, está presente en la lista de especies de flora con categoría de protección especial en la NOM-ECOL-059-2001 (Especies nativas mexicanas de flora y fauna. Categorías de riesgo. Acciones para inclusión, exclusión o cambio. Lista de especies en riesgo), publicada en el Diario Oficial de la Federación (2002).

De acuerdo con la descripción presentada en la Serie “Flora del Bajío y Regiones Adyacentes” (Andrade *et al.*, 2007), *Albizia occidentalis* es un árbol de la familia de las *Leguminosae*, subfamilia *Mimosoidade*, cuya ficha técnica y descriptiva se presenta a continuación:

*Albizia occidentalis*. T.S. Brandegee, Proc. Calif. Acad. Sci. II, 3:222. 1892. *Leucaena plurijuga* Standl., Contr. U.S. Natl. Herb. 20: 189.1919. *A. plurijuga* (Standl.) Britt. & Rose, North Amer. Fl. 23:48. 1838, no *A. plurijuga* Domin, 1926. *Hesperalbizia occidentalis* Barneby & Grimes, Mem. N.Y. Bot. Gard. 74: 112. 1996.

Nombres comunes registrados en la zona: frijolillo, palo blanco, parotilla, tepehuaje blanco.

Árbol de hasta 20(30) m de alto, caducifolio; tronco con corteza lisa o algo rugosa, gris clara, ramillas cafés, densamente pubérulas en la juventud, glabradas, con numerosas lenticelas de coloración clara; hojas obovadas en contorno general, hasta de 45 cm de largo y 25 cm de ancho, estípulas deltoides, a menudo cordadas en la base, de 1 a 2 mm de largo y de ancho, pronto caedizas, peciolo hasta de 13 cm de largo, provisto de una glándula crateriforme, sésil, escasamente prominente, circular a elíptica u oblonga, hasta de 2 mm de largo, por lo general cercana a la base, raquis comúnmente provisto de una glándula circular cerca del último par de pinnas, estas (2)3 a 6 pares, cada una llevando (3)4 a 9(10) pares de subfoliolos subsésiles, oblongos a elípticos u obovados, de (1)2 a 6 cm de largo, de (0.6)0.8 a 1.5(3) cm de ancho, frecuentemente algo falcados, agudos a truncados y a menudo finamente apiculados en el ápice, oblicuos en la base, densamente cinéreo pubescentes en la temprana juventud, verdes oscuros y glabros casi desde el principio en el haz, más pálidos y comúnmente pilósulos al menos a lo largo de las nervaduras en el envés; flores todas similares, sésiles, agrupadas en número de 10 a 35 en capítulos esféricos de 2 a 4.5 cm de diámetros, estos sobre pedúnculos de hasta 5 cm de largo, que nacen solitarios o

fasciculados en ramillas desprovistas de follaje o en las axilas de las hojas que apenas van surgiendo, las bracteolas oblongas, de ca. 1mm de largo, efímeras; cáliz campanulado, de 1 a 3.5mm de largo, 5 dentado en el ápice, corolino, glabro; corona tubular a angostamente turbinada, de 5 a 10 mm de largo, blanca o blanquecina, glabra, 5-lobada, los lóbulos de 1 a 3 mm de largo; tubo estaminal del largo aproximado de la corola, estambres de 50 a 80, filamentos libres, de 5 a 15 mm de largo aproximado de la corola, estambres 50 a 80, filamentos libres, de 5 a 15 mm de largo, anteras de ca. 0.2 mm de diámetro; ovario glabro, estilo un poco más largo que los estambres; fruto por lo general solitario, sobre un pedúnculo de 3 a 4 cm de largo y estípite sólido hasta de 4 cm de largo, el cuerpo linear oblongo, de (10)20 a 25(30) cm de largo, de 2 a 4.5(5.5) cm de ancho, de 2 a 3 mm de grosor, atenuado hacia ambos extremos, de color por lo general pajizo, a menudo morado antes de la madurez, con márgenes notablemente engorsados, indehiscente o tardíamente dehiscente, glabro; semillas (5)8 a 13, suborbiculares a elípticas, de 0.8 a 1.3 cm de largo, cafés, algo lustrosas.

Este árbol era otrora uno de los importantes componentes del bosque tropical caducifolio del sur de la región de estudio. En la actualidad se ha encontrado mayormente matorrales secundarios, pero la cantidad de individuos no es grande y la repoblación natural es escasa. Alt. 1600-2300 m. Florece por lo general en abril; colectado con frutos en julio y agosto. Permanece sin follaje de noviembre a mayo.

Especie aparentemente endémica de México. B.C.S. (lectotipo: *C. Dodero* sub *T.S. Brandege* s.n. (UC, 80581), Sin., Zac., Ags., Gto., Qro., Nay., Jal., Col., Mich. (tipo de *L. plurijuga*: *C.G. Pringle* 5352 (US)), Gro., Oax., Chis.; se registra también en cultivo en Honduras.

Dada la amenaza de que en el futuro próximo vayan desapareciendo los últimos vestigios del bosque tropical deciduo de la región del Bajío, la especie se encuentra vulnerable a la extinción.

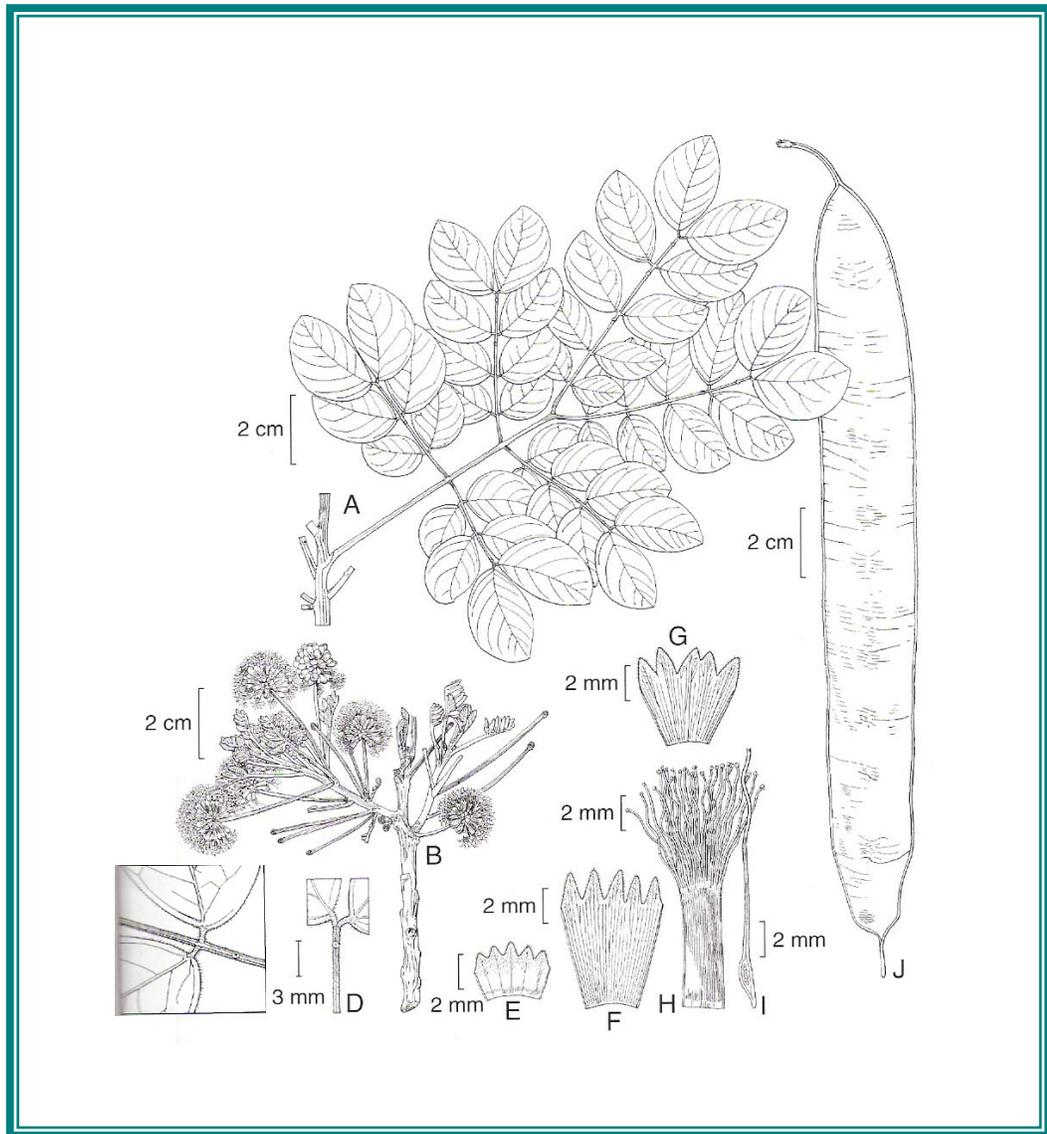
**(Observaciones en) Distribución en Querétaro:** Peña Colorada, ejido Santa Rosa Jáuregui, municipio de Querétaro, *J.G. Hernández J.G.H-O.* 19 (IEB), 22 (IEB), 43 (IEB), 45 (IEB); cerro El Azteca (Los Cajones), municipio de Querétaro, *L.Hernández 4420* (IEB, QMEX); km 15 carr. Qro.-S.L.P., cañada Los Cajones, *O. Baltazar y M. Martínez 8* (QMEX); *ibid.*, *P.G. Silva 13* (QMEX); *ibid.*, *O Baltazar 147* (QMEX); entre

los Nogales y la Zorra, municipio de Colón, *R. Hernández et al. 10224* (MEXU, QMEX); San Miguel municipio de Tolimán, *S. Zamudio 2576* (ENCB, IEB); fraccionamiento Tejada, municipio de Villa Corregidora, *P. Balderas 306* (IEB, QMEX); El Batán, arriba, pasando la Iglesia, municipio de Villa Corregidora, *E. Argüelles 2928* (IEB); El Batán, municipio de Villa Corregidora, *E. Guevara y L. Hernández 184* (IEB, QMEX); *ibid.*, *E. Argüelles 1213* (MEXU), *1221* (MEXU); presa El Batán, municipio de Villa Corregidora, *F. López-Echeverría 16* (QMEX); 1 km al SO de la cortina de la Presa “El Batán”, sobre los arcos del acueducto, municipio de Villa Corregidora, *L. Hernández 4092* (IEB, MEXU, QMEX).

La correcta definición y circunscripción de este taxón está aún pendiente de entender y aceptarse. McVaugh (op. cit.) reconoce a *A. occidentalis* y a *A. plurijuga* como dos especies independientes. Barneby y Grimes (op.cit.) las sumergen en una sola entidad, aunque señalan que las poblaciones de Chiapas difieren de las de otras partes de su área de distribución. Gale (op. cit.) vuelve a separar a *A. plurijuga* de *A. occidentalis*, aunque sugiere que eventualmente podrían considerarse como variedades de una sola especie. Las plantas de la región de estudio, habitantes de lugares ubicados a más de 1500 m de altitud, en efecto no son iguales, en el tamaño de las flores y en la forma de los folíolos, a las que crecen en elevaciones inferiores y posiblemente representen más que un ecotipo diferente.

Los árboles de *A. occidentalis* son muy llamativos por sus troncos de corteza clara y sobre todo por los grandes y vistosos frutos que a menudo se producen en prolíficas cantidades. Se les puede observar con cierta frecuencia como “tolerados” cerca o dentro de algunos poblados de la región de estudio.

En la siguiente figura se ilustran las características morfológicas de *Albizia occidentalis*.



*Albizia occidentalis* (Standl.) Britt. & Rose.

*Albizia occidentalis* (Standl.) Britt. & Rose. A. hoja y porción del tallo, B. rama con inflorescencias; C. detalle de la inserción y parte del par basal de foliolos, mostrando la glándula en el peciolo; D. detalle de la inserción y partes del par terminal de foliolos con una glándula en el caquis; E. vista dorsal del cáliz extendido; F y G., vistas dorsales de corolas extendidas, mostrando su variación en el tamaño y en la forma; H. androceo mostrando tubo estaminal, filamentos y anteras; I. gineceo; J. fruto estipitado y con el ápice rostrado. (Ilustración de Emmanuel Papadopoulos).