



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DETERMINACION DE LA TOLERANCIA A  
LA SEQUIA DE DOS ESPECIES ARBOREAS  
URBANAS

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**B I O L O G A**

**P R E S E N T A :**

**MARIA BELEN BARRAZA FIERRO**



MEXICO, D. F.

1995

**FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

M. EN C. VIRGINIA ABRIN BATULE  
Jefe de la División de Estudios Profesionales  
Facultad de Ciencias  
Presente

Los abajo firmantes, comunicamos a Usted, que habiendo revisado el trabajo de Tesis que realiz(ó)ron la pasante(s) María Belén Barraza Fierro

con número de cuenta 8453247-7 con el Título: "Determinación de la tolerancia a la sequía de dos especies arbóreas urbanas"

Otorgamos nuestro Voto Aprobatorio y consideramos que a la brevedad deberá presentar su Examen Profesional para obtener el título de Biólogo

GRADO	NOMBRE(S)	APELLIDOS COMPLETOS	FIRMA
M. en C.	Héctor Mario	Bonavides Meza	
Director de Tesis	Aurora	Zlotnik Espinosa	
Biol.	David	Bonavides Valázquez	
Biol.	Beatriz Fajana	Ortaza Ramos	
Suplente	Juan Manuel	Rodríguez Chávez	
M. en C.			
Suplente			

A mi adorado Alfredo.

AGRADECIMIENTOS.

Al M. en C. Héctor M. Benavidez Mesa por la dirección de esta tesis.

A la M. en C. Aurora Zlotnik porque sus comentarios fueron de gran ayuda para el mejoramiento del trabajo.

Al Biól. David Benavides Velásquez por sus útiles recomendaciones para el perfeccionamiento del trabajo.

A la Biól. Beatriz E. Ortega Ramos por su siempre atinada guía.

Al M. en C. Juan Manuel Rodríguez Chávez por su impulso para el progreso del trabajo.

Al M. en C. Alfredo S. Minjeres Carranco por su extraordinaria dedicación y paciencia. Su orientación fue fundamental para la realización de este trabajo.

A la Geógrafa María de la Paz Medina por su valiosa ayuda en los aspectos de suelo y clima.

A la Biól. María Antonia Burgos Legorreta por la elaboración de los dibujos de las especies y su participación activa en la parte experimental del trabajo.

A mi familia por su paciencia, confianza, apoyo y amor incondicionales.

A mis amigos por alentarme siempre a seguir adelante.

A Victor Kuri.

Al personal del INIFAP por su ayuda en la realización del trabajo experimental, en especial a María Luisa Maya, Francisco Camacho, Luis Camacho, Leonor Sandoval y Juanita Castro, y al Campo Experimental Valle de México por la elaboración del análisis de fertilidad de los suelos.

Al personal de la UAM-Iztapalapa, en particular a Héctor Escalona por su orientación en la parte estadística del trabajo.

Al personal de la Universidad Autónoma Chapingo por facilitarme la bomba de presión y elaborar las curvas de retención de humedad del suelo.

## RESUMEN

El bosque urbano aporta muchos beneficios a la población de las ciudades, y para que la vegetación que se encuentra en éstas se conserve en condiciones óptimas es necesario conocer los requerimientos de las especies. De esa preocupación se deriva éste trabajo que se desarrolló en plantas de dos y medio años de edad de dos especies arbóreas utilizadas en el medio urbano: Liquidambar styraciflua L. y Ligustrum lucidum Ait.

Estas plantas estuvieron sujetas a tres tratamientos diferentes de sequía, establecidos con base en la pérdida de humedad del recipiente, en peso. Se midieron parámetros como peso seco (inicial y final) de cada parte vegetativa de la planta (hojas, tallo y raíz), altura de los árboles a lo largo del experimento que duró 306 días y potencial hídrico en el tratamiento de sequía más prolongado de cada especie. Se obtuvo una disminución en altura y peso seco de cada parte en Liquidambar styraciflua y un potencial hídrico al final del tratamiento de sequía más severo, a los 57 días, de -10.5 barías. En Ligustrum lucidum no se encontró variación entre los tratamientos ni en altura ni en peso seco y el potencial hídrico a los 29 días fué de -13.3 barías. Las dos especies son tolerantes aunque con características diferentes.

## INDICE GENERAL

RESUMEN	i
INDICE GENERAL	ii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	vii
I. INTRODUCCION.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
II.1. Factores que afectan la vegetación urbana	4
II.2. El agua en la planta	6
II.3. Déficit hídrico	10
II.4. Crecimiento vegetal	11
II.5. Tolerancia a la sequía	13
II.6. Parámetros que indican el nivel de agua en la planta	14
III. HIPOTESIS.....	16
IV. OBJETIVOS.....	17
V. MATERIALES Y METODO.....	18
V.1. Especies utilizadas	18
V.2. Técnicas empleadas	26
V.3. Fases del procedimiento experimental	28
VI. RESULTADOS.....	33
VI.1. <i>Liquidambar styraciflua</i>	33
VI.2. <i>Liquidum lucidum</i>	54
VII. DISCUSION.....	70
VIII. CONCLUSIONES.....	83
IX. BIBLIOGRAFIA.....	85

## ANEXOS

1. Altura promedio (cm) de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u> durante el experimento	ix
2. Potencial hídrico (barias) y peso de maceta (Kg) de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u> durante el tratamiento 3	x
3. Datos de la curva de retención de humedad de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u>	xi
4a. Porcentaje de humedad del suelo de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u> obtenido mediante la técnica gravimétrica y su relación con el peso de la maceta	xii
4b. Obtención de Humedad Aprovechable (H.A.) y Lámina de Agua (L.A.) de las dos especies	xiii
5. Porcentaje de humedad del suelo y peso de la maceta durante el ensayo preliminar de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u>	xiv
6. Resumen de algunos datos climáticos del período comprendido entre Noviembre de 1991 hasta Enero de 1993 (Estación Coyoacán)	xv
7. Promedio de días entre riegos de <u>Liquidambar styraciflua</u> y <u>Ligustrum lucidum</u> en los tres tratamientos	xvi
	xvii

## INDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Características de <i>Liquidambar styraciflua</i> (A) y <i>Ligustrum lucidum</i> (B).....	24
Cuadro 2. Cambios en el peso de la maceta (Kg), de las dos especies, desde el riego hasta que se presentó marchitez sin recuperación.....	34
Cuadro 3. Número de repeticiones de riego en cada tratamiento por especie.....	34
Cuadro 4. Incremento de altura y velocidad de crecimiento de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> en cada uno de los tratamientos....	36
Cuadro 5. Peso seco total (y porcentaje de cambio) y tasa de crecimiento relativo bajo los 3 tratamientos de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	37
Cuadro 6. Peso seco de cada parte y parámetros de crecimiento entre los tratamientos (1,2 y 3) de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	40
Cuadro 7. Potencial hídrico registrado bajo el tratamiento 3 en <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> , mostrando los porcentajes de cambio de potencial a diferentes días de sequía....	42
Cuadro 8. Datos del análisis de los suelos en los que se encontraban <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> .....	45
Cuadro 9. Porcentaje de humedad en el suelo de cada una de las especies estudiadas.....	46
Cuadro 10. Análisis de varianza sobre altura final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	49
Cuadro 11. Análisis de varianza sobre incremento en altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	49
Cuadro 12. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de incremento en altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	50
Cuadro 13. Análisis de varianza sobre biomasa total final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	50

Cuadro 14. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de biomasa total final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	51
Cuadro 15. Análisis de varianza sobre peso seco final de hojas de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	51
Cuadro 16. Análisis de varianza sobre peso seco final de tallo de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	52
Cuadro 17. Análisis de varianza sobre peso seco final de raíz de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	52
Cuadro 18. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de hojas de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	53
Cuadro 19. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de tallo de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	53
Cuadro 20. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de raíz de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	53
Cuadro 21. Cambios en el peso de la naceta (Kg) de las dos especies, desde el riego hasta que se presentó marchitez sin recuperación.....	54
Cuadro 22. Número de repeticiones de riego en cada tratamiento por especie.....	54
Cuadro 23. Incremento de altura y velocidad de crecimiento de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> en cada uno de los tratamientos....	56
Cuadro 24. Peso seco total (y porcentaje de cambio) y tasa de crecimiento entre los 3 tratamientos de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	57
Cuadro 25. Peso seco de cada parte y parámetros de crecimiento entre los 3 tratamientos de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	59
Cuadro 26. Potencial hídrico registrado bajo el tratamiento 3 en <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> , mostrando los porcentajes de cambio de potencial a diferentes días de sequía...61	

Cuadro 27. Datos del análisis de los suelos en los que se encontraban <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> .....	64
Cuadro 28. Porcentaje de humedad en el suelo de cada una de las especies estudiadas.....	65
Cuadro 29. Análisis de varianza sobre altura final de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	67
Cuadro 30. Análisis de varianza sobre incremento de altura de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	67
Cuadro 31. Análisis de varianza sobre biomasa total final de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	68
Cuadro 32. Análisis de varianza sobre peso seco final de hojas de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	68
Cuadro 33. Análisis de varianza sobre peso seco final de tallo de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	69
Cuadro 34. Análisis de varianza sobre peso seco final de raíz de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	69

## INDICE DE FIGURAS.

Figura 1. <i>Liquidambar styraciflua</i> . Forma del árbol y detalle de la hoja, flor y fruto.....	21
Figura 2. <i>Ligustrum lucidum</i> . Forma del árbol y detalle de la hoja, flor y fruto.....	23
Figura 3. Altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> bajo diferentes tratamientos de riego.....	35
Figura 4. Biomasa total inicial y final de cada tratamiento de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	37
Figura 5. Biomasa inicial y final de cada parte de la planta en <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	39
Figura 6. Potencial hídrico de <i>Liquidambar styraciflua</i> vs tiempo durante el tratamiento tres.....	41
Figura 7. Potencial hídrico y peso de <i>Liquidambar styraciflua</i> vs tiempo.....	43
Figura 8. Curva de retención de humedad del suelo de <i>Liquidambar styraciflua</i> .....	44
Figura 9. Porcentaje de humedad del suelo de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> vs tiempo.....	47
Figura 10. Peso de maceta de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> vs tiempo.....	48
Figura 11. Altura de <i>Ligustrum lucidum</i> bajo diferentes tratamientos de riego.....	55
Figura 12. Biomasa total inicial y final de cada tratamiento de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	57
Figura 13. Biomasa inicial y final de cada parte de la planta de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	58
Figura 14. Potencial hídrico de <i>Ligustrum lucidum</i> vs tiempo durante el tratamiento tres.....	60
Figura 15. Potencial hídrico y peso de <i>Ligustrum lucidum</i> vs tiempo.....	62
Figura 16. Curva de retención de humedad del suelo de <i>Ligustrum lucidum</i> .....	63

**Figura 17. Porcentaje de humedad del suelo de  
*Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum* vs  
tiempo.....65**

**Figura 18. Peso de maceta de *Liquidambar styraciflua*  
y *Ligustrum lucidum* vs tiempo.....66**

## I. INTRODUCCION.

La vegetación dentro de las ciudades, es decir, el bosque urbano<sup>1</sup>, es muy importante ya que contribuye al bienestar de la población influyendo en aspectos tanto ecológicos como sociales. Dentro de los primeros están la regulación del régimen hidrológico, la protección del suelo contra la erosión, el aporte de oxígeno, la absorción de dióxido de carbono y la constitución de un habitat para la fauna; en los segundos se abarcan ámbitos estéticos y funcionales, ambientales, de recreación, de salud pública y económicos. Algunos beneficios ambientales, de influencia directa sobre las personas, son que la vegetación transmite una sensación de bienestar y provee de un ambiente fresco y húmedo (brinda sombra y oxígeno, regula la temperatura, absorbe contaminantes, evita polvaredas), constituyéndose por tanto como un factor determinante para la salud tanto física como psicológica.

Sin embargo, los árboles en el medio urbano están sujetos a una serie de factores limitantes adicionales a los que soportan los organismos en su ambiente natural (Halverson y Potts, 1981). Los árboles en la naturaleza tienden a crecer en habitats a los cuales están adaptados; en cambio, los árboles urbanos están sujetos a sequía,

<sup>1</sup> Bosque urbano: población de árboles, arbustos y vegetación asociada, que se encuentra en los espacios abiertos y públicos de los asentamientos humanos que cuentan con servicios (Benavides, 1989).

inundaciones, salinidad, heladas, compactación del suelo, contaminación del aire, temperaturas y fotoperíodos mayores de lo normal, además de daño mecánico, que dificultan su sobrevivencia.

Uno de los mayores problemas encontrados en árboles urbanos es el estrés hídrico, es decir, la falta de agua, que en medios urbanos se ve favorecido por la compactación del suelo, por el poco espacio que tienen los árboles para absorción de agua, y por el aumento de la transpiración debido a las características propias de la infraestructura de las ciudades. El estrés hídrico afecta a los árboles de diversas maneras, que se ven reflejadas tanto en el crecimiento como en la sobrevivencia de los organismos. Por lo tanto es también una de las preocupaciones principales dentro de la Dasonomía Urbana<sup>2</sup> conocer los requerimientos de agua de las especies de las ciudades, para un mejor manejo de ellas.

Es necesario hacer estudios de todas las especies con las que se cuenta en el medio urbano, ya que las respuestas de las especies vegetales ante estos factores difieren, pues las condiciones de su ambiente natural y sus características morfológicas y fisiológicas son una respuesta adaptativa a su medio. Y es importante considerar en primera instancia a las especies que predominan en el arbolado urbano, ya que de

---

<sup>2</sup> Dasonomía Urbana: disciplina forestal que se relaciona con el estudio, conservación y manejo del bosque urbano (Ortega et al., 1994).

alguna manera éstas han tenido un proceso de adaptación a las tensiones a las que están sometidas en estos ambientes (Barker, 1985).

Saber los requerimientos de las especies nos permite hacer una selección adecuada de acuerdo a las condiciones del sitio de plantación. Como no se conocen estos datos de las especies usadas en la Ciudad de México, las plantaciones en la actualidad se hacen en función de otros aspectos como la disponibilidad de árboles en el vivero, la facilidad de obtención de la semilla para propagación, situaciones políticas e incluso moda en el uso de alguna especie, lo que lleva a una alta y constante mortandad de árboles plantados.

Por lo anterior se seleccionaron dos especies muy utilizadas en la Ciudad de México: Liquidambar styraciflua L. y Ligustrum lucidum Ait. para medir parámetros de crecimiento bajo condiciones de sequía y conocer su tolerancia a la misma.

Con este trabajo se pretende aportar información sobre las especies mencionadas para promover un mejor manejo del arbolado urbano y obtener los beneficios que se mencionaron al principio.

## II. ANTECEDENTES.

### II.1. Factores que afectan la vegetación urbana.

Los árboles están expuestos a una variedad de factores ambientales adversos, debido principalmente a la forma en la que son típicamente plantados (pequeñas cepas aisladas en el concreto y rodeados de la infraestructura urbana). La gran mayoría de los árboles y arbustos que sobreviven en nuestras ciudades, carecen de espacio suficiente para el desarrollo de sus raíces, ramas y follaje; las restricciones que les impone el asfalto y el concreto, así como los servicios de agua potable, drenaje, líneas eléctricas y telefónicas, les hace crecer en condiciones muy desfavorables (Whitcomb, 1984).

Las plantas, a través de sus raíces, respiran y absorben agua, y cuando el suelo se ha compactado por la acción del pavimento y banquetas o por el tránsito constante de las personas y vehículos, el oxígeno no puede llegar hasta las raicillas que realizan la captación de éste y se reducen los espacios en los que se retiene el agua causando disminución en el aporte de ésta.

Las deficiencias nutricionales y de riego, el excesivo calor reflejado, daños mecánicos y la presencia de agentes tóxicos en el suelo, agua y aire, son otros de los factores importantes que hacen difícil la existencia de los vegetales en el medio urbano (Oberholtzer, 1989). Bassuk y Whitlow (1987) han reportado un rango de vida excesivamente corto

para el arbolado urbano (entre 3 y 15 años), y señalan, además, dos posibles soluciones al problema de la mortandad temprana: a) seleccionar árboles más tolerantes a las condiciones estresantes, por ejemplo colectando material originado en habitats estresados y b) dentro de lo posible, cambiar la forma en la que los árboles son plantados en las calles de las ciudades. El presente trabajo está encaminado a obtener información para avanzar principalmente en la primera opción.

De los factores involucrados, generalmente el déficit de agua es reconocido como el agente más limitante del crecimiento y la sobrevivencia de los árboles (Kozlowski, 1982). No es sorprendente que muchos investigadores consideren la sequía, o más bien el estrés<sup>3</sup> hídrico, como uno de los mayores problemas encontrados para los árboles urbanos.

El déficit de agua se presenta temporalmente en la naturaleza, tanto a lo largo del día como del año (Klepper, 1968), aunque haya una adecuada humedad en el suelo, siempre que la demanda atmosférica excede la tasa de aporte desde el suelo. Aunque esto no es letal, sí baja las defensas del organismo. Otra causa de estrés hídrico en los árboles de la ciudad es el albedo de los edificios, el asfalto, los coches y el concreto, ya que conforme hay más calor alrededor de las copas de los árboles, más rápido éstos

<sup>3</sup> Se ha dado el término estrés a cualquier factor ambiental potencialmente desfavorable para los organismos vivientes (Levitt, 1980).

pierden agua y agotan sus limitadas reservas del suelo (Elias e Irwin, 1976; Kaufmann, 1981). Además, en ciertas áreas urbanas, el viento incrementa la desecación de las hojas conforme adquiere aceleración en los "cañones" que se forman entre los edificios altos. En las ciudades las diferencias entre el suministro y la demanda de agua crecen por la naturaleza particular del ciclo hidrológico, teniéndose déficits más extremos y frecuentes que en la naturaleza (Whitlow y Bassuk, 1987).

#### II.2. El agua en la planta.

En los últimos 54 años (a partir de 1940 aproximadamente) ha habido avances en el conocimiento del agua en la planta en los aspectos siguientes: a) mejoramiento de la terminología de las relaciones hídricas (Slatyer y Taylor, 1960); b) desarrollo de los métodos prácticos para medir el estado hídrico en la planta y el suelo (Hewlett y Kramer, 1963); c) la aceptación general de la teoría tenso-coheso-transpiratoria<sup>4</sup>; d) conocimiento sobre cómo se regula la velocidad de transpiración; e) desarrollo del concepto del continuo entre suelo-planta-atmósfera y la generación de un modelo para esto (Larqué-

<sup>4</sup> Propuesta en 1895 por Dixon y Joly y reforzada por Dixon en 1924, explica el proceso de transporte del agua en la planta basándose en la tensión del agua en los vasos leñosos provocada por la evaporación en la hoja (Rojas y Rovalo, 1985).

Saavedra, 1990).

El concepto de que el agua es un factor primordial en la regulación del desarrollo de la planta está basado en el reconocimiento de que el agua tiene una capacidad única para intervenir en tres funciones básicas: i) mediar las respuestas de la planta a los factores del ambiente; ii) proveer un mecanismo para la integración del desarrollo de la planta y iii) integrar el crecimiento y la actividad metabólica a nivel celular (McIntyre, 1987).

El agua constituye más del 50% del peso fresco de los árboles; es un disolvente por medio del cual los gases y minerales entran y salen de las células (Kozlowski, 1985), de hecho, de acuerdo con Baver (1973), en el concepto "agua" deben incluirse las sustancias (sales y gases) disueltas en ella; es un reactivo en la fotosíntesis y otros procesos; y es esencial para mantener la turgencia, necesaria para el agrandamiento celular, apertura de estomas y otros procesos.

El aporte de agua es el factor ambiental más importante, determinante de la distribución, composición de especies y crecimiento de los bosques (Bidwell, 1979; Gholz et al. 1990). Es generalmente aceptado que el crecimiento y bienestar fisiológico de las plantas es parcialmente determinado por el nivel hídrico de los tejidos vegetales. Enfatizando la importancia del agua en la planta Clark y Kjelgren (1989) reportan que en la ciudad de Seattle en Estados Unidos de América, el 80% de los árboles de las avenidas mueren en los dos siguientes años a su plantación

sin riego, y con riego se pierde solo el 5%.

El crecimiento exitoso de los árboles depende del mantenimiento favorable del balance de agua. El nivel de agua de una planta o del órgano de una planta está controlado por las tasas relativas de pérdida y ganancia de agua. Por lo general, el balance hídrico de los árboles y de las plantas está controlado por dos diferentes procesos: 1) la tasa de transpiración<sup>5</sup> y 2) la absorción de agua, que a su vez depende de la tasa de pérdida de ésta, de la extensión y eficiencia del sistema radical y de una serie de factores que influyen en la humedad disponible en el suelo, como son la tensión de humedad, concentración de la solución y también de la aereación y temperatura (Kramer, 1962 citado por Benavides, 1987). En árboles urbanos esta condición es crítica porque son plantados en situaciones desfavorables para absorción, pero favorables para pérdida de agua.

La transpiración puede entenderse como el proceso dominante de las relaciones hídricas de la planta, ya que es la principal causa del movimiento de agua hacia la planta y por lo tanto controla la tasa de absorción y el ascenso de la savia (Kramer, 1983).

La transpiración es afectada por factores internos, como el área, estructura y exposición foliar, comportamiento

---

<sup>5</sup> Tasa o coeficiente de transpiración. Mide la intensidad con que la planta transpira; puesto que éste es un valor que varía con las condiciones ambientales, se establece al comparar el agua que la planta pierde con la que se evapora de una superficie libre, por unidad de área (Rojas y Rovalo, 1985).

estomático y eficiencia de la raíz para absorber agua, así como externos: irradiación, déficit de presión de vapor del aire, temperatura, viento, disponibilidad de agua en el suelo, etc. Realmente no se puede decir cuánta agua pierde una planta al día, pues depende por completo de las condiciones climáticas. Los cuatro factores climáticos principales son: viento, humedad atmosférica, temperatura y radiación solar (Benavides, 1987). Es importante señalar que un cambio en algunos de los factores que afectan la transpiración, no necesariamente produce un cambio importante en la tasa de transpiración, debido a que ésta tasa está controlada por más de un factor.

Una de las características que se tomará en cuenta en este estudio es el potencial hídrico de la planta, factor que nos ayudará a determinar el nivel de sequía que pueden tolerar estas especies.

El potencial hídrico se define como el potencial químico del agua. Se conoce como potencial químico a la energía libre de un mol de una sustancia determinada en un sistema termodinámico. Esta característica está determinada por cuatro factores: concentración, calor, presión y presencia de solutos (los solutos disminuyen la energía libre del agua en la cual están disueltos) (Baver, 1973; Gardner, 1983; Jensen y Salisbury, 1988; Larqué-Saavedra, 1990).

---

### II.3. Déficit hídrico.

El déficit hídrico se refiere a la situación en la cual el potencial hídrico y la turgencia de la planta se ven reducidos lo suficiente como para interferir en el funcionamiento normal de la misma. Se han caracterizado dos tipos de déficit: el de mediodía y el de larga duración.

El punto en que el déficit hídrico ocasiona daños dependerá principalmente de la especie, etapa de desarrollo y proceso bajo consideración (Kramer, 1983).

El estrés hídrico es particularmente importante porque afecta muchos procesos. Hay considerable evidencia de que los factores que afectan el contenido de humedad y la turgencia de la célula juegan un papel importante en la regulación de la actividad metabólica (McIntyre, 1987).

Los efectos del estrés hídrico pueden ser directos e indirectos. Entre los primeros se encuentra la pérdida de turgencia y entre los segundos están el cierre de estomas, la inhibición de la maquinaria fotosintética, la disminución de la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos, y la perturbación del funcionamiento tanto de las enzimas en el metabolismo de los carbohidratos y del nitrógeno, como de los reguladores del crecimiento (Kramer, 1987).

La tensión hídrica suele tener múltiples efectos sobre el crecimiento de la planta, ya que la fotosíntesis se reduce con el cierre de los estomas, al reducirse el

abastecimiento de dióxido de carbono y la capacidad del protoplasma para llevar a cabo este proceso. La reducción de la fotosíntesis, un traslado reducido de carbohidratos y reguladores del crecimiento, y el trastorno del metabolismo nitrogenado: todo ello se agrega a los efectos de una turgencia menor para reducir el crecimiento (por falta de alargamiento celular). A su vez, el crecimiento menguado significa una reducción de la superficie fotosintetizadora, lo cual reduce más aún la cantidad relativa de carbohidratos disponibles para el crecimiento, en comparación con las plantas que no padecen tensión hídrica (Kramer, 1974; Iljin, 1983).

Existen, además, otros efectos sobre la floración y la fructificación que no son relevantes para los objetivos de este trabajo, en el que se tomará en cuenta cómo se afecta el crecimiento de las plantas, particularmente en lo que respecta a altura y peso seco.

#### II.4. Crecimiento vegetal.

La sobrevivencia y crecimiento de las plantas en un sitio determinado depende de sus características morfológicas y fisiológicas, provenientes tanto de su información genética como de las condiciones a las que hayan estado sometidos en el vivero donde se desarrollaron; todo esto se va a expresar en el medio de plantación definitivo.

Los cambios en el crecimiento y actividad metabólica

que caracterizan muchos aspectos del desarrollo vegetal son producidos por la interacción entre la permeabilidad de los tejidos y la influencia de factores ambientales, transpiración y gradientes osmóticos sobre la absorción, distribución o pérdida de agua.

La producción de biomasa de la planta no es solo función del metabolismo del carbono, sino que está significativamente determinada por los flujos de agua y nutrientes y el proceso por el cual estos recursos son distribuidos. La deficiencia de agua influye en todas las fases del crecimiento de los árboles y es probablemente más responsable de la pérdida de crecimiento que todas las otras causas combinadas (Kramer, 1983; Roberts, 1989).

El crecimiento del árbol es reducido, tanto directamente - a través de efectos en la turgencia de la célula - como indirectamente - a través de la interferencia de germinación de la semilla, fotosíntesis, respiración, nutrición mineral, actividad enzimática, relaciones hormonales (McIntyre, 1987), metabolismo del nitrógeno y fijación de dióxido de carbono (Klepper, 1968; Kozlowski, 1982).

#### II.5. Tolerancia a la sequía.

Definimos a la sequía como la ausencia de lluvia o riego por un período largo y suficiente para causar una

disminución de la humedad del suelo y daño a las plantas. Aunque la expresión "resistencia a la sequía" ha sido frecuentemente usada para describir la capacidad de los árboles de sobrevivir a la sequía, la expresión "tolerancia a la sequía" es preferible porque describe más exactamente las reacciones de la planta hacia tal factor ambiental (Kramer y Koslowski, 1979). Los árboles presentan dicha tolerancia bien sea para evitar la deshidratación, o bien, porque pueden sufrir extrema deshidratación protoplásmica. En algunos casos se presentan ambos mecanismos, sin embargo, el primero de ellos es, con mucho, el más importante.

La reducción de la desecación en los árboles representa una respuesta integral proveniente de una o más adaptaciones morfológicas y fisiológicas, en hojas, raíces y tallos. Las contribuciones de los caracteres que evitan la desecación varían entre y dentro de las especies.

En relación a cómo afecta la sequía al arbolado se ha trabajado principalmente sobre especies forestales (Cline y Campbell, 1976; Cuevas et al., 1992; Federer, 1980; Ranney et al., 1990 y 1991; Seiler y Cazell, 1990) y existe una amplia información sobre cultivos de importancia económica (Elfvig et al., 1972). Los estudios científicos de los problemas particulares de las plantas de áreas urbanas son relativamente recientes (Whitlow y Bassuk, 1987). Existen pocos reportes de investigaciones realizadas en árboles urbanos (Halverston y Potts, 1981; Williams, 1987; Roberts y Schnipke, 1987; Dyer y Mader, 1986; Clark y Kjelgren, 1990;

Walters y Reich, 1989), y particularmente de México no se conoce nada; es por eso que se considera de suma importancia el desarrollo de trabajos como el presente.

#### II.6. Parámetros que indican el nivel de agua en la planta.

Para este trabajo se tomaron en cuenta los parámetros que se describen a continuación, aunque existen, además, otros métodos para la medición del nivel de agua en la planta, como son: contenido relativo de agua (RWC), psicrometría termopar, cambios en el diámetro del tallo, cambios en la temperatura de la hoja y modelos computacionales basados en la transpiración (Roberts, 1987).

##### A) Potencial hídrico.

El potencial hídrico, definido anteriormente, ha ganado amplia aceptación como una medida fundamental del nivel del agua en la planta (Haiso, 1973; Slavik, 1974).

##### B) Marchitamiento visual.

Cuando la planta carece de agua entra en estado de marchitez, reconocible por la flacidez de los tejidos, por las hojas arrugadas y colgantes, y por la eventual clorosis.

El marchitamiento visual es usado en algunos casos como un indicador del nivel hídrico. Además, siendo dependiente de la presión de turgor, el marchitamiento es una función de las propiedades mecánicas de la pared celular y del tejido.

Es bien conocido que especies distintas pueden marchitarse a muy diferentes valores de potencial hídrico o de contenido relativo de agua (RWC).

C) Contenido de agua en el suelo.

La cantidad de agua que se proporcione al suelo, tomando en cuenta la forma en que ésta se mueve en el terreno y la cantidad que dicho suelo pueda almacenar, es indispensable para la vida y crecimiento de las plantas (Lambe y Whitman, 1974; Duchaufour, 1978; Aguilera y Martínez, 1990).

### III. HIPOTESIS

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el crecimiento y desarrollo de las plantas, al disminuir la frecuencia del riego o aporte de agua se provocará una reducción en la talla y biomasa de los árboles tratados.

#### IV. OBJETIVOS.

##### Objetivo general:

Determinar, a través de indicadores, la tolerancia a sequía de dos especies arbóreas urbanas (Liquidambar styraciflua L. (liquidambar) y Ligustrum lucidum Ait. (trueno)), bajo condiciones de invernadero.

##### Objetivos específicos:

- a) Determinar cómo se afecta el crecimiento de estas especies al estar sometidas a diferentes periodos de riego, tomando en cuenta parámetros como altura, peso seco y potencial hídrico.
- b) Determinar el comportamiento del potencial hídrico en ambas especies bajo condiciones de sequía controlada.

## V. MATERIALES Y METODO

### V.1. Especies utilizadas.

Las especies seleccionadas para el proyecto fueron: Liquidambar styraciflua y Ligustrum lucidum, las cuales son muy usadas como parte del arbolado urbano en el Area Metropolitana y otras regiones del país, y se encuentran reportadas en todas las delegaciones del Distrito Federal (Martínez, 1989; Villalón, 1992; Segura, 1992; Ramírez, 1993; Millán, 1993). Liquidambar styraciflua es la tercera especie en abundancia constituyendo alrededor del 4% del arbolado urbano, mientras que Ligustrum lucidum es la más abundante, con el 18%, aproximadamente.

Los árboles fueron proporcionados por el Vivero de Coyoacán, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.

Se utilizó una población homogénea de dos y medio años de edad, en envase de plástico negro de 30 cm de altura por 17.5 cm de diámetro, con suelo de monte: 65 árboles de Liquidambar styraciflua y 65 de Ligustrum lucidum.

El comportamiento de las especies en su ambiente natural es diferente del que tienen en el medio urbano, dadas las características particulares de las ciudades, así, aunque se conocen algunos requerimientos de las especies en su ambiente natural, es poco lo que se sabe en relación a

sus necesidades en las urbes. Además, en cada ciudad, por su situación geográfica y problemática particular, el comportamiento de las especies varía, es por eso necesario formar catálogos de las especies y sus requerimientos bajo las condiciones propias del sitio en el que se encuentran, en éste caso de la Ciudad de México.

Características de *Liquidambar styraciflua* L.:

Nombre común: ocozote, liquidambar, ocozotl, ocoxote, techco, copalme (Pennington y Sarukhán, 1968).

Fam. Hamamelidaceae.

Especie originaria del este de Norteamérica en su región atlántica.

Altura: 15 a 20m (algunos pueden alcanzar hasta 60 m).

Copa: piramidal, sinétrica, de 5 a 7 m de diámetro (Figura 1).

Es una especie de crecimiento rápido, aunque lento en la primera edad (alcanza unos 3 m en los primeros 4 años y entre 6 y 7 m a los 10 años). Su longevidad es de 50-100 años.

Es cultivado especialmente por su follaje rojo carmín en otoño (Raulston, 1989). Las ventajas que se reportan para su cultivo son su crecimiento rápido, su poca necesidad de poda, que tiene raíces fibrosas medianamente profundas y presenta pocos daños en su follaje (Barradas y J-Seres, 1988), presenta alta tolerancia a luz artificial, a los suelos inundados, al frío y tolerancia moderada a suelos

pobres (Chanes, 1979; Clark y Kjelgren, 1989). Por otro lado se mencionan algunas características no tan favorables como son que requiere suelo arcilloso, húmedo, profundo y bien drenado, su necesidad de irrigación es media (de 1/2 a 1 pulgada a la semana), requiere un pH en el suelo de 6-6.5, presentando clorosis en suelos fuertemente alcalinos, no tolera sombra, tolera mediana compactación ya que su tolerancia a deficiencia en oxígeno es media (Johnson et al. 1982), puede causar costosos daños en aceras (Barker, 1985) y es medianamente susceptible a plagas en México (Martínez, 1989), aunque se reporta resistente y relativamente libre de plagas en Estados Unidos de América (Maino y Howard, 1955), en donde se considera como parte del arbolado urbano desde 1968 (Gerhold et al., 1975).

En el manual de Johnson no está señalada como tolerante a sequía. Se reporta tolerante a contaminación atmosférica de dióxido de azufre y ozono (López, 1992).



Figura 1. *Liquidambar styraciflua*. Forma del árbol y detalle de la hoja, flor y fruto.

Características de *Ligustrum lucidum* Ait.:

Nombre común: trueno.

Fam. Oleaceae.

Especie nativa de China, Corea y Japón.

Altura: de 6 a 7 m (puede alcanzar hasta 15m).

Copa: redondeada, oblonga, de 1-3 m. de diámetro (Figura 2).

Presenta crecimiento rápido cuando joven y más lento hasta la madurez; su longevidad es moderada, de 50-100 años (Johnson et al., 1982).

Su raíz fibrosa requiere suelos con buen drenaje, con un pH de 6-8, con una demanda de irrigación media, de 1/2 a 1 pulgada (1.27 a 1.54 cm) a la semana.

En general, es muy resistente a las condiciones urbanas y a los insectos (Martínez, 1989).

Entre las ventajas para su uso se menciona el grado de aclimatación y la baja agresividad ecológica; que crece en cualquier tipo de suelo, incluso seco, y soporta vientos fuertes, sombra, podas, frío y contaminación ambiental (dióxido de azufre y ozono). Se recomienda también por no contribuir en el levantamiento de banquetas (Benavides, 1989b), además da no interferir con el cableado por su altura promedio en la madurez (Duffield y Jones, 1981; López, 1992).

Las características resumidas de las dos especies, se presentan en el Cuadro 1.



Figura 2. *Ligustrum lucidum*. Forma del árbol y detalle de la hoja, flor y fruto.

Si se requiere algún dato sobre la descripción de las especies, se puede consultar además de la bibliografía citada, a Sprague (1949) y a Krüssmann (1977).

Cuadro 1. Características de <i>Liquidambar styraciflua</i> (A) y <i>Ligustrum lucidum</i> (B).					
GENERALES					
ESPECIE	NOMBRE COMUN	FAMILIA	ORIGEN		
A	Ocozote, liquidambar ocozotl, ocozote, techno, copalme	Hamamelidaceae	Norteamérica		
B	Trueno	Oleaceae	China, Corea y Japón		
CARACTERISTICAS FISICAS					
ALTURA	COPA	TASA DE CRECIMIENTO	LONGEVIDAD	RATE	MADERA
A 15-20 m	Piramidal 5-7 m diámetro	Lento cuando joven y rápido hacia la madurez	50-100 años	Fibrosa, medianamente profunda	Fuerte
B 6-7 m	Redondeada 1-3 m diámetro	Rápido cuando joven y lento hacia la madurez	50-100 años	Fibrosa	Modestamente fuerte
CONDICIONES DEL HABITAT					
SUELO		RINCO		VIENTO	
A pH 6-6.5, arcilloso, húmedo, profundo y bien drenado		1.27-2.54 cm/semana			
B pH 6-8, con buen drenaje		1.27-2.54 cm/semana		Soporta vientos fuertes	

CARACTERISTICAS DE MANTENIMIENTO				
POMA				
A Bajo mantenimiento				
B Mantenimiento moderado				
CARACTERISTICAS ORNAMENTALES				
FOLLAJE				
A Rojo carmín en otoño				
B Uso para rompevientos				
CONDICIONES EN EL MEDIO URBANO				
CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	ILUMINACION	SUELO	RELACION CON INFRA- ESTRUCTURA	PLAGAS
A Tolerante a SO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub>	Alta tole- rancia a luz y poca a sombra	Alta to- lerancia a suelos inundados y modera- da a pobres tolera com- pactación media	Daños en aceras	Media- namen- te
B Tolerante a SO <sub>2</sub> y O <sub>3</sub>	Soporta sombra	Crece en cualquier tipo	No causa daño en banquetes ni inter- fiere con el cableado	Resis- tente

El espacio físico del experimento, en donde se ubicaron los árboles, fue un pequeño invernadero (4.2x4.35x2.52m), parcialmente sombreado dentro de las instalaciones del Campo experimental Coyoacán, en el cual se mantuvieron condiciones controladas de riego; éste invernadero era hermético al agua pero permitía la libre circulación del aire.

Se colocaron los árboles sobre unas plataformas de plástico, que permitían regar de manera individual a cada serie sin afectar a las demás.

El método que se utilizó para el desarrollo de este trabajo, incluye técnicas de varias disciplinas como se verá a continuación.

#### V.2. Técnicas empleadas.

##### a) Medición de altura.

La longitud de cada planta desde el collar hasta el ápice se midió con una cinta métrica.

##### b) Determinación del peso seco de la planta.

Cada uno de los árboles se dividió en tallo, raíz y hojas colocando cada parte por separado en bolsas de papel. Estas se metieron en una estufa (Blue M. Electric) a una temperatura constante de 70°C durante 120 h, transcurrido este tiempo se pesó el material en una balanza (Sartorius Kuomat con capacidad de 1 kg). A lo largo del trabajo se utilizan indistintamente los términos peso seco y biomasa.

##### c) Potencial hídrico.

Las mediciones se hicieron de los tallos, utilizando una cámara de presión tipo Scholander (PMS Instrument Company, Corvallis, Oregon) (Scholander et al., 1965; Waring y Cleary, 1967; Kaufmann, 1968; Hass y Dodd, 1972; Ritchie y

Hinckley, 1975 y Turner, 1981; Roberts, 1987).

Se tomó una ramilla a una altura de 1.50 m a partir del collar y se colocó en la cámara de presión dejando la zona de corte en la parte exterior, después de haber pasado la ramilla a través de un tapón horadado. La presión del gas (nitrógeno) dentro de la cámara se aumentó paulatinamente y se registró aquella a la cual una gota de savia fue observada en la punta de la rama.

b) Contenido de humedad del suelo.

Entre un suelo saturado y un suelo seco existe una variación muy considerable en su contenido de humedad, este contenido se expresa generalmente en porcentaje respecto al peso del suelo seco, es decir, la relación de peso de agua contenida a peso del suelo seco, multiplicada por cien, esto se designa como técnica gravimétrica (Aguilera y Martínez, 1990).

Se extrajo una muestra de suelo húmedo con una pala y se colocó en un bote hermético de aluminio con capacidad de 100 ml, se pesó antes y después de secarlo en una estufa a una temperatura constante de 105°C durante 24 horas.

Con los datos obtenidos se aplicó la siguiente fórmula para la obtención del contenido de humedad del suelo:

$$P_s = \frac{(P_{sh} - P_{ss}) \cdot 100}{P_{ss}} = \frac{P_a \cdot 100}{P_{ss}}$$

Ps = Contenido de humedad, %  
Pss = Peso de suelo seco, g  
Psh = Peso de suelo húmedo, g  
Pa = Peso del agua contenida, g

### V.3. Fases del procedimiento experimental.

#### a) Período de riego.

Se regó a saturación el suelo de 20 ejemplares: 10 de Ligustrum lucidum y 10 de Liquidambar styraciflua. Después de 24 h (lapso que se esperó para que saliera el agua gravitacional), se pesó en una balanza granataria marca Oken (capacidad 120 Kg) cada uno de los árboles para contar con un peso inicial. A partir de este día se pesaron diariamente para registrar la pérdida de humedad, además se observaron las características de vigor de la planta. El registro se interrumpió cuando los árboles presentaron síntomas de marchitez sin recuperación nocturna. A partir del máximo peso promedio perdido se establecieron tres diferentes tratamientos de riego:

#### Para Liquidambar styraciflua:

Tratamiento 1. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 500 g de peso.

Tratamiento 2. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 1000 g de peso.

Tratamiento 3. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 2250 g de peso.

Para *Ligustrum lucidum*:

Tratamiento 1. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 500 g de peso.

Tratamiento 2. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 1000 g de peso.

Tratamiento 3. Los árboles se regaban cada vez que la serie perdía en promedio 1500 g de peso.

Para la determinación de los tratamientos se tomó el peso y no el tiempo porque las condiciones climáticas son muy variables, y por tanto los porcentajes de humedad perdida, cambiarían de un día a otro, con lo cual éste último criterio hubiera sido menos confiable que el primero.

Una vez establecidos los tratamientos de riego, una muestra de 30 organismos de *Liquidambar styraciflua* y 30 de *Ligustrum lucidum* se dividió en tres series, cada una de 10 ejemplares, a las que se les asignó respectivamente cada uno de los tratamientos de riego ya mencionados.

Al principio fueron regados a saturación los 60 árboles, después de 24 horas se pesaron para establecer el peso inicial. Posteriormente, el peso de cada serie se monitoreó hasta que ésta alcanzó la pérdida en peso que le correspondía de acuerdo al tratamiento asignado y en este punto se regó a saturación nuevamente. Esta dinámica se repitió en tiempos diferentes de acuerdo a cada serie. Las mediciones de peso se hicieron siempre a la misma hora (18 horas) para no tener fluctuaciones debidas a los niveles de evapotranspiración a través del día.

Lo anterior se repitió cíclicamente para todas las series durante un año - desde abril de 1992 hasta abril de 1993 - para comprender un período de crecimiento

b) Peso seco.

Se tomó una muestra de 10 árboles de cada especie para determinación de peso seco inicial al principio del trabajo.

Después de un año de estar sometidos a diferentes tratamientos de riego, se tomaron los 10 árboles de cada serie tanto de Liquidambar styraciflua como de Liquidambar lucidus y se les determinó también el peso seco.

Así, teniendo un valor inicial y uno final de acuerdo a cada tratamiento de riego se puede saber cómo afecta cada uno de éstos al incremento en biomasa.

c) Altura.

A la misma muestra de 30 árboles por especie, a la que se regó durante un año, se le midió la altura cada dos meses durante el mismo período. Teniendo los datos de altura por serie se puede evaluar el incremento en altura de acuerdo al tratamiento.

d) Potencial hídrico.

En un período comprendido entre noviembre de 1992 y febrero de 1993 a las 18 horas, se hicieron las mediciones de potencial hídrico a individuos sometidos al tratamiento 3, tanto de Liquidambar styraciflua (liquidambar) como de

Ligustrum lucidum (trueno). Para esta parte del experimento, se utilizaron 30 organismos, 15 de cada especie. Se utilizó el tratamiento tres por ser el más prolongado, es decir, aquel en el cual se podía tener un seguimiento ininterrumpido de la relación potencial hídrico vs pérdida de peso de la maceta.

De 10 organismos, se elegían al azar 3 cada día para que la medición fuera por triplicado.

Al mismo tiempo que se empezó con las mediciones de potencial hídrico con la bomba de presión, los 5 ejemplares restantes de cada especie (que fueron los mismos durante esta parte del experimento), fueron pesados cada vez que se tomaban las muestras para el potencial, con lo que se pudo llevar el registro de la pérdida de peso en relación al estatus hídrico de la planta.

e) Características del suelo.

A muestras de ambos suelos, previamente tamizadas, se les determinó la curva de retención de humedad (Aguilera y Martínez, 1990) en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

A otras muestras de los suelos de ambas especies se les realizó un análisis de la fertilidad en el Laboratorio de Suelos del Campo Experimental Valle de México (CEVANEX) del INIFAP.

A una muestra de suelo de 20 árboles, 10 de cada especie, se le determinó el contenido de humedad de acuerdo

a lo descrito antes en "Técnicas empleadas".

**f) Tratamiento estadístico.**

Los organismos se agruparon en bloques al azar, con tres tratamientos de período de riego por especie.

**Unidad experimental:** Cada árbol sometido a un tratamiento de período de riego.

**Repeticiones:** 10 de cada tratamiento por especie.

**Variables respuesta:** Incremento en altura y Peso Seco de cada parte de la planta (raíz, tallo y hojas).

Los datos fueron sujetos a una prueba de análisis de varianza (ANOVA) y se determinó la diferencia entre medias de los tratamientos por medio de una prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan. Los cálculos se realizaron con el programa Statistical Analysis System (SAS).

## VI. RESULTADOS.

Los resultados incluyen la descripción de aspectos mencionados en "Técnicas empleadas y en "Fases del procedimiento experimental": período de riego, altura, peso seco, potencial hídrico, curva de retención de humedad, análisis de suelo, porcentaje de humedad del suelo y análisis estadístico, con inserción de figuras y cuadros. La mayoría de los datos son promedio de 10 árboles, excepto en los de potencial hídrico en los que son promedio de 3 árboles y en el peso correspondiente a esta fase son de 5 árboles; el error estándar se presenta entre paréntesis junto al promedio. Para darle fluidez a la lectura del trabajo y facilitar su comprensión se separaron los resultados por especie y los cuadros y figuras que incluyen a ambas especies se repitieron en donde correspondía. En algunas gráficas se delimitan con flechas el límite del tratamiento 1 y 2.

### Liquidambar styraciflua.

1) Período de riego. En el Cuadro 2 se muestran los datos sobre el peso de la planta (árbol + envase) que se obtuvieron en un lote experimental de 10 repeticiones. Los primeros síntomas de marchitez se observaron después de 51 días sin riego y la marchitez sin recuperación a los 66 días. Ya establecidos los períodos de riego a partir de los datos del Cuadro 2 (como se describe en "Fases del procedimiento experimental"), en un lapso de 306 días, la especie Liquidambar styraciflua se regó 42 veces en el tratamiento uno, 21 en el dos y 4 en el tres (Cuadro 3).

Cuadro 2. Cambios en el peso de la maceta (Kg), de las dos especies, desde el riego hasta que se presentó marchitez sin recuperación.							
ESPECIE	P1	P2	t	P1-P2	P3	t	P1-P3
A	10.66(±0.47)	8.64(±0.40)	51	2.01	8.44(±0.40)	66	2.22
B	11.81(±0.20)	10.32(±0.32)	24	1.49	9.54(±0.27)	52	2.27

A = *Liquidambar styraciflua*  
 B = *Ligustrum lucidum*  
 P1 = Peso inicial (a saturación)  
 P2 = Peso intermedio (primeros síntomas de marchitez)  
 P3 = Peso final (marchitez sin recuperación)  
 t = Días transcurridos sin riego

Cuadro 3. Número de repeticiones de riego en cada tratamiento por especie.			
ESPECIE	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
<i>Liquidambar styraciflua</i>	42	21	4
<i>Ligustrum lucidum</i>	52	28	15

2) **Altura.** Tomada desde el collar hasta el ápice, se inició la medición al principio del experimento, al comenzar con los diferentes periodos de riego y se hicieron 6 mediciones más, una cada 2 meses aproximadamente, llegando a un total de 306 días.

En el día uno, el promedio de altura del tratamiento 1 fue 85.1 cm; en el tratamiento 2, 90.75 cm; y en el tratamiento 3, 88.6 cm, alcanzando al final del experimento 91.2, 96.9 y 82.6 cm respectivamente; se presentó una velocidad de crecimiento muy similar en los tres tratamientos (0.00019, 0.00018 y -0.00019 1/día respectivamente), aunque en el tratamiento tres es negativa, es

decir, hubo una disminución de la altura como se puede apreciar en la Figura 3 (datos registrados en Anexo 1).

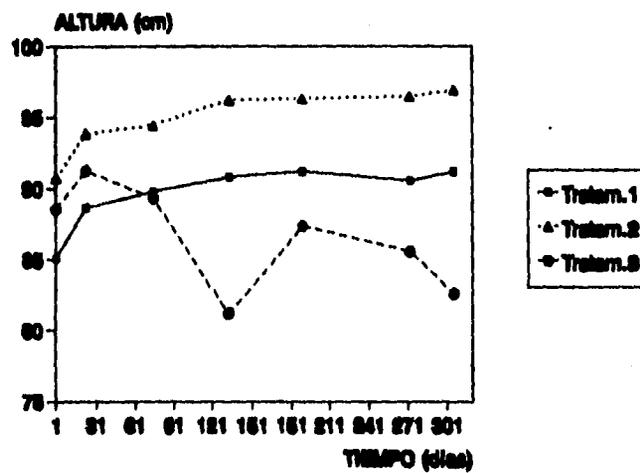


Figura 8. Altura de *Liquidambar styraciflua* bajo diferentes tratamientos de riego.

En el día 134 se registró una caída drástica en la altura de los árboles del tratamiento 3, llegando a 81.2 cm, recuperándose después para volver a caer aunque en forma paulatina hasta alcanzar una altura de 82.6 cm en el día 306.

Como se muestra en el Cuadro 3, los tratamientos 1 y 2 presentan un incremento semejante (6.1 y 6.15 cm -con un porcentaje de incremento de 7.3 y 7.1- respectivamente) y el tratamiento 3 tiene un decremento proporcional al incremento de los otros dos tratamientos: -6.0 cm (porcentaje de incremento de -6.3).

Cuadro 4. Incremento de altura y velocidad de crecimiento de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> en cada uno de los tratamientos.				
<b><i>Liquidambar styraciflua</i></b>				
TRATAMIENTO	Promedio	Desv. Std.	Error Std.	Vel. de crec.
1	6.1	2.77	1.38	0.000192
2	6.15	3.08	1.54	0.000182
3	-6.0	8.87	4.43	-0.00019
<b><i>Ligustrum lucidum</i></b>				
TRATAMIENTO	Promedio	Desv. Std.	Error Std.	Vel. de crec.
1	6.35	7.18	3.59	0.000139
2	2.72	3.87	1.93	0.0000572
3	2.9	4.02	2.01	0.0000609
Desv. Std. = Desviación estándar				
Error Std. = Error estándar				
Vel. de crec. = Velocidad de crecimiento				

### 3) Peso seco.

Biomasa total. En la figura 4 se representa el peso total de la planta (cada dato es el promedio de 10 árboles), comparando la biomasa al inicio (37.85 g) del experimento contra la obtenida al final en cada uno de los tratamientos (63.64, 59.66 y 32.74 g). Se observó que hay un incremento en el peso seco de la planta completa en el tratamiento 1 y 2 (con un porcentaje de cambio de 68.13 y 57.62 respectivamente y un decremento en el tratamiento 3 con un porcentaje de cambio de -13.5. Esta disminución de la biomasa es también clara al observar las tasas de crecimiento relativo (Cuadro 5).

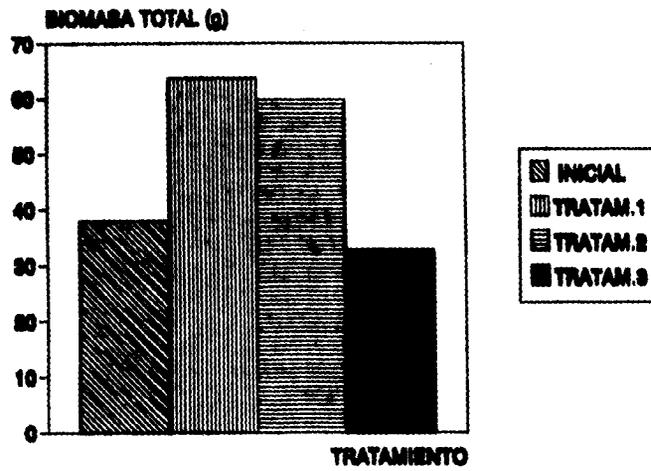


Figura 4. Biomasa total inicial y final de cada tratamiento de *Liquidambar styraciflua*.

Cuadro 5. Peso seco total (y porcentaje de cambio) y tasa de crecimiento relativo bajo los 3 tratamientos de *Liquidambar styraciflua*.

PARAMETROS	PESO I.	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
P.S (g)	37.85	63.64(±5.96)	59.66(±6.56)	32.74(±5.90)
% CAMBIO		68.13	57.62	-13.5
R (1/DIA)		0.00169	0.0049	-0.00046

PESO I. = Peso inicial  
 %CAMBIO = Está definido en relación al inicial  
 P.S. = Peso seco  
 R = Tasa de crecimiento relativo (Bradbury, 1990)

Biomasa de cada parte de la planta. Se separó cada parte y se obtuvo el peso seco, el porcentaje de cada parte de la planta, la tasa de crecimiento relativo y el porcentaje de cambio, además de la tasa raíz/brote.

En el Cuadro 6 se observa que en general no hay diferencia entre el tratamiento 1 y 2 y que éstos sí difieren del 3, ya que éste último presentó valores por debajo de los iniciales y los de los tratamientos 1 y 2; también se puede notar que la relación raíz/brote no cambia entre los tratamientos aunque sí es distinta de la inicial, lo que significa que incrementó la raíz en proporción al tallo y las hojas. En cuanto al porcentaje de biomasa de cada parte se ve una proporción constante en los tres tratamientos entre sí, aunque diferente de la inicial. De igual forma se observa en la relación raíz-brote, que al principio es mayor la proporción de hojas y menor la de raíz que al final de cada tratamiento.

La comparación entre los tratamientos en cada parte de la planta se tiene en la Figura 5.

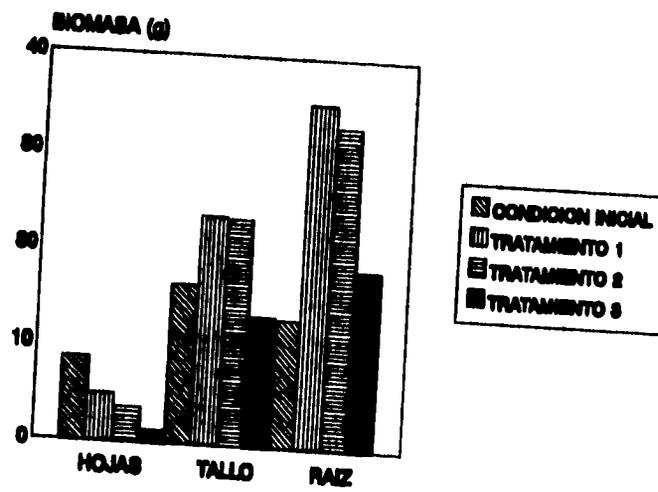


Figura 6. Biomasa inicial y final de cada parte de la planta en *Liquidambar styraciflua*.

Cuadro 6. Peso seco de cada parte y parámetros de crecimiento entre los tratamientos (1, 2 y 3) de <i>Liquidambar styraciflua</i> .				
PARAMETROS	COND. INIC.	TRAT.1	TRAT.2	TRAT.3
P.S. HOJAS (g)	8.56(±1.62)	4.84(±1.35)	3.46(±1.53)	1.17(±0.42)
% CAMBIO		C	-28.51	-75.82
R (1/DIA)		-0.00186	-0.00293	-0.00648
P.S. TALLO (g)	16.29(±3.38)	23.42(±2.99)	23.18(±2.36)	13.24(±2.04)
% CAMBIO		C	-1.02	-43.46
R (1/DIA)		0.00117	0.00115	-0.00067
P.S. RAÍZ (g)	13.00(±3.01)	35.38(±5.08)	33.01(±7.99)	18.33(±5.35)
% CAMBIO		C	-6.69	-48.19
R (1/DIA)		0.00326	0.00306	0.00113
R/B	0.52	1.25	1.23	1.27
%BIOM. HOJAS	23.54(±2.84)	7.57(±1.89)	5.79(±2.28)	4.39(±1.9)
%BIOM. TALLO	43.31(±2.73)	37.62(±6.58)	42.01(±8.39)	42.56(±5.37)
%BIOM. RAÍZ	33.13(±2.18)	54.79(±3.72)	52.18(±8.46)	53.04(±5.85)
		COND. INIC. =	Condiciones iniciales	
		%BIOM. =	Porcentaje de biomasa	
		R/B =	Relación Raíz-Brote	
		C =	Control (Tratamiento 1)	

4) **Potencial hídrico.** El potencial hídrico se midió en el tratamiento 3 de cada especie con 3 repeticiones por dato, el inicio del periodo fue cuando los árboles se regaron a saturación y el final cuando los árboles habían perdido en promedio 2250 g.

*Liquidambar styraciflua* al inicio presentó un potencial de -6.3 barías y al término, en el día 57 presentó -10.5 barías (Figura 6).

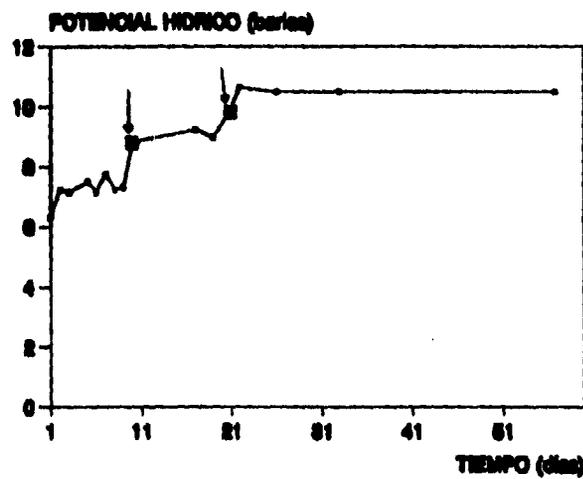


Figura 6. Potencial Hídrico de *L. gibberula* vs tiempo durante el tratamiento con.

Tomando como base el potencial del principio hay un porcentaje de cambio en relación al final, del 66.6%, pasando por porcentajes de cambio intermedios: a los 10 días 39.49% con 2.5 barias de diferencia; a los 20 días 15.79% con 1.0 barias de diferencia; a los 30 días 9.47% con 0.6 barias de diferencia y sin cambio hasta el final en el día 57 (Cuadro 7).

Cuadro 7. Potencial hídrico registrado bajo el tratamiento 3 en <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> , mostrando los porcentajes de cambio de potencial a diferentes días de sequía.			
DIAS DE SEQUIA	POTENCIAL HIDRICO (barias)	% DE CAMBIO	DIF. DE P. HIDRICO (barias)
<i>Liquidambar styraciflua</i>			
1	-6.33		
10	-8.83	39.49	2.5
13*	-8.9		
21	-9.83	15.79	1.0
33	-10.5	9.47	0.6
57	-10.5	0	0
<b>TOTAL</b>	57	65.6	4.17
<i>Ligustrum lucidum</i>			
1	-10.66		
9	-10.5	1.5	0.16
21	-11.16	6.19	0.66
29	-13.33	20.35	2.17
<b>TOTAL</b>	29	25.4	2.67

\* Dato bibliográfico reportado por Bradbury (1990).

Hay una disminución del potencial hídrico conforme disminuye la humedad del suelo (medida por el peso de la planta), como se puede ver en la Figura 7 (datos en el Anexo 2). De acuerdo a la pérdida de peso, el límite del tratamiento 1 se presenta con un potencial hídrico de -8.83 barías, a los 10 días y el del tratamiento 2 es -9.83 barías a los 21 días, estos puntos se encuentran señalados con flechas en las gráficas.

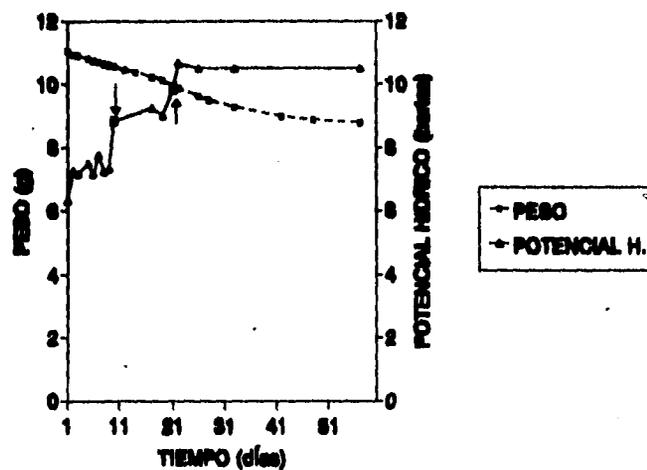


Figura 7. Potencial hídrico y peso de *Liquidambar styraciflua* vs tiempo.

5) Curva de retención de humedad. La curva de retención de humedad (Figura 8), presenta los siguientes datos: para 0.3 barías de presión se tuvo 29.29% de humedad en el suelo; para 15 barías de presión el porcentaje fue 12.93. Los datos de cada punto de la curva se encuentran en el Anexo 3. Con los datos de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), se obtuvo la humedad aprovechable (HA) que es 17% y la lámina de agua (LA) que es 74 mm (Anexo 4). En la gráfica correspondiente se extrapolaron los datos del potencial hídrico de la planta en cada tratamiento para establecer el porcentaje de humedad del suelo que se presentaba en cada caso, con flechas se señala el punto del tratamiento 1, -8.83

barias con 14.2% de humedad en el suelo, el tratamiento 2, -9.03 barias con 14% de humedad y el tratamiento 3, -10.5 barias con 13.6% de humedad.

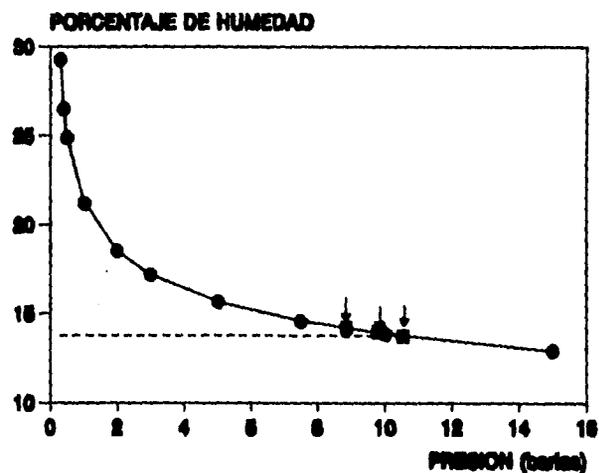


Figura 8. Curva de retención de humedad del suelo de *Liquidambar styraciflua*.

6) Análisis de suelo. En el cuadro 8 se encuentran los datos del suelo de *Liquidambar styraciflua*. La textura que presenta es migajón arenoso; es muy rico en materia orgánica y en magnesio intercambiable, rico en nitrógeno, en calcio y potasio intercambiable, medio en capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.), y muy pobre en fósforo. El pH es moderadamente ácido (6.43) y la composición del suelo es 70% arena, 23% limo y 7% arcilla.

Cuadro 8. Datos del análisis de los suelos en los que se encuentran <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> .					
ESPECIE	pH	%Materia orgánica	% Nitrógeno total	P ppm	K Interc. ppm
<i>Liquidambar styraciflua</i>	6.43	5.22	0.239	1.82	285
Clasificación	M.A.	M.R.	R.	M.P.	R.
<i>Ligustrum lucidum</i>	6.84	4.77	0.220	4.88	528
Clasificación	N.	M.R.	R.	M.P.	M.R.
ESPECIE	Ca Interc. ppm	Mg Interc. ppm	C.I.C. meq/100 g	Textura	
<i>Liquidambar styraciflua</i>	3038	343	19.91	Migajón-Arenoso	
Clasificación	R.	M.R.	M.D.		
<i>Ligustrum lucidum</i>	2062	600	17.73	Migajón-Arenoso	
Clasificación	M.	M.R.	M.D.		
ESPECIE	COMPOSICION				
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Arena %	70			
	Limo %	23			
	Arcilla %	7			
<i>Ligustrum lucidum</i>	Arena %	64			
	Limo %	20			
	Arcilla %	16			
M.A.	Moderadamente Acido				
M.P.	Muy Pobre				
M.R.	Muy Rico				
M.D.	Medio				
R.	Rico				
M.	Mediano				
N.	Neutro				

7) Porcentaje de humedad del suelo. Los promedios de 10 datos obtenidos de la prueba gravimétrica que se aplicó al suelo se muestran en el Cuadro 9. Los datos detallados se encuentran en el Anexo 4.

Cuadro 9. Porcentaje de humedad en el suelo de cada una de las especies estudiadas.		
ESPECIE	PORCENTAJE DE HUMEDAD	PESO DE MACTA (Kg)
<i>Liquidambar styraciflua</i>	28.70	10.785(±0.38)
<i>Ligustrum lucidum</i>	29.14	11.279(±0.63)

En la Figura 9 se presenta el comportamiento del porcentaje de humedad del suelo a través del tiempo desde el riego a saturación 28.36% hasta los síntomas de marchitez permanente 22.27%. De la misma manera se observa en la Figura 10 la pérdida de peso desde el inicial (10.660 Kg) hasta el final (8.44 Kg) vs tiempo. Se puede apreciar que hay una tendencia de disminución tanto de peso como de porcentaje de humedad del suelo conforme pasan los días sin riego. Los datos de porcentaje de humedad y peso se encuentran en el Anexo 5. Los datos intermedios, es decir, los puntos en los que las especies empiezan a presentar síntomas de marchitez, se encuentran señalados con flechas en las gráficas (9 y 10)

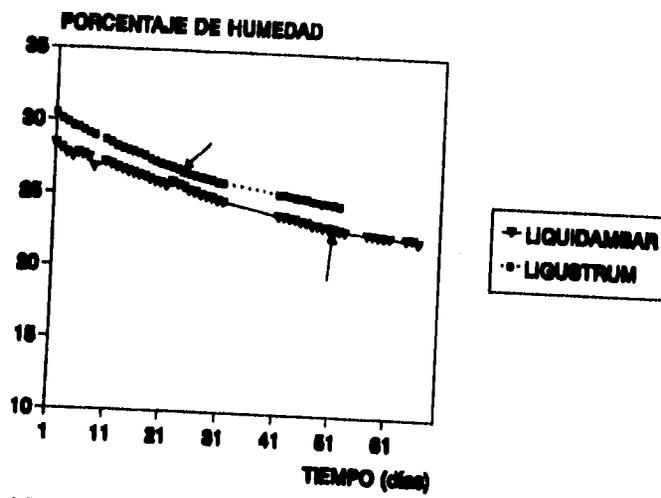


Figura 8. Porcentaje de humedad del mazo de *Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum* en tiempo.

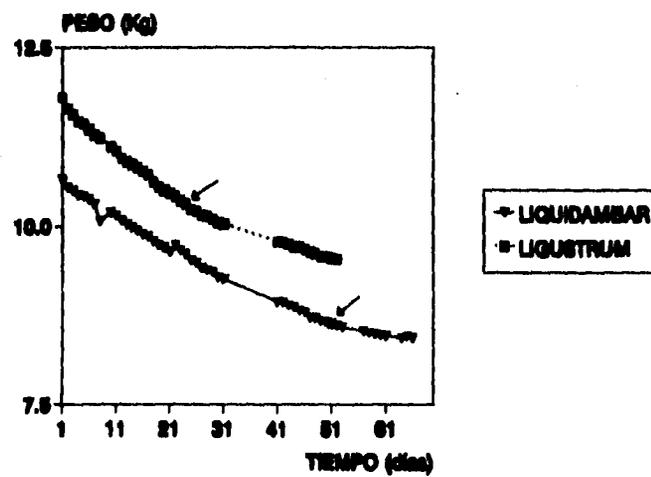


Figura 16. Peso de muestra de *Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum* vs tiempo.

8) **Análisis estadístico.** Al realizar el análisis estadístico de los datos de altura final se obtuvo que no hay diferencia significativa entre los tratamientos como se muestra en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Análisis de varianza sobre altura final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: altura final							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	1036.46	518.23	90.23	17.11	2.17	0.1332
				g.l.	= Grados de libertad		
				C.V.	= Coeficiente de variación		
				Sig. F	= Significancia de F		

Cuando se hizo el análisis de varianza a los datos de incremento en altura se encontró una diferencia significativa como se observa en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Análisis de varianza sobre incremento en altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: incremento en altura							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	980.11	490.05	2.08	286.13	13.79	0.0001

Al aplicarse la prueba de Duncan sobre los datos mencionados, se registró que el tratamiento 3 presenta una diferencia significativa con  $\alpha=0.05$  (Cuadro 12).

Cuadro 12. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de incremento en altura de <i>Liquidambar styraciflua</i> .			
TRATAMIENTO DE RIEGO	n	Media	Grupo de Duncan
1	10	6.100	A
2	10	6.150	A
3	10	-6.000	B

Se hizo el análisis de varianza de los datos de biomasa total final y se presenta diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 13).

Cuadro 13. Análisis de varianza sobre biomasa total final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .						
VARIABLE RESPUESTA: biomasa total final						
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	5650.82	2825.41	52.01	24.93	16.0 0.0001

Aplicando la prueba de Duncan sobre estos datos, el tratamiento 3 es el que presenta diferencia significativa con  $\alpha=0.05$  (Cuadro 14).

Cuadro 14. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de biomasa total final de <i>Liquidambar styraciflua</i> .			
TRATAMIENTO DE RIEGO	n	Media	Grupo de Duncan
1	10	63.64	A
2	10	59.66	A
3	10	32.74	B

También se realizaron análisis de varianza sobre los datos del peso seco de cada una de las partes vegetativas de la planta, igualmente teniendo como fuente de variación el tratamiento de riego. En cada uno de éstos análisis se obtuvo prácticamente lo mismo, una diferencia significativa, como se muestra en los Cuadros 15, 16 y 17.

Cuadro 15. Análisis de varianza sobre peso seco final de hojas de <i>Liquidambar styraciflua</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de hojas							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	68.62	34.31	3.16	80.39	5.31	0.0113

Cuadro 16. Análisis de varianza sobre peso seco final de tallo de <i>Liquidambar styraciflua</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de tallo							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	675.32	337.66	19.94	26.34	12.23	0.0002

Cuadro 17. Análisis de varianza sobre peso seco final de raíz de <i>Liquidambar styraciflua</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de raíz							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	1706.48	853.24	28.90	45.81	4.86	0.0157

Al aplicar la prueba de Duncan se presenta en todos los casos el tratamiento 3 como significativamente diferente con  $\alpha=0.05$  (Cuadros 18, 19 y 20).

Cuadro 18. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de hojas de *Liquidambar styraciflua*.

TRATAMIENTO DE RIEGO	n	Media	Grupo de Duncan
1	10	4.842	A
2	10	3.465	A B
3	10	1.175	B

Cuadro 19. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de tallo de *Liquidambar styraciflua*.

TRATAMIENTO DE RIEGO	n	Media	Grupo de Duncan
1	10	23.425	A
2	10	23.180	A
3	10	13.240	B

Cuadro 20. Prueba de diferencia mínima significativa por el método de Rangos Múltiples de Duncan sobre los datos de peso seco final de raíz de *Liquidambar styraciflua*.

TRATAMIENTO DE RIEGO	n	Media	Grupo de Duncan
1	10	35.380	A
2	10	33.015	A
3	10	18.330	B

*Ligustrum lucidum*.

1) **Período de riego.** Los primeros síntomas de marchitez se observaron después de 24 días sin riego y la marchitez sin recuperación a los 52 días de sequía (Cuadro 21).

Cuadro 21. Cambios en el peso de la maceta (Kg) de las dos especies, desde el riego hasta que se presentó marchitez sin recuperación.							
ESPECIE	P1	P2	t	P1-P2	P3	t	P1-P3
<b>A</b>	10.66(±0.47)	8.64(±0.40)	51	2.01	8.44(±0.40)	66	2.22
<b>B</b>	11.81(±0.20)	10.32(±0.32)	24	1.49	9.54(±0.27)	52	2.27

**A = Liquidambar styraciflua**  
**B = Ligustrum lucidum**  
 P1 = Peso inicial (a saturación)  
 P2 = Peso intermedio (primeros síntomas de marchitez)  
 P3 = Peso final (marchitez sin recuperación)  
 t = Días transcurridos sin riego

Como se presenta en el Cuadro 22 el tratamiento 1 se regó 52 veces, el tratamiento 2 en 28 ocasiones y el 3 en 15.

Cuadro 22. Número de repeticiones de riego en cada tratamiento por especie.			
ESPECIE	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
<i>Liquidambar styraciflua</i>	42	21	4
<i>Ligustrum lucidum</i>	52	28	15

2) **Altura.** Al inicio del experimento, se tenía una altura promedio de 145.9, 154.03 y 154.15 cm respectivamente en los tratamientos 1, 2 y 3. En el día 75, el tratamiento 3 tuvo una disminución, llegando a 151.2 cm (Figura 11), se recuperó posteriormente para terminar en 157.05 cm, valor semejante al de los tratamientos 1 y 2: 152.25 y 156.75 cm respectivamente. El porcentaje de incremento fue 4.3, 1.7 y 1.8; y la velocidad de crecimiento:  $0.00013$ ,  $5.72^{-5}$  y  $6.09^{-5}$  en cada uno de los tratamientos.

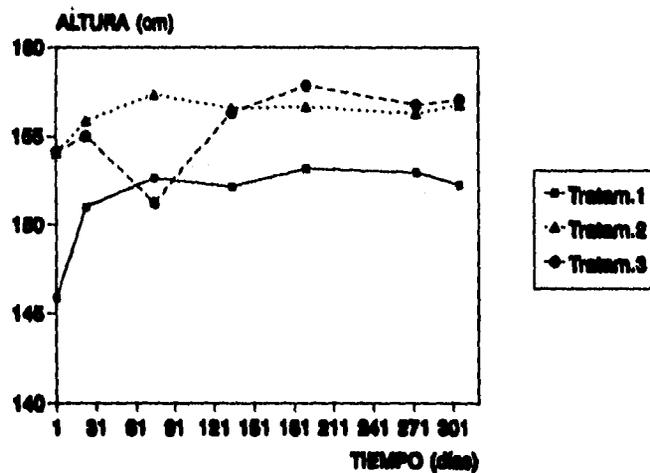


Figura 11. Altura de *Ligustrum Aspidium* bajo diferentes tratamientos de riego.

Incremento en altura. Como se muestra en el Cuadro 23, el tratamiento 1 tuvo el mayor incremento (6.35 cm) y los tratamientos 2

y 3 presentaron un incremento menor y muy semejante entre sí (2.72 y 2.9 cm respectivamente).

Cuadro 23. Incremento de altura y velocidad de crecimiento de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> en cada uno de los tratamientos.				
<b><i>Liquidambar styraciflua</i></b>				
TRATAMIENTO	Promedio	Desv. Std.	Error Std.	Vel. de crec.
1	6.1	2.77	1.38	0.000192
2	6.15	3.08	1.54	0.000182
3	-6.0	8.87	4.43	-0.00019
<b><i>Ligustrum lucidum</i></b>				
TRATAMIENTO	Promedio	Desv. Std.	Error Std.	Vel. de crec.
1	6.35	7.18	3.59	0.000139
2	2.72	3.87	1.93	0.0000572
3	2.9	4.02	2.01	0.0000609
Desv. Std. = Desviación estándar				
Error Std. = Error estándar				
Vel. de crec. = Velocidad de crecimiento				

### 3) Peso seco.

Biomasa total. Como se observa en la Figura 12 se presenta un aumento del tratamiento 1 en relación al inicial (244.44 g), y una disminución escalonada del 1 al 3 (259.71, 194.21 y 182.92 g respectivamente). Tanto en el tratamiento 2 como en el 3 hay una tasa de crecimiento relativa negativa, ya que se tienen valores por debajo de los obtenidos en un principio (Cuadro 24).

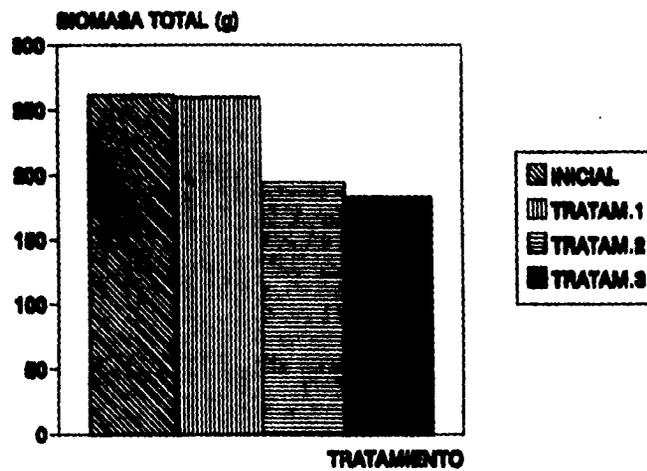


Figura 12. Biomasa total inicial y final de cada tratamiento de *Ligustrum lucidum*.

Cuadro 24. Peso seco total (y porcentaje de cambio) y tasa de crecimiento entre los 3 tratamientos de <i>Ligustrum lucidum</i> .				
PARAMETROS	PESO I.	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
P.S (g)	244.44	259.71(±88.82)	194.21(±62.39)	182.92(±61.27)
% CAMBIO		6.24	-20.54	-25.16
R (1/DIA)		0.00019	-0.00075	-0.00091

PESO I. = Peso inicial  
 %CAMBIO = Está definido en relación al inicial  
 P.S. = Peso seco  
 R = Tasa de crecimiento relativo (Bradbury, 1990)

Biomasa de cada parte de la planta. El tratamiento 1 difiere del 2 y 3 muy ligeramente y estos 2 no son diferentes; aunque hay una disminución progresiva desde el tratamiento 1 hasta el 3: 19.23, 14.46 y 11.47 g para hojas por ejemplo, y así en el caso del tallo y la raíz (Figura 13). Para la relación raíz/brote no hay diferencia entre los tratamientos aunque sí con el inicial ya que es casi la mitad de la R/B de los tratamientos, lo que indica un aumento en la proporción de raíz.

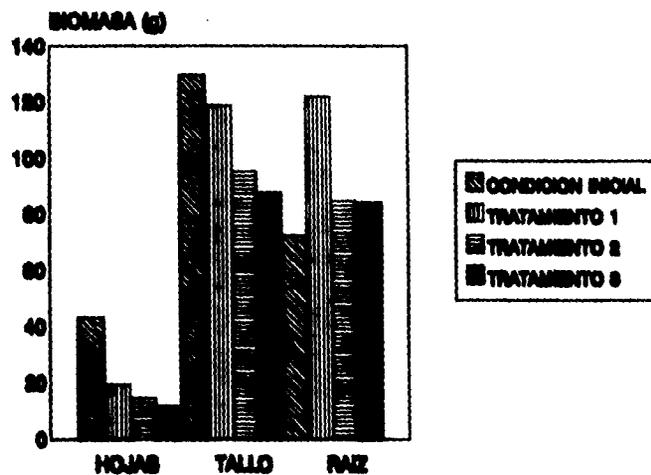


Figura 13. Biomasa inicial y final de cada parte de la planta de *Liquidambar styraciflua*.

En cuanto al porcentaje de biomasa de cada parte se repite lo observado para *Liquidambar styraciflua* en el caso de parte aérea

(tallo y hoja) en el que el inicial es superior; y hay una disminución progresiva del tratamiento 1 al 3. No así para la raíz en la que la inicial es inferior al tratamiento 1 y la del tratamiento 2 y 3 inferiores al valor del tratamiento 1 pero casi iguales entre sí. Todos los datos están contenidos en el Cuadro 25.

Cuadro 25. Peso seco de cada parte y parámetros de crecimiento entre los 3 tratamientos de <i>Ligustrum lucidum</i> .				
PARAMETROS	COND. INIC.	TRAT.1	TRAT.2	TRAT.3
P.S. HOJAS (g)	43.04(±16.83)	19.23(±6.99)	14.46(±5.55)	11.47(±2.76)
% CAMBIO		C	-24.80	-40.35
R (1/DIA)		-0.00264	-0.00355	-0.00431
P.S. TALLO (g)	129.38(±44.3)	118.61(±45.6)	95.13(±34.0)	87.38(±27.2)
% CAMBIO		C	-19.79	-26.32
R (1/DIA)		-0.00029	-0.00099	-0.00127
P.S. RAIZ (g)	72.01(±21.2)	121.87(±38.92)	84.61(±25.3)	84.06(±16.7)
% CAMBIO		C	-30.57	-31.02
R (1/DIA)		0.00173	0.00054	0.00052
R/B	0.41	0.88	0.77	0.85
%BIOM. HOJAS	17.78(±2.98)	7.91(±1.88)	7.38(±1.11)	6.60(±1.61)
%BIOM. TALLO	53.20(±2.50)	43.64(±7.32)	47.39(±4.82)	45.20(±4.82)
%BIOM. RAIZ	29.01(±3.51)	48.43(±8.68)	45.21(±5.21)	48.19(±6.71)
		COND. INIC.	= Condiciones iniciales	
		%BIOM.	= Porcentaje de biomasa	
		R/B	= Relación Raíz/Brote	
		C	= Control (tratamiento 1)	

4) Potencial hídrico. Al inicio el potencial fue de -10.6 barías y al final, en el día 29, presentó -13.3 barías (Figura 14). Los datos registrados se encuentran en el Anexo 2.

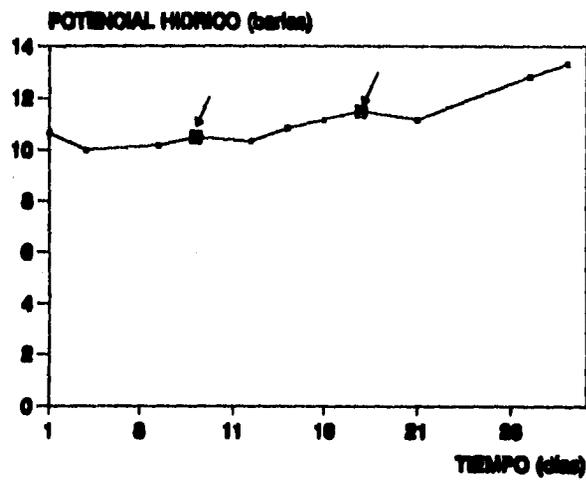


Figura 14. Potencial hídrico de *Ligularia lucida* vs tiempo durante el tratamiento tres.

Tomando como base el potencial hídrico del principio hay un porcentaje de cambio en relación al final, del 25.4%, pasando por porcentajes de cambio intermedios: a los 10 días 1.5% de cambio con 0.16 barías; a los 20 días, 6.19% de cambio con 0.66 barías y a los 30 días, 20.35% de cambio con 2.7 barías (Cuadro 26).

Cuadro 26. Potencial hídrico registrado bajo el tratamiento 3 en <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> , mostrando los porcentajes de cambio de potencial a diferentes días de sequía.			
DÍAS DE SEQUÍA	POTENCIAL HÍDRICO (barias)	% DE CAMBIO	DIF. DE P. HÍDRICO (barias)
<i>Liquidambar styraciflua</i>			
1	-6.33		
10	-8.83	39.49	2.5
13*	-8.9		
21	-9.83	15.79	1.0
33	-10.5	9.47	0.6
57	-10.5	0	0
<b>TOTAL</b>	57	65.6	4.17
<i>Ligustrum lucidum</i>			
1	-10.66		
9	-10.5	1.5	0.16
21	-11.16	6.19	0.66
29	-13.33	20.35	2.17
<b>TOTAL</b>	29	25.4	2.67

\* Dato bibliográfico reportado por Bradbury (1990).

Hay una disminución del potencial hídrico conforme disminuye la humedad del suelo (medida por el peso de la planta), como se puede ver en la Figura 15. De acuerdo a la pérdida de peso, el límite del tratamiento 1 es un potencial de -10.5 barías, en el día 9 y el del tratamiento 2, -11.5 barías, en el día 18, estos puntos se señalan con flechas en la gráfica.

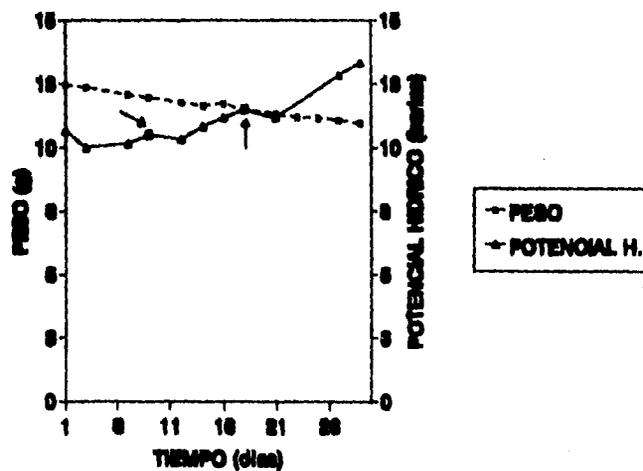


Figura 15. Potencial hídrico y peso de *Liquidum lucidum* vs tiempo.

5) Curva de retención de humedad. La curva de retención de humedad (Figura 16) presenta los siguientes datos: para 0.3 barías de presión se tuvo 26.08% de humedad en el suelo y para 15 barías, el porcentaje de humedad fue 13.38. Los datos de cada punto de la curva están en el Anexo 3. De la misma manera que en *Liquidambar styraciflua* se obtuvo la humedad aprovechable (0.13 ó 13%) y la lámina de agua (58mm). Además se extrapolaron los datos de potencial hídrico de la planta para conocer el porcentaje de humedad del suelo correspondiente en cada tratamiento, y se muestran estos puntos con flechas en la gráfica: para el tratamiento 1, con -10.5 barías, 14.2% de humedad; para el tratamiento 2, con -11.5 barías, 14% de humedad y

para el tratamiento 3, con -13.33 barías, 13.6% de humedad en el suelo.

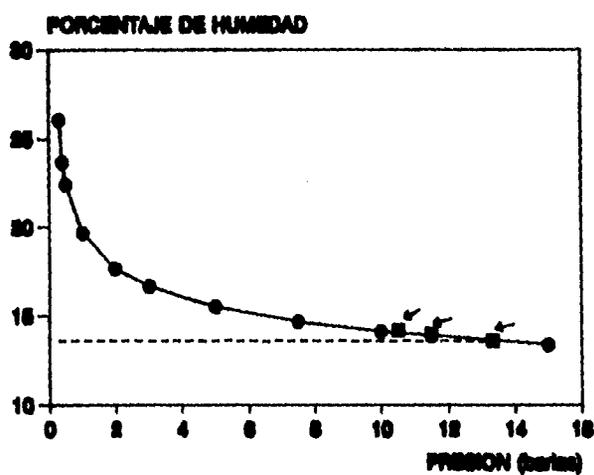


Figura 16. Curva de retención de humedad del suelo de *Ligustrum lucidum*.

6) Análisis de suelo. En el cuadro 27 se encuentran los datos del suelo de *Ligustrum lucidum* en el que se puede notar que tiene una textura de migajón arenoso; es muy rico en materia orgánica, en potasio y magnesio intercambiables; es rico en nitrógeno; medio en calcio intercambiable y en capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.); y muy pobre en fósforo. El pH es neutro (6.84) y la composición es 64% de arena, 20% de limo y 16% de arcilla.

Cuadro 27. Datos del análisis de los suelos en los que se encontraban <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> .					
ESPECIE	pH	%Materia orgánica	% Nitrógeno total	P ppm	K Interc. ppm
<i>Liquidambar styraciflua</i>	6.43	5.22	0.239	1.82	285
Clasificación	M.A.	M.R.	R.	M.P.	R.
<i>Ligustrum lucidum</i>	6.84	4.77	0.220	4.88	528
Clasificación	N.	M.R.	R.	M.P.	M.R.
ESPECIE	Cs Inter. ppm	Mg Intero. ppm	C.I.C. meq/100 g	Textura	
<i>Liquidambar styraciflua</i>	3038	343	19.91	Migajón-Arenoso	
Clasificación	R.	M.R.	M.D.		
<i>Ligustrum lucidum</i>	2062	600	17.73	Migajón-Arenoso	
Clasificación	M.	M.R.	M.D.		
ESPECIE	COMPOSICION				
<i>Liquidambar styraciflua</i>	Arena %	70			
	Limo %	23			
	Arcilla %	7			
<i>Ligustrum lucidum</i>	Arena %	64			
	Limo %	20			
	Arcilla %	16			
M.A.	Moderadamente Acido				
M.P.	Muy Pobre				
M.R.	Muy Rico				
M.D.	Medio				
R.	Rico				
M.	Mediano				
N.	Neutro				

7) Porcentaje de humedad del suelo. Los promedios de los datos obtenidos de la prueba gravimétrica que se aplicó al suelo se muestran en el Cuadro 28. En la Figura 17 se presenta el comportamiento del porcentaje de humedad del suelo a través del

tiempo desde el riego a saturación (30.52%) hasta los síntomas de marchitez permanente (24.64%).

Cuadro 28. Porcentaje de humedad en el suelo de cada una de las especies estudiadas.		
ESPECIE	PORCENTAJE DE HUMEDAD	PESO DE MUESTRA (Kg)
<i>Liquidambar styraciflua</i>	28.70	10.785(±0.38)
<i>Ligustrum lucidum</i>	29.14	11.279(±0.43)

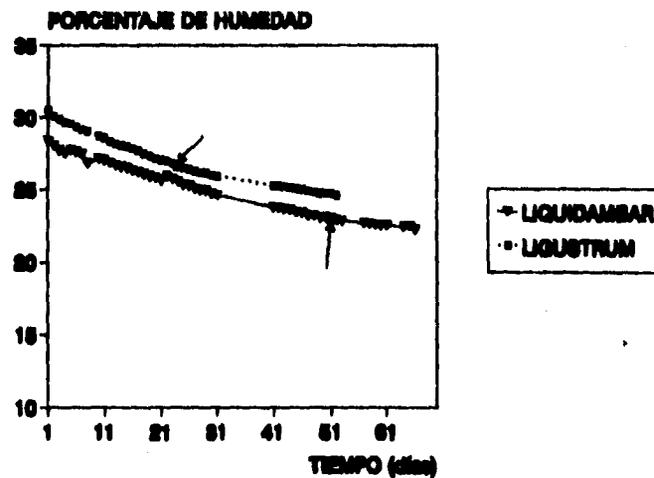


Figura 17. Porcentaje de humedad del suelo de *Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum* vs tiempo.

De la misma manera, se observa en la Figura 18 la pérdida de peso desde inicial (11.814 Kg) hasta el final (9.54 Kg) vs tiempo.

Se puede apreciar que hay una tendencia de disminución tanto de peso como de porcentaje de humedad del suelo conforme pasan los días sin riego. Los datos de porcentaje de humedad y peso se encuentran en el Anexo 5. Tanto en la Figura 17 como en la 18 se señala por medio de flechas, el punto en el que cada especie empieza a presentar síntomas de marchitez.

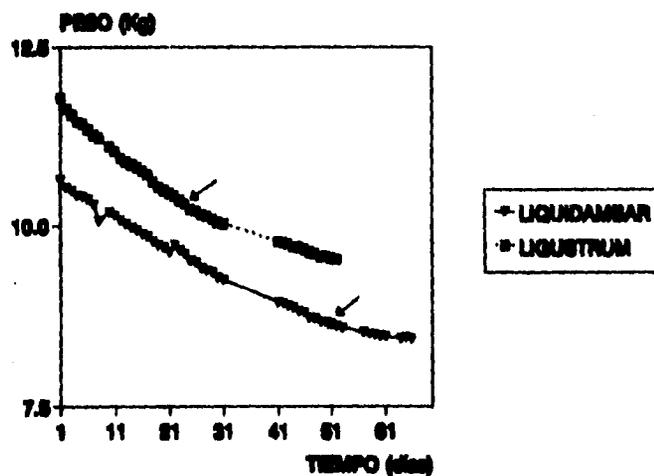


Figura 18. Peso de muestra de *Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum* vs tiempo.

8) Análisis estadístico. Al realizar el análisis de varianza de los datos de altura final se obtuvo que no hay diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 29).

Cuadro 29. Análisis de varianza sobre altura final de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: altura final							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	144.60	72.30	155.35	22.62	0.06	0.9433

Al hacer el análisis de varianza de los datos de incremento en altura tampoco se encontró diferencia significativa entre los tratamientos como se puede apreciar en el Cuadro 30.

Cuadro 30. Análisis de varianza sobre incremento de altura de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: incremento en altura							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	83.70	41.85	3.99	138.84	1.36	0.2728

Al aplicar el análisis de varianza a los datos de biomasa total no se encontró diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadro 31).

Cuadro 31. Análisis de varianza sobre biomasa total final de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: biomasa total final							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	34383.29	17191.64	212.28	66.58	0.86	0.4343

De la misma manera se hizo el análisis de varianza de los datos de peso seco final de cada una de las partes vegetativas de los árboles y no se encontró ninguna diferencia significativa entre los tratamientos (Cuadros 32, 33 y 34).

Cuadro 32. Análisis de varianza sobre peso seco final de hojas de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de hojas							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Media	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	306.36	153.18	15.05	75.58	1.18	0.3219

Cuadro 33. Análisis de varianza sobre peso seco final de tallo de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de tallo							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Medía	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	5286.03	2643.01	100.37	76.52	0.45	0.6436

Cuadro 34. Análisis de varianza sobre peso seco final de raíz de <i>Ligustrum lucidum</i> .							
VARIABLE RESPUESTA: peso seco final de raíz							
FUENTE DE VARIACION	g.l.	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Medía	C.V.	Valor F	Sig. F
TRATAMIENTO DE RIEGO	2	9394.02	4697.01	96.84	62.03	1.30	0.2887

## VII. DISCUSION.

Las condiciones del ambiente urbano son mucho más complejas que las del área rural, ya que la acumulación de basura, la contaminación ambiental, el vandalismo, entre otros factores, contribuyen en gran medida a la modificación de las respuestas de los árboles; además, la experimentación de campo acentúa la inevitable variabilidad del ambiente en general, por eso, en éste trabajo se escogieron las condiciones de invernadero en donde se pueden controlar mejor las variables.

Los resultados demuestran que las especies trabajadas son tolerantes a la sequía. Aunque el agua no es el único factor que interviene en la sobrevivencia y desarrollo de los organismos -sobre todo en el medio urbano, en el que hay múltiples factores adversos a los que están sujetas las especies-, sabemos que es uno de los más importantes, así que, si presentan tolerancia a la sequía, tienen mayores probabilidades de sobrevivir. El uso del agua en la planta es dinámico, varía en el transcurso del día o de la estación. La pérdida de agua está impulsada por la demanda atmosférica, limitada por la disponibilidad de humedad en el suelo y modificada por la anatomía y fisiología de la planta.

Este trabajo se enfocó a dos especies, en condiciones de invernadero, con las características climáticas particulares de la Ciudad de México. En este estudio se consideró como testigo al tratamiento 1, que presentó las condiciones óptimas de riego, es

decir, que no aportaba condiciones de estrés hídrico, mientras los otros dos tratamientos sí. Esto se basó en los datos reportados por Johnson et al. (1982), en los que, como se ve en el apartado de "Especies utilizadas", tanto *Liquidambar styraciflua*, como *Ligustrum lucidum* requieren de 1.27 a 2.54 cm de riego semanal.

*Liquidambar styraciflua*.

Al observar los resultados de periodo de riego llama la atención la fase tan grande de sequía (51 días) que soportaron las plantas antes de presentar síntomas de marchitez. En un año solo se regó en 4 ocasiones en el tratamiento 3 y, sorprendentemente, continuaron con vida. La sequía afectó a las plantas bajo este tratamiento, pues se presentó una disminución significativa del incremento en altura (-6.0 cm en promedio). En relación al análisis estadístico de esta parte, es importante notar que pese a que la media de altura final del tratamiento 3 era menor que la inicial, lo que significa que hubo una disminución en la talla de los árboles, el resultado del análisis estadístico no mostró una diferencia significativa, pues únicamente situó la media obtenida dentro de un rango. Se hizo el análisis de varianza sobre los datos de incremento en altura después de ver esos resultados. En relación al peso seco, ya sea total o parcial, en los análisis de varianza se encontró una diferencia significativa, y la prueba de Duncan reveló que es el tratamiento 3 el distinto, lo que confirmó lo expresado en el parámetro de altura: este tratamiento es afectado por el estrés hídrico. Algunos investigadores han afirmado que el efecto más grave de la sequía consiste en reducir la

superficie fotosintética y la producción de materia seca. Esto se presentó notablemente en éste tratamiento.

En el crecimiento influyen varios factores, uno de ellos es la humedad, pero existen otros como la temperatura, el fotoperíodo, etc. *Liquidambar styraciflua* está reportada como especie de crecimiento rápido y tendría una alta demanda de agua, de acuerdo a lo reportado por Fitzpatrick (1987), aunque según los resultados de este trabajo, ese no fue el comportamiento de la especie.

En cuanto a los resultados de potencial hídrico, bajó 65.64 desde el valor a saturación hasta el de marchitez. Roberts (1989) reportó un trabajo sobre *Liquidambar styraciflua* y periodos de sequía. El mayor periodo de estrés hídrico probado por este autor fue de 13 días y en él se presentó un potencial hídrico (promedio de 5 organismos) de -8.9 barías para plántulas de 2 años de edad; dicho periodo queda comprendido dentro de los tratamientos de este trabajo; ya que tan solo el tratamiento 2 abarca en promedio 15 días de sequía. Es importante resaltar además que, el potencial hídrico de esta especie no cambió en los últimos 10 días de sequía durante el experimento, es decir, en esa parte del trabajo, la planta ya no perdió más agua, pese a las condiciones de sequía extrema en la que se encontraba, lo que hace pensar en un mecanismo eficiente para evitar la transpiración y/o en el agotamiento de las reservas de agua del suelo. En relación al suelo, coincidió el dato de PMP de la curva de retención de humedad con el de potencial hídrico de la planta (-10.5 barías) cuando se presentó una pérdida equivalente de humedad (14%). Según Klepper (1968), el potencial hídrico nocturno

de la planta y el potencial hídrico del suelo son equivalentes, por eso, se puede hacer la relación anterior.

El suelo en el que estaban estos árboles se consideró conveniente, sin problemas en relación al pH, dentro del rango óptimo; la composición era la de un suelo franco, tenía suficiente materia orgánica para el aporte adecuado de oxígeno y agua y los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta. Las propiedades del suelo determinan su capacidad de absorber, almacenar y transmitir el agua a las raíces (Gardner, 1983; Martin, et. al., 1989; Nagan, et. al., 1959), y según los datos mostrados en el Cuadro 6, se puede descartar que la variación en el comportamiento de los tratamientos haya sido causada por diferencias en los nutrientes del suelo. El porcentaje de humedad del suelo se relaciona con el tipo de composición del mismo; éste suelo tuvo un elevado porcentaje (17%) cuando se encontró a saturación, como se observa en la curva de retención de humedad, por su alto contenido de arcilla. Se observó que en la curva de retención de humedad, en un rango de sólo 2 baries de presión (la diferencia numérica es pequeña, pero representa una variación grande en respuesta de los árboles), se encontró una variación aproximada de 15% en la humedad y cuando se presentó el PMP, el suelo aún contenía el 10% de humedad, que no podía ser aprovechada por la planta porque se encontraba atrapada en los espacios del suelo.

Ligustrum lucidum.

Esta especie presentó síntomas de marchitez a los 24 días de sequía y marchitez sin recuperación nocturna a los 52 días. Es conveniente señalar que el tiempo transcurrido entre un hecho y el otro fue de más del doble, lo que refleja una transpiración más baja por unidad de superficie foliar cuando están cerrados los estomas a causa de la tensión hídrica. Una observación que se hizo durante el experimento -que apoya lo anterior- es que después de cierto peso (alrededor de 1300 g), la pérdida de humedad era muy lenta, había ocasiones en que tenían que pasar hasta 3 días para notar una disminución en el peso de aproximadamente 100 g, mientras que otros días la pérdida fue de más de 100 g al día. Esto quizá se debió al desarrollo de resistencia, producto de periodos de tensión hídrica. De acuerdo a lo observado y a lo que se sabe del manejo de los árboles en los viveros -en general- de la Ciudad de México, es posible que los árboles hayan estado sometidos a un periodo previo de sequía, con lo que la planta desarrolló una mayor relación R/B, que le permitió resistir mejor la sequía aunque disminuyó su rendimiento. La tolerancia varía con gran amplitud, no solo respecto al individuo, raza o especie, sino también de acuerdo con su historia previa. Se sabe que la sobrevivencia y crecimiento de los organismos se determina por características morfológicas, características fisiológicas y por las condiciones bajo las que se han desarrollado. Esta es una especie de crecimiento lento. En las curvas de altura se presentó crecimiento, aún en el tratamiento 3; es en éste periodo donde se presentó la recuperación de la altura después de una drástica disminución. En Ligustrum lucidum se observó que pese a las

diferencias en puntos intermedios de la curva, al final, los 3 tratamientos tuvieron altura semejante, esto se debe a que algunas especies reaccionan frente a la sequía con crecimiento posterior al tener agua nuevamente (Metcalf, en 1990, reportó un trabajo presentando el fenómeno anterior).

En altura, incremento de altura, biomasa general y peso seco de cada parte de la planta el análisis estadístico no reflejó una diferencia significativa entre los tratamientos, lo que hizo pensar en tres posibilidades: 1) que la especie es tolerante por lo que no hubo disminución del crecimiento en altura y peso seco bajo los tratamientos establecidos; 2) que la variabilidad entre los individuos fue muy grande, por lo que no fue posible establecer diferencias significativas y, 3) que no se haya establecido estrés hídrico, ni en el tratamiento tres. El punto 3 se descartó al considerar los datos de potencial hídrico y curva de retención de humedad; el punto 2 pudo influir ya que los coeficientes de variación obtenidos en los datos de *Liquidum lucidum* fue mayor que los de *Liquidambar styraciflua*, alrededor de 0.90 en el primer caso y 0.35 en el segundo, ésta característica de la especie (su variabilidad entre individuos), le puede conferir ciertas ventajas de sobrevivencia pues es más fácil que se adapten a las condiciones prevalentes en el medio, por lo que incluso éste punto apoyaría la idea manejada en el inciso 1, la más probable, dadas las otras observaciones hechas sobre la especie.

Lo que se hizo en altura en relación a obtener el incremento neto, no es aplicable a los datos de peso seco ya que ésta fue una

prueba destructiva, es decir, los árboles a los que se les tomó ese dato desaparecieron.

Considerando los datos de potencial hídrico se tuvo un porcentaje de cambio del 25.4%, ya que la diferencia entre el potencial a saturación (-10.6) y el de marchitez (-13.3) no fue muy grande (2.67 barías). El suelo en el que se encontraba esta especie se consideró bueno para su desarrollo, alcanzó un porcentaje de humedad disponible para la planta considerado como aceptable. También en esta especie se extrapolaron los datos de potencial hídrico de la planta sobre la presión de la curva de retención de humedad y se observó que la diferencia entre el tratamiento 1 y el 3 fue de un punto porcentual, pero para la planta representa la sobrevivencia, pues en presión esto equivale a una pérdida de 2.83 barías.

Después de analizar los resultados se consideró a *Liquidambar styraciflua* como una especie tolerante a la sequía con bajo potencial hídrico y a *Liquidum lucidum* como una especie tolerante pero con alto potencial hídrico, según la división de mecanismos de resistencia a la sequía que presentó Turner (1986). Las dos especies presentaron estrategias diferentes y esto es importante enfatizarlo para tomarlo en cuenta durante la selección de especies para su plantación; muchas veces se encuentran juntas en un área a especies con diferentes requerimientos. Conociendo las características propias de cada una de las especies se puede derivar cada una al lugar adecuado.

Habiendo establecido con anterioridad la importancia del agua en las plantas, al tener especies como *Ligustrum lucidum*, que aún en sequía severa como el tratamiento 3 no presentó disminución de talla ni peso seco, se puede hablar de una especie altamente resistente a sequía ya que según la hipótesis planteada al principio de este trabajo habría una disminución en el tamaño y la biomasa de los árboles tratados, especialmente los de mayor periodo de sequía. Otro fenómeno observado en esta especie fue la quemadura y abscisión de las hojas frente a la sequía severa, lo que pudo ser ocasionado por el entorpecimiento de la fotosíntesis y la respiración al cierre de los estomas, con lo que sufrió quemaduras por calentamiento en las hojas, o simplemente fue un mecanismo de reducción de la transpiración al tirar las hojas; el estrés hídrico causa envejecimiento prematuro de las hojas y la abscisión. Aunque la disminución en el porcentaje de hojas también se mostró en *Liquidambar styraciflua*, cabe mencionar que la pérdida de hojas, pudo tener otras causas.

Cuando se define (como se mencionó en la sección de "Antecedentes") que hay organismos que evitan la deshidratación y otros que pueden sobrevivir aunque se presente deshidratación; en el segundo caso, ocasionalmente se sacrifica el crecimiento, ya que al controlar la transpiración, se limita la fijación de CO<sub>2</sub> y por consiguiente la producción de materia seca. Así mismo, un descenso en el almacenamiento de agua (estrés hídrico) disminuye el intercambio gaseoso de la hoja y ocasiona una reducción de la disponibilidad de agua para crecimiento de partes superiores de la planta, modificando la distribución del carbono a favor del crecimiento de órganos de soporte.

*Liquidambar styraciflua* si se comportó de acuerdo a la hipótesis planteada ya que en el tratamiento tres se presentó una disminución de talla y biomasa.

No es la finalidad de este trabajo comparar las especies estudiadas, ya que presentan hábitos diferentes pero se pueden establecer algunas relaciones.

Al analizar la biomasa de cada parte de la planta se observó que tanto en *Liquidambar styraciflua* como en *Ligustrum lucidum*, hubo un aumento muy grande de la raíz en todos los tratamientos (alrededor del 20.2% en *Liquidambar styraciflua* y 18.26% en *Ligustrum lucidum*. Este aumento del porcentaje final de la raíz en relación al inicial produjo disminución de hojas pero representó una situación favorable para los árboles, ya que al aumentar la raíz, tardó más en aparecer el estrés hídrico, pues una tasa alta de R/B indica una gran capacidad para absorber el agua y baja capacidad de transpiración (Dyer y Mader, 1986). Conforme mayor sea el sistema de raíces de una planta, mayor es el tiempo que puede sobrevivir sin reposición del agua del suelo (Kramer, 1974), ya que al aumentar la densidad de la raíz, coeficientes más altos de transpiración pueden mantenerse hasta que existan valores mucho más bajos de potencial hídrico del suelo.

La composición del suelo de las dos especies fue ligeramente distinta, teniéndose una mayor disponibilidad de agua en el suelo para *Liquidambar styraciflua* que para *Ligustrum lucidum*. Esta diferencia influyó seguramente en el número de días que toleró la

sequía una especie y otra. El promedio de días entre riegos de *Liquidambar styraciflua* fue 7.4 en el tratamiento 1, en el tratamiento 2 de 15.6 y en el tratamiento 3 de 79. *Ligustrum lucidum* tuvo un promedio de 6.3 días para el tratamiento 1, 11.7 días para el tratamiento 2 y 22.6 días para el tratamiento 3 (Anexo 7).

La enorme diferencia que se observó entre el peso seco inicial y el final en cada tratamiento en relación al porcentaje de cada parte de la planta, pudo ser causada por la diferencia en la época del año en la que se hicieron las mediciones: la inicial en noviembre y la final en abril, justo las dos mediciones estuvieron en el límite de una temporada y otra, y de alguna manera se pueda decir que las determinaciones de peso seco nos dan información sobre la forma en que las plantas modifican la distribución de materia seca durante la sequía (Bradbury, 1990).

El incremento en la relación raíz-vástago denotó un aumento muy grande de la raíz, alcanzando niveles tales como los reportados por Kramer (1974) para plantas de papa y remolacha, 1.54 y 3.06 respectivamente. Este considerable aumento de la raíz tanto en *Liquidambar styraciflua* como en *Ligustrum lucidum* no coincidió con el porcentaje de raíz reportado para árboles por Kramer (1974): 13-18% de la biomasa. Una alta razón raíz-brote es particularmente importante para el crecimiento y sobrevivencia de los árboles, especialmente bajo condiciones de sequía (Larcher, 1975; Krizek y Dubik, 1987).

El desbalance que se observó en el porcentaje de hojas, tallo y raíz pudo tener su causa en las condiciones particulares del invernadero en el que se encontraban las plantas; el hacinamiento, la

ESTA TESIS  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

exposición a la luz, el techo bajo, pudieron influir en esto, ya que el testigo, teniendo suficiente agua, tuvo el mismo comportamiento; por tanto, no fue la falta de agua (por lo menos, en este tratamiento), la causa de éste fenómeno. Esto también puede ser explicado por el tipo de riego al que estuvieron sometidos los tratamientos: a saturación. Rojas y Rovalo (1985) mencionan que los riegos pesados (como los aplicados en este trabajo) interfieren con las funciones de las plantas pues les provocan tensión cuando el suelo está a saturación después del riego. Para aceptar o descartar esta hipótesis habría que plantear otros experimentos.

La importancia de los resultados de éste trabajo es que conociendo los requerimientos de agua de las especies se puede hacer un mejor manejo de ellas de acuerdo a las características del sitio de plantación; esto, sobre todo pensando que *Liquidambar styraciflua* es la tercera especie en abundancia y *Liquidambar styraciflua* la primera en la Zona Metropolitana, por ejemplo, en solo tres delegaciones, su frecuencia promedio es de 15.15%, mientras que *Liquidambar styraciflua* presenta un 0.4%. Sin embargo, la abundancia no es sinónimo de buen estado de la planta ya que hay sitios en los que las especies son abundantes pero no están saludables. Sería más conveniente distribuir las de mejor manera y, además, estudiar otras especies para introducir una mayor variedad, ya que cuando no se tiene diversidad de especies en un área, se corren más peligros, por ejemplo, si hay algún agente perjudicial para la especie, éste se propagaría mucho y aniquilaría a gran parte de la vegetación urbana, que ya de por sí es poca, con lo que se vería afectada la población humana en más de un aspecto. Así, es necesario saber los

requerimientos de las especies tanto de agua como de otros aspectos, ya que para la selección de especies se deben tener en cuenta muchos factores. La promoción de proyectos con ésta línea de investigación es imprescindible para contar con un bosque urbano variado, abundante y sano.

Al describir a las especies se presentó en el Cuadro 1 un resumen de datos contenidos en varios libros, reportados para las condiciones de Estados Unidos de América, y en su mayoría para árboles en hábitat natural -aunque está incluida información reciente para el medio urbano-. Los datos pueden variar por las condiciones de éste país en particular y por las variantes del medio urbano, por poner un ejemplo de esto, se puede hablar de la susceptibilidad de *Liquidambar styraciflua* a las plagas: en Estados Unidos de América no presenta plagas, mientras que en México sí es susceptible al ataque de las mismas. Es importante que éste tipo de información se investigue sobre nuestras especies reales y potenciales.

Hoy, las recomendaciones de plantación son: *Liquidambar styraciflua* para camellón y *Liquidambar styraciflua* para banqueta chica; éstas se derivan básicamente del conocimiento del tipo de raíz, sin embargo, debe tenerse en cuenta el requerimiento de humedad para tratar de homogeneizar este aspecto en el arbolado urbano, así que sería importante continuar con la investigación de otras especies.

Para poder hacer la recomendación de plantar *Liquidambar styraciflua* en un sitio dado se deben tener en cuenta otros factores como condiciones climáticas y edáficas, infraestructura urbana, contaminantes atmosféricos predominantes en el área, etc., además del requerimiento de agua, ya que algunos de éstos influyen en la

determinación del tiempo aproximado entre un riego y otro. Sin embargo, para facilitar la tarea de las personas encargadas del riego en las instituciones correspondientes, se puede decir que un buen riego para *Liquidambar styraciflua* sería 1 vez a la semana, ya que el tratamiento 1 es el que presentó mejor crecimiento en general; para *Ligustrum lucidum* el periodo entre riegos puede ser de 15 días.

La plantación, además, debe ser homogénea, es decir, poner juntas a especies que tengan requerimientos y características semejantes, aunque para esto se requiere todavía de muchísima investigación, pues la Dasonomía Urbana es una disciplina que apenas empieza en nuestro país.

Las investigaciones futuras podrían estar encaminadas a experimentar con cuantificaciones intermedias de peso seco; medición continua de potencial hídrico, diferentes condiciones de exposición de los árboles y todo aquello que nos permita ampliar el panorama del comportamiento de los árboles en las ciudades.

## VIII. CONCLUSIONES.

*Liquidambar styraciflua* se comportó de acuerdo a lo planteado en la hipótesis de éste trabajo; presentó una disminución en el crecimiento tanto en altura como peso seco (total y de cada parte vegetativa -hojas, tallo y raíz-), no obstante, resultó muy resistente a la sequía ya que presentó un potencial hídrico elevado (-10.5 barías), tardó 66 días en perder 14% de humedad del suelo; presentó un aumento en la relación raíz-brote teniendo por tanto una mayor área de absorción y menor de pérdida, y presentó recuperación en altura después de ser sometida a sequía prolongada.

*Ligustrum lucidum* no se comportó de acuerdo a la hipótesis planteada al principio pues no hubo disminución en altura ni en peso seco (total y de cada parte vegetativa -hojas, tallo y raíz-), lo que permite clasificarla como muy resistente a la sequía. Respaldando esto, presentó recuperación en altura después de ser sometida a sequía prolongada, mostró un aumento en la relación raíz-brote y la pérdida de humedad (13%) ocurrió a los 52 días.

Las dos especies son resistentes a la sequía aunque presentan mecanismos diferentes.

La metodología implementada en este trabajo puede aplicarse a otras especies urbanas (tanto las potenciales como las actualmente utilizadas) a fin de incrementar el conocimiento de sus características, con lo que se obtendrían mejores condiciones del arbolado urbano para lograr una comunidad con mayor bienestar.

## BIBLIOGRAFIA.

- AGUILERA C.M. y R. MARTINEZ E. 1990. *Relaciones agua suelo planta atmósfera*. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 321p.
- BARKER, P.A. 1985. Urban foresters and tree improvement. En: *Foresters' future: leaders or followers?*, Proceedings of the 1985 Society of American Foresters National Convention, 1985 July 28-31, Ft. Collins, Colorado. 409-411 pp.
- BARRADAS, V. y R. J-Seres. 1988. Los pulmones urbanos. *Ciencia y Desarrollo* 78:61-72.
- BASSUK, N.L. y T.H. WHITLOW. 1987. Environmental stress in street trees. *Acta Horticulturae* 195:49-57.
- BAVER, L. 1973. *Física de suelos*. UTEHA. México. 529p.
- BENAVIDES M., H.M. 1987. *Conductancia y resistencia estomática de dos especies de piñoneros Pinus cembroides Suss. y Pinus discolor Bailey y Hawk.* Tesis de Maestría en Ciencias. Centro de Botánica, Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 219p.
- BENAVIDES M., H.M. 1989. Bosque urbano: la importancia de su investigación y correcto manejo. En: *Memoria del Congreso Forestal Mexicano 1989*. Tomo II. Toluca, México. p.966-992.
- BIDWELL, R.G.S. 1979. *Fisiología Vegetal*. AGT Editor. México. 784p.
- BRADBURY, M. 1990. The effect of water stress on growth and dry matter distribution in juvenile *Sesbania sesban* y *Acacia nilotica*. *Journal of Arid Environments* 18:325-333.
- CLARK, J.R. y R.K.KJELGREN. 1989. Conceptual and management considerations for the development of urban tree plantings. *Journal of Arboriculture* 15(10):229-236
- CLARK, J.R. y R.K.KJELGREN. 1990. Water as a limiting factor in the development of urban trees. *Journal of Arboriculture* 16(8):203-208
- CLINE, R.G. y G.S.CAMPBELL. 1976. Seasonal and diurnal water relations of selected forest species. *Ecology* 57:367-373

- CUEVAS R., R.A.; P. DE LA GARZA-LOPEZ; F. NEPAMUCENO M. 1992. Estudio comparativo de la tolerancia a la sequía de procedencias de *Pinus greggii* E. En: *Memorias de la reunión científica forestal y agropecuaria*. Campo Experimental Coyoacán, INIFAP. México. 225-236 pp.
- CHANES, R. 1979. *Decadendron*. Ed. Blume. España. 547p.
- DUCHAUFOUR, P. 1978. *Manual de edafología*. Toray-masson. Barcelona. 476p.
- DUFFIELD, M. y W. JONES. 1981. *Plants for dry climates*. HPBooks. U.S.A. 176p.
- DYER, S.M. y D.L. MADER. 1986. Declined urban sugar maples: growth patterns, nutritional status and site factors. *Journal of Arboriculture* 12(1):6-13.
- ELIAS, T.S. y H.S. IRWIN. 1976. Urban trees. *Scientific American* 235(5):110-118
- ELFVING, D.C.; M.R. KAUFMANN y A.E. HALL. 1972. Interpreting leaf water potential measurements with a model of the soil-plant-atmosphere continuum. *Physiol. Plant.* 27:161-168
- FEDERER, C.A. 1980. Paper Birch and white oak saplings differ in responses to drought. *Forest. Sci.* 26(2):313-324
- FITZPATRICK, G. 1983. Relative water demand in container-grow ornamental plants. *HortScience* 18(5):760-762
- GARDNER, W.R. 1983. Soil properties and efficient water use: an overview. En: TAYLOR, H.M.; W.R. JORDAN y T.R. SINCLAIR (Eds). *Limitations to efficient water use in crop production*. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin. 45-63 pp.
- GERHOLD, H.D.; A.J. LONG y M.E. DEMERITT, Jr. 1975. Genetic information needed for metropolitan trees. *Journal of forestry* 73:150-153
- GOLZ, H.L.; K.C. EWEL y R.O. TESKEY. 1990. Water and forest productivity. *Forest Ecology and Management* 30:1-18
- HAAS, R.H. y J.D. DODD. 1972. Water-stress patterns in honey mesquite. *Ecology* 53(4):674-680
- HAGAN, R.M.; Y. VAADIA y M.B. RUSSELL. 1959. Interpretation of plant responses to soil moisture regimes. *Advances in Agronomy* 11:77-98

- HALVERSON, H.G. y D.F. POTTS. 1981. Water requirements of honeylocust (*Gleditsia triacanthos* f. *inermis*) in urban forest. *Research Paper NE-487. Forest Service, USDA.* 4p.
- HEWLETT, J.D. y P.J. KRAMER. 1963. The measurement of water deficits in broadleaf plants. *Protoplasma* 57:381-391
- HSIAO, T.C. 1973. Plant response to water stress. *Ann. Rev. Plant Phys.* 24:519-570.
- ILJIN, W.S. 1983. Drought resistance in plants and physiological processes. En: *Limitations to efficient water use in crop production.* Ed. Taylor, H.M. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA. p.257-274
- JENSEN, W.A y F.B. SALISBURY. 1988. *Botánica.* McGraw-Hill. México. 761p.
- JOHNSON, C; G. McPHERSON; S. GUTTING. 1982. *A community forestry manual.* UTAH State University. USA. p.B2-156.
- KAUFMANN, M.R. 1968. Evaluation of the pressure chamber technique for estimating plant water potential of forest tree species. *Forest Science* 14(4):369-374
- KAUFMANN, M.R. 1981. Development of water stress in plants. *HortScience* 16(1):34-36.
- KLEPPER, B. 1968. Diurnal pattern of water potential in woody plants. *Plant Physiol.* 43:1931-1934.
- KOZLOWSKI, T.T. 1982. Water supply and tree growth. Part I. Water deficits. *Forestry Abstracts* 43(2):57-95.
- KOZLOWSKI, T.T. 1985. Tree growth in response to environmental stresses. *Journal of Arboriculture* 11(4):97-111
- KOZLOWSKI, T.T. 1987. Soil moisture and absorption of water by tree roots. *Journal of Arboriculture* 13(2):39-46.
- KRAMER, P.J. 1974. *Relaciones hídricas de suelo y plantas, una síntesis moderna.* Trad. Leonor Tejada. Edutex, S.A. México, D.F. 538 p.
- KRAMER, P.J. 1983. *Relaciones hídricas de suelo y plantas.* Edutex, S.A. México. 538p.
- KRAMER, P.J. 1987. The role of water stress on tree growth. *Journal of arboriculture* 13(2):33-38.
- KRAMER, P.J. y T.T. KOZLOWSKI. 1979. *Physiology of woody plants.* Academic Press, New York. 402-444 y 476-493 pp.

- KRIZEK, D. DUBIK, S. 1987. Influence of water stress and restricted root volume on growth and development of urban trees. *Journal of Arboriculture* 13(2):47-54.
- KRÜSSMANN, G. 1977. *Manual of cultivated broad-leaved trees & shrubs. Vol. II.* Timber Press. Portland, Oregon. 217-222pp.
- LAMBE, W y R. WHITMAN. 1974. *Mecánica de suelos.* Limusa. México. 582p.
- LARCHER, W. 1975. *Physiological plant ecology.* Springer-Verlag, Berlin and New York.
- LARQUE-SAAVEDRA, A. 1990. *El agua y las plantas.* Limusa. México. 87p.
- LEVITT, J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses Vol. II. Water, radiation, salt and others stresses.* Academic Press. USA. 567p.
- LOPEZ CH., L.G. 1992. *Crecimiento de tres especies arbóreas en respuesta a la contaminación atmosférica en el Área Metropolitana de la Ciudad de México.* Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 82p.
- MARTIN, C.A.; H.G. PONDER y CH.H. GILLIAM. 1989. Effects of irrigation rate and media on growth of *Acer rubrum* L. in large containers. *J. Environ. Hort.* 7(1):38-40
- MARTINEZ, L.H. 1989. *Estudio descriptivo de los árboles más comunes en la Ciudad de México.* Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 268p.
- McINTYRE, G.I. 1987. The role of water in the regulation of plant development. *Can. J. Bot.* 65:1287-1298.
- MAINO, E. y F. HOWARD. 1955. *Ornamental trees.* University of California Press. U.S.A. 219p.
- METCALFE, J.C.; W.J. DAVIES y J.S. PEREIRA. 1990. Leaf growth on *Eucalyptus globulus* seedlings under water deficit. *Tree Physiology* 6:221-227
- MILLAN, T.M. 1993. *Situación del arbolado urbano de alineación en las Delegaciones Políticas Cuajimalpa de Morelos y Miguel Hidalgo, Distrito Federal.* Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 111p.
- OBERHOLTZER, W.R. 1989. Trees under stress. *Journal of Arboriculture* 15(9):xi-xii

- ORTEGA R.,B. 1994. *Características del arbolado urbano en seis municipios del Estado de México*. Tesis profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 62p.
- ORTEGA R.,B.; M.P. MEDINA B.; H. BENAVIDES M.; P. GARZA-LOPEZ. 1994. *Notas del curso: Dasonomía Urbana (Arbolado urbano y vegetación asociada en las ciudades)*. SARH, INIFAD (División Forestal), CENID-COMEF. 19-22 Octubre. Coyoacán, D.F.
- PENNINGTON, T.D. y J. SARUKHAN K. 1968. *Manual para la identificación de campo de los principales árboles tropicales de México*. INIF, FAO, SAG. México. 156p.
- RAMIREZ R.,A. 1993. *Situación del arbolado urbano de alineación de las Delegaciones Políticas de Alvaro Obregón y Magdalena Contreras, D.F.* Tesis profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 108p.
- RANNEY, T.G.; R.E. BIR y W.A. SKROCH. 1991. Comparative drought resistance among six species of Birch (*Betula*): influence of mild water stress on water relations and leaf gas exchange. *Tree Physiology* 8:351-360
- RANNEY, T.G.; T.H. WHITLOW y N.L. BASSUK. 1990. Response of five temperate deciduous tree species to water stress. *Tree Physiology* 6:439-448
- RAULSTON, J.C. 1989. Sweet Gum. *Horticulture* 67:80
- RITCHIE, G.A. y T.M. HINCKLEY. 1975. The pressure chamber as an instrument for ecological research. *Advances in Ecological Research* 9:165-254
- ROBERTS, B.R. y V.M. SCHNIPKE. 1987. Water requirements of five container-grown *Acer* species. *Journal Environmental Hort.* 5(4):173-175.
- ROBERTS, B.R. 1987. Methods for measuring water status and reducing transpirational water loss in trees. *Journal of Arboriculture* 13(2):56-60.
- ROBERTS, B.R. 1989. Some physiological considerations on sulfur dioxide sensitivity in drought-stressed seedlings of sweetgum (*Liquidambar styraciflua* L.). *Scientia Horticulturae* 41:141-149
- ROJAS, G.,M. y M. ROVALO. 1985. *Fisiología Vegetal Aplicada*. Mc Graw Hill. México, D.F. 302p.
- SCHOLANDER, P.F.; H.T. HAMMEL; E.D. BRADSTREET y E.A. HEMMINGSEN. 1963. Sap pressure in vascular plants. *Science* 148:339-346

- SEGURA B.,C. 1992. Descripción de la situación de los árboles y arbustos de alineación de las Delegaciones Iztacalco e Iztapalapa, Distrito Federal. Tesis Profesional, ENEP-Zaragoza, UNAM. México. 115 p.
- SEILER, J.R. y B.H. CAZELL. 1990. Influence of water stress on the physiology and growth of red spruce seedlings. *Tree Physiology* 6:69-77
- SLATYER, R.O. y S.A. TAYLOR. 1960. Terminology in plant and soil-water relations. *Nature (London)* 187:922-924
- SLAVIK, B. 1974. *Methods of studying plant water relation*. Springer Verlag. New York. 1-15 pp.
- SPRAGUE, CH. 1949. *Manual of the trees of North America*. Vol. I. Dover Pub. Inc. USA. pp.367-368.
- TURNER, N.C. 1981. Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and soil* 58:339-366
- TURNER, N.C. 1986. Adaptation to water deficits: a changing perspective. *Australian Journal of Plant Physiology* 13:175-190
- VILLALON R., R. 1992. Situación del arbolado urbano de alineación en la Delegación Política Venustiano Carranza de la Ciudad de México. Tesis Profesional, Facultad de Ciencias, UNAM. México. 107 p.
- VILLALPANDO I., J.F. 1984. Metodología de investigación en agroclimatología. Curso de orientación para aspirantes a investigadores del INIP, INIF e INIA (tronco común). SARH Consejo Directivo de la Investigación Agrícola, Pecuaria y Forestal. México. 154p.
- WALTERS, M.B. y P.B. REICH. 1989. Response of *Ulmus americana* seedlings to varying nitrogen and water status. I. Photosynthesis and growth. *Tree Physiology* 5:159-172
- WARING, R.H. y B.D. CLEARY. 1967. Plant moisture stress: evaluation by pressure bomb. *Science* 155(3767):1248-1254.
- WHITCOMB, C. 1984. Reducing stress and accelerating growth of landscape plants. *Journal of Arboriculture* 10(1):5-7.
- WHITLOW, T.H. y N.L. BASSUK. 1987. Trees in difficult sites. *Journal of Arboriculture* 13(1):10-17.
- WILLIAMS, J. 1987. Response of *Cornus florida* to moisture stress. *Journal of Arboriculture* 13(4):98-101.

**ANEXOS.**

Los datos contenidos en estos Anexos, podrían estar incluidos en resultados, sin embargo, resulta mucho más fluida la lectura sin ponerlos en esa sección, de tal manera que se presentan aquí. Los datos que se anexan son de altura, potencial hídrico, curva de retención de humedad, porcentaje de humedad del suelo y fórmulas para obtención de humedad aprovechable y lámina de agua, porcentaje de humedad del suelo y peso de la maceta en el ensayo preliminar, datos climáticos y días entre riegos. Normalmente el promedio es de 10 datos, excepto en potencial hídrico que es de 3 y su peso correspondiente de 5; el error estándar se presenta entre paréntesis junto al promedio.

x

Anexo 1. Altura promedio (cm) de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> durante el experimento			
<i>Liquidambar styraciflua</i>			
DIA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
1	85.1(±5.96)	90.7(±6.66)	88.6(±8.95)
23	88.7(±6.22)	93.8(±7.03)	91.2(±8.94)
75	89.8(±6.19)	94.4(±6.22)	89.3(±8.24)
134	90.8(±5.8)	96.2(±6.4)	81.2(±8.52)
190	91.2(±5.96)	96.3(±6.35)	87.4(±8.45)
273	90.5(±5.73)	96.4(±6.27)	85.6(±9.17)
306	91.2(±6.06)	96.9(±6.06)	82.6(±9.34)
<i>Ligustrum lucidum</i>			
DIA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
1	154.9(±18.8)	154.0(±14.9)	154.1(±15.4)
23	151.0(±18.2)	155.8(±15.2)	155.0(±15.9)
75	152.6(±19.2)	157.3(±15.7)	151.2(±18.1)
134	153.1(±19)	156.5(±15.3)	156.3(±16.7)
190	149.6(±17.9)	156.6(±15.3)	157.8(±15.5)
273	152.9(±18.9)	156.2(±15.2)	156.7(±15.8)
306	152.2(±18.5)	156.7(±15.3)	157.0(±15.8)

Anexo 2. Potencial hidrico (barias) y peso de maceta (Kg) de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> durante el tratamiento 3.		
<i>Liquidambar styraciflua</i>		
DIA	POTENCIAL HIDRICO	PESO DE MACETA
1	-6.33(±0.82)	11.05(±0.27)
2	-7.25(±0.62)	10.94(±0.27)
3	-7.16(±0.23)	10.9(±0.27)
5	-7.5(±0)	10.82(±0.27)
6	-7.16(±0.31)	10.74(±0.27)
7	-7.75(±0.37)	10.7(±0.27)
8	-7.25(±0.12)	10.65(±0.27)
9	-7.33(±0.31)	10.60(±0.26)
10	-8.33(±1.16)	10.56(±0.26)
17	-9.25(±0.12)	10.23(±0.27)
19	-9.0(±1.42)	10.13(±0.27)
21	-9.83(±0.5)	9.96(±0.27)
22	-10.66(±1.16)	9.88(±0.27)
26	-10.5(±0.61)	9.62(±0.29)
33	-10.5(±0.7)	9.27(±0.31)
57	-10.5(±0)	8.87(±0.37)
<i>Ligustrum lucidum</i>		
DIA	POTENCIAL HIDRICO	PESO DE MACETA
1	-10.66(±0.31)	12.46(±0.41)
3	-10.0(±0.40)	12.35(±0.41)
7	-10.16(±0.5)	12.07(±0.42)
9	-10.5(±0.73)	11.94(±0.42)
12	-10.33(±0.42)	11.76(±0.42)
14	-10.83(±0.11)	11.63(±0.41)
16	-11.16(±0.42)	11.71(±0.46)
18	-11.5(±0.54)	11.45(±0.42)
21	-11.16(±0.82)	11.31(±0.41)
23	-12.3(±0.40)	11.17(±0.41)
25	-12.5(±0)	11.14(±0.40)
27	-12.83(±0.96)	11.05(±0.37)
29	-13.33(±0.51)	10.94(±0.37)

Anexo 3. Datos de la curva de retención de humedad de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> .	
<i>Liquidambar styraciflua</i>	
PRESION(barias)	PORCENTAJE DE HUMEDAD
0.3	29.29
0.4	26.51
0.5	24.9
1	21.23
2	18.53
3	17.19
5	15.68
7.5	14.59
10	13.87
15	12.93
<i>Ligustrum lucidum</i>	
PRESION(barias)	PORCENTAJE DE HUMEDAD
0.3	26.08
0.4	23.69
0.5	22.42
1	19.67
2	17.66
3	16.66
5	15.52
7.5	14.68
10	14.12
15	13.38

Anexo 4a. Porcentaje de humedad del suelo de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> obtenido mediante la técnica gravimétrica y su relación con el peso de la maceta.			
<b><i>Liquidambar styraciflua</i></b>			
PESO FRESCO	PESO SECO	%HS	PESO MACETA
146.42(±4.03)	113.76(±4.5)	28.7	10.785(±0.35)
<b><i>Ligustrum lucidum</i></b>			
PESO FRESCO	PESO SECO	%HS	PESO MACETA
149.73(±14.3)	115.94(±10.83)	28.7	11.279(±0.43)

Anexo 4b. Obtención de Humedad Aprovechable (H.A.) y Lámina de Agua (L.A.) de las dos especies.
<p>FORMULAS:</p> <p>H.A. = C.C. - P.M.P.</p> <p>L.A. = H.A. * Da * Prof.</p>
<p>SIGNIFICADO DE LOS SIMBOLOS EMPLEADOS:</p> <p>H.A. = Humedad aprovechable  C.C. = Capacidad de campo  P.M.P. = Punto de Marchitez Permanente  L.A. = Lámina de agua  Da = Densidad aparente  Prof. = Profundidad</p>
SUSTITUCION DE LAS FORMULAS:
<p><b><i>Liquidambar styraciflua</i></b></p> <p>C.C. = 0.29 (Dato de la curva de retención de humedad 29%)  P.M.P. = 0.12 (Dato de la curva de retención de humedad 12%)  Da = 146.42g(Peso fresco)/100ml(volumen de la muestra) ANEXO 4a = 1.46g/ml  Prof. = 30cm (profundidad del envase utilizado)</p> <p>H.A. = 0.29 - 0.12 = 0.17 (17%)  L.A. = 0.17 * 1.46 * 30 = 7.44cm = 74.4mm</p>
<p><b><i>Ligustrum lucidum</i></b></p> <p>C.C. = 0.26 (Dato de la curva de retención de humedad 26%)  P.M.P. = 0.13 (Dato de la curva de retención de humedad 13%)  Da = 149.73g(Peso fresco)/100ml(volumen de la muestra) ANEXO 4a = 1.49g/ml  Prof. = 30cm (profundidad del envase utilizado)</p> <p>H.A. = 0.26 - 0.13 = 0.13 (13%)  L.A. = 0.13 * 1.49 * 30 = 5.81cm = 58.1mm</p>

Anexo 5. Porcentaje de humedad del suelo y peso de la maceta durante el ensayo preliminar de *Liquidambar styraciflua* y *Ligustrum lucidum*.

DIA	PESO	%HS	E.S.	DIA	PESO	%HS	E.S.
1.00	10.36	28.37	0.48	1.00	11.81	30.52	0.20
2.00	10.55	28.08	0.47	2.00	11.65	30.10	0.21
3.00	10.52	27.75	0.47	3.00	11.57	29.89	0.21
4.00	10.44	27.55	0.46	4.00	11.48	28.65	0.21
5.00	10.43	27.75	0.46	5.00	11.45	28.57	0.22
6.00	10.39	27.64	0.48	6.00	11.38	28.38	0.22
7.00	10.32	27.46	0.45	7.00	11.29	28.17	0.23
8.00	10.08	28.83	0.30	8.00	11.24	29.05	0.23
10.00	10.21	27.16	0.45	10.00	11.12	28.73	0.24
11.00	10.18	27.03	0.45	11.00	11.07	28.59	0.25
12.00	10.09	26.85	0.44	12.00	10.97	28.34	0.27
13.00	10.04	26.72	0.44	13.00	10.91	28.19	0.28
14.00	9.99	26.59	0.44	14.00	10.87	28.08	0.28
15.00	9.95	26.47	0.44	15.00	10.83	27.96	0.29
16.00	9.90	26.34	0.44	16.00	10.78	27.85	0.29
17.00	9.87	26.25	0.44	17.00	10.73	27.72	0.30
18.00	9.79	26.07	0.43	18.00	10.64	27.48	0.30
19.00	9.74	26.92	0.43	19.00	10.67	27.30	0.31
20.00	9.71	26.84	0.43	20.00	10.51	27.16	0.32
21.00	9.65	26.67	0.43	21.00	10.48	27.07	0.32
22.00	9.74	26.93	0.41	22.00	10.44	26.08	0.32
23.00	9.67	25.74	0.41	23.00	10.37	26.79	0.32
24.00	9.61	26.59	0.41	24.00	10.32	26.66	0.32
25.00	9.52	25.34	0.41	25.00	10.25	26.47	0.32
26.00	9.49	25.26	0.41	26.00	10.22	26.41	0.32
27.00	9.43	25.08	0.41	27.00	10.18	26.28	0.32
28.00	9.39	24.98	0.41	28.00	10.15	26.22	0.32
29.00	9.36	24.91	0.41	29.00	10.12	26.14	0.32
30.00	9.29	24.73	0.41	30.00	10.07	26.01	0.31
31.00	9.25	24.64	0.40	31.00	10.04	25.95	0.31
41.00	8.94	23.00	0.41	41.00	9.79	25.30	0.30
42.00	8.83	23.77	0.41	42.00	9.79	25.28	0.29
43.00	8.80	23.68	0.41	43.00	9.76	25.22	0.29
44.00	8.67	23.61	0.42	44.00	9.73	25.13	0.29
45.00	8.62	23.47	0.40	45.00	9.72	25.10	0.29
46.00	8.60	23.42	0.40	46.00	9.69	25.03	0.29
47.00	8.73	23.24	0.41	47.00	9.64	24.91	0.29
48.00	8.72	23.20	0.41	48.00	9.62	24.86	0.29
49.00	8.68	23.09	0.41	49.00	9.59	24.77	0.29
50.00	8.67	23.08	0.41	50.00	9.58	24.76	0.29
51.00	8.65	23.01	0.41	51.00	9.57	24.72	0.29
52.00	8.61	32.92	0.41	52.00	9.54	24.65	0.29
53.00	8.59	22.86	0.41				
57.00	8.53	22.71	0.41				
58.00	8.51	22.64	0.41				
59.00	8.50	22.61	0.41				
60.00	8.48	22.57	0.41				
61.00	8.47	22.64	0.41				
64.00	8.45	22.47	0.41				
65.00	8.46	22.52	0.41				
66.00	8.44	22.27	0.41				

%HS = Porcentaje de humedad del suelo  
E.S. = Error estándar

Anexo 6. Resumen de algunos datos climáticos del período comprendido entre Noviembre de 1991 hasta Enero de 1993 (Estación Coyoacán).					
	TEM MEDIA	TEM MAX	TEM MIN	PREC TOTAL	EVAP
<b>(1991)</b>					
NOV.	14.9	25.5	5.0	24.3	35.4
DIC.	15.0	25.0	4.0	0.0	25.0
<b>(1992)</b>					
ENE.	13.3	24.0	5.0	15.2	40.5
FEB.	14.8	28.5	1.0	23.4	46.6
MAR.	18.1	29.0	7.5	4.0	86.0
ABR.	17.2	28.5	7.5	22.6	61.7
MAY.	17.1	27.5	8.0	114.1	42.8
JUN.	19.3	29.0	10.0	69.9	40.0
JUL.	17.7	27.0	10.0	286.6	59.6
AGO.	17.2	25.0	9.0	237.1	59.3
SEP.	17.3	25.5	8.5	186.8	62.2
OCT.	15.8	25.0	6.0	116.4	19.8
NOV.	14.7	25.0	4.0	67.3	40.1
DIC.	14.5	23.5	3.0	1.0	29.9
<b>(1993)</b>					
ENE.	14.7	27.0	2.0	14.0	41.4
TEM MEDIA = Temperatura media (°C) TEM MAX = Temperatura máxima (°C) TEM MIN = Temperatura mínima (°C) PREC TOTAL = Precipitación total (mm) EVAP = Evaporación (mm)					

Anexo 7. Promedio de días entre riegos de <i>Liquidambar styraciflua</i> y <i>Ligustrum lucidum</i> en los tres tratamientos.		
<i>Liquidambar styraciflua</i>		
TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
7.41( $\pm 0.79$ )	15.69( $\pm 1.32$ )	79.0( $\pm 0$ )
<i>Ligustrum lucidum</i>		
TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3
6.3( $\pm 0.68$ )	11.71( $\pm 1.32$ )	22.69( $\pm 1.78$ )