



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN
EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
FORESTAL

**EL TAMARIX (*Tamarix sp.*) EN LA FORESTACIÓN DEL LECHO DEL VASO
DEL EX-LAGO DE TEXCOCO, UNA ESTRATEGIA MÁS PARA SU RESCATE.**

JORGE ARÉVALO VARGAS

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO.

2007

La presente tesis titulada “**El Tamarix (*Tamarix sp.*) en la forestación del lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco, una estrategia más para su rescate.**”, realizada por el alumno **Jorge Arévalo Vargas**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito para obtener el grado de :

MAESTRO EN CIENCIAS

FORESTAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

Dr. VÍCTOR M. CETINA ALCALÁ

ASESOR

Dr. ARNULFO ALDRETE

ASESOR

Dr. ARMANDO GÓMEZ GUERRERO

ASESOR

M.C. TOMAS M. CORONA SAEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2007.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
RESUMEN GENERAL	iv
ABSTRACT	v
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
1.1.3. Hipótesis.....	2
1.1.3.1. Observacional.....	2
1.1.3.2. Analítica.....	3
1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	3
1.3. ANTECEDENTES.....	6
1.4. PERSPECTIVAS DEL TRABAJO.....	12
1.5. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.....	13
CAPÍTULO 2. IDENTIDAD DE LAS ESPECIES DE <i>TAMARIX</i> CULTIVADAS EN LA ZONA FEDERAL DEL EX-LAGO DE TEXCOCO	15
Resumen.....	15
2.1. INTRODUCCIÓN.....	15
2.2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.3.1. Ubicación del área de estudio.....	22
2.3.2. Colecta e identificación de material vegetativo.....	23
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
2.4.1. Identificación de especies.....	25
2.4.2. Descripción de las especies identificadas.....	26
2.5. CONCLUSIONES.....	30
2.6. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.....	30

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS EN <i>Tamarix chinensis</i>	34
Resumen.....	34
3.1. INTRODUCCIÓN.....	35
3.2. REVISIÓN DE LITERTURA.....	36
3.2.1. Morfología de la planta e interacción de factores ambientales (abióticos).....	36
3.2.2. Suelos.....	37
3.2.3. Suelos salino-sódicos.....	38
3.2.4. Mejoramiento de suelos salino-sódicos.....	39
3.2.5. Tolerancia de las plantas a la salinidad.....	39
3.2.6. Medición de las variables dendrométricas.....	39
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	41
3.3.1. Ubicación de las áreas de muestreo.....	41
3.3.2. Selección de plantaciones.....	42
3.3.3. Características de las áreas seleccionadas.....	43
3.3.4. Diseño del muestreo (<i>Definición de las unidades de muestreo</i>).....	43
3.3.5. Variables de muestreo.....	44
3.3.6. Muestreos.....	46
3.3.7. Análisis estadístico.....	46
3.3.8. Análisis químico de suelos.....	46
3.3.9. Información climatológica y de niveles freáticos.....	47
3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
3.4.1. Altura de planta.....	47
3.4.2. Diámetro de copa.....	52
3.4.3. Sección transversal de tallo (diámetro).....	56
3.4.4. Efecto de factores climáticos y edáficos con el crecimiento porcentual y absoluto en altura de planta.....	62
3.4.5. Materia orgánica.....	65
3.5. CONCLUSIONES.....	69
3.6. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.....	70
APÉNDICE A.....	73
APÉNDICE B.....	79

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Especies de Tamarix cultivadas en el lecho del ex-Lago de Texcoco.	29
Cuadro 2. Zonas seleccionadas para estudio de variables dendrométricas, ubicadas en la zona federal del ex-Lago de Texcoco.	42
Cuadro 3. Promedios de altura total de planta de tamarix, por zona y sitio de muestreo en el ex-Lago de Texcoco, 2005.	48
Cuadro 4. Promedios de crecimiento de diámetro de copa en tamarix, por zona y sitio de muestreo, en dos orientaciones, 2005..	53
Cuadro 5. Transformación de diámetro de tallo (cm) a sección transversal de tallo (cm ²), en plantas de tamarix.	58
Cuadro 6. Promedios de crecimiento de sección transversal de tallo en Tamarix, por zona y sitio de muestreo en el ex-Lago de Texcoco.	59
Cuadro 7. Contenido de materia orgánica en suelos del ex-Lago de Texcoco, para diferentes profundidades.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del área de estudio en la Cuenca del Valle de México.	3
Figura 2. Sitios de colecta de muestras de <i>Tamarix</i> para identificación taxonómica.	24
Figura 3. Localización de las áreas de muestreo para variables dendrométricas.	41
Figura 4. Altura de planta de <i>Tamarix</i> de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco.	50
Figura 5. Altura de planta de <i>Tamarix</i> de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente.	51
Figura 6. Crecimiento de copa en <i>Tamarix</i> de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco.	54
Figura 7. Crecimiento de copa en <i>Tamarix</i> de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente.	55
Figura 8. Planta de <i>Tamarix</i> proveniente de estaca, establecida en suelos salino-sódicos, que muestra los tallos que posee.	57
Figura 9. Crecimiento de la sección transversal de tallo en <i>Tamarix</i> de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco.	61

Figura 10.	Crecimiento de sección transversal de tallo en Tamarix de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente.	61
Figura 11.	Evolución del crecimiento porcentual de altura de planta en Tamarix.	63
Figura 12.	Comportamiento del crecimiento en altura del Tamarix con algunos factores climáticos y del suelo, sitio Potrero de Oriente.	65

RESUMEN GENERAL

La formación de una cubierta vegetal arbustiva en los suelos salino-sódicos del lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco mediante los trabajos de forestación ha dado importancia al género *Tamarix*. Así la definición de la identidad de las especies de este género cultivadas en el ex-Lago de Texcoco y un análisis del crecimiento y desarrollo a través de variables morfológicas, son la razón del presente trabajo. La revisión taxonómica de las especies colectadas en la zona del ex-Lago de Texcoco dio como resultado la existencia de *Tamarix chinensis*, *T. aphylla* y *T. parviflora*, siendo la primera de éstas la más cultivada. Mediante un análisis estadístico descriptivo del comportamiento de las variables altura total de planta, diámetro de copa y sección transversal de tallo (diámetro de tallo) en plantaciones de *T. chinensis* de 3, 6, 8 y 10 años, se evaluó el crecimiento y desarrollo de la especie. Altura de planta vario de 2.24 a 4.60 m, diámetro de copa fluctuó de 1.77 a 3.26 m para la orientación norte-sur y de 1.89 a 3.07 m para este-oeste, y sección transversal de tallo de 13.19 hasta 65.61 cm². El análisis de altura de planta en por ciento y la relación de ésta variable con algunos factores climáticos y del suelo, dio como resultado que el mayor incremento porcentual se da en la plantación de menor edad y el menor crecimiento en la de mayor edad. En cuanto a los factores climáticos y del suelo, se encontró que el comportamiento de altura de planta va acorde con los cambios estacionales. La aplicación de prácticas de mejoramiento y manejo para suelos salino-sódicos han favorecido el establecimiento de la especie, y entre los beneficios que ésta aporta está la adición de materia orgánica, la creación de micro ambientes y el control de partículas suspendidas en el aire, entre otras.

ABSTRACT

The formation of a shrub vegetation halophyte cover in the alkaline saline soils of the former lake of Texcoco through the forestation, it has led a significance to the *Tamarix* genus. Thus, The definition of the identity of the species of *Tamarix* cultivated in the former lake of Texcoco and their descriptive analysis of the growth and development by means of morphological variables, they are the reason of the present work. The taxonomical review of the species collected in the former lake of Texcoco indicated that there are the following species: *Tamarix chinensis*, *T. aphylla* and *T. parviflorat*, being the first one the most common species. Total height of plant, crown diameter and basal area of steam (diameter steam) were measured in 3, 6, 8 and 10 year-old plantations of *T. chinensis*, Results indicated that total height ranged from 2.24 to 4.60 m, crown diameter ranged from 1.77 to 3.26 m in the north-south direction and from 1.89 to 3.07 m in the east-west direction, and basal area of steam ranged from 13.19 up to 65.61 cm². The analysis of plant height in percent and the relationship of this one with some climatic and soil factors have led that the biggest percentage increment was in the youngest plantation and that of smaller growth in the oldest. The practices of improvement and management from alkaline saline soils have favored the establishment of *Tamarix*, and the main benefits are the addition of organic matter to the soil, generation of a special micro-environment and control of suspended particles in the atmosphere, among others.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN GENERAL

Los problemas ambientales en la cuenca del Valle de México son el resultado de la alteración de los ecosistemas y de la sobreexplotación de los recursos naturales, principalmente los forestales y los hídricos (CONAGUA, 2005).

El desagüe artificial del Valle de México alteró de manera significativa los ecosistemas lacustres que existían originalmente dentro de éste, trastornando y rompiendo el equilibrio hidrológico. Este proceso de desecación se considera irreversible, debido a que difícilmente se podrán establecer nuevamente los espacios hidráulicos y ecológicos que se tenían bajo las condiciones originales. Esta ruptura, propició una serie de cambios drásticos que incidieron en los recursos y procesos ecológicos, principalmente de los ecosistemas y en los hábitat de las especies biológicas que ahí existían, reflejándose en una grave y creciente infición de la biosfera, en suelos, agua y aire con serias consecuencias para la salud y la vida de todos los seres que habitan la región.

Fue en el ex-Lago de Texcoco en donde se presentaron las consecuencias más negativas, debido principalmente a su condición ancestral de lago salino y a la presencia de capas someras de suelo con ceniza halofánica que le confiere características altamente conflictivas para su uso y manejo (GAVM-GP-MEX-04-138-RF-CC., 2005).

El Lago de Texcoco fue el cuerpo de agua más importante del Valle de México, así como una parte fundamental del sistema y funcionamiento hidrológico de la cuenca. Las alteraciones ambientales resultado de la desecación provocaron un serio deterioro ecológico: el lecho lacustre quedó expuesto y se desertificaron los terrenos circundantes, lo que generó un grave foco de insalubridad que afecto la salud de la población de la Ciudad de México (CONAGUA, 2005).

El propósito de este trabajo es poner a consideración de los estudiosos la importancia que puede llegar a representar el estudio de la planta arbustiva halófila denominada Tamarix, en el rescate de áreas degradadas y que se cultiva extensamente en los suelos del lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco, que bajo otras circunstancias es una planta indeseable.

1.1. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1.1.1. Objetivo general.

- Efectuar una revisión de la identidad taxonómica de las especies de Tamarix cultivadas en los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco, y posteriormente analizar el desarrollo de la especie de mayor cultivo, a través de sus variables dendrométricas altura de planta, diámetro de copa y sección transversal de tallo.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Esclarecer la identidad taxonómica de las especies de Tamarix establecidas en el ex-Lago de Texcoco, identificando la especie de mayor cultivo.
- Examinar el comportamiento de los principales componentes dendrométricos de la especie de Tamarix establecida y de mayor cultivo en los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco, analizando en parte el manejo que reciben.

1.1.3. Hipótesis.

1.1.3.1. Observacional.

- En las condiciones climáticas y edáficas del ex-Lago de Texcoco, el tamarix es la única especie arbórea factible de continuar estableciendo.

1.1.3.2. Analítica.

- Además de los caracteres morfológicos del tamarix, las prácticas mínimas de manejo que se dan a la especie en campo, también han contribuido a su establecimiento.

1.2. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Localización. Los terrenos del ex-Lago de Texcoco se encuentran dentro del Valle de México y ocupan la parte Sur de la Mesa Central en la República Mexicana. Se encuentran a una altitud media de 2,200 m.s.n.m. y se ubican de acuerdo a las coordenadas geográficas, entre los 19° 22' y 19° 37' de latitud Norte, y a los 98° 54' y 99° 03' de longitud Oeste. Colindan por el Oeste y Sureste con la Cd. de México, y comprende parte de los municipios de Texcoco, Atenco, Nezahualcoyotl y Chimalhuacan del Estado de México (Figura 1).

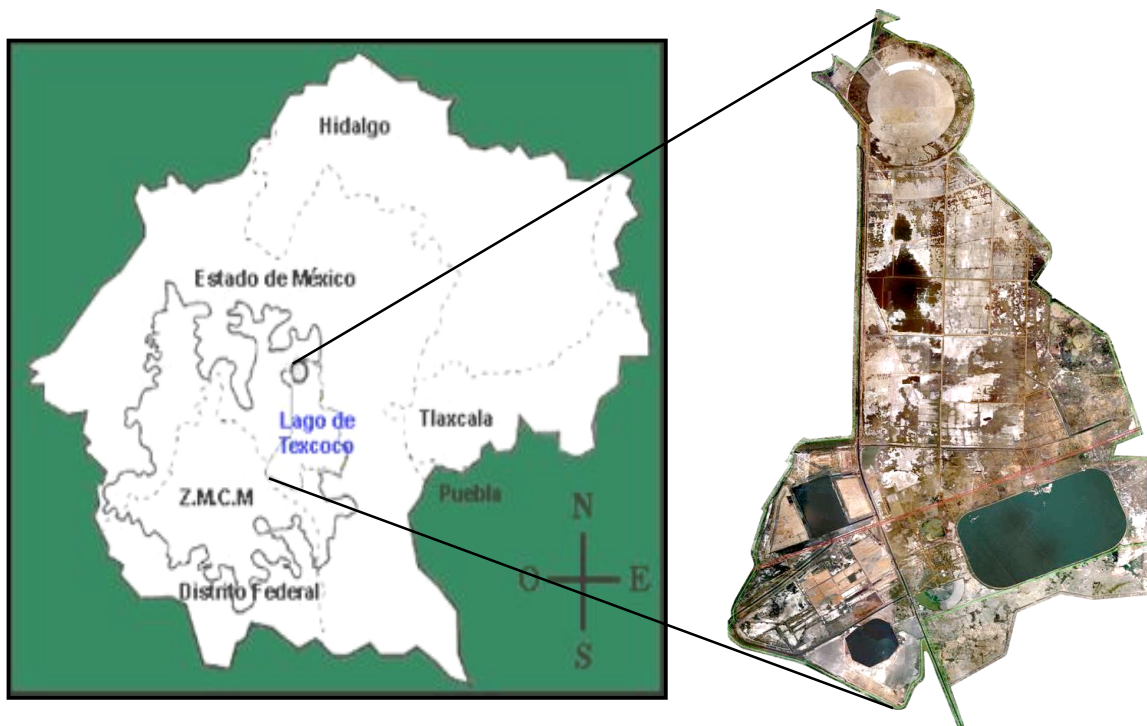


Figura 1. Localización del área de estudio en la Cuenca del Valle de México.

Geología. Los materiales geológicos hasta 180 metros de profundidad que caracterizan a la zona, están constituidos por estratos arcillosos, aunque existen también lechos arenosos, limosos y en menor cantidad los orgánicos. Esto último, se debe muy probablemente a las condiciones de fuerte salinidad que han prevalecido a través de la historia del lago, de tal forma que han limitado las condiciones de vida adecuadas para el crecimiento de vegetación que pudiera proveer a los depósitos de materia orgánica. Dentro de esta planicie también hay sedimentos de origen químico y biológico; entre los primeros están evaporizas, sulfatos, carbonatos de calcio, hidróxidos de Fe, etc.; entre los biológicos se encuentran restos de organismos animales y vegetales acuáticos, como ostracodos, moluscos y diatomeas.

Hidrología. El caudal de las corrientes que llegan por el Oriente del ex-Lago de Texcoco, es cada día menor, debido a que están siendo interceptadas por los habitantes de las poblaciones de la parte alta, ya sea por jagüeyes u otras derivaciones. Así mismo, se han construido diferentes estructuras para retención de azolves (presas) y propiciar la recarga de los acuíferos, que han contribuido a disminuir los escurrimientos. A la zona del ex-Lago, también desfogan aguas negras de la Cd. de México y de Cd. Netzahualcoyotl. Una característica de las aguas subterráneas de la zona, es la existencia de un acuífero de alta concentración salina, localizado alrededor de los 30 metros de profundidad.

El Lago de Texcoco ha tenido como función principal el de vaso regulador de aguas negras y escurrimientos pluviales que fluyen hacia él, mediante el almacenamiento de éstos durante la época de lluvias y manteniendo a su vez, una descarga permanente dentro de los límites permisibles de las obras de desagüe de dicho ex-Lago.

Climatología. De acuerdo con el sistema de Thorntwaite, el clima de la región se clasifica como C₁dB'₂a' semiseco con pequeño o nulo excedente, templado frío, con baja concentración térmica en el verano. El periodo de lluvias se presenta de

mayo a octubre y la estación seca de noviembre a abril. En general la precipitación se distribuye de manera irregular y en forma torrencial, siendo julio el mes más lluvioso y febrero el de mínima precipitación.

Según el sistema de Koeppen, modificado por Enriqueta García, el clima es un $BS_1Kw(w)(1')$, que corresponde a un semiseco, con verano fresco (temperatura del mes más caliente, inferior a 18° C) y lluvioso, e invierno con un total de lluvia menor del 5% del total anual.

Vientos. Los tipos de vientos que se presentan son los de altura, rasantes y convectivos. Los primeros provienen del Oeste (Sierra del Ajusco) a una altura de 3,000 m.s.n.m. Los rasantes son del Noroeste (son polares que atraviesan al ex-Lago y salen por Ameca), Sur Sureste (provienen del antiguo Lago de Chalco), Norte (proceden de las montañas) y Noroeste (provienen de Pachuca). Los convectivos se producen durante las horas más calientes del día, ya que el intenso calentamiento del aire superficial origina movimientos convectivos de masas de aire provocando grandes remolinos.

Vegetación. Las comunidades vegetales que se distinguen en el área son: pastizales de *Distichlis spicata* (pasto salado), comunidades de *Suaeda nigra* (romerito), pastizales de *Eragrostis obtusiflora* (zacahuistle).

El pasto salado es el que se encuentra en mayores proporciones, debido a que presenta ciertas características que lo hacen tolerable a las condiciones inhóspitas que prevalecen en el área. Dentro de esta área también se encuentran otras gramíneas aunque en menor proporción como *Boutelouas*, *Muhlenbergia repens*, *Hordeum jubatum*, y *Cynodon dactylon*. También se encuentran manchones aislados de *Chenopodiaceas*.

Fauna silvestre. El número de especies ha disminuido en forma considerable, debido a la alteración de sus hábitats naturales. Sin embargo, existe aun una

explotación de varias especies, siendo las más importantes el mosco, ahuatele, patos y chichicuilotos.

Los principales grupos de animales de mayor interés económico son los insectos y las aves. En el primer grupo se encuentran las especies de las llamadas “moscos” y “ahuaultes”, aprovechados en la alimentación de aves y en la dieta humana respectivamente. En el segundo grupo, las especies de mayor importancia económica son las aves migratorias procedentes de Alaska, Canadá y los Estados Unidos de América, que año con año llegan en número variable al Valle de México. Está representado por las siguientes familias: Anatidae (17 especies de patos), Scolopacidae (Chichicuilotos), Recurrostridae (Monjitas), Radillae (Galaretas), y Ardeidae (Garzas), entre otras (Flores *et al.*, 1971; Velásquez *et al.*, 1981; Briceño *et al.*, 1982; CONAGUA, 2005; GAVM-GP-MEX-04-138-RF-CC., 2005).

1.3. ANTECEDENTES

De todos los seres vivientes, el hombre es el único que ha logrado superar las fuerzas de la naturaleza para tener cierto dominio sobre el medio ambiente; en cierto sentido, ha podido modificarlo en una forma que parece benéfica, y que a menudo lo es. Sin duda, muchos de los logros del hombre sobre la naturaleza tienen el objetivo de satisfacer las necesidades humanas; pero, por otra parte, es innegable que el hombre, en su dominio de la naturaleza, ha atacado y trastornado el medio ambiente. Apenas se ha comenzado a comprender que la actividad del hombre influye en muchos de los complejos procesos interrelacionados que se efectúan continuamente en la naturaleza. Esta toma de conciencia se deriva del estudio de la estructura del medio ambiente y de las principales actividades humanas que modifican dicho medio (Dickson, 1980.).

La cuenca hidrográfica según la FAO, es una unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como una unidad físico-biológica y también en muchas

ocasiones, como una unidad socio-económica-política para la planeación y ordenamiento de los recursos naturales. El manejo de cuencas hidrográficas, se puede conceptualizar como el conjunto de acciones integradas, orientadas y coordinadas sobre los elementos variables del medio ambiente en una cuenca, tendientes a regular el funcionamiento de ese ecosistema, con el propósito de elevar la calidad de vida de la población inserta en ella. El manejo de cuencas no es solo un programa forestal o agrícola, sino que tiene que ver además, directa o indirectamente con todas las actividades humanas en ellas, como son la construcción de vías de comunicación, minería, cultivos, explotaciones madereras, pastoreo, recreación y desarrollo urbano e industrial, por lo que se necesita una buena coordinación entre ellas. Es así que el manejo de las cuencas tiene como objetivo fundamental la protección, conservación y desarrollo de los recursos agua y tierra en toda su extensión. Todo ello a través del manejo de las tierras y manipulaciones de la vegetación, suelo, topografía y población animal (López, 1998).

Los límites del área de acción del Proyecto Lago de Texcoco, en el concepto de manejo de cuencas, se circunscribe a las zonas denominadas lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco y cuenca oriental tributaria del mismo nombre, que en conjunto cubren una extensión de 54 mil hectáreas. Dadas las características edáficas, climáticas e hidrológicas que las diferencian, éstas presentan una diferente problemática, aunque esto no significa la falta de una interrelación entre ellas.

La desecación del área lacustre de lo que fue el Lago de Texcoco, dejó al descubierto una superficie de aproximadamente 150 Km², con características extremas de salinidad, sodicidad y alcalinidad, niveles freáticos someros y alcalinos, deficiente conductividad hidráulica, presencia de una capa de halófano (jaboncillo), entre otras. Estas limitantes impidieron de manera natural la colonización vegetal y la convirtieron en inhóspita e insalubre, generando un

problema de contaminación a la Ciudad de México en la temporada de sequía (tolvaneras).

Los factores limitativos y la problemática generada por las tolváneras, propició la búsqueda de soluciones y alternativas para contrarrestar el efecto de los factores y el control de la erosión eólica, que coadyuvaran a la mitigación de partículas suspendidas, optando en su momento por la formación de una cubierta vegetal mediante el establecimiento de praderas y barreras de cortinas rompevientos. Esto a su vez creó la necesidad de buscar las especies vegetales adecuadas, seleccionando, después de varias pruebas, dos especies, una de ellas el pasto salado *Distichlis spicata*. L. y otra el *Tamarix spp.* Ambas especies se caracterizan por ser halófitas, se reproducen asexualmente, aunque en el caso del tamarix también se puede llevar a cabo por semilla. (CONAGUA, 2005)

En un estudio realizado en 2005 sobre la evaluación técnico-económica para obras de Restauración Ecológica en la cuenca del vaso del Lago de Texcoco (Zona Federal del ex-Lago de Texcoco y su Cuenca Tributaria Oriental), se afirma que el Proyecto Lago de Texcoco ha constituido una de las principales obras de rescate ambiental emprendidas por el Gobierno Mexicano desde 1971, cuyo objetivo principal fue el de disminuir la generación de partículas suspendidas en el área del lago, las cuales afectaban la salud de la población de la zona metropolitana de la ciudad de México, entre otros no menos importantes. Se han realizado grandes inversiones en estas obras de recuperación y actualmente lo que antes era un escenario de tierras degradadas y fuente de emisión de contaminantes, hoy es una de las reservas ecológicas más importantes del país. Se ha logrado un cambio importante en el lecho del ex-Lago de Texcoco, los beneficios de esta obra están a la vista, las grandes tolváneras han disminuido (la media aritmética de las partículas suspendidas totales máximas (PST_{max}) disminuyeron de 957 mg/m³ en 1991 a 277 mg/m³ en el 2001), trayendo los beneficios consecuentes en la salud de la población. Lo que antes era un área sin vegetación con fuertes problemas de erosión, hoy se tiene en gran parte de la

superficie del lago una cubierta vegetal, además se ha restaurado el ecosistema del lago con la construcción de una serie de lagos artificiales (Nabor Carrillo, Regulación Horaria, Churubusco y Recreativo), incrementándose la biodiversidad principalmente de las aves acuáticas. El Lago de Texcoco por encontrarse en la ruta central de la migración de las aves de Norteamérica recibe año tras año una gran cantidad de aves, estimándose una población migratoria de más de 300 mil aves al año de 134 especies diferentes, así mismo se han encontrado 41 especies vegetales nuevas, incrementando aún más con esto la biodiversidad y la riqueza del ecosistema.

Del análisis que hace este estudio sobre las obras de restauración ecológica en la zona federal del ex-lago de Texcoco, algunas de las conclusiones fueron:

La salud, es el beneficio más importante que se obtiene para la población del Valle de México, las obras de restauración evitan la mortalidad de más de 5 000 personas por año, 10 000 admisiones a hospitales, más de 80 000 visitas a salas de emergencia y más de 7 millones de días de actividad restringida. Existen otros beneficios importantes que no se evaluaron, como la generación de oxígeno y la absorción de CO₂, el mejoramiento del paisaje, el desarrollo de nuevos hábitat para nuevas especies de fauna silvestre, entre otros beneficios. Las obras complementarias como la conservación de la infraestructura en canales y drenes y la instalación de riego presurizado son muy importantes para mejorar la eficiencia de plantación y forestación, debido a que los niveles de salinidad tan elevados y los niveles freáticos someros ocasionan una disminución en la sobrevivencia de las plantaciones y forestaciones establecidas, obteniéndose porcentajes de prendimiento del 20 al 30 %, las cuales se incrementan notablemente con el riego y el drenaje.

Es necesario que las obras se continúen, porque todavía existen áreas desprovistas de vegetación y siguen generando emisiones de partículas a la

atmósfera, además de que es necesario ir reponiendo la planta que se va muriendo por los niveles elevados de salinidad.

No hay duda, entonces, que los trabajos de restauración ecológica que se ejecutan en la zona federal del ex-lago de Texcoco son de mucha importancia en la reducción de la emisión de contaminantes (GAVM-GLT-MEX-02-237-RF-CC., 2002).

Un trabajo más reciente (Plan de Consolidación del Rescate Hidroecológico de la zona federal del ex-Lago de Texcoco), en el que se realiza un análisis sobre las acciones ejecutadas en el período de 1971 a 2003, en el apartado de Control de Tolvaneras, se señala que a raíz de haberse agravado e intensificado en los años 60's la formación de tolváneras, con lo que se aumentó la contaminación ambiental de la ciudad de México y su zona metropolitana, se decidió dotar de una cobertura vegetal a las áreas denudadas y establecer cortinas rompevientos, para contrarrestar el efecto de las corrientes de aire que propiciaban la erosión eólica de los suelos, y además, para contribuir a mejorar las condiciones ambientales de la región.

Este trabajo hace referencia a algunos géneros de especies vegetales para cubrir el suelo en las zonas más afectadas por salinidad, siendo estas *Suaeda* o romerito, *Distichlis* o pasto salado, *Eragrostis* o zacahuistle, *Sesuvium* y *Atriplex* o chamizo y para cortinas rompevientos el género *Tamarix* o abeto salado. Aunque se contaba con la información proporcionada por el Estudio Agrológico Especial del ex-Lago de Texcoco respecto al tipo de especies vegetales a utilizar para formar una cubierta vegetal, se probaron otras especies halófitas traídas de otros lugares de México.

Las condiciones tan adversas de salinidad y sodicidad de los suelos del ex-Lago de Texcoco, no permitieron aplicar las medidas para disminuir los efectos negativos implementadas en otros países (Estados Unidos y Australia) con

problemas fuertes de erosión eólica que generaban tolvaneras y que impactaban económicamente a diversos poblados.

Finalmente se decidió que la mejor alternativa para proteger a los suelos del ex-Lago contra la erosión eólica era propagar una especie de pasto salado nativa de la zona (*Distichlis spicata* (L) Greene), en virtud de que era la que mejor se había adaptado a través de cientos de años a las condiciones adversas de los suelos.

En la actualidad y a más de 30 años de trabajos continuos, el Proyecto Lago de Texcoco ha revertido el proceso de desertificación, transformando lo que fue un lago natural (ecosistema acuático) en un nuevo ecosistema artificial (ecosistema terrestre), construido por el hombre para tratar de resarcir el atentado al medio ambiente y al ecosistema original. Este nuevo ecosistema que está formado principalmente por pastizales, plantaciones y barreras de halófitas y lagos artificiales, presenta condiciones diferentes y mejores a las del inicio del Proyecto, ya que los trabajos realizados han permitido una restauración y recuperación ecológica ambiental del área degradada, convirtiéndose en un gran pulmón para toda la zona metropolitana de la ciudad de México, debido a los servicios ambientales que proporciona.

Asimismo, se han reproducido algunas de las condiciones para poder rescatar y preservar las aves migratorias de invierno, así como la fauna local y aves y especies acuáticas en extinción como el pato mexicano, los chichicuilotos, los acociles, el ahuahutle, el pescadito amarillo y otras, además de que las nuevas condiciones han permitido la aparición de nuevas especies de flora y fauna silvestre, principalmente de las que ya existían en los alrededores.

Así, los servicios ecológico-ambientales que actualmente se originan en el Proyecto Texcoco, no sólo se refieren a la rehabilitación de los suelos para evitar las tolvaneras, sino también a la recuperación de la propia avifauna migratoria, a la producción de oxígeno y captura de carbono, al mejoramiento y estabilización

climática, a la diversidad del paisaje y su embellecimiento, etc. También se hace énfasis en que las plantaciones de *Tamarix* son importantes desde el punto de vista escénico y por su factibilidad de uso con fines recreativos, dado que esta planta posee características que lo identifican como de ornato, considerando que las plantaciones de esta especie están contiguas a la Ciudad de México.

Una de las funciones ecológicas más importantes que se han derivado de los trabajos de restauración ecológica que realiza el Proyecto Texcoco, es que las extensas áreas que se han plantado con pasto salado así como las barreras forestales y bosquetes formados para controlar las tolveneras, son un gran pulmón para toda la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, debido a que al mismo tiempo que producen oxígeno elemento sustancial para la vida, capturan bióxido de carbono.

Por todo lo anterior, en la actualidad se reconoce al Proyecto Lago de Texcoco como uno de los Proyectos Ecológicos de mayor importancia a nivel nacional y con un gran prestigio internacional (GAVM-GP-MEX-04-138-RF-CC., 2005).

1.4. PERSPECTIVA DEL TRABAJO

El problema de las polvaredas como se les denominaba en los años 40's, tolveneras en los 80's y 90's, y partículas suspendidas en la actualidad, es una situación de contaminación ambiental que aparentemente ha quedado resuelta. Sin embargo, y como se puede notar en las referencias citadas sobre los logros que han tenido las acciones de rescate y restauración implementadas en el lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco, son un aspecto general que ilustran el costo que tiene que pagar la sociedad para contar con una mejor calidad de vida.

Por otra parte, este nuevo ecosistema requiere de ser estudiado a mayor profundidad, ya que sus beneficios no sólo están dando respuesta a una necesidad de la sociedad, sino que su dinámica, además, está propiciando la

formación de nuevos hábitat y nichos ecológicos, que resultan de gran interés para los estudiosos. Es así que ante la falta de información nueva sobre el comportamiento que está teniendo la cubierta vegetal arbustiva en este nuevo ecosistema Lago de Texcoco, compuesta principalmente por tamarix, resulta interesante y de gran contribución, el iniciar el estudio de dicha cubierta con aspectos como es el comportamiento de las principales variables morfológicas o dendrométricas como forestalmente se les denomina.

Así entonces, se espera que este trabajo sienta las bases para iniciar el estudio del tamarix en otros aspectos más puntuales, enfocados en todo momento a esa contribución que está teniendo la especie en el mejoramiento ambiental de la región Valle de México.

1.5. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO

Briceño de la H., V. M., A. O. Palacios y L. C. M. Chávez. 1982. Origen, caracterización y situación actual del ex-Lago de Texcoco. Reporte Interno. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Lago de Texcoco. México, D.F. 249 p.

CONAGUA. 2005. Proyecto Lago de Texcoco. Rescate Hidroecológico. CONAGUA-GRAVAMEX y SC-G L T. Edición Especial. IV Foro Mundial del Agua, 2006. México, D.F. 140 p.

Dickson, T.R. 1980. Química Enfoque Ecológico. Primera edición. México, D.F. 406 p.

Flores M., G., R. R. Gómez y J. J. López. 1971. Serie Estudios: Estudio Agrológico Especial del ex-Lago de Texcoco Edo. de México. Publicación No. 2. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección General de

Grande Irrigación y Control de Ríos. Dirección de Agrología. México, D.F.
145 p.

GAVM-GLT-MEX-02-237-RF-CC. 2002. Estudio de Evaluación Técnico-económica para Obras de Restauración Ecológica en la zona federal del ex-Lago de Texcoco y su Cuenca Tributaria Oriental. Resumen Ejecutivo. Convenio de colaboración. Colegio de Postgraduados-Comisión Nacional del Agua. Montecillo, Edo. de México. 57 p.

GAVM-GP-MEX-04-138-RF-CC. 2005. Plan de Consolidación del Rescate Hidroecológico de la zona federal del ex-Lago de Texcoco. Evaluación y diagnóstico de acciones 1971-2003: control de tolvaderas. Convenio de Colaboración. Comisión Nacional del Agua-Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. 178 p.

López C. de L., F. 1998. Restauración Hidrológico Forestal de Cuencas y Control de la Erosión. 2ª Edic. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 945 p.

Velázquez L., A. y P. L. Orea. 1981. Estudio Agrológico Detallado del ex-lago de Texcoco, Edo. de México. Reporte Interno. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Comisión Lago de Texcoco. México, D.F. 135 p.

CAPÍTULO 2

IDENTIDAD DE LAS ESPECIES DE *TAMARIX* CULTIVADAS EN LA ZONA FEDERAL DEL EX-LAGO DE TEXCOCO

Resumen

El establecimiento de una cubierta vegetal halófila en los suelos del lecho del ex-Lago de Texcoco para dar solución a una problemática de partículas suspendidas, ha propiciado cambios en las condiciones ambientales de la región. El género *Tamarix* es el que ha llamado la atención por su gran capacidad para establecerse en los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco, formando un estrato arbustivo para el control de las tolvaneras. Lo anterior condujo a realizar una revisión de identidad de las especies que ahí se cultivan, derivando de la identificación que se cuenta con las especies *T. chinensis*, *T. aphylla* y *T. parviflora*. La primera de éstas se encuentra dominando en plantaciones establecidas, la segunda en los canales de conducción de agua de riego y la tercera se localiza entremezclada con las dos primeras especies, formando en ambos casos el estrato inferior.

2.1. INTRODUCCIÓN

La llegada de los europeos al México prehispánico tuvo fuertes repercusiones en los usos y costumbres de los pueblos indígenas, particularmente porque los primeros no entendieron la relación de equilibrio que guardaba el hombre prehispánico con los recursos naturales, principalmente con el agua (Ríos *et al.*, 1975).

La desecación del sistema lacustre del Valle de México después de la conquista de Tenochtitlan, dejó al descubierto una gran extensión de terreno, que ya en los años 60's causaba severos problemas a los habitantes de la zona metropolitana.

Éstos fueron principalmente de tipo sanitario y ambiental, deteriorando la calidad de vida de los habitantes de la región. Ante estas circunstancias, con la creación del Proyecto Lago de Texcoco en la década de los 70's, y teniendo como uno de sus objetivos el establecer mecanismos para el control de las tolveneras, que en la temporada de sequía azotaban a la zona metropolitana del Valle de México, diversas instancias oficiales realizaron pruebas para la introducción y establecimiento de especies vegetales tolerantes a las nuevas condiciones que prevalecían en el hoy denominado lecho del vaso del ex-Lago de Texcoco, conocido más comúnmente como zona federal del ex-Lago de Texcoco.

Actualmente los terrenos del ex-Lago de Texcoco cuentan con una cubierta vegetal constituida por diversas especies vegetales, de las cuales son dominantes y de características halófitas, el pasto salado (*Distichlis spicata* L.), especie nativa de la zona y el tamarix (*Tamarix sp*), género introducido. Estas plantas han respondido favorablemente a las propiedades extremas de los suelos del ex-Lago de Texcoco.

Por observaciones directas en campo, se ha detectado la presencia de más de una especie de *Tamarix*, por lo que debido a la importancia de ésta en los trabajos de forestación y replantación, que se realizan en los terrenos salino-sódicos de la zona federal como una de las estrategias para su rescate ecológico, fue necesario llevar a cabo una revisión taxonómica de las especies de *Tamarix* existentes en la zona, a fin de ratificar o rectificar la especie plantada masivamente, y que por mucho tiempo se había identificado como *Tamarix chinensis*.

2.2. REVISIÓN DE LITERATURA

Greulach y Adams (1980), señalan que el medio determina el carácter general de las formaciones y asociaciones que ocupan cualquier región particular de la tierra, y que la organización estructural más detallada y la dinámica de cualquier comunidad, están también influenciadas en un grado considerable por las

interacciones entre los miembros de la comunidad, de tal forma que los límites de bosques, pastizales, desiertos y tundras, no se pueden definir con precisión, puesto que las formaciones se mezclan unas con otras donde se encuentran, en zonas de transición, a medida que varían gradualmente los factores ambientales de los cuales dependen. Cuando las condiciones ambientales críticas cambian en los márgenes de una formación, también la extensión de la formación se expande o se retrae, es por ello que en la determinación de una asociación o de una formación que ocupará una cierta localidad, son importantes los factores locales como la topografía, la disponibilidad de agua, la estructura del suelo, la fertilidad y la acidez.

Los mismos autores indican que el ambiente afecta el crecimiento de las plantas cuando menos de tres maneras: la tasa de crecimiento, la potencialidad hereditaria y la distribución geográfica. El ambiente, además puede ser dividido en dos grupos de factores: el ambiente biológico, que consta de todas las plantas y animales, y el medio físico compuesto de las diversas formas de materia y tipos de energía. Por otra parte las principales sustancias importantes en el ambiente de una planta son agua, sales, ácidos, bases, restos orgánicos de organismos muertos y varios gases, particularmente oxígeno y bióxido de carbono.

El grado más alto de organización funcional en los vegetales lo constituyen los órganos que se presentan en plantas superiores, las cuales tienen un cuerpo vegetal bien diferenciado. Embriológicamente estos órganos se originan a partir de dos estructuras primarias, la radícula y el vástago. La primera da origen a la raíz y el segundo al tallo y sus subsecuentes modificaciones (hojas, flores y frutos), cuya descripción de estas partes le concierne a la morfología vegetal, por lo que su conocimiento es indispensable en la clasificación e identificación de las plantas (Cortés, 1980; Villarreal, 2002). Por su parte Hartmann y Kester (1981) señalan que en la preservación de genotipos importantes para el hombre, es fundamental tener ciertos medios para identificarlas, de ahí que con la colaboración de botánicos y horticultores se haya desarrollado un sistema de nomenclatura que da

las bases para la identificación uniforme de plantas en todo el mundo. Este sistema está expuesto en el *Código Internacional de Nomenclatura Botánica* y el *Código Internacional de Nomenclatura para Plantas Cultivadas*. Estos mismos autores mencionan que la clasificación de las plantas, que es función de los taxónomos, se basa en la especialización y complejidad crecientes en estructuras y organización que resultan del proceso evolutivo. Por su parte Gordon y Douglas (1977), señalan que la taxonomía como ciencia de la clasificación de plantas y animales, tiene dos aspectos, la nominación de cada tipo de organismo (nomenclatura) y la agrupación de éstos de manera que se muestren sus relaciones (clasificación), siendo que las especies para que puedan ser manejadas de manera adecuada, cada una debe tener un solo nombre.

Lo anterior conduce a que la unidad de trabajo del taxónomo sea la especie, de la que, por lo común, tiene una existencia objetiva y real. El grado de diferencia morfológica o fisiológica, está dentro de los límites de la variabilidad individual, por lo que la definición de especie debe ser de tipo dinámico, a pesar de ello, la especie es la categoría más pequeña en la clasificación. Las especies se agrupan en géneros, los géneros en familias, las familias constituyen órdenes, los órdenes clases y las clases se combinan en divisiones. Cada categoría subsiguiente es más incluyente y más grande que la precedente. En la clasificación se pueden insertar otros grupos intermedios, siempre que sean útiles para aclarar las complejidades de las relaciones entre los organismos (Gordon y Douglas, 1977; Cronquist, 1977, 1980; Hartmann y Kester, 1981).

En los inicios de la exploración botánica del Valle de México, que datan desde la primera colonización de la región por el hombre, los conocimientos que los antiguos mexicanos poseían sobre las plantas y la vegetación, versaban fundamentalmente acerca de los aspectos utilitarios de las mismas. Es a partir de 1787 cuando diversos personajes, en su ánimo por conocer, estudiar y describir la flora del Valle de México, empiezan a legar diversa información a fin de contribuir

al acervo del conocimiento botánico del Valle, siendo la mayor contribución los herbarios que lograron formar en su momento (Ríos *et al.*, 1975).

La erosión intensa del suelo, la escasez del agua, la acumulación de impurezas en el aire, las frecuentes tolvaneras, el hundimiento de los terrenos aluviales, son algunos síntomas que apuntan hacia el hecho de que la región del Valle de México pueda volverse inhabitable, a menos que se tomen las medidas necesarias y efectivas para prevenirlo. En este sentido, el conocimiento de la flora y de la vegetación viene a ser un elemento indispensable, pues son las plantas nativas y las comunidades bióticas naturales las que están mejor adaptadas para cada medio particular y las que ofrecen mejor garantía de construir una cobertura para protección del suelo e indispensable para la conservación del agua, así como de la purificación del aire. Resulta obvio que estos propósitos implican la necesidad de conocer a fondo las plantas, sus usos, sus tolerancias ecológicas, sus agrupaciones y la dinámica de estas últimas. Es relevante señalar que la diversidad de condiciones ecológicas en el Valle de México ha tenido como reflejo la existencia de numerosas comunidades vegetales, en particular la vegetación halófila, que se puede llegar a encontrar habitando los suelos salino-alcálinos y mal drenados de los extintos lagos, dominados por gramíneas que se reproducen vegetativamente (rizomas y estolones) como *Distichlis spicata* y *Eragrostis obtusiflora*, que rara vez convivían y que una sola de éstas cubría grandes extensiones. Otras halófitas frecuentes fueron *Atriplex linifolia*, *A. muricata*, *Sporobolus pyramidatus* y *Suaeda nigra* (Ríos *et al.*, 1975).

Hart (1999) señala que el tamarix se introdujo a los Estados Unidos aproximadamente en el año 1800 por un horticultor que vendió la planta a un vivero en Philadelphia. De este proceso, tres especies de tamarix fueron introducidas para utilizarlas como cortinas de árboles rompevientos, formación de sombra, estabilización de cauces erosionados, o como arbusto ornamental. Las denominaciones que estas plantas han recibido son variadas, y las más comunes

son: cedro salado, tamariz, tamarix, tamarisco, tamaron, tammies, pino salado, entre otros.

El nombre del género *Tamarix* parece que procede del que le dieron los romanos y se cree derivado del río Tamaris de la provincia Tarraconense, en cuyas orillas se afirmaba que crecían abundantemente estos arbustos. El nombre común del árbol “tamariz” se basa claramente en el nombre del género *Tamarix*, pero no está claro de dónde deriva, pues puede provenir del río Tambre (*Tamariz*) en España, pero también puede venir del río Tamara en Nepal o de la palabra hebrea tamaruk. Saltcedar se refiere al fino follaje, similar al del cedro y a su capacidad para crecer en terrenos salinos o alcalinos. El orden del tamariz comprende tres familias (*Tamaricaceae*, *Frankeniaceae*, y *Fouquieriaceae*) de árboles, arbustos y plantas que se encuentran en zonas templadas y subtropicales, desiertos y desiertos de sal, y a lo largo de los márgenes de lagos salados y costas marítimas, repartidas por las regiones cálidas y templadas de Europa, África y Oriente cercano (Carpenter, 1998; Hart, 1999).

Pedraza (1988) en su trabajo “Evaluación de barreras arboladas con tamarix en los suelos del ex-Lago de Texcoco”, cita algunas generalidades de la especie, y en la metodología para el desarrollo de dicha evaluación utiliza de forma general el término tamarix. Este autor, en sus conclusiones se refiere a tres especies *T. plumosa*, *T. articulata* y *T. parviflora*, la primera de éstas la señala como de comportamiento perennifolio y las otras dos como de tipo caducifolio. También señala, que tanto *T. articulata* como *T. parviflora*, que presentan floración en la zona, ofrecen posibilidades de propagación natural, algo así como una regeneración natural vía semilla.

Ortiz (1996) por su parte, en una revisión que lleva a cabo sobre la identidad de las especies de *Tamarix* que se encuentran en la zona del ex-Lago de Texcoco, los ejemplares colectados, en ese momento, los identifica como *Tamarix plumosa*, *Tamarix articulata* y *Tamarix parviflora*, tal como los nombra Pedraza (1988). Su revisión lo llevó a concluir que *T. plumosa* y *T. articulata* son la especie *Tamarix*

chinensis Lour., por lo que dichas denominaciones son sinónimos y *Tamarix parviflora* corresponde a *Tamarix aphylla* (L.) Karst.

En diversos trabajos realizados en el ex-Lago de Texcoco, acerca de formas de reproducción, técnicas de propagación masiva y métodos de plantación para tamarix, en algunos casos se cita a la especie (*Tamarix plumosa* y *Tamarix parviflora*), y en otros sólo se hace referencia al género (*Tamarix sp*), sin dar más información al respecto (Flores *et al.*, 1993; Solano *et al.*, 1993; Yépez *et al.*, 1993; Zárraga *et al.*, 1993).

La introducción de plantas a lugares lejanos de su lugar de origen ha sido una práctica común en la historia de la humanidad, tan es así que los grandes movimientos colonizadores o de comercio han acarreado consigo el movimiento de plantas útiles para el ser humano. Los estudios sobre malezas en México, indican que el mayor número de estos son agronómicos, relacionados al control y manejo de muchas especies introducidas que pueden llegar a ser una plaga, y de menor número de carácter biológico y ecológico. El escaso conocimiento de las plantas invasoras exóticas en México, como el tamarix, y la necesidad de manejarlas o de impedir su expansión y/o entrada al país, hacen necesarios trabajos básicos de inventario y de distribución de las especies exóticas que ya han entrado (Espinosa *et al.*, 2003).

La morfología de las plantas está determinada en gran parte por el tallo, de ahí que la presencia del cambium vascular determine la clasificación: árbol, arbusto o hierba. Silvícilmente el término árbol está limitado a los vegetales con más de 7 metros de altura, un tronco definido y copa diferenciada; entre 3.0 y 7.0 metros está el matorral arbustivo, y entre 1.5 y 3.0 metros el matorral subarbustivo. Botánicamente el límite de la categoría arbórea se determina en 5.0 metros, con copa diferenciada pero sin un tronco definido, y geobotánicamente, árbol es un elemento conspicuo y repetido en las formaciones vegetales, con independencia de su talla, densidad (número de pies por hectárea) o grado de sombra proporcionado (García-Pelayo, 1994; Valero, 2000; Villareal, 2002). Silvícola y

botánicamente hay una coincidencia en que árbol es una planta perenne, de tronco leñoso y elevado (no menor de 5.0 metros) que se ramifica a mayor o menor altura del suelo (punto llamado cruz), formando una copa de considerable crecimiento y constituye un elemento del bosque, y arbusto se describe como vegetal leñoso perenne, de menos de 5.0 metros de altura, sin un tronco preponderante, que ramifica a partir de la base (Font, 1953; Padilla, 1987).

La familia Tamaricaceae, está constituida por árboles o arbustos, raras veces hierbas, con ramas flexibles, poseen hojas alternas, sentadas, escamiformes o aciculares, generalmente caedizas, con flores muy pequeñas, regulares, bisexuales, solitarias, actinomorfas, en espigas, racimos o panículas. Tienen 4-5 sépalos, 4-5 pétalos y 8-10 o numerosos estambres insertos sobre un disco. Tiene un pistilo, ovario súpero de tres o 4 carpelos y unilocular. Su fruto es capsular con semillas cubiertas de largos pelos o con un penacho en el ápice, raras veces aladas. Familia formada por 5 géneros y alrededor de 100 especies originarias de las regiones templadas de Europa, cuenca mediterránea y centro y este de Asia. Aunque algunas especies tienen propiedades medicinales, su principal utilidad la tienen como plantas ornamentales y muchas de ellas, por su tolerancia a vivir en suelos arenosos y salinos, soportando los vientos marinos (Shreve and Wiggins, 1964; Wiggins, 1980; Carpenter, 1998 y Hart, 1999; López y Cáceres, 2001; Villareal, 2002).

La fórmula floral es el conjunto de símbolos, letras y números que representan las características de una flor, es así que para escribirla se sigue una secuencia definida, más o menos equivalente a la disposición de los verticilos florales, de ahí que la fórmula floral sea una forma práctica de representar los caracteres de la flor, sirve para distinguir familias, subfamilias y hasta géneros de grupos taxonómicos complejos (López y Cáceres, 2001; Villarreal, 2002).

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1. Ubicación del área de estudio.

El trabajo se desarrolló en la zona federal del ex-lago de Texcoco, la cual se ubica en una planicie con altitud de 2200 msnm, latitud N 19° 22' y 19° 27', longitud W 98° 54' y 99° 03', con clima semiseco, verano fresco y lluvioso, e invierno con un total de lluvias menor al 5% del total anual.

2.3.2. Colecta e identificación de material vegetativo.

Derivado de observaciones de campo efectuadas en barreras rompevientos y plantaciones de tamarix, surgió la interrogante de cuál es la especie de tamarix que se encuentra establecida en forma masiva en los terrenos del vaso del ex-Lago de Texcoco, situación que propició el llevar a cabo una revisión de la identidad taxonómica de las tres especies Tamarix que se encuentran establecidas en la zona federal, dos de las cuales presentan un comportamiento anual, mientras que la restante es de tipo perenne. La identificación de especies de Tamarix en el ex-lago de Texcoco es muy importante porque esta información se utilizará para planes futuros de forestación o replantación.

Para llevar a cabo este trabajo se consideraron dos fases. La primera de ellas consistió en la colecta de material en estudio, y la segunda en realizar una identificación en laboratorio del material colectado.

Colecta de material: se llevaron a cabo tres muestreos en el ciclo estacional primavera-verano del año 2005, cada uno de ellos compuesto por tres ejemplares para cada una de las diferentes especies. Inicialmente la identificación de las especies en campo fue de forma visual. Los ejemplares colectados y protegidos con papel periódico, fueron obtenidos de las barreras rompevientos y plantaciones establecidas en diferentes sitios de la zona federal, cuyos individuos en su mayoría se encontraban en la fase de floración.

El primero y segundo muestreos se realizaron en las barreras rompevientos, establecidas en canales principales para riego (conducción) y el tercero, y último, además en plantaciones compactas de tamarix bien establecidas en diferentes sitios de la zona federal del ex-Lago de Texcoco y de edad diferente (Figura 2). Los ejemplares colectados en cada caso, estuvieron compuestos por una porción de tallo, follaje y flores; estos últimos componentes sólo para aquellos ejemplares que presentaban floración.



Figura 2. Sitios de colecta de muestras de *Tamarix* para identificación taxonómica.

Identificación de material colectado: en el proceso para la identificación de las especies, se contó con el apoyo del personal del herbario del Área de Biología de la Universidad Autónoma Chapingo.

Las muestras colectadas y envueltas en papel periódico, fueron entregadas al herbario tal como fueron obtenidas en campo (tallos, follaje y flores), para su revisión, caracterización e identificación botánica, de acuerdo con las claves de identificación que para el efecto existen. Se requirió del mínimo de equipo, que consistió de un microscopio estereoscópico y agujas de disección.

Para evitar inconsistencias en la identificación, también se revisaron ejemplares de herbario existentes en el Colegio de Postgraduados (CP), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) y el propio herbario de la Preparatoria Agrícola en la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), lo cual permitiría corroborar la identificación a que se llegara, siempre que hubiese ejemplares con características semejantes a los colectados.

La estructura básica que se empleó para la identificación de las especies fue la flor, componente que permite encontrar las mayores similitudes entre los individuos que se agrupan dentro de una misma especie. Así y dada la importancia que reviste la planta de tamarix para los trabajos de forestación y replantación de la zona del ex-Lago de Texcoco, y que se observa mayor presencia de dos de las tres especies establecidas en la zona, fue necesario realizar varias observaciones de las estructuras florales al microscopio, tomando en cada caso flores del principio, de la parte central y del final de la inflorescencia, para corroborar la fórmula floral obtenida en cada una de las porciones.

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1. Identificación de especies.

Antes de presentar los ejemplares del primer muestreo, visualmente se detectó que era probable la existencia de tres especies y no de dos como se había considerado. En una primera revisión efectuada a las estructuras florales, se encontró que las especies eran *T. parviflora*, *T. chinensis* y *T. aphylla*. Esta

identificación preliminar tuvo que ser confirmada, llevando a cabo otros muestreos más, tomando ejemplares tanto de las barreras rompevientos como de las plantaciones compactas. En el caso de la especie *T. aphylla*, por no estar plantada en áreas compactas, su tercer muestreo se efectuó también en barreras rompevientos.

En el proceso de identificación, algunas flores mostraron diferencia numérica de estambres, así como en una estructura que presenta forma de disco (disco floral), en la que se encuentran insertos dichos elementos, situación que desconcertó y que ocasionó que se dudara de la existencia de *T. chinensis*, determinándose en ese momento que se podría tratar de *T. gallica* ó de *T. parviflora*. Ante esta situación y con la finalidad de realizar una identificación correcta de las especies, se optó por seccionar las inflorescencias en cada especie, en tres partes (inicial, intermedia y final), retirando para cada una de ellas varias flores para su revisión y caracterización. Con esto, lo que se pretendió fue que si más del 70% de las flores coincidían en su fórmula floral, se tomaría por correcto lo que arrojarán las claves de identificación botánica.

2.4.2. Descripción de las especies identificadas.

A continuación se hace una descripción de las características de cada una de las especies que se encuentran en la zona, enfatizando para cada una de ellas los aspectos más relevantes.

T. chinensis es la especie de mayor presencia, en las barreras rompevientos, donde además están presentes las otras dos especies. Ésta se ubica en el estrato vegetal intermedio, no así en las plantaciones, donde actúa como el estrato superior dominante. En las barreras rompevientos, el arbusto se encuentra establecido en la parte interna (talud) de los canales de riego, y en las áreas compactas, las que en su mayoría cuentan con una preparación a partir de bordos, se ubica en la parte denominada costilla, es decir en ambos taludes del

bordo. Esta especie presenta alturas promedio de 5 a 8 metros, raras veces alcanza los 10 metros, posee inflorescencias en racimos de color blanco, rosa, o blanco-rosada, su corteza es de color café pardo y textura rugosa, su arquitectura es más o menos definida y muestra una alta formación de vástagos o chupones que proceden de la base del mismo. Llegada la temporada de invierno, pierde la mayor parte de las ramas del último periodo de crecimiento y entra en una etapa de reposo. Aunque algunos individuos manifiestan floración a la mitad de dicha estación, su mayor floración se da en primavera. Su principal forma de reproducción es asexual (estaca), debido a la baja viabilidad de su semilla, lo cual no permite almacenarla por cortos, medianos o largos períodos, no obstante presenta un alto porcentaje de germinación.

T. aphylla es el constituyente principal de las líneas o barreras rompevientos en la mayoría de los canales para riego y es el estrato superior dominante, además se pueden llegar a encontrar algunos individuos aislados en las plantaciones de áreas compactas. Esta especie se encuentra establecida en la parte interna (talud) de los canales de riego, y en las áreas compactas se ubica en aquellos lugares donde la humedad es mayor; presenta altura en un rango de 7 a 10 metros, posee inflorescencias en racimos de color blanco, su corteza es de color pardo claro y de textura semirrugosa, su arquitectura es definida, pues presenta de 2 a 4 tallos de gran diámetro (25 a 30 cm.), con ramas articuladas, la producción de vástagos o chupones en la base es escasa. En la estación de invierno, conserva la mayor parte de su ramaje del último período de crecimiento, por lo que se le puede notar como un arbusto siempre verde, lo cual significa que no entra en reposo. Su floración inicia entre las estaciones de primavera y verano, teniendo su mayor manifestación a finales de verano y principios de otoño. Su forma de reproducción es asexual (estaca), ya que se desconoce la viabilidad de su semilla, así como su porcentaje de germinación.

T. parviflora se encuentra en las líneas o cortinas rompevientos entremezclada con las otras dos especies y en las plantaciones convive con *T. chinensis*. En

ambos tipos de plantaciones, esta especie se encuentra formando el estrato vegetal inferior. En los canales está establecida en la parte interna (talud) y en las plantaciones compactas, preparadas con y sin bordos, guarda simetría con el método de plantación. Esta especie tiene una altura no mayores de 3 metros, posee inflorescencias en racimo de color rosa a lila, su corteza es de color pardo y de textura lisa, su arquitectura es indefinida, pues presenta un ramaje denso y desordenado, la producción de vástagos o chupones, es muy abundante. En la estación de invierno, pierde la mayor parte de las ramas del último período de crecimiento y, al igual que *T. chinensis*, entra en una etapa de reposo. La floración, en algunos individuos, inicia hacia finales de la estación de invierno, y tiene su mayor manifestación entre las estaciones de primavera y verano. Su forma de reproducción es asexual (estaca) y también se desconoce la viabilidad de su semilla, así como su porcentaje de germinación.

En concreto, en campo es posible observar que las especies de *Tamarix* presentan una variación de altura de 2.5 a 10 metros, la arquitectura de su ramaje en los diferentes casos no es nada estético, y su porte tiende, siempre, a ser arbustiva, aún cuando alguna de las especies alcance grandes alturas, como es el caso de *T. aphylla*. También se pueden diferenciar por el tipo de follaje y su abundancia o densidad, definiendo éste el tipo de comportamiento vegetativo, tal como lo indican Pedraza (1988), Ortiz (1996), López y Cáceres (2001) y Villarreal (2002).

Con el presente estudio de identificación taxonómica que se llevó a cabo, es claro que desconocer la especie con la que se trabaja, puede conducir a confusiones, ya que se cita de manera genérica –*Tamarix* -, o se hace uso de una mezcla de nombres técnicos validos y convencionales indistintamente -*Tamarix parviflora*, *Tamarix plumosa*, *Tamarix articulata*, *Tamarix chinensis*-. Así entonces, para futuros trabajos en los que se pretenda utilizar material vegetativo de cualquiera de las tres especies, no habrá dudas en diferenciar cual de las especies manifiesta la mejor respuesta a determinado tipo de tratamientos.

En el cuadro 1 se presenta a las tres especies que se cultivan en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, así como otras características propias de cada una de ellas.

Cuadro 1. Especies de *Tamarix* cultivadas en el lecho del ex-Lago de Texcoco

<p>CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA (2)</p> <p>Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Magnoliopsida Orden: Violales Familia: Tamaricaceae Género: Tamarix</p>	<p>PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS DISTINTIVAS (3)</p>
<p>Especie: <i>T. chinensis</i> Loureiro (1) Pino salado arbóreo</p>	<p>Cuenta con 5 estambres, la inserción de los filamentos en el disco floral es: de 1 a 3 se ubican abajo del margen del disco y 2 a 3 sobre el margen del mismo.</p>
<p>Especie: <i>T. aphylla</i> (Linnaeus.) Karst</p>	<p>Cuenta con 5 estambres, la inserción de los filamentos en el disco floral es entre los lóbulos del mismo.</p>
<p>Especie: <i>T. parviflora</i> De Candolle</p>	<p style="text-align: center;">29</p> <p>Cuenta con 4 estambres, la inserción</p>



(1) Obtenido del listado "Relación de Especies SIRE-CONABIO", facilitado por el Comité Estatal de Reforestación del Estado de México; (2) Reino a Género - Hart, 1999; (3) Shreve y Wiggins, 1964; Wiggins, 1980.

2.5. CONCLUSIONES

Las especies de *Tamarix* que se cultivan en la zona federal del ex-lago de Texcoco, corresponden a *T. chinensis* Loureiro, *T. aphylla* (L.) Karst y *T. parviflora* De Candolle.

T. chinensis es la especie predominante en la zona federal, encontrándose entremezclada en las barreras rompevientos establecidas en los canales principales de conducción de agua de riego y dominando en las plantaciones de áreas compactas.

T. aphylla, especie en menor abundancia, se le encuentra dominando en los canales principales de conducción de agua de riego para áreas de pastizal y plantaciones de tamarix. Es una especie que, además, asegura una buena estabilidad de los bordos de los canales de conducción de agua para riego.

T. parviflora es la tercera especie presente en la zona del ex-Lago de Texcoco, y aunque no es dominante dentro de ésta, se le puede encontrar entremezclada en las barreras de árboles de canales principales de conducción de agua de riego, así como en las plantaciones de áreas compacta. En ambos casos, se le encuentra como un estrato vegetal inferior, lo que la ubica como una especie absolutamente arbustiva.

La identificación taxonómica que se realizó de las especies de *Tamarix* que están presentes en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, facilitará la utilización de la especie en futuros trabajos, cuya implicación tenga relación con su contribución en zonas de rescate o restauración.

2.6. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO

Carpenter, A.T. 1998. Element Stewardship Abstract for *Tamarix ramosissima* Ledebour, *Tamarix pentandra* Pallas, *Tamarix chinensis* Lourerio, *Tamarix parviflora* De Candolle, Saltcedar, Salt cedar, tamarisk: scientific Names

- (Gname). The Nature Conservancy, Wildland Weeds Management and Research, 124 Robbins Hall, University of California, Davis. USA. 39 p.
- Cortes, B. F. 1980. Histología Vegetal Básica. Primera edición en español. Editorial H. Blume ediciones. Madrid, España. 179 p.
- Cronquist, A. 1977. Introducción a la botánica. Segunda edición. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. 848 p.
- Cronquist, A. 1980. Botánica básica. Segunda impresión. Editorial. C.E.C.S.A. México, D.F. 587 p.
- Espinosa G., F. J., J. S. Blanco, E. M. Medina, y C. S. Blanco. 2003. Malezas introducidas en México (Informe final del Proyecto U024) Universidad Autónoma de México – Centro de investigaciones en Ecosistemas. México, D.F. 25 p.
- Flores L., E., E. M. Jiménez, y A. LL. Villalpando. 1993. Utilización de minivaretas para la propagación intensiva de *Tamarix* sp en el ex-Lago de Texcoco. *In*: III Reunión Nacional de halófitas y manejo de aguas y suelos salinos. Montecillos, México. 13-15 de Mayo de 1993. SARH-CNA-Colegio de Postgraduados. pp: 28-30.
- Font, Q. P. 1953. Diccionario de Botánica. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España. 1244 p.
- García-Pelayo y G. R. 1994. Pequeño Larousse Ilustrado. Editores Larousse, S. A. de C.V. México, D.F. 1663 p.
- Gordon, A. y A. Douglas G. 1977. Biología. Serie Compendios Científicos. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. 368 p.

- Greulach, V. A. y J. E. Adams. 1980. Las Plantas: introducción a la botánica moderna. LIMUSA. Segunda reimpresión. México, D.F. 679 p.
- Hart, J. 1999. Invasive species in the southwest: *Tamarix* sp. (Salt Cedar). 6 p. <http://www.earlham.edu/~biol/desert/index.htm>
- Hartmann, H. T. y D. E. Kester. 1981. Propagación de Plantas: principios y prácticas. Segunda impresión. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. 814 p.
- López, L. A. y J. M. S. de L. Cáceres. 2001. Árboles de España: Manual de identificación—familia Tamaricaceae. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 654 p.
- Ortiz O., M. 1996. Identidad del género *Tamarix* en el área del ex-Lago de Texcoco. Documento de consulta interna en la Gerencia Lago de Texcoco. 3 p.
- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Primera edición. Editorial LIMUSA. México, D.F. 276 p.
- Pedraza C., A. 1988. Establecimiento y evaluación de barreras arboladas con *Tamarix* sp. en suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo-División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 93 p.
- Ríos E., R., R. Noriega, A. G. Cortes y J. B. Izazaga. 1975. Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal. TOMO I. Talleres Gráficos de la Nación. México, D.F. 184 p.
- Shreve, F. and I. L. Wiggins. 1964. Vegetation and Flora of the Sonoran desert. Volume Two. Stanford University Press. Stanford, California. USA. pp: 841-1740.

- Solano V., M. A., E. C. Venegas. y A. LL. Villalpando. 1993. Propagación sexual de *Tamarix plumosa* en el ex-Lago de Texcoco. *In: III Reunión Nacional de halófitas y manejo de aguas y suelos salinos*. Montecillo, México. 13-15 de Mayo de 1993. SARH-CNA-Colegio de Postgraduados. pp: 25-27.
- Valero G., J. 2000. Generalidades sobre los bosques: La Gestión de los Bosques, Protección y Conservación de los Bosques Mediterráneos. 7 p. www.almediam.org/articulos/articulos_032_b.htm
- Villarreal Q., J. A. 2002. Introducción a la Botánica Forestal. Trillas. Primera reimpresión. México, D.F. 151 p.
- Wiggins, I. L. 1980. Flora of Baja California. Stanford University Press. Stanford, California. USA. 1025 p.
- Yépez C., J. y J. L. L., Losano. 1993. Prácticas de acondicionamiento de suelos para la forestación del ex-Lago de Texcoco. *In: III Reunión Nacional de halófitas y manejo de aguas y suelos salinos*. Montecillo, México. 13-15 de Mayo de 1993. SARH-CNA-Colegio de Postgraduados. pp: 100-103.
- Zárraga S., C., M. O. Bustamante, R. F. Olascoaga y C. T. Barrera. 1993. Desarrollo de la metodología de micropropagación de *Tamarix sp.* *In: III Reunión Nacional de halófitas y manejo de aguas y suelos salinos*. Montecillo, México. 13-15 de Mayo de 1993. SARH-CNA-Colegio de Postgraduados. pp: 31-33.

Capítulo 3

ANÁLISIS DE VARIABLES DENDROMÉTRICAS EN *Tamarix chinensis*

Resumen

El estudio de la vegetación arbustiva halófila con fines de mejoramiento ambiental en las condiciones del ex-Lago, da realce e importancia a la especie *Tamarix*, que en otro sentido no la tiene. Utilizando plantaciones de tamarix establecidas en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, de 3, 6, 8 y 10 años, se llevó a cabo una evaluación del crecimiento y desarrollo de la especie, mediante un análisis estadístico descriptivo del comportamiento de las variables dendrométricas altura total de planta, diámetro de copa y sección transversal de tallo (diámetro). Así mismo, utilizando valores porcentuales (relativos) y absolutos de altura de planta, se analizó el crecimiento en por ciento y la posible relación que guarda esta variable con algunos factores climáticos y edáficos. Los resultados indican que la altura de planta fluctúa de 2.24 a 4.60 m; diámetro de copa para norte-sur de 1.77 a 3.26 m y para este-oeste de 1.89 a 3.07 m, y para sección transversal de tallo de 13.19 hasta 65.61 cm², rango de valores que corresponden a las plantaciones de menor y mayor edad, respectivamente. El mayor incremento porcentual en altura lo presentó la plantación de menor edad y el de menor crecimiento la de mayor edad. Para los factores climáticos y edáficos, referenciados a la variable altura de planta, se encontró que el comportamiento de ésta va acorde con los cambios estacionales. La aplicación de prácticas de mejoramiento y manejo para suelos salino-sódicos, así como las características de la especie, han favorecido el establecimiento de la misma, y que entre los beneficios que esta planta aporta, está la adición de materia orgánica, la creación de micro ambientes, el control de partículas suspendidas en el aire, el fomento al arribo, establecimiento, migración y radicación definitiva de diferentes especies vegetales y animales, nativas de la zona y migratorias.

3.1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de las especies vegetales que se encuentran establecidas en una determinada zona, es un aspecto importante a tomar en cuenta para fines de conservación de la biodiversidad y modificación del paisaje.

En el caso de la zona federal del ex-Lago de Texcoco, es de gran importancia y relevancia el conocimiento y estudio de la vegetación arbustiva halófila que se ha establecido bajo sus difíciles condiciones de clima y suelo, porque el manejo del área depende en gran medida de prácticas de vegetación.

En ese sentido, el trabajo de identificación de especies de *Tamarix* del capítulo II que forma parte del presente estudio, es un componente básico para explicar las respuestas en adaptación de tamarix en la zona federal. El siguiente aspecto a revisar sobre la especie más ampliamente distribuida en la zona (*T. chinensis*), está relacionado con su establecimiento y manejo en los suelos salino-sódicos y condiciones climáticas y edáficas, que caracterizan al ex-Lago de Texcoco. La importancia de esta especie halófila, radica en el impacto que puede estar teniendo sobre el mejoramiento del ambiente local o regional, no obstante las condiciones extremas de clima y suelo que presenta la zona de estudio. Se ha logrado establecer una superficie de aproximadamente 1500 ha de plantaciones de tamarix, que tienen diferentes edades y crecimiento, y que se establecieron con prácticas de acondicionamiento y manejo diferentes.

En esta parte del trabajo de investigación se pretende definir qué aspectos de manejo, climáticos y edáficos, están teniendo mayor influencia en el crecimiento y desarrollo de las plantaciones, como una forma de evaluar su establecimiento definitivo en suelos salino-sódicos, como los que aún se encuentran en la zona federal del ex-Lago de Texcoco.

3.2. REVISIÓN DE LITERATURA

3.2.1. Morfología de la planta e interacción de factores ambientales (abióticos).

El cuerpo de una planta terrestre está compuesto de dos partes fundamentales: el sistema radical que sirve tanto para anclar la planta y mantenerla erecta como para absorber del suelo agua y sales minerales, y el sistema caulinar (Martín, 1980). Desde una terminología forestal, Diéguez *et al.* (2003) señalan que las partes que componen a un árbol son cepa, tronco, fuste, copa, ramas y rabeón.

De manera típica las plantas continúan creciendo durante toda su vida y casi no encuentran un límite aparente a su tamaño o, si alcanzan un tamaño restringido, se debe a que en forma continua descartan las partes viejas y añaden nuevas por medio del crecimiento, cuyo evento cuenta con dos aspectos principales: el crecimiento primario, esto es, el crecimiento en longitud de los brotes y las raíces, y el crecimiento secundario, que consiste en el crecimiento en grosor del tallo y de la raíz (Martín, 1980); así entonces, el crecimiento y desarrollo de las plantas forman una combinación de diversos eventos en diferentes niveles, que dan como resultado la producción integral en un organismo (Lira, 2003).

La interacción entre los factores bióticos y abióticos, regula y modifica la respuesta fisiológica de las plantas según el ambiente en que se desarrollan; así, en el medio ambiente aéreo interactúan la temperatura, la radiación global total y la humedad relativa, estos factores primarios afectan la transpiración y el balance energético de las plantas; en contraparte, las propiedades físicas del suelo como textura y estructura, su potencial total de agua y su temperatura, influyen en la disponibilidad de agua y nutrientes para la planta, pues sólo en función de esos factores se lleva a cabo la disfunción de agua a las raíces, y la absorción y translocación de nutrientes a través del tejido conductivo del tallo y las hojas (Lira, 2003).

En la vida de las plantas se reconocen seis factores externos tales como luz, soporte mecánico, temperatura, aire, agua, y nutrientes; con excepción de la luz, el suelo es un agente de aprovisionamiento, en todo o en parte, de todos estos factores, es así que el crecimiento de las plantas depende de una combinación favorable de estos factores y que, cualquiera de ellos, desequilibrado respecto a los otros, puede reducir o casi enteramente impedir el crecimiento de las plantas. De ahí que uno de los factores bióticos relacionados con las características morfofisiológicas de las plantas sea la estructura de la raíz, del tallo y de la hoja, partes fundamentales en todos los procesos de absorción, transporte de agua y transpiración, que inciden directamente sobre su respuesta fisiológica y su comportamiento (Buckman y Brady, 1985; Lira, 2003)

3.2.2. Suelos.

Pritchett (1991), señala que el suelo es una de las principales características del hábitat que influye en el crecimiento de las plantas, aunque no es más que uno de los diversos factores ambientales que controlan la distribución de los tipos de vegetación, y en determinadas circunstancias puede ser de máxima importancia. Así mismo, menciona que algunas propiedades físicas, químicas y biológicas que son características de los suelos forestales, difieren de las de los suelos cultivados, por lo que no es raro observar que algunos de los sitios altamente productivos en materia forestal son muy malos para uso agrícola. Este mismo autor menciona que los factores ambientales que afectan el desarrollo de los suelos, también influyen en el tipo de comunidades vegetales que se desarrollan en un área determinada; es decir, que las propiedades de los suelos desarrollados bajo condiciones determinadas influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que propiedades como la textura, temperatura, pH y disponibilidad de nutrientes, relaciones de humedad y relativas al material parental, son igualmente importantes.

Allison *et al.* (1990) mencionan que el contenido de sales arriba del cual el crecimiento de las plantas es alterado, depende de ciertos factores, entre los cuales están la textura, la distribución de sal en el perfil, la composición de la sal y la especie vegetal. Estos mismos autores señalan que al tratar de evaluar la relación vegetación-suelo, es importante tener una medida de las sales solubles presentes en un suelo, aunque éstas son necesarias para el crecimiento de las plantas hasta que se traducen en un factor negativo, a menos que se trate de vegetación halófitas. Por su parte Mota (1980), menciona que aún cuando el problema de la salinidad es creciente, existen unos cuantos grupos de plantas superiores que pueden soportar condiciones de salinidad, tal es el caso de las plantas halófitas, identificadas como aquellas especies que crecen y completan su ciclo de vida en hábitats con un alto contenido de sales, reservando este término únicamente para plantas que aparecen en hábitats salinos específicamente y en forma constante.

3.2.3. Suelos salino-sódicos.

Los suelos salinos y salino-alcálicos con pH relativamente bajo influyen desfavorablemente a las plantas, debido a su alta concentración de sales solubles propiciando la plasmólisis, que aumenta con la concentración de sales en solución. La naturaleza de la sal, la especie y aun la individualidad de la planta, así como otros factores, determinan la concentración a la cual el individuo sucumbe. Las condiciones físicas adversas, especialmente de los suelos salino-alcálicos, pueden ser también un factor determinante. Los suelos alcálicos, dominados por sodio activo, ejercen un efecto desfavorable sobre las plantas en tres maneras: (1) la influencia cáustica de la alta alcalinidad inducida por el carbonato y bicarbonato sódico; (2) la toxicidad del bicarbonato y otros aniones, y (3) los efectos adversos de los iones de sodio activo sobre el metabolismo de las plantas y su nutrición. Respecto al suelo se debe considerar la naturaleza de las diferentes sales, sus proporciones, su concentración total y su distribución en el solum; la estructura del

suelo y su drenaje y su aireación son también importantes (Buckman y Brady, 1985).

3.2.4. Mejoramiento de suelos salino-sódicos.

Hay tres formas generales en las cuales las tierras salinas y alcalinas pueden utilizarse evitando, por lo menos parcialmente, efectos desfavorables a las plantas. La primera es la extirpación (subdrenaje, lavado o inundación, y separación); la segunda es una conversión de algunas de las sales a formas menos peligrosas (uso de yeso para cambiar carbonatos alcalinos cáusticos en sulfatos; el azufre después de su oxidación, retiene ácido sulfúrico que cambia el carbonato en sulfato y también reduce la intensa alcalinidad), y la tercera es un control (retardado de la evaporación; riegos ligeros; tiempo de riego; cultivos resistentes; uso de estiércoles) (Buckman y Brady, 1985).

3.2.5. Tolerancia de las plantas a la salinidad.

La tolerancia de la plantas, interpretada como la capacidad para crecer satisfactoriamente sobre suelos salinos, depende de un cierto número de factores correlacionados como la constitución fisiológica de las plantas, su estado de crecimiento y sus hábitos radicícolas (Buckman y Brady, 1985); de ahí que se continúen realizando estudios relativos a la resistencia o tolerancia de las plantas al problema de las sales, cuyo efecto se ve reflejado en menor o mayor grado en el crecimiento y desarrollo de las mismas, dependiendo de cuál es la finalidad de su aprovechamiento (consumo, industrialización, protección, etc.) (Loustau *et al.*, 1994; Jacobsen *et al.*, 1997; Mounsiif *et al.*, 2002; Villa y Valencia, 2004)

3.2.6. Mediciones de las variables dendrométricas.

Generalmente, la medición de las variables de un árbol se realiza con el objeto final de estimar el volumen y el crecimiento de la masa forestal (por agregación de

los volúmenes y crecimientos de los árboles individuales), para la asignación de calidades de estación, para la realización de modelos de simulación del estado de la masa, etc.

Dentro de las variables que presentan mayor interés para conseguir estos propósitos se encuentran: diámetro (a una altura estándar o a cualquier altura), altura (principalmente total o de fuste), espesor de la corteza, crecimiento diametral, dimensiones de copa, edad.

La manera más sencilla de conocer la forma y el tamaño de la sección del fuste o tronco a una cierta altura es mediante la medición de su diámetro, por lo que éste se considera una medición básica en cualquier estudio dendrométrico. No obstante la estimación del volumen de madera, puede resultar por exceso, ya que una parte del volumen corresponde a la corteza, por lo que para evitar este inconveniente se mide el espesor de la corteza y, a partir de él, se estiman los diámetros sin corteza y el volumen real de madera. Cada año se produce un incremento en el volumen del árbol debido a la actividad del tejido meristemático del cambium y al crecimiento en altura. El crecimiento diametral tiene estrecha relación con el crecimiento en volumen.

Otra variable de interés es el tamaño de la copa de un árbol, que está muy relacionado con el volumen y el crecimiento del mismo. Al ser ésta la parte que capta la energía luminosa necesaria para la realización de la fotosíntesis, su medición se utiliza para la posterior cuantificación y modelación del crecimiento del árbol. La variable tiempo, influye de manera determinante en el desarrollo de un árbol o masa forestal, por lo que la edad es otra variable de interés incuestionable en el campo forestal.

Todas estas variables se utilizan porque son sencillas y económicas de medir, y están muy relacionadas con el volumen, el crecimiento y otros parámetros de la

masa forestal, por lo que a partir de ellas se puede estimar estas últimas de forma más o menos sencilla (Diéguez *et al.*, 2003).

Esta terminología, en cierta forma sirvió de apoyo para determinar la metodología más apropiada para obtener la información de las variables morfológicas definidas para el caso del tamarix, especie bajo estudio.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1. Ubicación de las áreas de muestreo.

Las áreas de muestreo se localiza en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, específicamente en las plantaciones que se ubican en los sitios denominados Potrero de Oriente, Oriente II, Caracol y Sosa Texcoco (Figura 3).

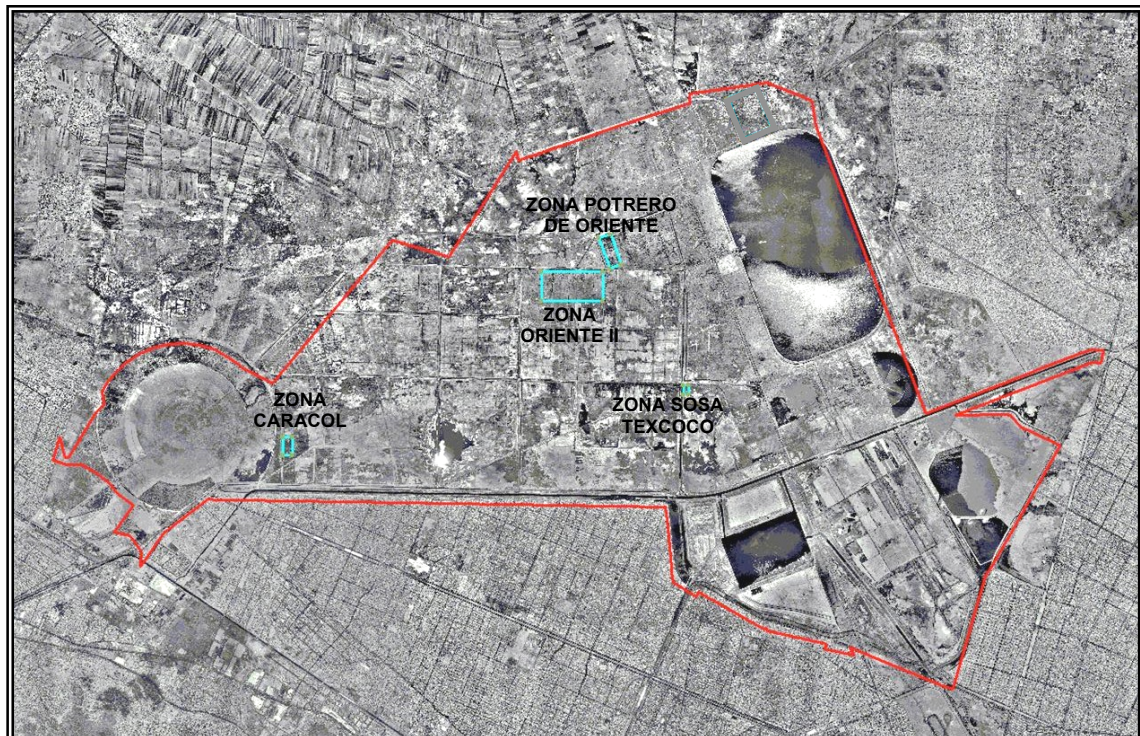


Figura 3. Localización de las áreas de muestreo para variables dendrométricas.

3.3.2. Selección de plantaciones.

Las plantaciones a muestrear, se seleccionaron de acuerdo a la edad, procurando incluir el intervalo de edades existentes, con el objeto de seleccionar muestras representativas. Así, las poblaciones seleccionadas correspondieron a plantaciones de 3, 6, 8 y 10 años, ubicadas en las áreas denominadas Potrero de Oriente, Oriente II, Caracol y Sosa Texcoco, de la zona federal del ex-Lago de Texcoco. En el cuadro 2 se muestran las coordenadas de las plantaciones seleccionadas.

Los materiales y equipo que se emplearon para el levantamiento de la información de campo, fueron: un geoposicionador portátil, cinta métrica, estadal telescópico, brújula manual, vernier digital, pala recta, machete, hojas de registro de campo y materiales para etiquetado e identificación de las unidades de muestreo.

Cuadro 2. Zonas seleccionadas para estudio de variables dendrométricas, ubicadas en la zona federal del ex-Lago de Texcoco.

ZONA DE PLANTACIÓN SELECCIONADA	AÑO DE PLANTACIÓN	SUPERFICIE ESTIMADA DE LA ZONA SELECCIONADA (ha)	COORDENADAS UTM DE LAS ZONAS SELECCIONADAS		
			VÉRTICE	X	Y
POTRERO DE ORIENTE	1995	15	A	502 725.50	2155970
			B	503292.5	2156170
			C	503359.5	2155957.5
			D	502792.5	2155757.5
ORIENTE II	1997	85	A	502125	2157250
			B	502675	2157250
			C	502675	2156100
			D	502125	2156100
CARACOL IV	1999	13	A	499258	2162056
			B	499597	2162056
			C	499597	2161887
			D	499258	2161887
SOSA Texcoco	2002	15	A	500375	2154588
			B	500553	2154588
			C	500553	2154337
			D	500375	2154337

3.3.3. Características de las áreas seleccionadas.

Las condiciones que aún prevalecen en las zonas de muestreo, indican en general que son terrenos heterogéneos con respecto a la topografía, suelo, nivel freático, precipitación, temperatura, diversidad de especies vegetales anuales y calidad de agua.

Es importante mencionar que los suelos salino-sódicos del ex-Lago de Texcoco han estado sometidos a prácticas de manejo y recuperación como: construcción de subdrenaje parcelario, aplicación de mejoradores químicos como yeso agrícola, azufre o ácido sulfúrico, aplicación sucesiva de láminas de agua para el lavado de suelos (sales), la combinación de los tres ya mencionados. Además de barbecho, rastreo y surcado para el cultivo especies agrícolas anuales, formación de melgas para la plantación de pasto salado o tamarix, nivelación de terrenos para control de la micro topografía y aplicación de riego rodado, construcción de bordos para plantación de tamarix y control de la salinidad, entre otras prácticas, las cuales han propiciado un mejoramiento en las características del suelo. Todo ello al parecer ha repercutido en una mejora de las condiciones ambientales locales.

3.3.4. Diseño del muestreo (*Definición de las unidades de muestreo*).

Dado que el trabajo se desarrolló en las plantaciones de tamarix ya establecidas y de diferentes edades, la definición del tamaño de la unidad observacional o de muestreo para la obtención de datos de las variables a evaluar, fue un aspecto importante.

Para fines de muestreo, se partió de que para la forestación de áreas en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, éstas deben tener una cobertura de pasto salado de aproximadamente el 80%; áreas que previamente son acondicionadas (barbecho, rastreo y formación de bordos o melgas) y posteriormente plantadas en diseño tres bolillo. Cabe señalar que las plantaciones reciben un mínimo de

manejo, básicamente riegos, los necesarios, a fin de favorecer el establecimiento del tamarix, buscando con ello una rápida contribución en la mejora de las condiciones ambientales de la zona de influencia del ex-Lago de Texcoco.

Estos aspectos sirvieron para buscar e implementar la técnica de muestreo que permitió seleccionar el sitio final, y ubicar dentro de éste, las unidades de muestreo u observacionales. Así, se procedió a la adaptación de la técnica denominada Muestreo Aleatorio por Conglomerados en dos Etapas (MAC2). Con la finalidad de conocer más ampliamente sobre las consideraciones para la aplicación de la metodología MAC2, en el Apéndice A de este capítulo se expone el desarrollo de ésta metodología para las plantaciones de tamarix en el ex-lago de Texcoco.

Primero se considero que cada plantación es un conglomerado de cuadros de 100 m x 100 m. Concretamente, el procedimiento para la obtención del número de unidades de muestreo y el número de árboles, dio dos soluciones, pues implicó la solución de una ecuación de segundo grado. La única que tuvo sentido para el problema es la de $m = 0.06$ cuadros, con signo positivo, lo que en términos prácticos realmente significa tomar $m = 1$ cuadro de 100 m x 100 m por cada 10 cuadros de plantación (10 ha), tomando en cada una $\bar{n} = 5$ árboles para el estudio (Yamane, 1967; Gómez y Gómez, 1984; Scheaffer *et al.*, 1987; Corona, 2006).

A partir de la metodología de muestreo, se establecieron 9 sitios (Potrero de Oriente, Oriente II-A, Oriente II-B, Oriente II-C, Oriente II-D, Oriente II-E, Oriente II-F, Caracol y Sosa Texcoco), en cada uno de los cuales quedaron, también, definidas las cinco unidades de muestreo u observacionales.

3.3.5. Variables de muestreo.

Para comprender el comportamiento general de las plantaciones de tamarix, en las condiciones climáticas y edáficas que prevalecen en el ex-Lago de Texcoco,

las variables a evaluar fueron: altura total de planta, diámetro de copa y diámetro de tallos a nivel del suelo.

La altura total de planta se midió apoyando el estadal en la parte basal de la planta, en aquel punto que, a priori, representará el cuello del vegetal. La lectura fue tomada visando la escala del estadal en una posición de sur a norte.

La medición del diámetro de copa, se realizó posicionando en forma horizontal el estadal a la extensión requerida, apoyando sobre éste una brújula portátil, a fin de que las orientaciones fueran siempre norte-sur y este-oeste. En todos los casos, se procuró que la horizontal se ubicara en la parte media de la planta con respecto a la altura, cuidando que las lecturas correspondieran a las orientaciones establecidas.

En el caso de diámetro de tallos, y dado que se trabajó con una planta que no presentaba sólo un eje principal, y para determinar la mejor forma de obtener la información sobre este parámetro, fue necesario realizar una revisión a varios ejemplares en campo, además de efectuar algunas consultas para establecer con claridad el mejor método a seguir. Definido el criterio metodológico para obtener los datos de crecimiento de diámetro para cada uno de los individuos de muestreo, empleando un vernier digital se procedió a la lectura del parámetro según el número de tallos que presentaba cada unidad de muestreo, procurando en cada medición que la lectura fuese tomada siempre en la misma posición.

Los datos de cada una de las variables morfológicas citadas, fueron concentrados en hojas de campo prediseñadas, los cuales posteriormente se capturaron en un archivo digital (Apéndice B).

3.3.6. Muestreos.

Los muestreos se llevaron a cabo en el período de febrero a agosto del año 2005, realizando un total de cinco tomas de datos (una cada mes) para cada una de las variables en estudio en cada una de las zonas de muestreo definidas, sobre la base de la información de plantaciones proporcionada por la Gerencia Lago de Texcoco.

3.3.7. Análisis estadístico.

A partir de los datos obtenidos para cada una de las variables morfológicas, y de acuerdo al diseño de muestreo (MAC2), el análisis estadístico que se realizó, consistió en la determinación de mínimos, máximos, medias aritméticas y desviaciones estándar; valores con los que se elaboraron cuadros y gráficas relativas al comportamiento del crecimiento de la planta. Cabe señalar, que en el caso de la variable diámetro de tallos, se efectuó la transformación de diámetros para obtener área de sección de tallos ($A=\pi U/r^2$), los que finalmente fueron empleados para el cálculo de los parámetros estadísticos señalados.

3.3.8. Análisis químico de suelos.

En razón de que las plantaciones de tamarix se han desarrollado, principalmente, en asociación con el pasto salado, y por el tipo de suelos que existen en la zona (salino-sódicos) que en cierta forma han cambiado sus características, se realizó un análisis químico, incluyendo la determinación de materia orgánica. Esta parte de análisis químico fue realizada con el apoyo del Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo.

Para llevar a cabo esta parte del trabajo se procedió primeramente a la obtención de cinco muestras simples de suelo en cada zona a dos profundidades (0-15 y 15-30 cm), lo que representó un total de 90 muestras, mismas que fueron sometidas

a un secado, molido y tamizado. Posteriormente y a partir de las muestras simples ya procesadas, para cada zona de muestreo se obtuvieron dos muestras compuestas, una para cada profundidad, obteniendo 9 muestras compuestas para cada una de las profundidades, para el análisis químico final. Estas últimas fueron empleadas para la obtención de los extractos en los que se midieron: pH, conductividad eléctrica (C.E.), %TNa, Na, Ca+Mg, % M.O., carbonatos, bicarbonatos y cloruros.

3.3.9. Información climatológica y de niveles freáticos.

Con el propósito de contar con otros elementos para inferir más acerca del crecimiento y desarrollo del tamarix, se obtuvieron datos climatológicos (temperatura media mensual, precipitación mensual) de la unidad climatológica próxima al área de estudio, que para el caso le correspondió la de Nabor Carrillo. De igual forma, y para dar mayor énfasis a la interrelación de factores edáficos, se obtuvieron datos de nivel freático de los pozos de observación más cercanos a los sitios de muestreo. La información de ambos factores, fue procesada con datos de altura de planta, para observar a través de las gráficas generadas, la interrelación que guardan dichos factores abióticos (clima y suelo) con ésta variable morfológica.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1. Altura de planta.

Los resultados del análisis estadístico, muestran que el promedio de altura total por zona muestreada y para el período de muestreo, va de 2.24 metros para la zona Sosa Texcoco, 2.70 para el Caracol, 2.73 para Oriente II, hasta 4.60 para Potrero de Oriente (Cuadro 3). Variación que bien corresponde, primeramente, a esa diferencia de edad que tiene cada una de las plantaciones, conjuntamente con el manejo que han recibido cada una de las zonas, en mayor o menor intensidad.

Es decir, que el primer valor acredita a la plantación más joven (3 años), y el último a la de más edad (10 años).

Cuadro 3. Promedios de altura total de planta de tamarix, por zona y sitio de muestreo en el ex-Lago de Texcoco, 2005.

ÁREAS DE MUESTREO	EDAD DE LA PLANTACIÓN	PROMEDIOS POR	
		SITIO DE MUESTREO (m)	ZONA DE MUESTREO (m)
POTRERO DE ORIENTE	10 AÑOS	4.60	4.60
ORIENTE II-A		2.17	
ORIENTE II-B		2.68	
ORIENTE II-C		3.34	
ORIENTE II-D	8 AÑOS	2.82	2.73
ORIENTE II-E		2.08	
ORIENTE II-F		3.31	
CARACOL	6 AÑOS	2.70	2.70
SOSA Texcoco	3 AÑOS	2.24	2.24

Los valores promedio obtenidos para las zonas Oriente II y Caracol, muestran una diferencia de crecimiento en altura no demasiado amplia, a pesar de su diferencia de edad que es de dos años. Esto sugiere que hasta cierto grado, las características y condiciones que se tienen en esas dos zonas tienen alguna similitud, como es la dependencia de lluvias para contar con la humedad requerida para sus procesos fisiológicos, además de ser la misma especie. Por otra parte, el promedio más pequeño de la zona de Sosa Texcoco (2.24 m), revela simultáneamente que se trata de plantaciones más jóvenes, y que las condiciones y características del lugar donde están establecidas son diferentes a las anteriores y posiblemente mejores. Los aspectos que favorecen a esta última son las condiciones de humedad seguras que le provee un dren que conduce aguas

negras en forma permanente, así como la densa cubierta de pasto salado que hay dentro de la zona.

Para el caso de la zona Oriente II, por la superficie que abarcó y de acuerdo con la metodología de muestreo, se establecieron en ésta seis sitios de muestreo en comparación a las otras zonas, siendo estos: Oriente II-A, Oriente II-B, Oriente II-C, Oriente II-D, Oriente II-E y Oriente II-F, y para la que el crecimiento en altura de planta fluctuó de 2.08 metros para Oriente II-E hasta 3.34 metros para Oriente II-C. A partir de estos valores y con base al comentario del párrafo anterior, se detecta que sí hay una diferencia en la altura de planta de esta zona Oriente II con respecto a la zona el Caracol (Cuadro 3).

Las diferencias encontradas entre los sitios de Oriente II con respecto al Caracol, permiten identificar dos grupos de altura. Uno que está por abajo del promedio que presenta el Caracol (2.70 m) y el otro que está por arriba de ese mismo valor. El primer grupo se integra, descendentemente, por las plantaciones de Oriente II-B (2.68m), Oriente II-A (2.17 m) y Oriente II-E (2.08m), y el segundo grupo, ascendentemente, por las plantaciones de Oriente II-D (2.82 m), Oriente II-F (3.31 m) y Oriente II-C (3.34 m).

Esta situación que se da en la zona de Oriente II con respecto a la del Caracol, implica que tal vez se tienen dos condiciones, influenciadas en parte por las características heterogéneas que se presentan en la zona tales como la micro topografía que se presenta en varias direcciones, la profundidad del nivel freático que puede llegar a estar muy superficial y las propiedades de los suelos que continúan siendo desfavorables para la vegetación, y por otra, que aun siendo la misma especie, *T. Chinensis*, la manifestación de su crecimiento y desarrollo está en función de las condiciones que existen en el área como el tipo de preparación de terreno para su plantación (surcado, melgado y bordeado), la orientación de ese acondicionamiento en función de la micro topografía, la densidad de plantación (1200 a 1666 plantas) y las posibilidades de riego en cantidad e

intensidad en función de la disponibilidad del recurso; así entonces, se habrán de encontrar individuos con una amplia gama de alturas.

Gráficamente y para cada uno de los sitios de muestreo, se puede apreciar con mucha claridad esa manifestación de crecimiento y desarrollo a través del tiempo, dándose que la forma geométrica o patrón de tendencia de las curvas para los parámetros estadísticos calculados, es similar en cada uno de ellos. A este respecto, y para ilustrar este comentario, obsérvense las figuras 4 y 5, obtenidas tanto para la plantación de menor edad como para la de mayor edad.

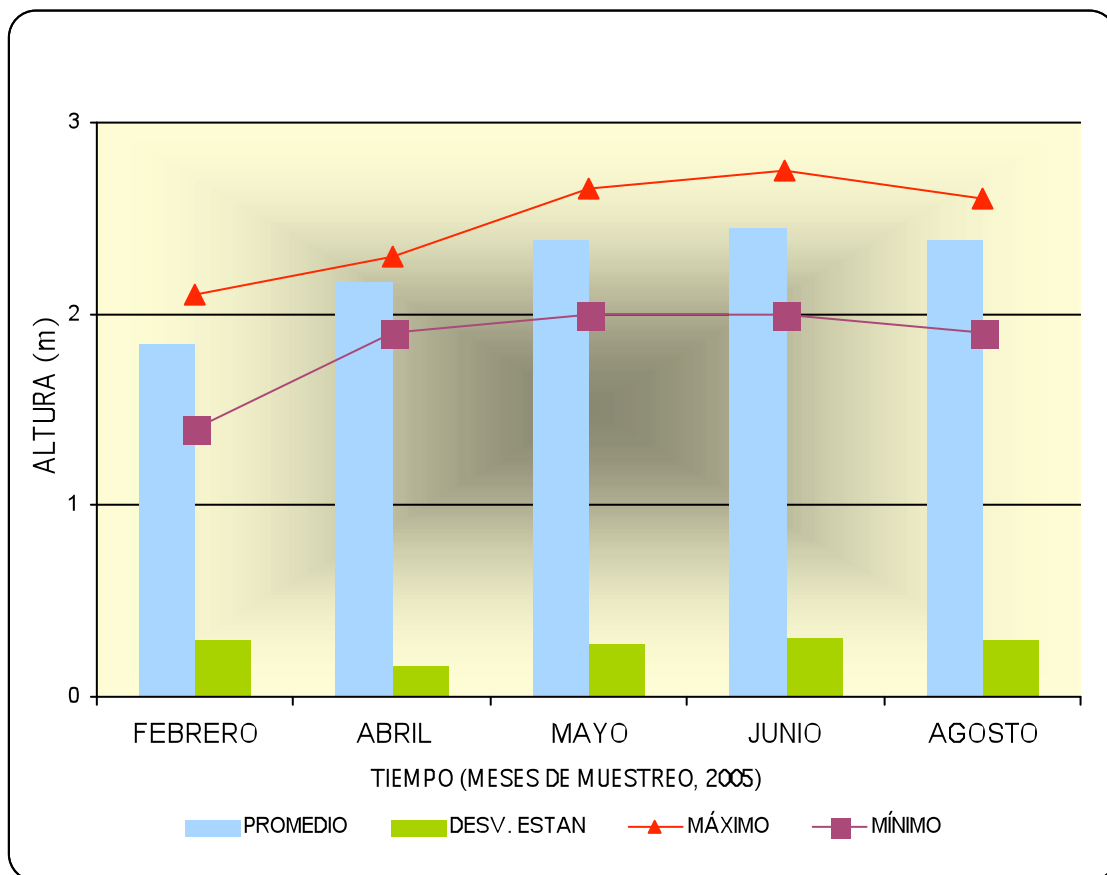


Figura 4. Altura de planta de Tamarix de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco.

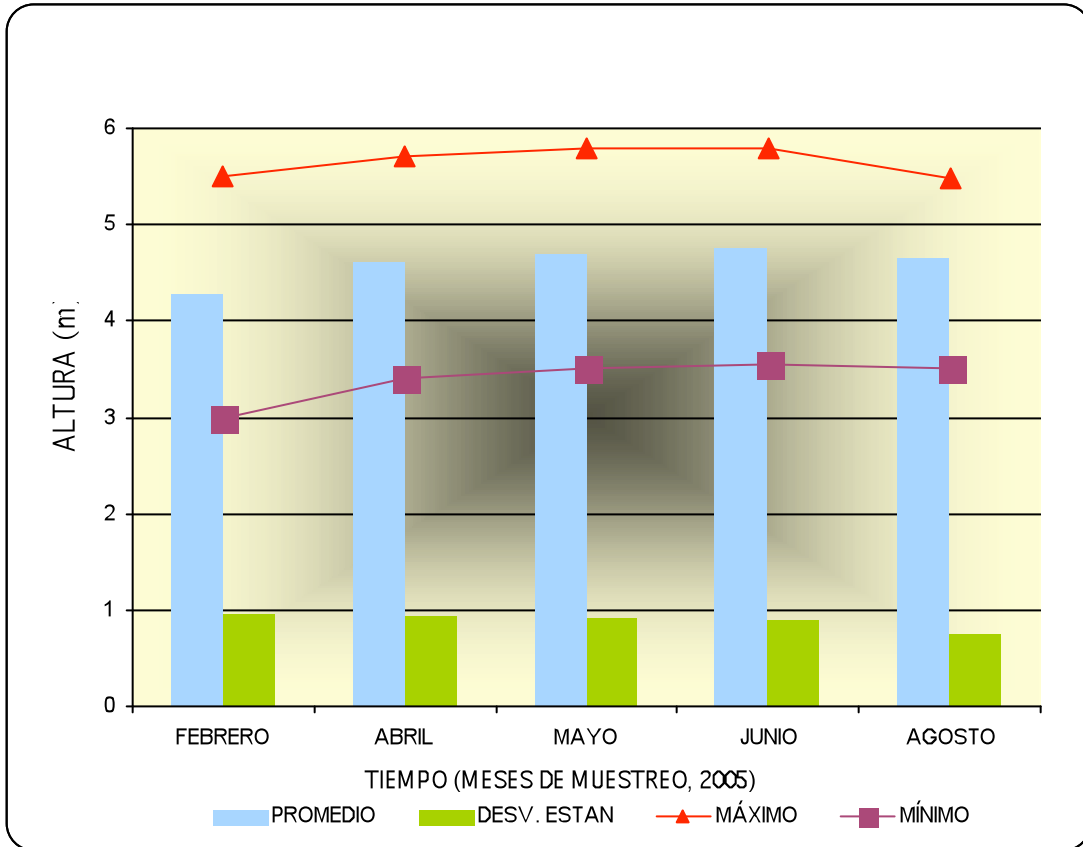


Figura 5. Altura de planta de Tamarix de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente.

El promedio de crecimiento en altura para esta especie, además de mostrar la misma tendencia que las curvas de máximo y mínimo, tuvo su mayor expresión entre los meses de mayo y junio, resultado de las favorables condiciones ambientales de la temporada, aunado esto, al alto grado de adaptación que ha mostrado tener la especie al establecerse en suelos tan problemáticos como los del ex-Lago de Texcoco, así como a las ventajas que han ofrecido todas las prácticas agronómicas para la recuperación de suelos salino-sódicos (subdrenaje parcelario, aplicación de laminas de lavado, aplicación de mejoradores).

El decremento en altura que se observa en el último mes, al parecer es una manifestación de la pérdida de rigidez de la porción más alta (punta) del tallo dominante, lo cual puede significar entre otras cosas, la respuesta de la planta a

los cambios de las condiciones climáticas de la temporada (niveles de humedad ambiental bajos, altas temperaturas, etc.), consecuentemente hay una reducción en la actividad de los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta, y posiblemente, el inicio de preparación del arbusto para la etapa de reposo.

3.4.2. Diámetro de copa.

El análisis estadístico muestra que el promedio de crecimiento de diámetro de copa para las zonas muestreadas, y de acuerdo a la orientación definida, son para norte-sur de 1.77 a 3.26 metros, y para este-oeste de 1.89 a 3.07 metros (Cuadro 4). Variación que se explica por la diferencia de edades de las plantaciones, tal como se observa para Potrero de Oriente, Oriente II y Sosa Texcoco. Obsérvese, para el caso del Caracol, que aunque fue preparada con bordos y plantada con la misma especie, y con seis años de edad, es la que presenta el menor crecimiento de copa, influenciado, presumiblemente, por las condiciones de humedad que prevalecen en dicha zona, ya que la plantación está más sujeta a la temporada de lluvias.

De los valores promedio obtenidos para las cuatro zonas, se ha diferenciado dos grupos de crecimiento de copa. El primero integrado por las zonas Potrero de Oriente y Oriente II, cuyo crecimiento es más intenso en la orientación norte-sur; y el segundo, por Caracol y Sosa Texcoco, mostrando que su crecimiento es más intenso hacia la orientación este-oeste. Este mismo comportamiento que presentan las plantaciones por zonas, es similar, también, para las plantaciones por sitios, tal como se observa en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Promedios de crecimiento de diámetro de copa en Tamarix, por zona y sitio de muestreo, en dos orientaciones, 2005.

SITIOS DE MUESTREO	EDAD DE LA PLANTACIÓN	PROMEDIO DE DIÁMETRO POR SITIO Y ORIENTACIÓN (m)		PROMEDIO DE DIÁMETRO POR ZONA Y ORIENTACIÓN (m)	
		NORTE - SUR	ESTE - OESTE	NORTE - SUR	ESTE - OESTE
POTRERO DE ORIENTE	10 AÑOS	3.26	3.07	3.26	3.07
ORIENTE II-A		1.59	1.64		
ORIENTE II-B		1.59	1.64		

Cabe señalar que es posible que dichos grupos de crecimiento de copa estén influenciados por la micro topografía, que determina la preparación del terreno (tipo de preparación, orientación, profundidad, etc.), y el grado de mejora que han alcanzado los suelos por las prácticas de mejoramiento aplicadas (subdrenaje, mejoradores químicos, lavado de suelos, aplicación de riego, etc.).

No obstante la diferencia de tres años de edad entre las plantaciones de Caracol y Sosa Texcoco, se observa que la plantación del Caracol muestra un menor crecimiento que la segunda zona (Sosa Texcoco). Esta situación, tiene posiblemente relación con las condiciones que se presentan en cada una de ellas; es decir, que mientras que para el Caracol las condiciones de humedad están determinadas por la temporada de lluvias, para Sosa Texcoco, dicho factor está favorecido por la presencia de un dren cercano a la plantación, que conduce aguas negras de forma permanente, lo que crea en esta última, un nivel de humedad seguro y permanente. Además, la cubierta vegetal es más densa en la zona de Sosa Texcoco que en la del Caracol; en esta última, se observan pequeñas áreas desprovistas de vegetación con afloramiento de sales, lo cual sugiere la presencia de una alta evaporación.

En las Figuras 6 y 7, se puede observar que la forma geométrica o patrón de tendencia de las curvas para los parámetros estadísticos calculados, es similar, independientemente de la orientación de la copa. Este mismo comportamiento, se observó para el resto de los sitios de muestreo.

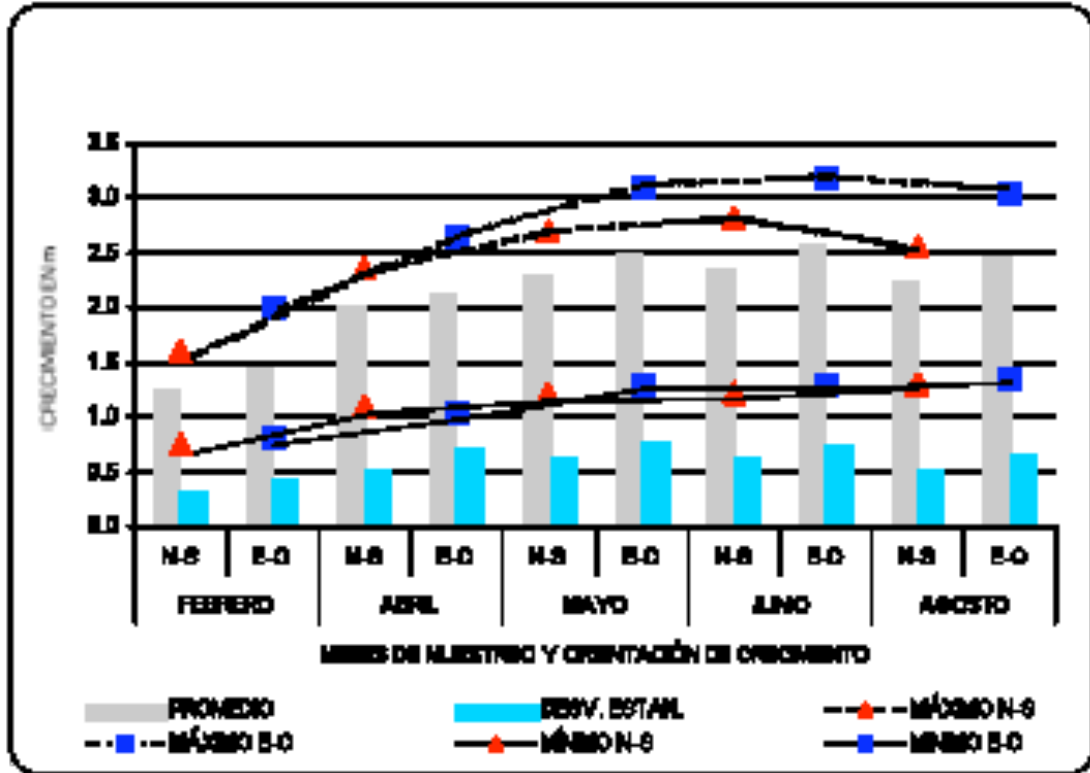


Figura 6. Crecimiento de copa en Tamarix de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco

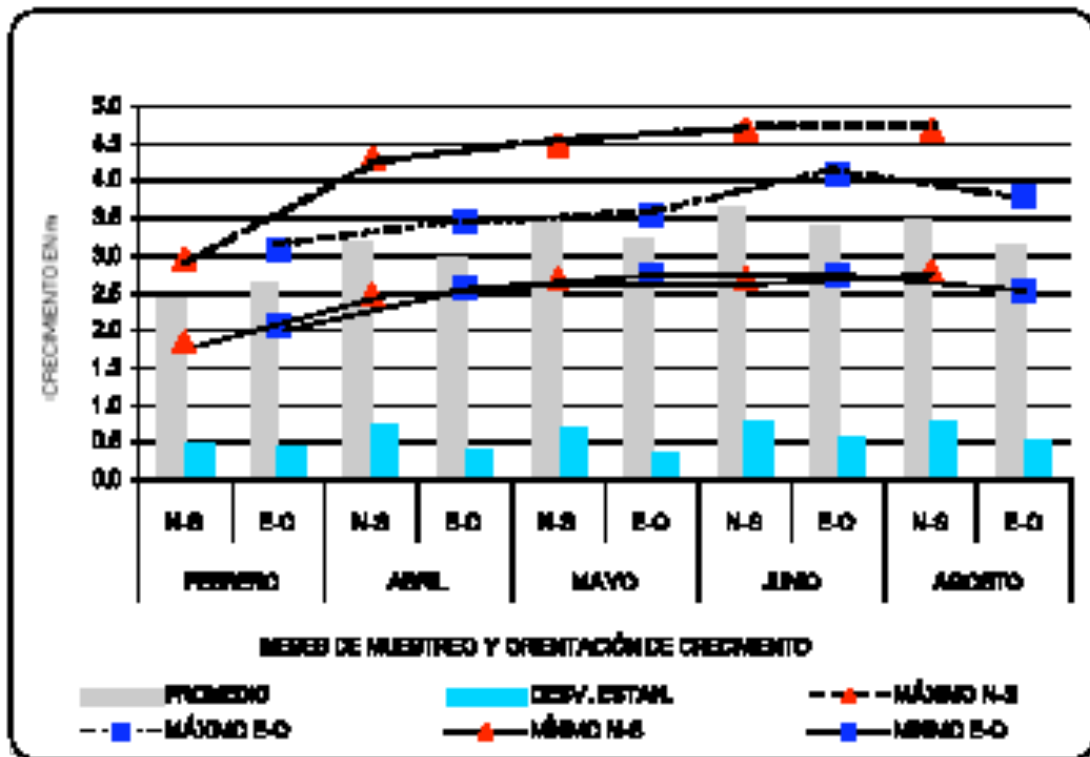


Figura 7. Crecimiento de copa en Tamarix de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente

Como se puede apreciar en las gráficas, el promedio de crecimiento de copa para esta especie tiende a mostrar un fuerte crecimiento a partir del mes abril, tanto en una orientación como en la otra, alcanzando su máximo en junio, y aparentemente un decremento a partir de agosto. Este crecimiento probablemente es resultado de la interacción de varios factores que en orden de importancia pueden ser el grado de adaptación de la especie en suelos tan problemáticos como los del ex-Lago de Texcoco (tolerancia a la salinidad), las ventajas que han ofrecido todas las prácticas agronómicas para la recuperación de suelos salino-sódicos (subdrenaje parcelario, aplicación de laminas de lavado, aplicación de mejoradores), las condiciones de establecimiento de la planta (bordos, melgas o terreno abierto), las favorables condiciones ambientales de la época de lluvias, así como la orientación de la preparación del terreno a la que esta supeditada la plantación.

En el proceso del levantamiento de la información para esta variable, y bajo la premisa de que el crecimiento de la copa, además de estar determinado por la edad de la planta, también está influenciado por las condiciones ambientales y el manejo del área, la mayor influencia estaría dada por la orientación en que fueron hechas las plantaciones. Esto último, determinado por la micro topografía que se presenta en las diferentes áreas de la zona del ex-Lago, factor que se toma en cuenta al momento de la preparación del terreno. Por lo tanto, se esperaba que la zona de Oriente II, que cuenta con preparación de bordos y melgas en dirección a la pendiente dominante, fuera la que demostrara tal afirmación. Sin embargo, y con respecto al comportamiento que muestran las plantaciones de los sitios el Caracol y Sosa Texcoco, parece que dichos factores, y sobre todo la orientación en que fueron realizadas éstas, no tienen mayor efecto del que por si ya ejercen, comparativamente con el que presenta el factor grado de humedad. Es decir, que el crecimiento de copa esta más influenciado por la forma en cómo se provee de

humedad la zona (lluvia, flujo de corrientes), que por la micro topografía que presenta el terreno, que a su vez pudiera haber estado influyendo en la cantidad de luminosidad (factor ambiental) requerida por la planta para su fotosíntesis.

3.4.3. Sección transversal de tallo (diámetro).

En la determinación de cuál tallo medir y cómo medirlo, surgió la interrogante de si el tamarix poseía un tallo principal, ya que en campo se podía apreciar que los individuos poseían muchas ramas de diferente grosor, que provenían de la parte más baja de la planta. Esta característica, que en parte está dada por su reproducción asexual (estaca), tiene su origen en su preparación en vivero al considerarla con dos o tres yemas, con lo cual se busca que en campo las plantas manifiesten igual número de ramas (Figura 8), y que al parecer, es modificado por la alta capacidad de la planta para producir rebrotes o chupones desde la base, algunos de los cuales posteriormente adquieren un mayor grosor.

En el punto que se fijó como el cuello de la planta (Figura 8), se percibe que hay una fuerte actividad meristemática, dado el gran crecimiento que presenta dicha zona. Por lo mismo, a simple vista, no se puede diferenciar tallos de ramas, lo que obliga a retirar tierra y vegetación que lo cubren, para finalmente seleccionar aquellos que son tallos, factibles de ser medidos.



Figura 8. Planta de tamarix proveniente de estaca, establecida en suelos salino-sódicos, que muestra los tallos que posee.

Así, y en razón de que la relevancia de la especie está encaminada a desempeñar un papel ambiental, se considero importante analizar el crecimiento de tallo, no por diámetro de tallo, sino por sección transversal de tallo. Para ello, el promedio de las áreas transversales de los tallos muestreados y con el conteo total de tallos por planta, se cálculo el área transversal de un supuesto tallo único, posteriormente se obtuvieron los parámetros estadísticos ya señalados en el apartado de materiales y métodos (cuadro 5). Cabe señalar, que las diferentes unidades de muestreo poseen un número variado de tallos, desde 1 hasta 6.

Cuadro 5. Transformación de diámetro de tallo (cm) a sección transversal de tallo (cm²), en plantas de tamarix.

SITIO DE MUESTREO POTRERO DE ORIENTE		MESES DE MUESTREO				
		FEBRERO	ABRIL	MAYO	JUNIO	AGOSTO
DIÁMETRO DE TALLO (cm)	PO-1	9.70	10.11	10.44	10.44	10.44
	PO-2	8.80	10.06	10.85	11.07	11.44
	PO-3	5.78	6.96	7.78	7.78	7.78
	PO-4	6.45	8.19	8.53	8.53	8.53
	PO-5	7.05	9.34	9.65	9.86	9.86
SECCIÓN TRNSVERSAL (cm ²)	PO-1	73.92	80.24	85.60	85.60	85.60
	PO-2	60.86	79.55	92.54	96.32	102.73

	PO-3	26.22	38.09	47.49	47.54	47.54
	PO-4	32.65	52.67	57.21	57.15	57.15
	PO-5	39.06	68.55	73.19	76.42	76.36
	Media	46.54	63.82	71.20	72.61	73.88
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS	Desviación estándar	20.10	18.21	18.87	20.08	22.08
	Máximo	73.92	80.24	92.54	96.32	102.73
	Mínimo	26.22	38.09	47.49	47.54	47.54

El análisis estadístico para el parámetro sección transversal de tallo, indica que el promedio de crecimiento de sección por zona tiene un rango de 13.19 cm² para la plantación más joven que es Sosa Texcoco hasta 65.61 cm² para la plantación de mayor edad que es Potrero de Oriente (Cuadro 6). Por otra parte, y de acuerdo con los promedios obtenidos por zona, se tiene que Potrero de Oriente con respecto a las zonas de Oriente II, Caracol y Sosa Texcoco, presentó una relación de crecimiento de 2.8/1.0, 3.0/1.0 y 4.9/1.0, respectivamente. Esto confirma la importancia que tiene el factor edad, sobre todo cuando se trata de individuos de la misma especie establecidos bajo condiciones climáticas y edáficas similares.

Cuadro 6. Promedios de crecimiento de sección transversal de tallo en Tamarix, por zona y sitio de muestreo en el ex-Lago de Texcoco.

SITIOS DE MUESTREO	EDAD DE LA PLANTACIÓN	PROMEDIO DE ÁREA DE TALLO (cm ²)	
		POR SITIO	POR ZONA
POTRERO DE ORIENTE	10 AÑOS	65.61	65.61
ORIENTE II-A		22.91	
ORIENTE II-B		20.52	
ORIENTE II-C	8 AÑOS	31.37	
ORIENTE II-D		28.25	23.28
ORIENTE II-E		13.14	
ORIENTE II-F		25.13	

CARACOL	6 AÑOS	21.65	21.65
SOSA TEXCOCO	3 AÑOS	13.19	13.19

Al igual que en el caso de la variable altura de planta, para esta variable de sección transversal de tallo, se encontró que los valores promedio obtenidos para las zonas Oriente II y Caracol, muestran una diferencia de crecimiento no demasiado amplia, relativamente, a pesar de su diferencia de edad que es de dos años. Esto sugiere, que las características y condiciones que se tienen en cada una de estas zonas tienen alguna similitud, como es depender de la temporada de lluvias, para contar con la humedad necesaria para su actividad fisiológica; además de ser la misma especie. Así mismo, el promedio más pequeño de la zona de Sosa Texcoco (13.19 cm²), manifiesta simultáneamente que se trata de plantaciones muy jóvenes, no obstante que es la zona que probablemente cuenta con las mejores condiciones de humedad. Así, y a partir de estos valores y con relación al comentario hecho en renglones anteriores, y al igual que en altura de planta, se detectó que hay diferencias en el crecimiento de la sección transversal de tallo de la zona Oriente II con respecto a la zona el Caracol (Cuadro 5).

Para la zona Oriente II, en la que se establecieron seis sitios de muestreo (Oriente II-A, Oriente II-B, Oriente II-C, Oriente II-D, Oriente II-E y Oriente II-F) respecto a las otras zonas, el crecimiento de la sección transversal de tallo fluctuó entre 13.14 cm² para Oriente II-E hasta 31.37 cm² para Oriente II-C. La variación en el crecimiento de la sección transversal de tallo para los seis sitios de Oriente II, puede estar señalando la influencia que están ejerciendo las características y condiciones que se tienen en cada uno de ellos, conjuntamente con el manejo que han recibido. Es decir, y aunque la edad de la plantación es la misma, aspectos como la orientación y el tipo de preparación del terreno, la forma en que se realizó la plantación, el grado de cobertura vegetal, la humedad que existe en cada sitio, las prácticas de mejoramiento de suelos aplicadas y la densidad de planta existente, son las causales, además de crear sitios con una diversidad de condiciones, que están influyendo en esas diferencias de crecimiento de la

sección transversal de tallo. Para poder determinar el grado relativo de influencia de cada uno de estos factores sobre el área transversal (y sobre las demás variables de crecimiento), habría que diseñar y realizar experimentos controlados específicos para ese propósito.

Al observar las Figuras 9 y 10, para las plantaciones de mayor y menor edad respectivamente, se nota esa manifestación de crecimiento y desarrollo de la sección transversal del tallo a través del tiempo, observándose que la forma geométrica o patrón de tendencia de las curvas para los parámetros estadísticos calculados, es similar en cada uno de ellas.

Como se puede apreciar en dichas figuras, el promedio de crecimiento de la sección transversal de tallo muestra un incremento considerable al mes abril con respecto al registrado en febrero, lo cual es resultado del cambio de las condiciones ambientales estacionales, que le son muy favorables a cualquier especie vegetal, no siendo la excepción el tamarix. Aumento que, también, ha sido notorio en las variables dendrométricas anteriormente analizadas (altura de planta, crecimiento de copa). En estas mismas gráficas se puede observar, que el crecimiento promedio de sección en las siguientes fechas de muestreo, es acorde al ritmo de crecimiento de la planta, proceso que está bien definido por los cambios progresivos en las condiciones ambientales de la temporada.

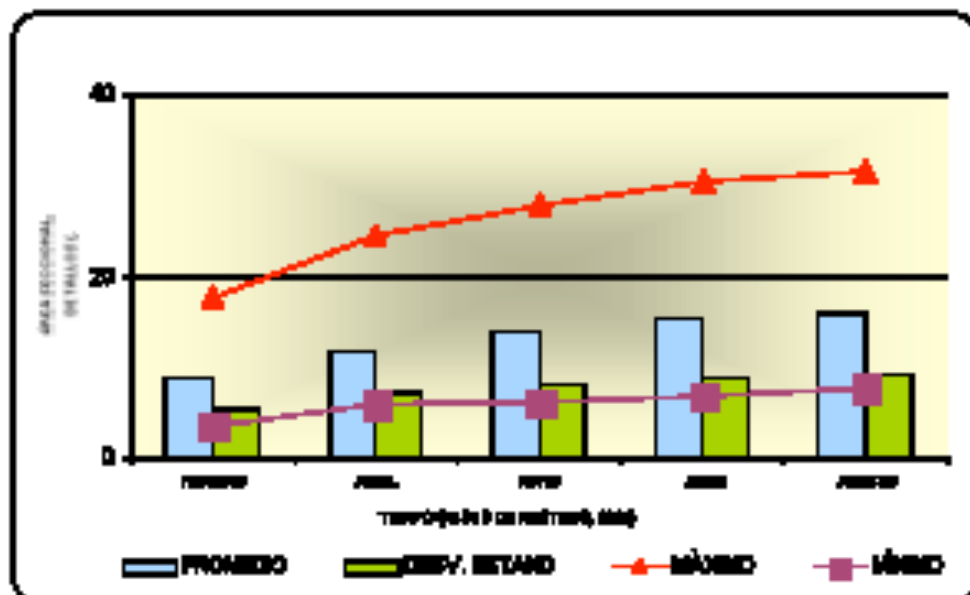


Figura 9. Crecimiento de la sección transversal de tallo en Tamarix de 3 años de edad, sitio Sosa Texcoco.

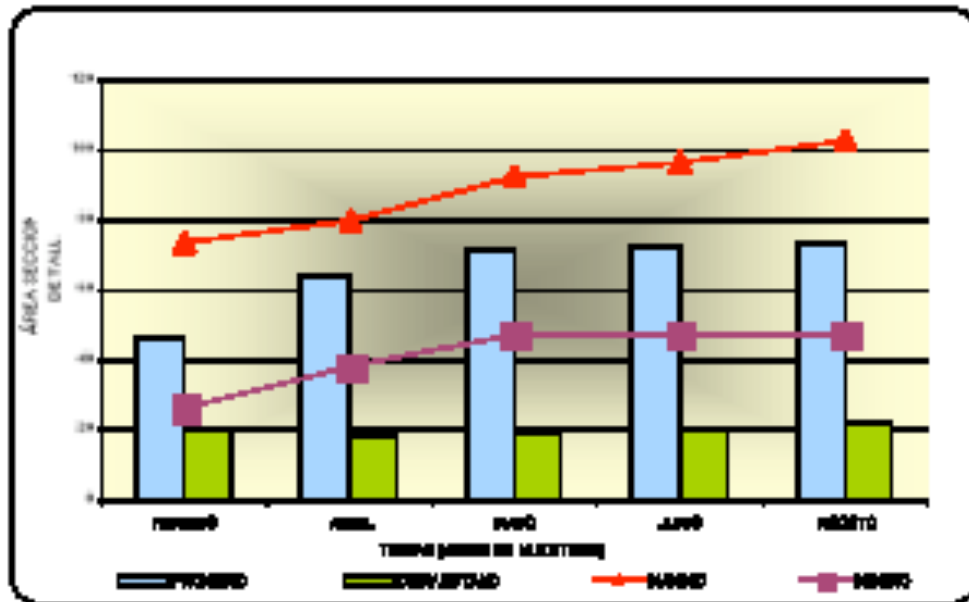


Figura 10. Crecimiento de la sección transversal de tallo en Tamarix de 10 años de edad, sitio Potrero de Oriente.

No dejan de ser importantes las condiciones y características que se tienen en los diferentes sitios de muestreo, ni mucho menos el manejo que han recibido las plantaciones; en otro sentido, las limitaciones físico-químicas de los suelos del ex-Lago, que se han ido mejorando a base de realizar diferentes prácticas agronómicas (mejoradores químicos, drenaje parcelario, acondicionamiento de suelos, lavado de suelos, etc.) y la aplicación de prácticas mínimas de operación (rehabilitación de infraestructura de riego y drenaje, aplicación de riego, preparación de suelos, etc.), han permitido mantener y mejorar, aún más, las áreas ya recuperadas, asegurando con ello el establecimiento de la planta de tamarix, por sus cualidades de halófito. Todo ello permite se pueda valorar el crecimiento de esta planta, a través de ese incremento de sección transversal de tallo.

3.4.4. Efecto de factores climáticos y edáficos con el crecimiento porcentual y absoluto en altura de planta.

Desde otra perspectiva, la valoración del crecimiento y desarrollo de las plantaciones de tamarix, a partir de los datos ya procesados para las variables analizadas, se puede tratar de establecer qué plantación está teniendo mejor comportamiento bajo las condiciones del ex-Lago de Texcoco, o qué interacción se puede estar generando con algunos factores climáticos (precipitación y temperatura) y edáficos (nivel freático), propios de la zona, y que pudieran estar incidiendo más en el establecimiento de una especie vegetal. Lo anterior habrá de permitir la generación de mayor conocimiento sobre el establecimiento y manejo que se le da a esta especie halófito.

Desde ese punto de vista, en las Figuras 11 y 12, y a partir de los valores promedio para altura de planta, transformados en por ciento de crecimiento respecto al primer mes de observación, se analiza cuál de las plantaciones está teniendo mayor crecimiento, y cómo es la interacción con los factores precipitación, temperatura y nivel freático, relacionándolos con valores promedio absolutos para la misma variable dendrométrica.

Las curvas de incremento porcentual para cada una de las plantaciones (Figura 11), muestran un comportamiento aproximadamente sigmoide, teniendo como punto de máximo incremento el mes de junio, con un aparente decremento en agosto. Este último aspecto, ya fue explicado en el apartado de crecimiento en altura de planta. La situación más importante de esta figura, es el hecho de que demuestra que la plantación del sitio de Sosa Texcoco, es la que está creciendo en mayor porcentaje. En contraparte, se tiene que la plantación que está creciendo menos es la de Potrero de Oriente.

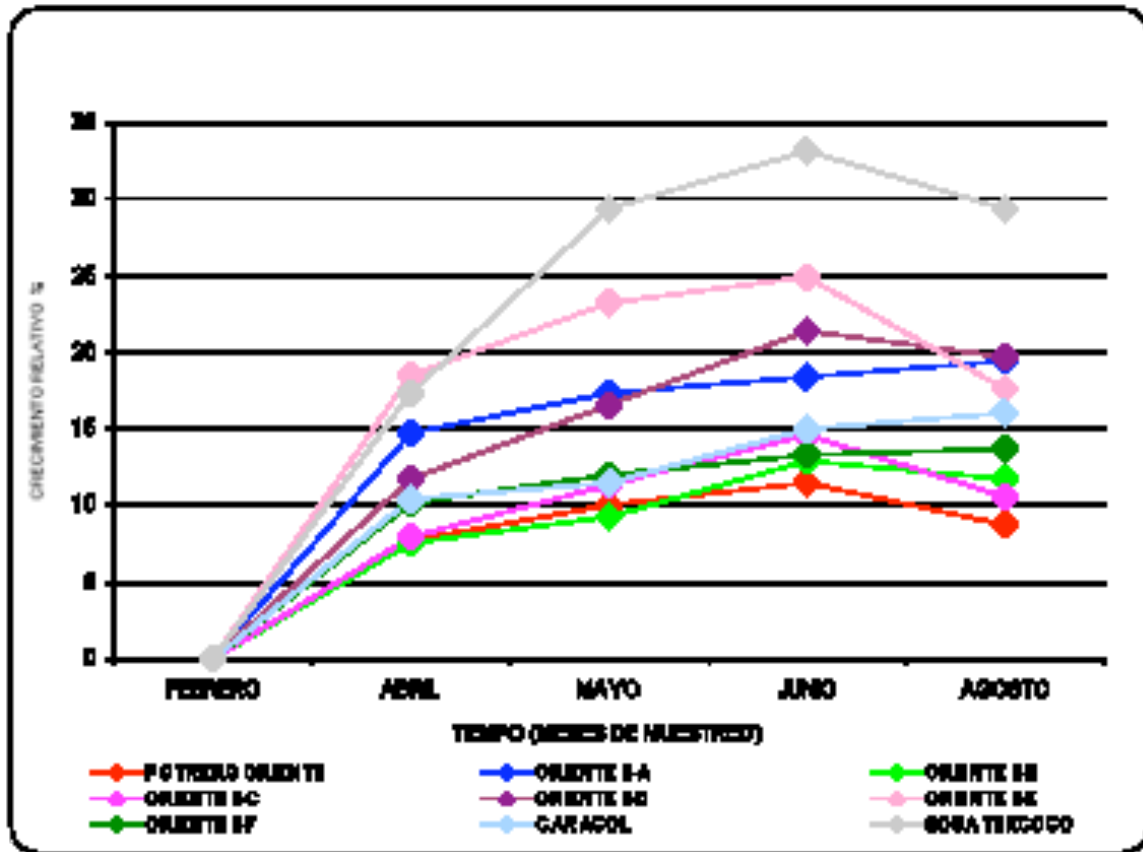


Figura 11. Evolución del crecimiento porcentual de altura de planta en Tamarix.

Entre ambos extremos de crecimiento porcentual, se encuentra el resto de los sitios de plantación, algunos de las cuales presentan mayor incremento (Oriente II-E, Oriente II-D, Oriente II-A), y otros, menor incremento (Caracol, Oriente II-C, Oriente II-F, Oriente II-B).

Esta forma de comportamiento de las plantaciones, sugiere que no sólo la edad de la plantación juega un papel importante en el crecimiento y desarrollo de la planta, si no que las condiciones y características que se tiene en los sitios de plantación, son otro factor que está incidiendo en cierto grado en el crecimiento de la altura de planta. Este mismo comportamiento, es probable que se pueda observar, también, en las otras dos variables dendrométricas, razón por la cual no se abordará más este aspecto.

En cuanto a la interacción que se pueda estar dando entre crecimiento en altura de planta con algunos elementos del clima y el suelo, se puede observar en la Figura 12, que en la medida que hay cambios en las condiciones ambientales estacionales, hay una respuesta inmediata de la planta a esos cambios, tal es el caso de crecimiento en la altura de planta, que al haber un incremento de temperatura y presentarse mejores condiciones de humedad (lluvia), se reactivan los procesos fisiológicos del vegetal, alcanzando su mayor altura en el mes de julio. Por su parte, el nivel freático salino, que puede estar influenciado por las precipitaciones de la temporada, se mantiene operativamente en un nivel de comportamiento (profundidad) que no afecta el crecimiento en altura, y evita simultáneamente que haya efectos negativos en las áreas ya recuperadas, para continuar con el establecimiento y formación de áreas de bosque halófitos.

El control que se ejerce sobre el factor nivel freático, es el resultado de la implementación de algunas de las prácticas agronómicas de recuperación de suelos (subdrenaje parcelario y drenaje general), que ya se han mencionado en párrafos anteriores. Es así, que el grado de manejo que se tenga sobre un área de la zona federal, deberá impactar positivamente en el establecimiento y desarrollo de una cubierta vegetal halófito, que a su vez habrá de coadyuvar a mejorar las condiciones ambientales locales o regionales.

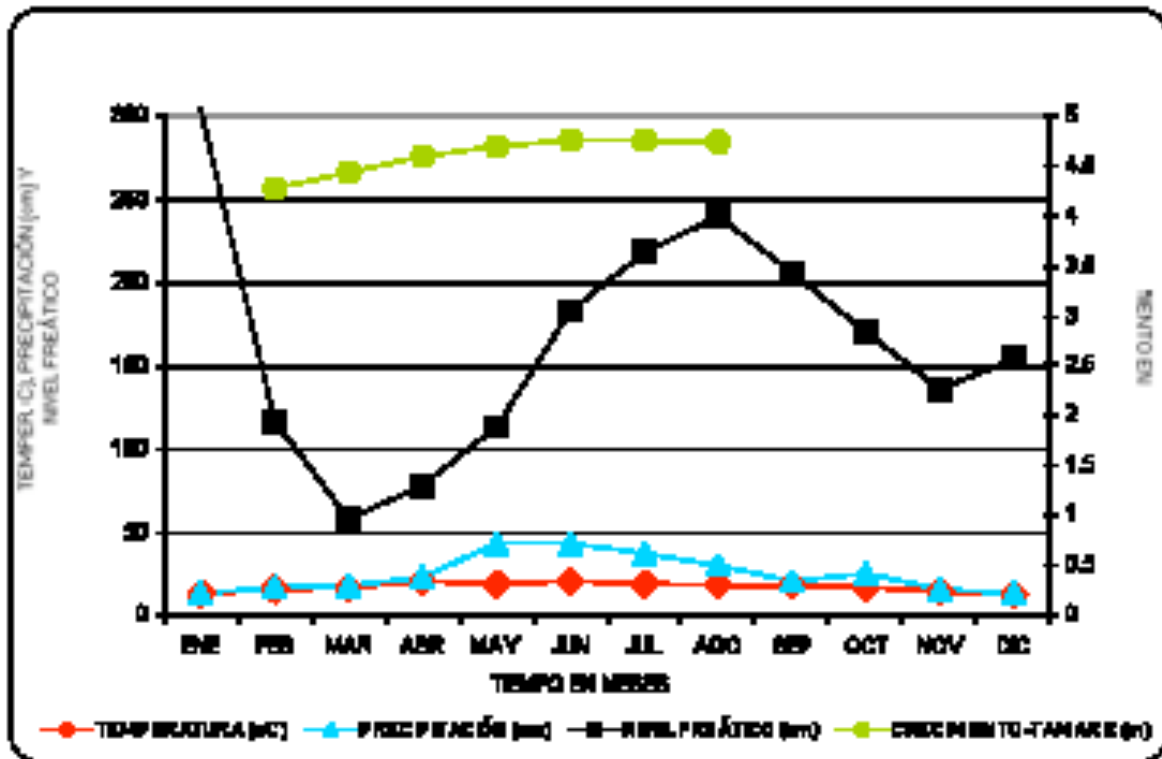


Figura 12. Comportamiento del crecimiento en altura del tamarix, con algunos factores climáticos y del suelo, sitio Potrero de Oriente.

3.4.5. Materia orgánica.

Un aspecto más, que ha despertado el interés por las plantaciones de tamarix establecidas, es la posible aportación e incorporación de materia orgánica (M.O.) a los suelos salino-sódicos del ex-Lago. Sin embargo, al parecer por lo que señalan algunos estudiosos, más bien hay una reincorporación de sales a través de la senescencia de su follaje, resultado del mecanismo fisiológico que posee la planta para cubrir sus requerimientos (agua y nutrientes) en ambientes salinos.

En el Cuadro 7, se presentan algunos valores extraídos de diferentes fuentes, que en su momento se obtuvieron del análisis de muestras de suelo del ex-Lago, así como los obtenidos en los análisis que se practicaron a muestras compuestas de los sitios de muestreo del presente trabajo.

Cronológicamente, la cubierta vegetal en la zona federal, se ha venido estableciendo intensa y paulatinamente desde los años '80, de tal suerte que los datos del Cuadro 7, muestran la posible aportación de materia orgánica que se ha estado dando al paso de los años. Aunque la profundidad de los muestreos de suelo realizados en el presente estudio, difieren de las referencias citadas, comparando los valores de estas profundidades con aquella que más se les asemejan de los años 1976 y 1981, se observa que ha habido un aumento general en el contenido de materia orgánica. Esta situación, parece ser que se ha favorecido por la expansión de la cubierta vegetal, no sólo herbácea, sino ahora también por la arbustiva, que está constituida por la planta de tamarix, principalmente.

De acuerdo a los porcentajes de M.O. obtenidos a partir de los datos de los análisis realizados, y a los valores que manejan algunos autores sobre el contenido del factor en los suelos, para el caso de la zona federal del ex-Lago de Texcoco, se puede decir que los suelos tienen un buen nivel de M.O., al menos en los primeros 30 centímetros de espesor. Para conocer más sobre el contenido de M.O. en los suelos salino-sódicos del ex-Lago y su comportamiento en los estratos inferiores, habría que realizar un estudio detallado, en cual se manejen profundidades en función del espesor de los estratos presentes.

Cuadro 7. Contenido de materia orgánica en suelos del ex-Lago de Texcoco, para diferentes profundidades.

FUENTE	AÑO	PROFUNDIDADES (cm)	% DE M.O.
Manuel Ortega Escobar. <i>Cambios físico-químicos de suelos del Vaso del ex-Lago de Texcoco, sujetos a lavado con diferentes soluciones.</i>	1976	0 – 20	1.25
		20 – 100	3.20
		66	

Es importante tener presente los beneficios que trae la presencia de materia orgánica en un suelo, y que para el caso de los suelos salino-sódicos del ex-Lago, estos pueden ser: disminución de la erosión por salpicamiento de las gotas de lluvia, disminución de la pérdida de suelo por erosión eólica, formación de estructura y estabilización de ésta, infiltración lenta del agua, mayor cantidad aprovechable de agua para el desarrollo de las plantas, reducción de pérdidas de agua por evaporación, producción de nutrientes para el desarrollo de las plantas, y producción de nitrógeno necesario, para la actividad microbiana, entre otros. Cabe señalar, que el contenido de materia orgánica en los suelos del ex-Lago, puede, también, estar influenciado por el tipo de agua para riego, que se emplean en el mantenimiento de las plantaciones (aguas negras crudas).

De todo este análisis para las variables dendrométricas en tamarix, se puede inferir que aspectos como edad de la plantación, condiciones de desarrollo de la planta, características de los sitios de plantación, y aspectos de manejo como prácticas de preparación y acondicionamiento de suelos, prácticas de mejoramiento de suelos, creación de infraestructura para riego y drenaje, riego con aguas negras, diseño de plantación y densidad, son factores que habrán de determinar el éxito del establecimiento de una cubierta vegetal arbustiva, como la que se tiene en pleno crecimiento y desarrollo en la zona federal del ex-Lago de Texcoco.

Por otra parte, los factores ambientales (temperatura y precipitación) analizados en la última parte de este capítulo, y sobre los cuales no se puede ejercer un control, muestran sus efectos como los que ejercen en cualquier otro vegetal que crece y se desarrolla en función de los cambios estacionales, con una pequeña diferencia respecto a esta especie, que por tratarse de una halófito, sus posibilidades de establecimiento en ambientes salinos, son altas, en comparación con cualquier otra especie que no tolera o resiste las condiciones extremas que aun se tienen en la zona del ex-Lago de Texcoco. En cuanto a los factores

edáficos, caso específico el del nivel freático, el cual ha sido posible controlar mediante la construcción de infraestructura de drenaje y subdrenaje, en general, este tipo de acción ha permitido dar un manejo adecuado a los suelos salino-sódicos, lo cual se puede constatar mediante ese crecimiento y desarrollo que presentan las plantaciones establecidas en el ex-Lago de Texcoco.

Por último, las condiciones ambientales (temperatura, precipitación, heladas, etc.) y las características edáficas (topografía, tipo de suelos, salinidad, fertilidad, niveles freáticos, etc.) que se presentan en la zona federal del ex-Lago de Texcoco, y que se han caracterizado de extremas y muy difíciles para el establecimiento de cualquier tipo de vegetación, no han sido limitantes para el Tamarix. Éstas condiciones extremas, principalmente las edáficas, en combinación con las acciones de manejo que se tienen bien definidas (riegos, mejoradores de suelo, subdrenaje, drenaje, preparación de terreno, plantación, etc.), y la habilidad de dicha especie para habitar ambientes salinos, han favorecido el establecimiento de una cubierta vegetal arbustiva, tanto que es posible encontrar dentro de la zona federal micro ambientes, en donde las condiciones ambientales son otras y muy favorables.

3.5. CONCLUSIONES.

Los valores promedio para las variables dendrométricas, altura de planta, crecimiento de copa y sección transversal de tallo, mostraron un comportamiento muy similar entre sí, en su variación en el tiempo.

Las características de la especie, la edad de la plantación y el manejo que han recibido las plantaciones, reflejan claramente las diferencias encontradas en las variables dendrométricas estudiadas, así entonces su crecimiento y desarrollo es directamente proporcional a la intensidad del manejo que se esté aplicando a las áreas.

La implementación y combinación de una serie de prácticas de mejoramiento y manejo de suelos salino-sódicos, conjuntamente con la selección de la especie vegetal adecuada, favorecen el crecimiento, desarrollo y establecimiento de la cubierta vegetal, que además ha de impactar positivamente en la mitigación de partículas suspendidas en el aire.

La formación de bosques con especies halófilas arbustivas en zonas con problemas de salinidad, además de contribuir a la acumulación de materia orgánica, la creación de micro ambientes está fomentando el establecimiento de otras especies vegetales.

Aunque el diseño de muestreo no fue parte central de este trabajo, la aplicación del diseño de Muestreo Aleatorio por Conglomerados en dos etapas (MAC2), cumplió con los requerimientos necesarios. Además, el uso de este tipo de muestreo en grandes poblaciones, permitió seleccionar áreas e individuos representativos en cada una de las edades de plantación, de acuerdo a los recursos disponibles y sin que ello afectara la precisión y confiabilidad preestablecidas.

3.6. REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

Allison L. E., J. W. Brown, H. E. Hayward, L. A. Richards, L. Bernstein, M. Fireman, G. A. Pearson, L.V. Wilcox, C. A. Bower, J. T. Hatcher y R. C. Reeve. 1990. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. LIMUSA. Sexta reimpresión. México, D.F. 170 p.

Buckman, H. O. y N. C. Brady. 1985. Naturaleza y propiedades de los suelos. Traducción al español por R. Salord Barcelo. Editorial UTEHA. México, D.F. 590 p.

- Corona S., T. M. 2004. Diseño de muestras para el estudio del desarrollo de plantaciones de *Tamarix* sp. establecidas en el ex-lago de Texcoco. Inédito. CEMEC. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México. 11 p.
- Diéguez A. U., M. B. Anta, F. C. Dorado; A. D. R. González, M. F. Á. Taboada, J. G. A. González, y A. R. Alboreca. 2003. DENDROMETRÍA. Coedición Fundación Conde del Valle de Salazar–Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 327 p.
- Font Q., P. 1953. Diccionario de Botánica. Editorial Labor, S.A. Barcelona, España. 1244 p.
- García-Pelayo y G. R. 1994. Pequeño Larousse Ilustrado. Editores Larousse, S.A. de C.V. México, D.F. 1663 p.
- Jacobsen S. E., A. Mujica y O. Stlen. 1997. Tolerancia de la Quinoa a la sal durante la germinación. Revista de la Facultad de Agronomía U.C.V. Agron. Trop. 48(3): 359-366.
- Lira, S. R. H. 2003. Fisiología Vegetal. Editorial Trillas. Segunda reimpresión. México, D.F. pp: 11-16.
- López, L. A. y J. M. S. de L. Cáceres. 2001. Árboles de España: Manual de identificación–familia Tamaricaceae. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 654 p.
- Loustau, D., S. Crepeau, M. G. Guye, M. Sartore, and E. Saur. 1995. Growth and water relations of three geographically separate origins of maritime pine (*Pinus pinaster*) under saline conditions. Tree Physiology 15: 569–576.

- Martín, R. P. 1980. La Planta Viviente. Sexta impresión. Editorial C.E.C.S.A. México, D.F. 272 p.
- Mota, U. J. C. 1980. Primera reunión nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las plantas útiles del desierto: Las halófitas en el siglo XXI. Monterrey, N. L. 27 al 31 de Enero de 1980. INIFAP-SARH. pp: 495-502.
- Mounsif, M., C. Wan, and R. E. Sosebee. 2002. Effects of top-soil drying on saltceder photosynthesis and stomatal conductance. *Journal of Range Management*. 55:88-93.
- Ortega, E. H. M. 1976. Cambios físico-químicos de los suelos del vaso del ex-Lago de Texcoco, sujetos a lavado con diferentes soluciones. Tesis Maestría en Ciencias. ENA. Chapingo, Estado de México. 108 p.
- Padilla, G. H. 1987. Glosario práctico de Términos Forestales. Primera edición. Editorial LIMUSA. México, D.F. 276 p.
- Pritchett, L. W. 1991. Suelos Forestales: propiedades, conservación y mejoramiento. Grupo Noriega Editores- LIMUSA. Segunda reimpresión. México, D.F. 633 p.
- Scheaffer, R. L., W. Mendenhall, y L. Ott. 1987. *Elementos de muestreo*. Grupo Editorial Iberoamericana, S.A. de C.V. México, D.F. 321 p. [1]
- Shreve, F. and I. L. Wiggins. 1964. Vegetation and Flora of the Sonoran desert. Volume Two. Stanford University Press. Stanford, California. pp: 841-1740.

- Velázquez, L. A. y P. Luna O. 1981. Estudio Agrológico detallado del ex-Lago de Texcoco, Estado de México. Reporte interno. SARH-Comisión Lago de Texcoco. 135 p.
- Villa, C. M. M. y E. A. C. Valencia. 2004. Efectos de la dosis de nitrógeno y la salinidad del suelo en el crecimiento y rendimiento de plantas de chile. Primera Convención Mundial del Chile 2004. Santiago de Chile. 7 p.
- Villarreal, Q. J. A. 2002. Introducción a la Botánica Forestal. Editorial Trillas. Primera reimpresión. México, D.F. 151 p.
- Wiggins, I. L. 1980. Flora of Baja California. Stanford University Press. Stanford, California. 1025 p.
- Yamane, T. 1967. *Elementary sampling theory*. Prentice-Hall. Englewood Cliffs, N.J. USA. 405 p.

APÉNDICE A

DISEÑO DEL ESTUDIO POR MUESTREO

1.1 El **diseño** de un estudio por muestreo **probabilístico**, implica, entre otros aspectos, los siguientes dos principales:

- Elegir o en su caso desarrollar el **procedimiento o esquema** de muestreo apropiado al estudio (la forma de agrupar a los elementos de la población y la de seleccionarlos **aleatoriamente**).
- Calcular el **tamaño de muestra** requerido según las exigencias de precisión y confiabilidad para las estimaciones, y los recursos disponibles.
- En un estudio por muestreo, los objetivos del estudio se traducen y se alcanzan a través de la estimación de ciertos parámetros de la población objeto de estudio. En el presente estudio se está interesado en variables a

medir en cada árbol, tales como altura del árbol, fotosíntesis, respiración y otras; estadísticamente, éste interés se traduce en estimar la media poblacional μ o la proporción π de árboles que tienen alguna cualidad. Calcular el tamaño de la muestra significa, en MAC2, calcular cuál deben ser m y \bar{n} para un margen de error d y una confiabilidad $1 - \alpha$ requeridas.

1.2 Después de examinar la posibilidad de aplicar algunos *esquemas de selección* alternativos para este estudio, se ha pensado que resulta practicable para las características físicas y de distribución de los árboles en las plantaciones, así como adecuado a los recursos e instrumental con el que se cuenta, el procedimiento que se denomina *Muestreo Aleatorio por Conglomerados en dos Etapas, MAC2*.

En un esquema MAC2, se considera que las unidades de muestreo de la población (u.m., en éste caso cada árbol) están agrupadas en colectivos llamados «conglomerados» en el vocabulario de la metodología del muestreo, de tal modo que si la población (cada plantación) tiene N árboles, estos estarán distribuidos en M conglomerados. Cuando los conglomerados no existen física u concretamente, es posible formarlos lógicamente considerando algún criterio.

Para el caso del estudio de las plantaciones de Tamarix en el ex-Lago de Texcoco, cada plantación -- combinación de niveles de los factores, edad, especie, manejo, etc. -- será considerada una población a muestrear independientemente de cualquier otra, y se le aplicará a cada una el mismo esquema de muestreo, variando sólo el tamaño de la muestra a tomar, según el tamaño de la plantación.

Toda vez que se cuenta con fotografías aéreas y planos de cada plantación, es posible trazar sobre estas cuadrículas con cuadros de 100 m (o de 50) por lado; así, los árboles dentro de cada cuadro formarán un conglomerado.

En este caso, el MAC2 en cada plantación consistirá en: 1. primero seleccionar una muestra completamente aleatoria o aleatoria simple MSA, de $m < M$ cuadros (conglomerados) dentro de cada plantación, y 2. enseguida, dentro de cada uno de los m cuadros seleccionados en el primer paso, seleccionar una muestra completamente aleatoria de n_i árboles, en un sitio cuya forma de selección se abordará enseguida.

La ubicación de cada cuadro seleccionado y la de los árboles en cada cuadro, se puede hacer con ayuda del sistema de posicionamiento geográfico GPS: 1. Se realiza una cuadrícula completa en una fotografía aérea o plano de cada plantación, 2. se numeran los cuadros y se seleccionan al azar los m necesarios para la muestra, 3. se localizan las coordenadas geográficas aproximadas del centro de cada uno de los m cuadros, y se introducen al sistema GPS, 4. en el campo se hace un acercamiento visual a cada cuadro seleccionado y se localiza aproximadamente su centro con la ayuda del satélite, 5. en el centro del cuadro se seleccionan los \bar{n} árboles necesarios por medio de alguno de varios procedimientos posibles que se describen adelante.

1.3 Símbolos del esquema de muestreo.

En un esquema MAC2 es necesario calcular dos tamaños de muestra: el tamaño $m < M$ de conglomerados (cuadros) a seleccionar y el tamaño \bar{n} de la muestra de árboles dentro de cada cuadro.

El cálculo de ambos tamaños de muestra está basado en las siguientes consideraciones para MAC2:

Considérese que en cada árbol se va a tomar el dato de una variable Y . Los valores de ésta variable en cada población son: $y_{i1}, y_{i2}, y_{i3}, \dots, y_{i\bar{N}}$ donde $i = 1, 2, 3, \dots, M$ indica el cuadro al que pertenece la observación, y \bar{N} es la cantidad de árboles en cada cuadro, la cual es, en principio, la misma para todos ellos:

N : total de árboles en la población (plantación): $N = M \times \bar{N}$

M : cantidad de conglomerados (cuadros) en la población.

\bar{N} : cant. de árboles en cada uno de los M cuadros: $\bar{N} = 1600$ aprox.

m : cant. de conglomerados a ser seleccionados, de los M existentes.

\bar{n} : tamaño de muestra de árboles a tomar dentro de cada uno de los m conglomerados seleccionados.

n : tamaño total de muestra en la población: $n = m \times \bar{n}$

μ : la media poblacional de la variable Y (parámetro a ser estimado)

\bar{y} : estimador insesgado de la media μ .

1.4 Cálculo del tamaño de muestra.

Para la estimación de la media μ , se necesita tomar muy en cuenta los siguientes conceptos y consideraciones:

Varianza del estimador $\hat{\mu}$ (Yamane, 1967 y Scheaffer, 1987)

$V(\hat{\mu})$: varianza del estimador \bar{y} de μ , donde, en muestreo MAC2:

$$V(\hat{\mu}) = \frac{M-m}{M} \frac{\sigma_c^2}{m} + \frac{\bar{N}-\bar{n}}{\bar{N}} \frac{\sigma_a^2}{m\bar{n}} \quad (1)$$

σ_c^2 : varianza de Y entre los conglomerados o cuadros.

σ_a^2 : varianza de Y entre árboles.

los demás símbolos ya han sido definidos arriba.

Si se conocieran los valores de $V(\hat{\mu})$, σ_c^2 y σ_a^2 se podría de inmediato conocer m y \bar{n} , con lo cual quedaría resuelto el problema de determinar los tamaños de muestra requeridos, la cantidad de cuadros y la de árboles dentro de cuadros. Pero las cantidades σ_c^2 y σ_a^2 no se conocen toda vez que también son parámetros de la población a estudiar; lo más, es que se tuvieran estimadores de estudios anteriores, lo cual no es el caso (pero nos advierte de la conveniencia de guardar los estimadores que se obtengan en esta ocasión para trabajos posteriores). Sin embargo, el valor de $V(\hat{\mu})$ puede ser propuesto por el investigador, lo que permite desarrollar una metodología auxiliar que conduzca, con base sólo a estimaciones aproximadas dadas por la experiencia sobre los árboles de Tamarix, calcular los valores adecuados para m y \bar{n} .

Pues bien, la varianza $V(\hat{\mu})$ también es igual a:
$$V(\hat{\mu}) = \frac{d^2}{Z_{\alpha/2}^2} \quad (2)$$

Donde,

d : es el «máximo error de estimación» o «margen de error de estimación» que se está dispuesto a cometer al estimar los parámetros del estudio, en este

caso de la media μ . Por lo tanto $d = \max | \bar{y} - \tilde{\mu} |$ permisible. Por ejemplo, si lo que se desea es estimar la media de la variable $Y =$ tasa fotosintética de los árboles de Tamarix en un rodal de cuatro años, y la experiencia indica que el valor de esa media podría estar cerca de $20 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$, entonces se puede aceptar un error máximo de estimación para μ de $d = \pm 3.0 \text{ mg CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$. A menor error de estimación deseado, mayores tamaños de m y \bar{n} serán requeridos y mayor costo del estudio. Si la media que se quiere estimar es el promedio de la $Y =$ altura de los árboles en rodales de cuatro años, y la observación indica que tal media tiene un valor aproximado de 1.8 m , entonces quizás se puede aceptar un margen de error de estimación para μ de $d = \pm 0.15 \text{ m}$.

$1 - \alpha$: es la probabilidad que se desea, de que el error máximo de muestreo sea efectivamente de la magnitud d . Obviamente, esta probabilidad debe ser grande y usualmente se escoge entre 0.80 a 0.99 y se le llama «confiabilidad»; a mayor confiabilidad deseada, mayores tamaños de m y \bar{n} serán requeridos y mayor costo del estudio. La confiabilidad interviene en los cálculos de tamaño de muestra a través del valor correspondiente de la «variable Normal estándar Z ». Un valor de confiabilidad aceptable y no demasiado alto, es $1 - \alpha = 0.9$ al que corresponde un valor de $Z \approx 1.65$

De este modo se tiene un valor para la varianza del estimador $\hat{\mu}$,

$$V(\hat{\mu}) = \frac{d^2}{Z_{\alpha/2}^2} = \frac{3.0^2}{1.65^2} = 3.306 \quad (2')$$

$$V(\hat{\mu}) = \frac{d^2}{Z_{\alpha/2}^2} = \frac{0.15^2}{1.65^2} = 8.264$$

para fotosíntesis y para altura, los cual se pueden insertar más tarde al lado izquierdo de la expresión (1), para seguir adelante en el desarrollo.

La ecuación de heterogeneidad de Smith (Gómez y Gómez, 1984)

La siguiente expresión (3) relaciona el cambio en valor de la varianza V_a por unidad de muestreo (en este caso, árbol) con la varianza unitaria V_c de conjuntos

mayores de unidades, en este caso cada conglomerado o cuadro de la cuadrícula que se haga. Es necesaria para avanzar en la preestimación de σ_c^2 y σ_a^2 . En esta expresión, \bar{N} es la cantidad promedio de árboles que contiene cada cuadro o conglomerado ($\bar{N} \approx 1600$) y K es una constante que depende del grado de heterogeneidad del suelo y cuyo valor será aproximado por medio de un razonamiento que se expone en el proyecto extenso.

$$V_c = \frac{V_a}{\bar{N}^K} \quad (3)$$

Ese razonamiento lleva a obtener una ecuación de segundo grado para m ,

$$m = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} = \frac{(\bar{N} - M - \bar{n}) \pm \sqrt{(\bar{N} - M - \bar{n})^2 + 4 \frac{V(\hat{\mu})}{\sigma_a^2} M^2}}{2 \frac{V(\hat{\mu})}{\sigma_a^2}} \quad (4)$$

con lo que m queda en función de σ_a^2 , la única incógnita, en una ecuación de segundo grado.

Existen varias formas de acceder al valor o a una aproximación del valor de σ_a^2 , cuando no se tiene información directa del mismo; una de ellas es:

Preestimando el máximo y mínimo posible para las variables que se van a observar, y de ahí deducir un valor aproximado para sus varianzas σ_a^2 . Un ejemplo, de cómo hacer esto se expone en el proyecto extenso. Un valor que se obtiene ahí es $\sigma_a^2 = 6.25$

Si se sustituyen todos los valores conocidos en la expresión (4), se obtiene que:

$$m = \frac{(1600 - 10 - 5) \pm \sqrt{(1600 - 10 - 5)^2 + 4 \frac{3.306}{6.25} 10^2}}{2 \frac{3.306}{6.25}} \rightarrow$$

$$m = \frac{1585 \pm 1585.06}{1.06} \approx +2990.6 \text{ y } -0.06$$

Como es de esperar se obtienen dos soluciones y la única que tiene sentido para el problema actual es la de $m = 0.06$ cuadros, con signo positivo, lo que en todo caso realmente significa tomar $m = 1$ cuadro de 100 m x 100 m por cada 10 cuadros de plantación (10 ha). De tener los recursos necesarios, sería conveniente tomar al menos $m = 2$ cuadros, tomando en cada uno $\bar{n} = 5$ árboles para el estudio. Otros cálculos subsiguientes llevan a los mismos resultados.

APÉNDICE B

Parte de los datos levantados en campo, para variables morfológicas de
Tamarix, zona Potrero de Oriente.

MES DE MUESTREO	No. DE PLANTA	ALTURA DE PLANTA (m)	DIÁMETRO DE COPA (m)		DIÁMETRO DE TALLOS (cm)					
			N – S	E – O	1	2	3	4	5	6
FEBRERO	01	3.95	2.90	3.00	7.74	9.83	10.71	10.54	----	----
	02	4.90	2.97	3.10	8.01	8.80	8.96	8.55	9.70	----
	03	4.00	2.10	2.25	4.56	5.42	6.16	6.97	----	----
	04	3.00	2.40	2.70	6.05	6.99	6.31	----	----	----
	05	5.50	1.85	2.05	8.33	5.75	7.07	----	----	----
ABRIL	01	4.20	3.55	3.45	8.96	9.58	10.83	11.06	----	----
	02	5.40	4.30	3.36	9.65	9.50	9.45	10.73	11.00	----
	03	4.30	2.50	2.70	5.51	5.89	6.21	10.25	----	----
	04	3.40	2.60	2.70	6.65	7.73	10.20	----	----	----
	05	5.70	3.10	2.60	9.81	5.81	12.41	----	----	----
MAYO	01	4.30	3.85	3.55	8.91	10.61	11.00	11.25	----	----
	02	5.40	4.50	3.56	9.86	10.02	11.66	11.06	11.68	----
	03	4.50	3.15	3.35	6.79	6.36	7.06	10.89	----	----
	04	3.50	2.70	2.75	7.16	7.87	10.57	----	----	----
	05	5.80	3.25	2.93	9.81	6.32	12.83	----	----	----
JUNIO	01	4.40	4.25	4.10	9.08	9.59	10.66	11.33	----	----
	02	5.45	4.70	3.87	9.29	10.75	11.85	11.58	11.90	----
	03	4.60	3.45	3.35	5.97	6.45	7.19	11.12	----	----
	04	3.55	2.70	2.75	8.59	8.03	6.00	----	----	----
	05	5.80	3.25	2.93	10.21	6.56	12.83	----	----	----
AGOSTO	01	4.60	3.95	3.80	9.08	9.67	10.76	11.36	----	----
	02	5.15	4.68	3.65	9.63	11.53	12.06	11.77	12.19	----
	03	4.50	3.05	2.85	5.97	6.43	7.25	11.19	----	----
	04	3.50	2.90	2.55	8.69	8.17	6.14	----	----	----
	05	5.48	2.80	2.90	10.31	6.61	11.82	----	----	----