



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Inserción de *Cupressus sempervirens* L., *Ficus benjamina* L., *Ficus retusa* L., *Juniperus chinensis* L., *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L. para el establecimiento de la cubierta vegetal en un sitio de disposición final post-clausura “Parque Ecológico Cuitlahuac”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

OSCAR DANIEL CEJA ESPINOZA

DIRECTORA:

BIOL. MARIA DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA



México D.F.

OCTUBRE / 2011



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICADO...

*A mis padres Ignacio y María del Carmen, por todo su cariño, comprensión y apoyo incondicional
que siempre me han brindado.*

A mi hermano Carlos, que nunca me has dejado solo, eres como Thea y ya como Vincent.

A mis hermanas Verónica y Mónica, por que se que siempre contare con ustedes.

*A mis sobrinas Karen, Metzi y Fernanda, que siempre me dieron fuerza para continuar, que con
sola sonreír me alegran la vida, por ustedes puede ser que ilumine las estrellas.*

AGRADECIMIENTOS A...

A mi querida Universidad, cuna de hombres ilustres, que me ha dejado tantas enseñanzas, amigos, alegrías y lecciones de vida inolvidables e invaluableles, es para mí un orgullo y un honor pertenecer a tan noble institución.

Biol. María de los Ángeles Galván Villanueva, por su paciencia, consejos en lo académico y en lo personal que siempre fueron de gran ayuda y sobre todo por no dejarse vencer y ser una gran persona.

M. en C. Germán Calva Vázquez, por su apreciable amistad, consejos y por hacerme ver las cosas desde otra perspectiva.

M. en C. Ramiro Ríos Gómez, por su invaluable apoyo, consejos y enseñanzas.

M. en C. Eliseo Cantellano de Rosas, por sus importantes recomendaciones en este trabajo.

Biol. Raúl Arcos Ramos, por sus meritorias recomendaciones en este trabajo.

Robert, Mago, Pibe, Armando, Güero, David, Cande, Gus, Kikin, Mario, Harvy, Juan, Joshi, Tona y Toño, a todos ustedes que estuvieron con mígo compartiendo muy buenos momentos, gracias "Pranga".

Berenice por todo tu amor, comprensión, apoyo, paciencia, ánimos, fuerza... no me bastan las palabras para expresarte todo lo que siento y significas para mí, sabes que eres mi adoración y lo serás mi vida entera.

Nube, Gris, Benito, Leonel, Susana, Misael y Poblano amigos y miembros distinguidos del laboratorio de contaminación atmosférica.

Izuri por ser mi amiga, por estar con mígo, soportarme y ayudarme siempre.

Cso por compartir tantos buenos y malos momentos y sobre todo por tu amistad.

A mis profesores, amigos y compañeros a todos ustedes por todo lo vivida gracias.

"No solo no hubiera sido nada sin ustedes, si no con toda la gente que estuvo a mi alrededor desde el comienzo; algunos, siguen hasta hoy, GRACIAS... ¡TOTALES!"

G. Cerati.

*Hoy me voy a levantar
y quiero comenzar
un día que no lastime
no tendré que preguntar
¿Por dónde caminar?
no tienen que seguirme*

*El sol me quemará la cara
pero yo no diré nada
porque si alguna vez creí
que nunca iba a salir, ahora sea
que ya no es así.*

*Fueron tantas las mañanas
sin luz en mi ventana
mis ojos no podían verla
noches sin saber de sueño
por miedo a no ser el dueño
de lo que pudiera hacer*

*Y voy curando las heridas
de todas las cosas vividas
pues si otras veces me perdí
queriendo escapar de aquí
ahora se que ya no es así,
ahora se que ya no es así.*

Una eternidad espere este instante y no lo dejare deslizarse en recuerdos quietos.

CONTENIDO.

A4. MARCO TEORICO.....	1
2.1. Marco jurídico.....	1
2.1.1 <i>Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)</i>	1
2.1.2. <i>Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIR)</i>	2
2.1.3. <i>Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF)</i>	2
2.1.4. <i>Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF)</i>	3
2.1.5. <i>Normas Oficiales Mexicanas (NOM)</i>	3
2.1.6. <i>Normas técnicas Mexicanas (NMX)</i>	4
2.1.7. <i>Norma Ambiental del Distrito Federal (NADF)</i>	4
2.2. Residuos sólidos (RS).....	5
2.2.1. <i>Residuos sólidos urbanos (RSU)</i>	5
2.2.2. <i>Residuos peligrosos (RP)</i>	6
2.2.3. <i>Residuos de Manejo Especial (RME)</i>	6
2.3. Generación y composición de residuos urbanos.....	6
2.4. Clasificación de residuos sólidos urbanos.....	8
2.5. Disposición final.....	8
2.6. Métodos de disposición final.....	9
2.6.1. <i>Relleno sanitario</i>	9
2.6.2. <i>Enterramiento controlado</i>	10
2.6.3. <i>Tiraderos a cielo abierto</i>	10
2.7. Clausura.....	11
2.8. Post-clausura.....	12
2.9. Saneamiento de sitios de disposición final.....	12
2.10. Cubierta final.....	13
2.11. Suelo en el que se desarrolla la vegetación.....	15
2.12. Fertilidad del suelo.....	15
2.13. Nutrientos.....	16
2.14. Propiedades químicas y físicas del suelo.....	17
2.15. Tecnosoles.....	18
2.16. Estrés vegetal.....	19
2.16.1. <i>Estrés nutrimental</i>	19
2.16.2. <i>Estrés por salinidad</i>	20
2.16.3. <i>Estrés hídrico</i>	20

2.16.4. <i>Estrés térmico</i>	20
2.17. Biología de las especies.....	21
2.17.1. <i>Cupressus sempervirens</i> L. (1753).....	21
2.17.2. <i>Ficus benamina</i> L. (1767).....	22
2.17.3. <i>Ficus retusa</i> L. (1767).....	23
2.17.4. <i>Juníperus chinensis</i> L. (1767).....	24
2.17.5. <i>Nerium oleander</i> L. 1753).....	25
2.17.6. <i>Thuja orientalis</i> L. (1753).....	26
A5. ANTECEDENTES	27
A6. PROBLEMÁTICA	31
A7. JUSTIFICACIÓN	32
A8. HIPÓTESIS	33
A9. OBJETIVOS	34
7.1. Objetivo General.....	34
7.2. Objetivos particulares.....	34
A10. ZONA DE ESTUDIO	35
A11. MÉTODO	36
9.1. Fase de gabinete.....	36
9.2. Fase de campo.....	36
9.3. Fase de laboratorio.....	39
A12. RESULTADOS	40
10.1. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	40
10.2. Resultados del seguimiento de la plantación.....	43
10.2.1. <i>Parámetros de establecimiento</i>	43
10.2.2. <i>Índice de tolerancia</i>	43
10.2.3. <i>Supervivencia de especies</i>	44
10.2.4. <i>Índice de esbeltez</i>	45
10.2.5. <i>Patrones de crecimiento (altura)</i>	48
10.2.6. <i>Patrones de crecimiento (diámetro)</i>	51
10.2.7. <i>Patrones de crecimiento (cobertura de copa)</i>	54
A13. DISCUSIÓN	57
11.1. Suelo.....	57
11.1.1. <i>Color del suelo</i>	57
11.1.2. <i>Textura</i>	57
11.1.3. <i>Agua del suelo</i>	58
11.1.4. <i>Densidad aparente (DA), densidad real (DR) y porcentaje de espacio poroso (%EP)</i>	59
11.1.5. <i>Conductividad eléctrica (CE_{25C°})</i>	61

11.1.6. pH.....	61
11.1.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	62
11.1.8. Porcentaje de materia orgánica (%MO).....	63
11.2. Plantación.....	64
11.2.1. <i>Cupressus sempervirens</i> L.....	64
11.2.2. <i>Ficus benjamina</i> L.....	65
11.2.3. <i>Ficus retusa</i> L.....	65
11.2.4. <i>Juniperus chinensis</i> L.....	66
11.2.5. <i>Nerium oleander</i> L.....	67
11.2.6. <i>Thuja orientalis</i> L.....	68
A14. CONCLUSION.....	69
A17. RECOMENDACIONES.....	70
A16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
A15. GLOSARIO.....	81
A15. ANEXOS.....	84

CONTENIDO DE FIGURAS Y TABLAS.

FIGURA 1.	Clasificación de los residuos sólidos.....	7
FIGURA 2.	Producción de Residuos Sólidos por actividad de origen y tipo de residuos.....	9
FIGURA 3.	Características generales de un relleno sanitario y celda de confinamiento en proceso de sellado.....	11
FIGURA 4.	Rellenos controlados en diferentes localidades, obras de infraestructura.....	12
FIGURA 5.	Tiradero a cielo abierto del bordo poniente y generación de lixiviados.....	13
FIGURA 6.	Capas de sellado de un relleno sanitario.....	16
FIGURA 7.	Esquema de los nutrimentos esenciales para las plantas.....	18
FIGURA 8.	Esquema del análisis de suelo.....	19
FIGURA 9.	Suelos del Parque Ecológico Cuitlahuac (Tecnosol).....	20
FIGURA 10.	Testigo de <i>Cupressus sempervirens</i> L.....	23
FIGURA 11.	Testigo de <i>Ficus benajmina</i> L.....	24
FIGURA 12.	Testigo de <i>Ficus retusa</i> L.....	25
FIGURA 13.	Testigo de <i>Juniperus chinensis</i> L.....	26
FIGURA 14.	Testigo de <i>Nerium oleander</i> L.....	27
FIGURA 15.	Testigo de <i>Thuja orientalis</i> L.....	28
FIGURA 16.	Imagen satelital del Parque Ecológico Cuitlahuac y parcela experimental.....	35
FIGURA 17.	Consulta bibliográfica de tesis y artículos y en bases de datos.....	36
FIGURA 18.	Toma de muestras de suelo.....	37
FIGURA 19.	Realización de cepas.....	37
FIGURA 20.	Plantación de los organismos y formación del cajete.....	38
FIGURA 21.	Medición del diámetro en <i>Ficus benajmina</i> L., determinación del color de hoja en <i>Nerium oleander</i> L. y riego asistido.....	39
FIGURA 22.	Determinación de color, conductividad eléctrica y % de materia orgánica.....	39
FIGURA 23.	Índice de esbeltez para <i>Cupressus sempervirens</i> L.....	45
FIGURA 24.	Índice de esbeltez para <i>Ficus benajmina</i> L.....	45
FIGURA 25.	Índice de esbeltez para <i>Ficus retusa</i> L.....	46
FIGURA 26.	Índice de esbeltez para <i>Juniperus chinensis</i> L.....	46
FIGURA 27.	Índice de esbeltez para <i>Nerium oleander</i> L.....	47
FIGURA 28.	Índice de esbeltez para <i>Thuja orientalis</i> L.....	47
FIGURA 29.	Altura de <i>Cupressus sempervirens</i> L.....	48
FIGURA 30.	Altura de <i>Ficus benajmina</i> L.....	48

FIGURA 31.	Altura de <i>Ficus retusa</i> L.....	49
FIGURA 32.	Altura de <i>Juniperus chinensis</i> L.....	49
FIGURA 33.	Altura de <i>Nerium oleander</i> L.....	50
FIGURA 34.	Altura de <i>Thuja orientalis</i> L.....	50
FIGURA 35.	Diámetro de <i>Cupresus sempervirens</i> L.....	51
FIGURA 36.	Diámetro de <i>Ficus benjamina</i> L.....	51
FIGURA 37.	Diámetro de <i>Ficus retusa</i> L.....	52
FIGURA 38.	Diámetro de <i>Juniperus chinensis</i> L.....	52
FIGURA 39.	Diámetro de <i>Nerium oleander</i> L.....	53
FIGURA 40.	Diámetro de <i>Thuja orientalis</i> L.....	53
FIGURA 41.	Cobertura de copa de <i>Cupresus sempervirens</i> L.....	54
FIGURA 42.	Cobertura de copa de <i>Ficus benjamina</i> L.....	54
FIGURA 43.	Cobertura de copa de <i>Ficus retusa</i> L.....	55
FIGURA 44.	Cobertura de copa de <i>Juniperus chinensis</i> L.....	55
FIGURA 45.	Cobertura de copa de <i>Nerium oleander</i> L.....	56
FIGURA 46.	Cobertura de copa de <i>Thuja orientalis</i> L.....	56
TABLA 1.	Propiedades físicas y químicas del suelo del Parque Ecológico Cuitlahuac y FES Zaragoza.....	40
TABLA 2.	Valores de los parámetros de vigor, necrosis y color de hoja para cada especie.....	43
TABLA 3.	Valores de tolerancia para las diferentes especies.....	43
TABLA 4.	Índice de supervivencia de las especies insertadas.....	44

RESUMEN.

En este trabajo se evalúa el establecimiento de las especies *Cupressus sempervirens* L., *Ficus benjamina* L., *Ficus retusa* L., *Juniperus chinensis* L., *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L. en un sitio de disposición final post-clausura tomando en cuenta la biología y requerimientos de cada una de las especies elegidas, proporcionando altas posibilidades para la recuperación y diversificación exitosa de la cubierta vegetal en dicho sitio.

En el Parque Ecológico Cuitlahuac se presenta un pobre establecimiento de la cubierta vegetal, debido a las condiciones de estrés que se presentan en un suelo contaminado, como así lo muestra la escasa vegetación plantada desde su inauguración hace más de 25 años. Mediante una revisión bibliográfica exhaustiva de las especies empleadas, se seleccionaron los ejemplares de plantación para cada especie que presentaran los mejores atributos (vigor, altura, libre de plagas, entre otros), se determinaron las estrategias de plantación, riego asistido y registro de datos. Se seleccionaron los sitios adecuados para la plantación, basados en la disponibilidad del sitio y disponibilidad del recurso hídrico, de cuyos lugares se tomaron muestras de suelo, para su posterior caracterización física y química en el laboratorio de Contaminación Atmosférica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza). Las muestras de suelo revelaron un color del suelo de café (5/3 10 YR) a café grisáceo (5/2 10 YR), textura migajón arcillo arenoso, % de humedad del suelo promedio de 21.93%, % de EP promedio de 67.40 considerado como alto, valores de CE_{25C} inferiores a 1.5 dS m^{-1} comúnmente despreciables, pH medianamente básico, CICT de 23.52 a 31.32 (cmol (+) Kg^{-1}) y valores medios en % de MO (2.92). Con esto se establece las buenas propiedades en el suelo del sitio, en el cual, el factor limitante es el recurso hídrico, que presenta valores bajos de agua aprovechable, propiedad que afecta a otros parámetros del suelo y por consecuencia al adecuado establecimiento de la cubierta vegetal.

Durante el periodo de establecimiento (noviembre del 2007 a mayo del 2010) de las especies insertadas, se llevó a cabo el seguimiento del vigor, necrosis, color de hoja, incrementos en talla, diámetro, cobertura de copa, índice de esbeltez, índice de tolerancia e índice de supervivencia, obteniendo en general valores que indican el buen establecimiento de *Cupressus sempervirens* L., *Ficus retusa* L., *Juniperus chinensis* L., *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L., no así para la especie *Ficus benjamina* L. Debido a los datos obtenidos acerca del suelo y las especies vegetales empleadas, este trabajo representa un aporte importante de información experimental para el establecimiento de cubiertas vegetales en sitios de disposición final post-clausura en México.

I. INTRODUCCIÓN.

Históricamente el primer problema que plantean los residuos ha sido el de su eliminación, no el de su reciclaje, recuperación y reutilización, como sería lógico pensar si razonáramos desde el punto de vista ecológico. Hasta hoy, la solución que la sociedad da al problema de la basura es bastante primitiva: apartarlos de su vista, arrojándolos o enterrarlos para ocultar el problema. La solución más “socorrida” fue la de arrojarlos a las afueras de la ciudad, en tiraderos a cielo abierto, que con el crecimiento urbano iban quedando dentro del perímetro de la misma (Mora, 2004).

En la ciudad de México por comodidad y tradición se había optado por el método de disposición a cielo abierto. De hecho se contaba con ocho de estos ubicados en: Santa Cruz Meyehualco, Santa Fe, Tlahuac, Tlalpan, Milpa alta, San Lorenzo Tezonco, Bordo de Xochiaca y Santa Catarina. Actualmente la inmensa mayoría de los residuos son depositados en tiraderos a cielo abierto en una forma inadecuada y sin cumplir los requisitos técnicos para prevenir y controlar la contaminación de medio ambiente y los riesgos a la salud (Jiménez, 2001).

La generación de tiraderos a cielo abierto, rellenos controlados o rellenos sanitarios (sitios de disposición final), únicamente minimiza momentáneamente los problemas asociados a los residuos sólidos, estas construcciones cumplen con un tiempo de vida media relativamente corto de aproximadamente 15 años; dependiendo de la cantidad de residuos sólidos depositados. Clausurado el sitio el problema que surge es: que hacer en el terreno, al ser una zona con diversos tipos de residuos sólidos urbanos y en cuya composición también se encuentran residuos peligrosos como biológicos, infecciosos, metales pesados e hidrocarburos, por lo que en las últimas décadas, los sitios de disposición final se han convertido en áreas verdes destinadas al esparcimiento (SEGEME, 2004).

A partir de 1982, el gobierno empezó a cerrarlos y construir áreas verdes como el caso de las alamedas oriente y poniente. Que por su dimensión (150 ha) destaca la clausura del tiradero de Santa Cruz Meyehualco (Jiménez, 2001), el 15 de noviembre de 1982, inicia la clausura definitiva de este tiradero y concluye en junio de 1986. Utilizándose 769,600 m³ de material para cobertura proveniente de excavaciones y zonas de construcción. Al finalizar la clausura se propuso establecer una extensa zona verde con fines recreativos, convirtiéndose en lo que hoy conocemos como Parque Ecológico Cuitlahuac (García y Munguía, 2000).

La etapa final de los sitios de disposición final, posterior al cierre, es la que corresponde a su saneamiento, que es donde se desarrollan las acciones destinadas a reincorporarlos a su entorno, controlando las emisiones de biogás, lixiviados y los problemas que puedan causar los asientos entre otros, de manera que se impida causar impactos negativos al ambiente y la salud, así como el monitoreo de estos contaminantes (Olaeta, *et al.*, 1997).

Los sitios utilizados como vertederos, una vez clausurados y acondicionados, pueden ser utilizados como parques de recreación, jardines botánicos, áreas de estacionamiento o apoyo a algún tipo de estructuras y hasta para fines agrícolas y forestales. Sin embargo, el uso final de estos sitios como áreas verdes es lo más común, además de que la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2003) establece que los rellenos sanitarios que hayan cumplido su vida útil se destinarán únicamente como parques, jardines, centros de educación ambiental o sitios para el fomento de la recreación y la cultura (Olaeta, *et al.*, 1997; Hernández y Gunther, 2002).

Sin embargo, en los sitios de disposición final, el primer efecto que se aprecia es la pérdida de la vegetación y/o trastornos fisiológicos por la acumulación heterogénea de residuos sólidos, por lo que la recuperación de la cubierta vegetal, ya sea natural o introducida se produce lentamente y en algunas ocasiones es nula, debido a las condiciones que ofrecen estos sitios por la presencia de lixiviados, biogás, metales pesados, altas temperaturas y escasez de agua lo que confiere características físicas y químicas del sustrato poco óptimas para el desarrollo de una cubierta vegetal adecuada. Siendo este decisivo como factor ambiental para la planta, por lo que debido a las condiciones extremas presentes en estos lugares se deben emplear plantas resistentes y/o tolerantes a condiciones de estrés (Galván, 1995; Ramírez y Salazar, 1998).

Es importante señalar que no existe una planificación profesional para la recuperación de la cubierta vegetal, lo que explica el escaso éxito del establecimiento de los organismos introducidos y un desarrollo deficiente en los que logran sobrevivir (Duarte, 2005). El conocer las características de las diferentes especies ayudara a seleccionarlas adecuadamente. Así como el tipo de suelo, su variación de humedad, drenaje y todas las demás características de cada sitio que condicionan las especies a utilizar. Es decir, hay que procurar que la vegetación se adapte al medio y no se les ponga en peligro por ubicaciones poco propicias (GDF, 2001).

A4. MARCO TEÓRICO.

2.1. Marco jurídico.

La política ambiental sobre los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) tiene como finalidad, prevenir los impactos negativos al ambiente y a la salud humana ocasionados por el manejo inadecuado de los mismos.

En lo que se refiere a los residuos sólidos, la Constitución Mexicana señala en el artículo 115, que los estados adoptaran, con base en su división territorial y su política y administrativa, el municipio libre teniendo este a su cargo las funciones y servicios públicos de limpia, recolección, traslado, tratamiento, disposición final de residuos y autorizar, controlar y vigilar la utilización del suelo, en el ámbito de su competencia, en sus jurisdicciones territoriales.

2.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).

El principal estatuto jurídico del medio ambiente es la LGEEPA que establece las reglas y los principios que se deben seguir en este caso específico: así mismo dispone las responsabilidades que le competen a la federación, a los estados, a los municipios y al Distrito Federal en cuanto al tratamiento de los residuos sólidos.

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. Definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación; La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente; La preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas. El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas; La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo. En todo lo no previsto en la presente Ley, se aplicarán

las disposiciones contenidas en otras leyes relacionadas con las materias que regula este ordenamiento.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, en el ámbito de su competencia emitirá normas ambientales las cuales tendrán por objeto establecer los requisitos o especificaciones, condiciones, parámetros y límites permisibles en el desarrollo de una actividad humana que pudiera afectar la salud, la conservación del medio ambiente, la protección ecológica o provoca daños al ambiente y los recursos naturales; los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o disposición final de residuos sólidos; diseño, construcción y operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de residuos; las condiciones de seguridad, requisitos y limitaciones en el manejo de residuos sólidos que presenten riesgo para el ser humano, para el equilibrio ecológico o para el ambiente (LGEEPA, 2003).

2.1.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos (LGPGIR).

Esta Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación (LGPGIR, 2003).

2.1.3. Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF).

Ley de orden público e interés social y tiene por objeto definir los principios mediante los cuales se habrá de formular, conducir y evaluar la política ambiental en el Distrito Federal, así como los instrumentos y procedimientos para su aplicación en materia de conservación del medio ambiente, protección ecológica y restauración del equilibrio ecológico así como prevenir los daños al ambiente, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la conservación de los ecosistemas; Se

aplicará en el territorio del Distrito Federal en la conservación y control de la contaminación del suelo; En la conservación, protección y preservación de la flora y fauna en el suelo de conservación y suelo urbano y en las áreas verdes, áreas de valor ambiental, áreas naturales protegidas competencia del Distrito Federal En la prestación de servicios ambientales y en el establecimiento de medidas de control, seguridad y sanciones (LADF, 2003).

2.1.4. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF).

Es de observancia en el Distrito Federal, sus disposiciones son de orden público e interés social, y tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos urbanos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia, la selección de los sitios para disposición final, así como la construcción y operación de las instalaciones que deberá sujetarse a lo estipulado en las normas oficiales mexicanas y demás ordenamientos jurídicos aplicables (LRSDF, 2003).

2.1.5. Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de residuos peligrosos.

NOM-055-SEMARNAT-2003. Que establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados.

NOM-083-SEMARNAT-2003. Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte y disposición final de los residuos peligrosos biológicos-infecciosos que se generan en establecimientos que presentan atención médica para verificar su cumplimiento.

NOM-056-SEMARNAT-1993. Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-057- SEMARNAT-1993. Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

NOM-058- SEMARNAT-1993. Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. La presente norma es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional y tienen por objeto establecer las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de construcción, formación y distribución.

2.1.6. Normas técnicas Mexicanas (NMX).

NMX-AA-091-1987. Calidad del suelo, terminología, objetivo y campo de aplicación. Establece un marco de referencia en cuanto a los términos más empleados en el ámbito de la prevención y control de la contaminación del suelo, originada por residuos sólidos.

NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, determinación de la generación. Especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio. Para efectos de aplicación de esta norma los residuos sólidos municipales se subdividen en domésticos (que son los generados en casas habitación) y en no domésticos (generados fuera de las casas habitación).

2.1.7. Norma Ambiental del Distrito Federal (NADF).

NADF-001-RNAT-2006. Tiene por objeto establecer los requisitos y las especificaciones técnicas para la poda, derribo, trasplante y restitución de árboles en la Ciudad de México, y es de observancia obligatoria para las Autoridades, Empresas Privadas y Particulares que requieran realizar estas actividades.

NADF-006-RNAT-2004. Establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que permitan dirigir el adecuado fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas llevadas a cabo por las autoridades y personas físicas o morales que

requieran realizar este tipo de actividades. Es una guía que permite llevar a cabo las labores de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas de manera adecuada en el territorio del Distrito Federal, y se optimicen los recursos financieros, materiales y humanos durante la planeación y ejecución de este tipo de trabajos.

2.2. Residuos sólidos (RS).

Se entiende como residuo (de manera errónea y comúnmente llamada basura) a cualquier material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que pueden ser susceptibles de valorización o requiere sujetarse a tratamientos o disposición final de acuerdo con lo dispuesto en esta ley. (LGPGIR, 2003; LADF, 2000). Cualquier materia generada en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarla nuevamente en el proceso que lo generó (LGEEPA, 2003; Restrepo, 1985). En función de sus características y orígenes, se les clasifica en tres grandes grupos: Fig.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU), Residuos de Manejo Especial (RME) y Residuos Peligrosos (RP) (SEMARNAT, 2008).



Fig. 1.- Clasificación de los residuos sólidos (SEMARNAT, 2008).

2.2.1. Residuos sólidos urbanos (RSU).

Son aquellos que se originan en la actividad doméstica (casas-habitación) y comercial de ciudades y pueblos de lugares públicos y privados, los establecimientos comerciales y de servicios, así como los generadores en la industria, las construcciones y demoliciones. Como resultado de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad (LGPGIR, 2003). Salvo los que provienen de sus procesos de producción que pueden tener propiedades que los hagan peligrosos. En los países desarrollados en los que cada vez se usan más envases y en los que la cultura de

"usar y tirar" se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas (SEMARNAT, 2008; Quadri, 2000; NOM-083-SEMARNAT-2003).

2.2.2. Residuos Peligrosos (RP).

Se define como residuo peligroso a aquellos residuos que en cualquier estado físico, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, (catalogadas como el código CRETIB) así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfiera a otro sitio representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente (LGEEPA, 2003; LGPGIR, 2003; NOM-052SEMARNAT-2005).

2.2.3. Residuos de Manejo Especial (RME).

Estos son generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados peligrosos o como residuos sólidos urbanos. Los residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática, fabricantes de productos electrónicos o de vehículos automotores, todos los provenientes del tratamiento de aguas residuales, medicamentos caducos, los generados por los establecimientos que realicen actividades médico-asistenciales a las poblaciones humanas o animales, centros de investigación, con excepción de los biológico-infecciosos, las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas, ganaderas, incluyendo los residuos de los insumos utilizados en esas actividades, residuos generados por la construcción, mantenimiento y demolición en general y otros que al transcurrir su vida útil, por sus características, requieren de un manejo específico (SEMARNAT, 2008; LGPGIR, 2003).

2.3. Generación y composición de residuos urbanos.

Varían según el tipo de actividades y formas de consumo que los generan, en las áreas urbanas al transcurrir de los años se ha visto un cambio en la composición de la basura, de manera que los residuos orgánicos se han ido reduciendo en proporción con respecto a los de tipos inorgánicos. La proporción de uno u otro tipo de residuos varían en las diferentes ciudades del país y aun en las diferentes comunidades de una misma ciudad, reflejando los hábitos de consumo (Quadri, 2000). En México la composición de los RSU no es homogénea, sino que responde a la distribución, hábitos y costumbres alimenticias, nivel de consumo y al poder adquisitivo de la población (SEDESOL, 1984).

Todos los sectores de la sociedad, desde las actividades domésticas, hasta las diversas actividades industriales y de servicios privados y públicos, generan actualmente residuos (Quadri, 2000). En 1950, en la CD de México se generaban 370g de residuos percapita y eran predominantemente biodegradables. Para 2000 este valor ascendió a 1.4 Kg./hab/día y el contenido de material biodegradable descendió en 50%. Desde 1994 el volumen aumento 20% y la proporción de residuos biodegradables en 600% y comenzó a ser notoria la presencia de residuos peligrosos (Jiménez, 2001).

Estos incluyen muebles y electrodomésticos viejos embalajes y desperdicios de la actividad comercial, restos del cuidado de los jardines, la limpieza de las calles, etc. El grupo más voluminoso es el de la basura domestica.

En las zonas más desarrolladas la cantidad de papel y cartón es más alta, constituyendo un tercio de la basura, seguida por la materia orgánica. En cambio si el país está menos desarrollado la cantidad de materia orgánica es mayor, hasta las tres cuartas partes en los países en vías de desarrollo y mucho menor la de papeles, plásticos, vidrio y metales (www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia, 2009).

En la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) se producen más de 19000 toneladas de basura al día. El origen de esta gran cantidad de residuos es diverso: de la casa-habitación proviene el 47 %; comercios el 29 %; parques y jardines 15 %, hospitales 3 %; y el 6 % restante es consecuencia de actividades diversas, Fig. 2A. De este total, por su composición 43 % es residuos orgánicos, 15 % básicamente papel y cartón, 8 % vidrio, 6 % plástico, 6 % fierros, 5 % aluminio, 4 % materiales diversos; como aparatos electrodomésticos y muebles, otro 4 % trapos y ropa vieja, 3 % pañales desechables y el 6 % restante corresponde a todo tipo de cosas; madera, artículos de piel, etc. Fig. 2B. De los cuales el 80% de estos materiales son aprovechables (Leal, *et al.* 1996).

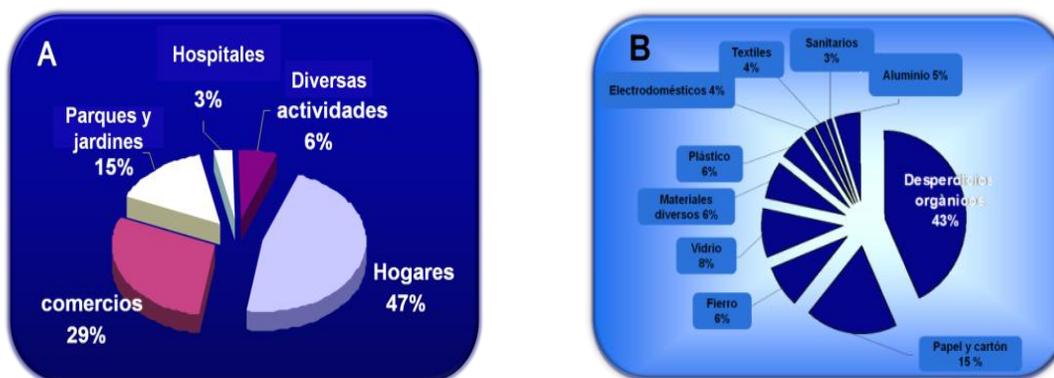


Fig. 2.- (A) Producción de Residuos Sólidos en la Zona Metropolitana del Valle de México por actividad de origen y (B) por tipo de residuos generados (SEMARNAT, 2008).

2.4. Clasificación de residuos sólidos urbanos.

Se clasifican en residuos orgánicos, inorgánicos y sanitarios.

Los residuos orgánicos son productos de la comercialización, transporte y elaboración de los alimentos, excedentes de comida, jardín, cáscaras de frutas y verduras, restos de material vegetal y en general materiales biodegradables.

Los residuos inorgánicos son: papel, cartón (por su gran capacidad de reciclarse), vidrio, madera, metales, plástico, telas sintéticas y material inerte.

Residuos sanitarios: material de curación, toallas sanitarias, papel higiénico, pañales desechables, pilas agotadas (González, 2005; Moran, 2008).

En promedio en las ciudades de la república mexicana se colectan alrededor de 86 % de los residuos, mientras que el resto se abandona en calles y lotes baldíos, o bien, se tira en basureros clandestinos, causes de ríos, arroyos u otros cuerpos de agua. De lo que se recolecta mucho se deposita en tiraderos a cielo abierto, lo que ha tenido repercusiones en la calidad del aire, agua y suelo, así como en el deterioro de la salud de los habitantes por las emanaciones de malos olores, incendios, generación de lixiviados y proliferación de fauna nociva (Jiménez, 2001).

2.5. Disposición final.

Es el depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir la liberación de RS al ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. Estos deben garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases y lixiviados generados, contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia, controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial (Lichtinger, *et. al.*, 2001; LGPGIR, 2003; LADF, 2003; LRSDF, 2003; NOM-083-SEMARNAT-2003; SEDESOL, 2008).

Los depósitos de basura ambientalmente inadecuados, además de ser peligrosos, deterioran el paisaje y desvalorizan las propiedades de las comunidades vecinas, trayendo consigo un impacto económico y social. Sin embargo, la contaminación es uno de los efectos ambientales más serios ocasionados por el vertimiento directo de estos residuos, así como la generación de biogás y por la infiltración de lixiviados provenientes de estos (Moran, 2008).

2.6. Métodos de disposición final.

Los RSU desde hace varias décadas se eliminaban al arrojarlos a barrancas, llanuras lejanas, etc. simplemente eliminarlas de la vista depositándolos en lugares lejanos a las ciudades, sin saber que estos residuos iban generando severos daños al ambiente y qué ahora se están padeciendo, aunque en aquellos tiempos predominaban mas los residuos orgánicos y no los inorgánicos como lo es hoy en día, por lo que se han desarrollado diferentes formas de confinar los RSU, en la actualidad los métodos existentes son los siguientes:

2.6.1. Relleno sanitario.

Este método consiste en depositar la basura en un área pequeña; previamente seleccionada y a la cual se le debe de realizar estudios geológicos, hidrogeológicos y otros complementarios, con el fin de minimizar los problemas de contaminación del subsuelo y aguas subterráneas. En el sitio elegido se excava para formar una fosa que se debe impermeabilizar (geomembrana) para evitar escurrimientos, se extiende, se comprime y cubren a diario los residuos depositados. Se instala un sistema de captación de lixiviados y biogás, con esto se evitan posibles incendios en los sitios, a demás se impide que los lixiviados lleguen al subsuelo y contaminen el manto acuífero. Los mecanismos de control se deben mantener hasta por 25 años o más posterior a su clausura Fig.3A. Cuando los depósitos cumplen con estos requisitos, son una de las mejores formas de disposición final para los RSU y RME Fig.3B (NOM-083-SEMARNAT-2003; Leal, *et al.*, 1996). Son los sitios de disposición más idóneos para contener residuos de alta toxicidad. También deben contar con vigilancia continua para prevenir incendios y prohibir la pepena. Además deben de estar delimitados por árboles para mejorar el paisaje (LGPGIR, 2003; LRSDF, 2003; LADF, 2003; SEDESOL, 2008).

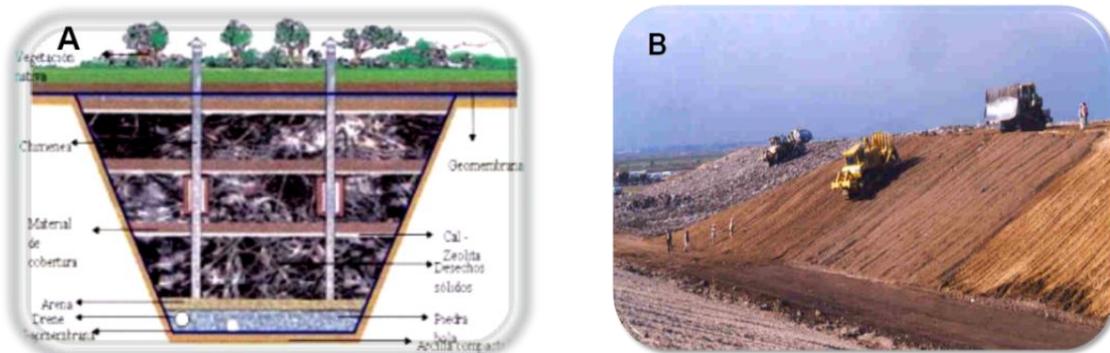


Fig. 3.- (A) Características generales de un relleno sanitario. (B) Celda de confinamiento concluida en proceso de sellado.

2.6.2. Enterramiento controlado.

Este método de disposición final de residuos sólidos, es muy parecido al relleno sanitario, en este caso se elige un área en donde la basura se extiende y se compacta, después se forma un montículo de aproximadamente de 2 m de alto y luego se cubre con tierra, o bien con el producto del desazolve del drenaje, de forma discontinua, para evitar parcialmente la dispersión de la basura y la acumulación de gases inflamables (Leal, *et al.*, 1996). Cuenta con algunas obras de infraestructura y aplica métodos de operación comparables a un relleno sanitario Fig. 4A y B. Estos sitios en general, no cumplen por completo con la normatividad establecida al no contar con la impermeabilización necesaria. Por otro lado no representa un riesgo demasiado grande para el ambiente y la salud, razón por la cual se permite que continúen en operación hasta que el sitio termine su vida útil (SEGEM, 2000).



Fig. 4.- (A y B) Imágenes que ejemplifican a los rellenos controlados en diferentes localidades, observándose obras de infraestructura pero sin cumplir con todo lo establecido por la NOM-083-SEMARNAT-2003

2.6.3. Tiraderos a cielo abierto.

Este método actualmente es el más utilizado en la república mexicana por comodidad, por ignorancia, menor costo y tradición. Consiste en el depósito incontrolado y sin tratamiento previo de los residuos sólidos directamente en el suelo, lotes baldíos o barrancas Fig.5A, representando una fuente importante de contaminación del aire, agua y suelo, así como problemas de salud pública (Gómez, 2008), además, se presenta proliferación de fauna nociva.



Fig. 5.- (A y B) Tiradero a cielo abierto del bordo poniente. (C) Generación de lixiviados de tiraderos a cielo abierto

Los residuos no cubiertos se dispersan en partículas que transporta el viento Fig.5B, también porque en estos sitios suelen producirse incendios, debido a que la temperatura de los desechos en descomposición se eleva entre los 40 y 60 °C y por las grandes cantidades de gas metano presentes. El terreno que se utiliza como basurero queda prácticamente inservible debido a que, al depositar la basura, se destruye la capa vegetal que lo cubría originalmente. El suelo se erosiona y crea polvo saturado de microorganismos y partículas nocivas Fig.5C. En repetidas ocasiones se ha intentado reforestar y dar utilidad en los terrenos cuando los basureros han sido clausurados; pero el suelo queda tan deteriorado, que es muy difícil que esas zonas puedan volver a ser útiles (Leal, *et al.*, 1996).

2.7. Clausura.

El cierre definitivo tiene lugar cuando se rebasa su vida útil o por sus efectos de contaminación al ambiente o bien a las molestias y daño a la salud pública. Se realiza principalmente el movimiento, compactación y sellado de los residuos sólidos urbanos, de acuerdo con los niveles especificados en el proyecto para cada relleno sanitario. Después de la clausura, el sitio tiene que pasar un periodo de estabilización que va de 6 a 10 años. Durante este tiempo tiene que ser controlado y adecuado periódicamente. En este tiempo no se debe realizar construcciones de concreto en este sitio, dando paso a la etapa de post-clausura (Hernández y Gunther, 2002).

2.8. Post-clausura.

Esta etapa prácticamente estará orientada a la construcción de sistemas de control ambiental, e iniciará una vez que los residuos sólidos hayan sido cubiertos en su totalidad. Las obras de control que se construirán durante esta etapa son:

- Construcción de sistemas de control de escurrimientos.
- Construcción de sistemas de control de biogás y lixiviados.
- Construcción de sistemas de monitoreo de agua subterránea, biogás, lixiviados, asentamientos diferenciales y estabilidad de taludes.
- Colocación de suelo orgánico (tierra orgánica) sobre la cubierta del sitio saneado.
- Colocación de cubierta vegetal (pasto y especies vegetales).
- Colocación de barrera vegetal.
- Instalaciones para mantenimiento y control (caseta de control, cercado perimetral, oficinas, etc.)

Una vez clausurado, este sufrirá cambios con respecto al espacio y tiempo, debido a la degradación de los residuos sólidos, a la movilidad de los productos de esta degradación (biogás y lixiviados), a los efectos climáticos, alteraciones ecológicas, sismos, etc.; siendo indispensable vigilar y dar seguimiento a estos sitios en un plazo de 30 años (NOM-083-SEMARNAT-2003).

2.9. Saneamiento de sitios de disposición final.

Las acciones encaminadas al control de los RSU después de la clausura, se conocen como saneamiento ambiental. Estas se pueden definir como los procedimientos de ingeniería para el diseño, construcción y operación de sistemas de control para mitigar los impactos ambientales, de salud pública y durante los procesos de estabilización de los RSU depositados en el sitio clausurado.

En los tiraderos a cielo abierto, el saneamiento tiene la finalidad de disminuir y mitigar los impactos al ambiente, mejorar la imagen del sitio y la operación del mismo pero bajo condiciones controladas. Esto no significa el cumplimiento total con los requisitos de la NOM-083-SEMARNAT-2003, aunque estos deben considerarse en la toma de decisiones. El no cumplir con estos aún puede significar la realización de medidas adicionales para compensar las deficiencias (Hernández y Gunther 2002).

2.10. Cubierta final.

El propósito de la cubierta final en un sitio de disposición final es aislar a los residuos cercanos a la superficie del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del gas generado, proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, y evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas (SEDESOL, 2008). Un sistema de cobertura final debe ser construido para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja (Hernández y Gunther, 2002). Las características de la cubierta final de clausura Fig. 6, tendrán las siguientes especificaciones:

A. Residuos sólidos. Esta última capa debe estar bien compactada antes de colocar el material de cubierta siguiente, pues será la base estructural para la clausura.

B. Material de cubierta de operación normal. En la superficie de la última capa de residuos se coloca una capa de material cuyo espesor deberá ser mayor de 0.2m.

C. Sistema de drenaje de los gases. Este contendrá grava arenosa o material producto de escombros de construcción, que tienen buena permeabilidad para el biogás generado. Así que esta capa funciona como un sistema de drenaje, a través del cual el biogás migra a los sistemas de venteo. Este material debe de ser compactado para constituir un buen fundamento de las capas de sello siguientes. Se considera que esta capa permeable debe de colocarse para sitios donde la altura de los residuos sólidos depositados alcanzó más de 6m.

D. Capa de sello. Sobre la capa de drenaje se coloca la capa de sello, la cual debe constituir una barrera de baja permeabilidad. Esta barrera minimiza a largo plazo la infiltración de líquidos y es parecida al sistema de impermeabilización que se coloca en el fondo del relleno (dos capas de material arcilloso de 0.25m de espesor, con una permeabilidad de 1×10^{-6} cm/s).

E. Después de la cubierta impermeable, se coloca otra cubierta de 0.2 m de espesor mínimo de material grueso como capa drenante, de aquellos líquidos (agua pluvial) que pasen de la cubierta superior. Se requiere para aquellos sitios cuya conformación final tenga pendientes mayores o iguales al 3%, lo cual reduce la necesidad de arreglos posteriores para la conformación estructural. Tomando en cuenta que el cuerpo de los residuos sólidos tiene un proceso de asentamiento durante varios años después de la clausura.

F. Se recomienda el uso de un geotextil después de la capa drenante, con el fin de evitar la saturación de los poros de la capa permeable y minimizar la erosión.

G. La cubierta superior del sitio está constituida por una cubierta de *tierra vegetal*, cuya función es la de proteger las capas inferiores del daño mecánico y, junto con la cubierta vegetal, protegerla contra la erosión. El espesor de esta capa depende del material disponible y el uso final que se planea dar al sitio. En cualquier caso el espesor mínimo recomendado es de 0.2 m. En el caso de que se tenga planeado la plantación de árboles y/o arbustos, se puede requerir hasta espesores de 1 m. Las pendientes finales de la estructura deben ser mayores del 2%, en función del avance de la estabilización de los residuos. Antes de plantar las especies vegetales es importante planear su futuro crecimiento, su altura, diámetro de copa, tronco, follaje, raíces y tiempo de vida, disponibilidad de agua y espacio (GDF, 2001).

H. Las características deseables de la vegetación que se coloca sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas, de rápido crecimiento, resistentes al biogás, capaces de soportar la falta de agua y que se extiendan horizontalmente sobre el área, que permita a la planta vivir con cuidados escasos o nulos, se debe tratar en lo posible, de planta perennes, para que cubran la superficie todo el año. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura.

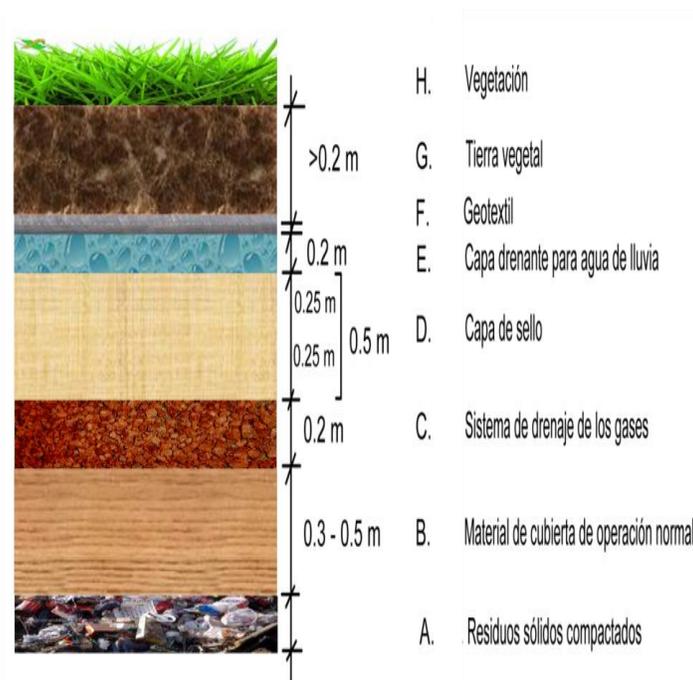


Fig. 6.- Capas de sellado de un relleno sanitario modificado de Hernández y Gunther, 2002.

El mantenimiento está en función del uso final del sitio, ya que la mayoría de los sitios tendrán sistemas de control y monitoreo de biogás y lixiviados que requerirán de una continua atención. Otras instalaciones que requerirán un grado de atención continua son las instalaciones de control de drenaje y el control de la erosión (Hernández y Gunther, 2002).

2.11. Suelo en el que se desarrolla la vegetación.

El nombre suelo se deriva de la palabra latina “*solum*”, la cual significa pisos o superficie de tierra (Foth, 1980). El suelo es un cuerpo natural dinámico trifásico, formado de material no consolidado delimitado por la atmósfera en su parte superior, en la parte inferior por la roca madre u otro tipo de suelos (paleosoles) y a los costados por la roca madre, otros tipos de suelos o cuerpos de agua, capaz de proporcionar H₂O, CO₂, nutrientes y anclaje a la vegetación.

Es sumamente importante para el análisis de las plantas y suministro de los nutrientes necesarios para su desarrollo, cuenta también con diferentes parámetros físicos, químicos y biológicos que influyen en el establecimiento, desarrollo y distribución de la vegetación. En el caso de los sitios de disposición final este factor se ve constantemente afectado, debido a la gran cantidad de contaminantes que aporta la columna de basura, al ser estos mezclados de forma directa con la misma (García y Murguía 2000).

El suelo de un sitio de disposición final se caracteriza por ser una mezcla de diferentes materiales (suelos de diferentes lugares, materiales de construcción, escombros, etc.), tienen bajo contenido de nitrógeno, de medio a extremadamente rico en materia orgánica, ligeramente alcalino, con estrés hídrico y altas temperaturas en la columna de basura (Galván, 1995) por lo que los primeros síntomas que presentan las plantas como consecuencias de la contaminación suelen ser la alteración de las funciones metabólicas, clorosis, necrosis foliar, anomalías en los frutos y trastornos de los ritmos de crecimiento y floración dependiendo de la especie (Galván, 1995 y Duarte, 2005).

2.12. Fertilidad del suelo.

Es la capacidad de un suelo de aportar los nutrientes en cantidad y balance adecuados para el óptimo crecimiento (aumento de biomasa: altura, cobertura, diámetro, etc.) de las plantas, además de las condiciones de suministro adecuado de agua y oxígeno. Un suelo es fértil si contiene y suministran a las raíces cantidades adecuadas de nutrientes, agua y aire para

que las plantas crezcan y se desarrollen. La capa fértil del suelo contiene materia orgánica formada por restos de plantas y animales parcial y completamente descompuestas y humus, este es el producto final de la descomposición de la materia orgánica y facilita la absorción de nutrientes. La carencia o exceso de nutrientes en el suelo constituyen un factor limitante en el establecimiento de la vegetación (GDF, 2001).

2.13. Nutrientes.

Las plantas superiores son autotróficas, pero al igual que los animales y seres humanos requieren de alimento para su crecimiento y desarrollo. Este alimento está compuesto de ciertas sustancias químicas, a menudo referidas como nutrientes. Las plantas absorben un gran número de elementos del suelo y otras fuentes durante su desarrollo y crecimiento, pero no todos los elementos son esenciales para las plantas.

Las plantas contienen pequeñas cantidades de 90 o más elementos de los cuales se consideran esenciales para su desarrollo y reproducción al C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo y Cl, estos se dividen en macronutrientes y micronutrientes. Se incorporan al suelo a partir del aire y agua, por medio de las reacciones fotosintéticas, las plantas obtienen de manera combinada el carbón, hidrógeno y oxígeno, estos elementos comprenden el 90% o más de la materia seca (SARH, 1980), los elementos restantes son obtenidos principalmente del suelo por las plantas, el nitrógeno en forma de NO_3^- , NH_4^+ , fósforo en forma de K_2PO_4^- , HPO_4^- , potasio en forma de K^+ , calcio en forma de Ca^{2+} , magnesio en forma de Mg^{2+} y azufre como SO_4^- , se necesitan en cantidades variables y se les denomina macronutrientes, los elementos restantes son requeridos por las plantas en cantidades considerablemente menores por lo que se les llaman micronutrientes o traza e incluyen al manganeso, hierro, boro, zinc, cobalto, molibdeno y cloro Fig. 7 (COCODA, 1986).

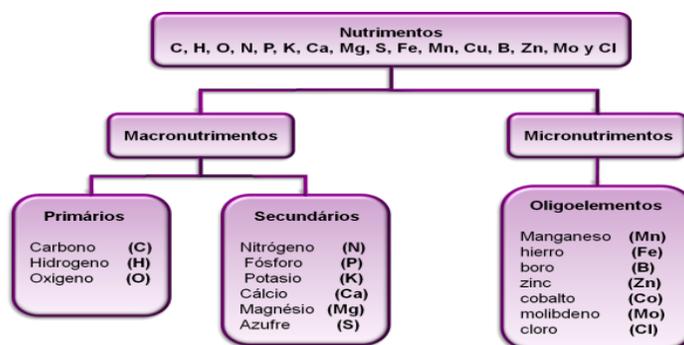


Fig. 7.- Esquema de los nutrientes esenciales para las plantas (COCODA, 1986).

Ningún elemento es esencial a menos que su deficiencia prive a la planta de completar las etapas vegetativas o reproductivas de su ciclo de vida. Bien, esta deficiencia es específica para un elemento dado, corregida solamente cuando el mismo elemento es suministrado o bien que el elemento se ha de encontrar directamente implicado en la nutrición de la planta (Aguilera, 1989). Para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas los nutrimentos deben satisfacer las siguientes condiciones: estar presentes en forma aprovechable para las plantas y en concentraciones óptimas para el desarrollo de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1990).

2.14. Propiedades químicas y físicas del suelo.

En el ambiente edáfico, los agentes químicos (reacción del suelo, nutrimentos y toxicidad) así como las condiciones extremas de ciertos factores físicos del suelo (agua del suelo, textura, drenaje, etc.), con frecuencia ofrecen una serie de impedimentos para el anclaje, crecimiento, respiración, absorción nutrimental y de agua para las plantas.

Existen diferentes factores químicos del suelo que determinan la distribución de la vegetación. El ambiente del suelo es un sistema altamente heterogéneo, donde los agentes químicos y los nutrimentos para las plantas se encuentran tanto en compartimentos bióticos (microorganismos del suelo y compuesto de la materia orgánica del suelo) como en el ambiente físico del suelo (Cruz, 2003). Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos son de importancia considerable para el estudio de las tierras contaminadas y su recuperación. Fig. 8.

Las propiedades físicas del suelo que tienen mayor influencia sobre el crecimiento de las plantas son el espesor, conductividad eléctrica, color, textura, estructura, consistencia y permeabilidad, aireación y porosidad, entre otras y las principales propiedades químicas son el pH, capacidad de intercambio catiónico total, % de saturación de bases y % de materia orgánica. Fig. 8.



Fig. 8.- Esquema del análisis de suelo.

2.15. Tecnosoles.

Es un nuevo grupo de suelos de referencia y combina suelos cuyas propiedades están originadas por su origen técnico. Contienen una cantidad significativa de material creado por el hombre, con propiedades diferentes a la roca natural. Incluye suelos de desecho (rellenos, lodos, escorias, escombros o desechos de minería y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembrana y suelos construidos en materiales hechos por el hombre. Los Tecnosoles son frecuentemente referidos como suelos urbanos o de minas. Dominados o fuertemente influenciados por materiales hechos por el hombre; del griego “technikos”, hábilmente hecho. Material parental: todo tipo de materiales hechos o expuestos por actividad humana que de otro modo no ocurrirían sobre la superficie de la tierra; la pedogenesis de estos suelos está fuertemente afectada por materiales y su organización. Ambiente: principalmente áreas urbanas e industriales, en áreas pequeñas, aunque en un patrón complejo de asociación con otros grupos.

Desarrollo del perfil: generalmente ninguno, aunque en vertederos antiguos puede observarse evidencia de pedogenesis natural, tal como translocación de arcilla. El desarrollo original del perfil puede toda vía estar presente en suelos naturales contaminados, se encuentran en todo el mundo donde la actividad humana ha llevado a la construcción de suelo artificial, sellando el suelo natural o extrayendo material que normalmente no sería afectado por procesos de superficie. Así, ciudades, caminos, minas, vertederos de basura, derrames de petróleo, depósitos de hollín de carbono y otros semejantes se incluyen en los Tecnosoles. Están fuertemente afectados por la naturaleza del material o la actividad humana que los coloca. Son más factibles de estar contaminados que otro grupo de suelos de referencia. Muchos de ellos tienen que ser tratados con cuidado ya que no pueden ser utilizados por contener sustancias toxicas resultantes de procesos industriales, en particular los de vertederos de basura, normalmente se cubren con una capa de material de suelo natural para permitir la revegetación Fig.9. Tal capa forma parte del Tecnosol (WRB, 2007).



Fig. 9.- Suelos del Parque Ecológico Cuitlahuac denominado como Tecnosol, de acuerdo a la WRB, 2007.

2.16. Estrés vegetal.

El estrés, definido como un estadio en el que uno o varios factores ambientales disminuyen la tasa de desarrollo óptimo de un individuo es omnipresente (Gierson, 1994, citado por Cruz, 2003).

La aclimatación que las plantas sufren a diversos factores ambientales; llamados estrés, tales como carencia de agua, falta de oxígeno, elevada concentración de sales, altas temperaturas y carencias nutrimentales, se han conocido como limitantes de las plantas que intentan crecer en suelos de las cubiertas de los rellenos sanitarios, lo cual afecta sus respuestas fisiológicas (Money *et al.*, 1991; Leone *et al.*, 1980).

Las plantas enfrentan constantemente la errática distribución de la precipitación, la sequía, inoportunos y frecuentes cambios de temperatura y deben afrontar condiciones edáficas adversas como la acidez o la salinidad de los suelos que propicia deficiencia o toxicidad de nutrimentos y elementos químicos tóxicos respectivamente.

Los factores ambientales o edáficos, varían en duración e intensidad, que evitan, limitan o modifican los procesos metabólicos normales, originan estrés en las plantas y esto repercute negativamente en su crecimiento y desarrollo.

Así la supervivencia de los individuos ante condiciones de estrés, por uno a varios factores limitantes de la productividad de la vegetación, está gobernada por mecanismos de adaptación, los cuales pueden operar en diferentes niveles (celular, molecular, órgano o de individuo) y en el corto o largo plazo. Que les proporciona la capacidad de tolerar o evadir los diversos factores de estrés (Duncan 1994, citado por Cruz, 2003).

2.16.1. Estrés nutrimental.

Es aquel que se presenta en la planta ya sea por deficiencia o exceso (toxicidad) de los llamados nutrimentos esenciales (Meter, 1992). En la zona de estudio se presenta deficiencia principalmente de nitrógeno y fósforo (Duarte, 2005). Los metales pesados generalmente restringen el crecimiento de las plantas, esa condición potencialmente limita la absorción de los nutrimentos. Dado que un rasgo distintivo que caracteriza la vegetación en suelos deficientes en nutrientes es la elevada frecuencia de especies con una tasa de crecimiento particularmente lenta (Briz, 2004).

2.16.2. Estrés por salinidad.

La elevada concentración de sales en la solución del suelo pueden causar efectos directos o indirectos en el crecimiento radicular alterando el potencial osmótico en la raíz y la incorporación de agua se ve reducida, afectando también la permeabilidad de la membrana radical, la plasticidad celular, transpiración, tasa de elongación radical. La salinidad afecta el balance nutrimental de la planta, es decir, cuando el pH se incrementa reduce la solubilidad y disponibilidad de algunos nutrimentos esenciales (Rending y Howard, 1989).

2.16.3. Estrés hídrico.

Se ha definido como el factor capaz de inducir la tensión potencialmente dañina en plantas y células en las mismas donde la tensión puede ser reversible o irreversible (Fitter y Hay, 1991). La temperatura en la cual la mayoría de los organismos viven, oscila entre los 5°C y 40°C, el incremento de este parámetro afecta el metabolismo y crecimiento de la plantas, sin embargo, este intervalo varia de especie a especie (Sutcliffe, 1979) ocurre cuando el agua disponible en el suelo es reducida y las temperaturas cálidas causan pérdida continua del agua por evapotranspiración (López y Pérez, 2003).

2.16.4. Estrés térmico.

Tanto las altas como las bajas temperaturas afectan el funcionamiento de las membranas alterando la permeabilidad. Las altas temperaturas alteran los procesos fisiológicos al provocar una desnaturalización de las enzimas y de algunas estructuras celulares, también disminuyen la capacidad del suelo para retener agua, por lo que va a afectar a las plantas ya que es la principal reserva de agua. La respuesta de las plantas a condiciones de altas y bajas temperaturas está estrechamente relacionada con el estado de hidratación de la planta, El marchitamiento, la quema de la hoja, el doblamiento o abscisión foliar, son los primeros indicadores del daño causado (Olivares *et al.*, 2002).

2.17. Biología de las especies.

2.17.1. *Cupressus sempervirens* L. (1753).

El *Cupressus sempervirens* L. (www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do, 2009), es un árbol ornamental y forestal adaptable a todo tipo de suelos, de crecimiento rápido cuando joven, de aspecto erecto, de 20 a 30 metros de altura, de forma cónica y follaje muy denso, color verde oscuro, Fig. 10. Conocido vulgarmente como Ciprés común, C. piramidal, C. italiano o C. de los cementerios. Etimológicamente el término "sempervirens" significa "siempre vigoroso" o "siempre verde". Viviendo más de 500 años, citándose ejemplares que superan el milenio. Esta especie es originaria de Europa oriental y Asia occidental. Propia de las montañas semiáridas del este y sur del Mediterráneo como Líbano, Siria, sur de Grecia, Túnez o Marruecos, vive desde el nivel del mar hasta los 800m según latitud (COCODA, 1986).

Descripción botánica: presenta hojas perenes, pequeñas, romboides, imbricadas, de color verde oscuro, sus frutos son conos esféricos de 3 o 4 cm de diámetro, formado por escamas de color grisáceo globoso. Son monoicos (con flores masculinas y femeninas separadas pero presentes en el mismo árbol), su corteza es escamosa de color marrón-grisáceo, ramas levantadas en todas direcciones, erguidas formando una capa columnar; se propaga por semilla. Por sus hojas se confunde con algunas especies de falso ciprés. Se desarrolla mejor en suelos calizos pero viven bien en cualquiera siempre que no esté encharcado, se da en climas templados, pero soporta las heladas y la sequía, el viento, la contaminación y el escaso mantenimiento, viven mejor con mucho sol y toleran la semisombra (Baudilio, 1962; Chanes, 2006; Martínez, 2008; www.ran.org, 2010; www.rainforest-alliance.org, 2010; www.pardeetreecom, 2009; www.ecologia.deeuropa.net, 2010; www.arbolesornamentales.com, 2009).



Taxonomía

- Reino:** Plantae
División: Pinophyta
Clase: Pinopsida
Orden: Pinales
Familia: Cupressaceae
Género: *Cupressus*
Especie: *Cupressus sempervirens* L.

Fig. 10.- Testigo de *Cupressus sempervirens* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza.

2.17.2. *Ficus benjamina* L. (1767).

El *Ficus benjamina* L. (www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do, 2009) es un árbol de porte pequeño, perennifolio, siempre verde de copa ancha y frondosa, normalmente con raíces aéreas, pudiendo alcanzar los 20 metros de altura. Fig. 11. Conocido vulgarmente como Benjamina, Ficus de hoja pequeña, Matapalo, Árbol Benjamin o Ficus enano, (www.floramiata.it, 2010) Etimológicamente *Ficus*, es nombre antiguo de la higuera. *Benjamina*, según algunos autores procede de la palabra "banyan", nombre popular de un ficus nativo de la India, otros sostienen, en cambio, que procede de "benzoin", un tipo de resina que supuestamente se obtenía de este árbol. Su lugar de origen es la India, Asia y otras zonas tropicales y subtropicales. En ejemplares de su zona de origen pueden crecer como "estranguladoras", como epífitos, rodeando al huésped hasta formar un tronco hueco y destruyéndolo. En otras zonas puede crecer como una especie terrestre sin este comportamiento.

Descripción botánica: presenta hojas pecioladas, brillantes, coriáceas de forma oval, con la base de redondeada a cuneada, el margen entero y el ápice redondeado pero acabado en unas puntas caudadas estrechas de color verde brillante en el haz y más claras en el envés. Fruto pequeño, redondo de color rojo oscuro. Tronco con la corteza gris blanquecina, lisa. Ramas colgantes, flexibles. Se propaga por esquejes, retoño y/o acodo. Tiene un crecimiento rápido y tolera exposiciones soleadas y a media sombra, tolera las altas temperaturas soportando bastante el frío si no es muy intenso, tiene un buen desarrollo en suelos arcillosos, limosos, arenosos, ácidos y húmedos; también en los suelos alcalinos y bien drenados, es de raíces superficiales, resiste la contaminación, Necesita un suelo bien drenado, no soporta el encharcamiento (COCODA, 1986; www.arbolesornamentales.com/nombreslatinos.htm, 2009 ; Martínez, 2008).



Taxonomía

- Reino:** Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Urticales
Familia: Moraceae
Género: *Ficus*
Especie: *Ficus benjamina* L.

Fig.11.- Testigo de *Ficus benajmina* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza.

2.17.3. *Ficus retusa* L. (1767).

El *Ficus retusa* L. (www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do, 2009) es un árbol tropical de hoja perenne, siempre verde de rápido crecimiento, de gran desarrollo, de ancha y densa copa, Fig. 12, lo que lo hace un excelente árbol de sombra para paseos, conocido con los siguientes sinónimos *Ficus microcarpa* y *Ficus nitida* y vulgarmente llamado como Laurel de indias. Baniano Chino, Baniano Malayo, Laurel Indio o Higuera Cortina. Etimológicamente *Ficus* es el nombre en latín de la higuera. *Microcarpa*, que significa de fruto pequeño. Su lugar de origen es el sur de Asia hasta Australia.

Descripción botánica: presenta tronco grueso de corteza grisácea, lisa, base del tronco ensanchada con una altura que va de los 10 a los 30 m, sus hojas son persistentes, pequeñas (2-6 cm) coriáceas, ovales y de color verde brillante; sus flores son de tamaño pequeño, en inflorescencias formando siconos de color amarillo blanquecino; los frutos son higos de tamaño pequeño de algo menos de 1cm de diámetro, aparecen axilares y sésiles, normalmente dispuestos en pares de color verde-amarillento, tornándose púrpura en la madurez. Se multiplica por semillas en primavera, por esquejes en verano y por acodos aéreos (COCODA, 1986). Se utiliza en jardinería por la calidad de sus hojas y para la producción de sombra en parques y en alineaciones en la calle, de raíz superficial por lo que tiene el inconveniente de levantar los pavimentos. Es de climas cálidos, estas plantas no temen el frío, sin embargo, son sensibles a las heladas prefiere exposición a plena luz o bien sombra parcial, suelos fértiles y bien drenados, resistente a la sequía, También puede desarrollarse como epífito. Es un árbol poco exigente.

(www.chlorischile.cl/moraceaechileornm/moraceaemacaya.htm, 2009;
www.arbolesornamentales.com/nombrescomunes.htm, 2009).



Taxonomía

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Urticales
Familia: Moraceae
Género: *Ficus*
Especie: *Ficus retusa* L.

Fig. 12.- Testigo de *Ficus retusa* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza.

2.17.4. *Juniperus chinensis* L. (1767).

El *Juniperus chinensis* L. (www.ipni.org/ipni/plantname-searchpage.do, 2009), es un árbol perenne de talla pequeña que posee una corteza fibrosa que se desarrolla con porte arbóreo, alcanzando una altura de 10 metros, aunque en condiciones muy favorables puede alcanzar hasta 15 metros de altura. Conocido con el sinónimo de *Juniperus torulosa* y vulgarmente como enebro chino; junípero chino, sabina de China. El nombre de junípero proviene del latín "*juniperus*" que es el nombre que daban los romanos al enebro, aunque es posible leer en algunos libros que proviene del celta "*jeneprus*", que significa áspero, rudo y que podría relacionarse con sus hojas punzantes. Su origen se encuentra en el este asiático (Japón, China y Corea). Su hábitat natural son las zonas templadas y frías, desde el límite tropical al círculo polar ártico.

Es un árbol de crecimiento lento cuyas hojas perennes son indistintamente escamiformes y aciculares sobre un mismo brote, son de color verde oscuro, dispuesto en pares o en grupos de tres, los frutos son esféricos, carnosos de color verde glauco. Fig. 13. Este es uno de los pocos géneros de coníferas dioicas con flores masculinas y femeninas y es de las únicas adaptadas a vivir en suelos pobres. Se propagan por estacas, floreciendo en primavera y madura sus frutos al segundo o tercer año, lo que permite encontrar frutos de varios años en varias fases de maduración en un mismo árbol. Este árbol crece en la parte de sombra y a pleno sol tolera suelos de arcilla, marga, bien drenados y es muy sensible a ambientes húmedos. Es muy tolerante a la sequía y a la salinidad del suelo. Es resistente a las plagas; por lo que su salud a largo plazo no es afectada por las plagas. Su clasificación es algo complicada debido a su capacidad para producir híbridos de forma natural y a su polimorfismo (Gilman, 1993; www.conifers.org/cu/ju/sargentii.htm, 2009; www.juniperus.hu, 2009; www.fichas.infojardin.com/arbustos/juniperus-chinensis-enebro-chino-junipero-hino.htm, 2009).



Taxonomía

Reino:	Plantae
División:	Pinophyta
Clase:	Pinopsida
Orden:	Pinales
Familia:	Cupressaceae
Género:	<i>Juniperus</i>
Especie:	<i>Juniperus chinensis</i> L.

Fig. 13.- Testigo de *Juniperus chinensis* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza

2.17.5. *Nerium oleander* L. (1753).

La *Nerium oleander* L. (www.ipni.org/ipni/plantnameSearchpage.do, 2009), es un arbusto perenne de hasta 6 metros de altura, de crecimiento rápido. Fig. 14, requiere estar en pleno sol en zonas de clima frío, sinónimos; *N. indicum mill* y *N. odorum ait*. Su nombre común es Adelfa, Adelfas, laurel rosa, balandre, etimológicamente la palabra latina “*Nerium*” deriva del vocablo griego “*Neros*”, húmedo, aludiendo a su apetencia por lugares donde abunda el agua. El epíteto específico “*oleander*”, parece ser la contracción latina de “*olea*”, olivo (por la forma de sus hojas) y “*dendron*”, rustico. Originaria de la zona mediterránea, Asia templada, Japón, distribuyéndose principalmente a lo largo de toda la región mediterránea, habitando orillas de ríos y arroyos, barrancos, en general cerca de cursos de agua.

Descripción botánica: presenta hojas simples y enteras, lanceoladas y coriáceas de color verde pardusco, flor de color rojo, rosa, o blanca, dispuestas en corimbos terminales con corola simple o doble formada de cinco pétalos inclinados hacia el lado derecho, fruto de color pardo-rojizo, con las semillas provistas de un penacho de pelos. Ramas bastante delgadas y largas, erectas, corteza lisa cuando la planta es joven y con veteado verdoso cuando madura, con numerosos tallos de color gris verdusco. Se propaga por acodo en mayo o por esqueje en verano, florece en primavera y continúa la floración hasta la llegada del otoño. Es un arbusto muy resistente a toda clase de suelos y a condiciones adversas, se adapta bien a ambientes secos, tolerando heladas, pero no fuertes. Resiste el calor, el viento, cal, sal del suelo, necesita un suelo que presente un buen drenaje, de ahí que se desarrolle en zonas arenosas, soleadas y poco riego, soporta muy bien el recorte, brotando con vigor. Se considera tolerante a la contaminación (COCODA, 1986; www.gardendepot.org,2009; www.jtosti.com,2009).



Fig. 14.- Testigo de *Nerium oleander* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza

Taxonomía

- Reino:** Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Gentianales
Familia: Apocynaceae
Género: *Nerium*
Especie: *Nerium oleander* L.

2.17.6. *Thuja orientalis* L. (1753).

La *Thuja orientalis* L. (www.ipni.org/ipni/plantname-searchpage.do, 2009), es un árbol pequeño y muy ramificado de hoja perenne con altura que puede alcanzar 4 metros, diámetro de 15cm, es de crecimiento lento y frecuentemente tiene porte de arbusto. Fig. 15, es conocida con los sinónimos de *Biota orientalis*, *Platyclusus orientalis*, *tuya de oriente* y con el nombre común de árbol de la vida, Biota, Tuya oriental. Etimológicamente el nombre "Thyon o this" proviene del griego que significa "árbol que produce resina" y "orientalis" proviene del latín y se refiere a su procedencia del oriente. Su área natural de origen es muy extensa, desde Irán hasta China y Corea.

Descripción botánica: presenta hojas persistentes, escuamiformes y opuestas, carecen de glándulas, sus frutos son conos ovoidales y carnosos, verde-azulados cuando jóvenes y después marrón-rojizo, formados por 6 u 8 escamas gruesas, con semillas carentes de alas, corteza delgada y agrietada de color rojo-marrón, sus ramas son ramificaciones erectas, las primeas incluso más largas que el diámetro del tronco, de raíces superficiales, se propaga por semilla y esqueje. Es una especie altamente adaptable, soporta las podas excesivas, soporta el sol y la media sombra, tolera los inviernos muy fríos. Vive muy bien en suelos arcillosos y calizos no demasiado pesados, aunque prospera en casi todos y requiere de poco riego resistiendo la sequía no soporta acumulación de agua en las raíces, se le considera tolerante al bióxido de azufre, al ozono y al polvo. Las Thuyas se desarrollan mejor en suelos profundos y húmedos bien drenados. Es muy utilizada como setos y barreras contra el viento (Martínez, 2008; www.lcsd.gov.hk, 2009; www.eljardin.info/Arboles/Thuja_orientalis,2009).



Taxonomía

- Reino:** Plantae
División: Pinophyta
Clase: Pinopsida
Orden: Pinales
Familia: Cupressaceae
Género: *Thuja*
Especie: *Thuja orientalis* L.

Fig. 15.- Testigo de *Thuja orientalis* L. ubicado en el campo II de la FES Zaragoza.

A5. ANTECEDENTES.

Se han reportado numerosos trabajos donde los vertederos o rellenos sanitarios se han utilizado como áreas de recreación, campos de deportes y servicios. Sin embargo no presentan información sobre el tipo de vegetación que puede adaptarse sin problemas a las condiciones adversas de estos sitios. Enfocándose únicamente al diseño y construcción, como se menciona a continuación:

En 1972, Duane indica el éxito en la habilitación de canchas de golf y jardines sobre rellenos sanitarios, usando además especies arbóreas para completar el paisaje. No se puntualiza sobre las especies empleadas.

Gilman, *et al.*, en 1979 definen las siguientes especies como resistentes a la baja tensión de oxígeno en las raíces: *Nyser sylvatica*, *Picea excelsa*, *Ginkgo biloba*, *Pinus humbergi*, *Myrica pennsylvanica*, *Populus sp*, *Pinus strobus*, *Canercus palustres*, *Taxus cuspidata* y *Filia americana*, indicando que probablemente el tamaño de los individuos al momento de ser plantados podría influir en la adaptación inicial a las condiciones de baja tensión en el medio.

Leone *et al.*, en 1980, realizo estudios en New Jersey reportando a las especies de *Acer rubra*, *Arbustus unedo*, *Picea abies*, *Pinus pinea*, *Pinus strobus*, *Platanus occidentales*, *Populus Irbid*, *Quercus palustris*, *Taxus cuspidata*, *Abies concolor*, *Malus*, *Pinus resinosa*, *Prunas*, *Tilia americana*, *Ulmus amerivcana*, *Ulmus fulva*, entre otras como tolerantes a las condiciones que se presentan en vertederos.

El Ministerio del Ambiente y Calidad de Vida de Francia en 1985, plantea la importancia de ocupar los rellenos sanitarios acabados en parques o campos productivos, para lo cual señala una serie de posibilidades de especies tanto arboreas como herbáceas, las cuales podrían adaptarse a las condiciones de suelo que posee un relleno sanitario, esto es, delgada capa de suelo, alta concentración de gases como CO₂ y CH₄, y alto contenido de metales pesados entre otros. Los autores señalan también que es necesario poblar primero con especies llamadas "pioneras", las cuales soportan condiciones adversas y tienen un crecimiento más rápido, creando así un microclima para que se puedan desarrollar posteriormente especies denominadas "nobles". Como especies arbóreas primarias, se señalan *Populus sp.*, *Betulus alba* y *Salix alba*.

En la publicación de la Comisión de Comunidades Europeas de 1992, señala a *Populus nigra*, *Rosa canina*, L., *Salix, spp*, *Corylus avellana*, L., *Prunus serotina*, entre otras especies como posibles de usar en un vertedero sanitario.

Fabris en 1995, reporta la experiencia alcanzada en cinco rellenos sanitarios de Italia, estos son: Vertedero de Bellolampo en Palermo, Vertedero de Imola, Vertedero de Vallin dell' Aquila en Livorno, Vertedero de Cozzo Disi en Casteltermini (Agrigento) y el Vertedero de Scala Erre en Sassari. Cada uno de ellos con características diferentes por lo tanto con soluciones propias. Sin embargo en ellos sólo se reportan de manera efímera las especies de *Acer campestre*, *Acer negundo*, *Acer pseudo platanus*, *Alnus glutinosa* y *Alnus cordata*, sin mencionar si se tuvo éxito o no.

Olaeta, *et al.*, en 1997, reportan que han trabajado en el tema de reinserción de vertederos mediante la implantación de una cubierta vegetal desde el año 1987 donde han probado experimentalmente diferentes tipos de coberturas, en los vertederos de Limache, La Feria y Papudo cuyos resultados son comparados con experiencias internacionales. Los resultados obtenidos muestran que las especies adaptadas en Chile, que no son siempre las mismas a las reportadas por la bibliografía internacional, por lo que las respuestas a las situaciones nacionales deben ser necesariamente propias, lo que obliga a generar mayores investigaciones nacionales. De las especies reportadas por estos autores se encuentran; *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus cordata*, *Eucalipto sp*, *Acacia saligna*, *Acacia caven*, *Espino*, *Parquinsonia aculeata*, *Robinia pseudoacacia*, *Mesembryanthemum sp*, *Gazania*, *sp*, *Rosa sp*, *Acer negundo*, *Fraxinus exelsior*, *Schinus molle*, *Liquidambar stratiflua*, *Festuca sp*, *Trifolium, sp*, *Cynodon*, *Phytolacca dioica*, *Washingtonia robusta*, *Phornium tenax*, *Laurel de flor*, *Malus baccata*, *Alamo común*, *Festuca glauca*, siendo éste un trabajo de los más extensos, además de incluir información acabada de las especies. También cita a Russo y Vieira (1995) que en Portugal, la recuperación de un vertedero municipal no controlado ubicado en una vieja mina de caolín, el que se utiliza hoy como lugar de recreación y servicios de la población de Viana do Castelo, al construir allí estacionamientos, lavado de automóviles, tiendas y una laguna artificial. En esta recuperación también se introdujeron especies arbóreas y arbustivas, sin embargo no se reportan las condiciones de ellas. Al igual que Kearmy (Nebraska) reporta haber sembrado en canteras rellenas de numerosos residuos sólidos industriales, con *Medicago*, siendo suficientes para ello unos 60 cm de recubrimiento final.

Ramírez y Salazar en (1998) concluyeron que *Amaranthus hybridus* es una especie con altas posibilidades para recuperar la cubierta vegetal herbácea en el enterramiento controlado, debido a que es de fácil propagación y muy tolerante a las condiciones de estrés por temperaturas altas, sequías y contaminación.

Munguia y García en el 2000, reportan el establecimiento de *Senna didymobotrya* está asegurado en un 100% si hay un adecuado suministro de humedad.

Páramo en 2000, señala la edificación de un complejo comercial y deportivo sobre la basura acumulada en el bordo Xochiaca. Más de 300 hectáreas de terreno que fueron utilizadas para depositar desechos han sido rehabilitadas para convertirse en parques públicos, donde una porción de 249 hectáreas han sido transformadas en áreas vedes cerradas a la población. Su vegetación son pastos, arbustos y árboles de talla pequeña.

López y Pérez en el 2003, reportaron que la *Acacia saligna* presenta anomalías en el vigor de pecíolo y ausencia de flor y frutos, sin embargo, presenta tolerancia a condiciones ambientes extremas, por otra parte *Acacia nerifolia* presentó más estabilidad, mostrando incrementos en altura, diámetro del tallo, presencia de flor y frutos y un vigor de regular a bueno, reportando como factor limitante al recurso hídrico.

Olaeta, *et al.*, en 2004, reportan que fue posible desarrollar una cubierta vegetal en el relleno sanitario lomas del colorado. Teniendo un buen comportamiento de las especies de *Atriplex numularia*, *Senna candolleana* y *Gelenia secunda*. Donde el nivel de los lixiviados afecta el desarrollo de las plantas, no así para los niveles de metano, sin embargo, el material de cobertura favoreció el desarrollo de las plantas.

Duarte en 2005, reporta en su trabajo realizado en la Parque Ecológico Cuitlahuac que las especies *Acacia saligna*, *A. neriifolia*, *A. baileyana*, *A. melanoxylon* y *Aretinoides* presentaron buena resistencia al trasplante y una mayor capacidad de establecimiento en el sitio recomendando una reforestación para favorecer y establecer una cubierta vegetal arbórea.

Marín en 2006, menciona que las especies *Grevillea robusta* no resiste las condiciones de estrés presentes en un sitio de disposición final post-clausura, sin embargo *Cupressus lindleyi* tienen la capacidad de establecerse en sitios de disposición final post-clausura, obteniendo mejores resultados con abonado y poda.

Mendoza en 2006, señala que el establecimiento de las especies vegetales *Tamarix gallica* y *Tecoma stans*, depende de la talla de introducción en la zona de estudio.

Gómez en 2008, propone a las especies *Schinus molle* L, *Populus alba* L, *Ligustrum japonicum* thumb y *Fraxinus uhdei* (Wenzi.) Linglesh, para el Parque Ecológico Cuitlahuac, encontró la carencia de agua como el factor limitante para el establecimiento de las especies empleadas. Sin embargo, recomienda estas especies como adecuadas para ser introducidas en un sitio de disposición post-clausura, sugiriendo emplear para este fin ejemplares de 1.50 y 2 metros de altura y aplicar riego asistido, abonado y encalado.

González en 2008, introdujo *Cupressus lindley* con 100% de éxito al trasplante en suelos antrópicos, reporta crecimiento muy lento en individuos de talla menor a 120 cm comparado con el testigo.

Por todo lo descrito se determino la necesidad de contar con alternativas para la reinserción de áreas impactadas por el vertido de residuos sólidos, tiene como requisito fundamental impedir que los residuos no estén expuestos al ambiente que se debe satisfacer con el objetivo de proteger la salud humana y el medio ambiente. Sobre el tema de la recuperación de áreas impactadas por vertidos de residuos sólidos no existe a nivel mundial una solución única, sino que existen variadas tendencias tecnológicas, niveles de desarrollo del conocimiento y criterios para enfrentar el tema. Con relación a lo anterior, es posible definir diferentes alternativas de reinserción y distintos usos que se pueden dar a una cubierta vegetal. Entre ellas se pueden mencionar: usos recreacionales, suelos de fundación de construcciones, usos forestales y posibles usos agrícolas (Olaeta, *et al.*, 1997).

A6. PROBLEMÁTICA.

El Parque Ecológico Cuitlahuac es una obra de ingeniería que le dio cierta solución al problema ambiental ocasionado por el tiradero a cielo abierto de Santa Cruz Meyehualco, sin embargo, se han presentado una serie de dificultades debido a que en lugares contaminados como los sitios de disposición final lo primero que se presenta es la pérdida de la cubierta vegetal, dada la heterogeneidad del suelo y las condiciones de estrés vegetal que se presentan en el sitio, a esto se le suma que no existe una planificación profesional para la recuperación de esta cubierta vegetal.

Con base a lo anterior se tiene una supuesta área verde que lejos de proporcionar beneficios a la población y al ambiente, representa problemas de salud pública, ya que al no contar con una cubierta vegetal adecuada se tiene exposición de residuos, generación de gases y fauna nociva, altas temperaturas, malos olores, entre otros, esto a corto y mediano plazo. Además de no tener las especies vegetales que representen los mejores beneficios, ni que sean las más adecuadas para establecerse en dicho sitio, siendo pocas las especies que han logrado sobrevivir en el sitio presentándose una alta susceptibilidad a enfermedades y plagas, resultando en una vegetación raquílica y por consiguiente con un elevado costo de mantenimiento y una baja capacidad de éxito a la plantación.

A7. JUSTIFICACIÓN.

Las áreas verdes en una ciudad son de gran importancia ya que proporcionan servicios ambientales que contribuyen a regular el clima, recarga de mantos acuíferos, liberan oxígeno, amortiguan el ruido, absorben gran cantidad de contaminantes, evitan la erosión del suelo y sirven de refugio a pájaros, insectos y mamíferos pequeños, además de su gran valor estético y recreativo (Cremoux, *et al.*, 1993; GDF. 2000). Por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que cada habitante de cualquier ciudad del mundo cuente con aproximadamente 10 m²/hab de áreas verdes, sin embargo, en la ciudad de México, es de 2.3 m²/hab (Cremoux, *et al.*, 1993).

Dado la anterior y ante la problemática del sitio, para la rehabilitación de esta zona es imprescindible el desarrollo de estrategias que conlleven al establecimiento de una adecuada cubierta vegetal con especies capaces de tolerar condiciones de estrés de tal manera que se logren establecer para proporcionar un micro hábitat y mejorar las condiciones del lugar, ofreciendo servicios ambientales y áreas verdes con fines recreativos de calidad que realmente den un beneficio a la comunidad.

La clave para obtener estos beneficios radica en seleccionar las especies vegetales más apropiadas y plantarlas de la manera y en un lugar adecuado, así como también las técnicas de plantación, mantenimiento y calidad del suelo en donde se desarrolla la vegetación. Lo cual no solo asegura al árbol una vida satisfactoria sino que también disminuye los costos de mantenimiento y preservación del arbolado. Por eso la importancia de elegir especies que cumplirán una función particular y plantarlas en lugares que les permitan cumplir dichas funciones (GDF, 2001; González, 2005).

Con base en lo anterior, resulta necesario trabajar con especies que tengan una mayor capacidad de éxito para sobrevivir en condiciones extremas como los sitios de disposición final post-clausura, con la finalidad de aportar alternativas para la resolución de esta situación se propone la introducción de individuos de las especies *Cupressus sempervirens* L, *Ficus benjamina* L, *Ficus retusa* L, *Juniperus chinensis* L, *Nerium oleander* L y *Thuja orientalis* L., las cuales presentan características interesantes que las hacen dignas de estudio.

A8. HIPÓTESIS.

Dado que en el sitio de disposición final post-clausura la cubierta vegetal se ve sometida a serios problemas de establecimiento, debido a las condiciones de estrés que se presentan en el sitio, **si** se emplean las especies arbóreas y arbustivas: *Cupressus sempervirens* L, *Ficus benjamina* L, *Ficus retusa* L, *Juniperus chinensis* L, *Nerium oleander* L y *Thuja orientalis* L. las cuales son tolerantes a una o más de estas condiciones de estrés y aplicando los criterios adecuadas para la selección de las especies y las técnicas de plantación y mantenimiento de las mismas, la cubierta vegetal **se establecerá con éxito.**

A9. OBJETIVOS.

7.1. Objetivo General.

Establecer y diversificar la cubierta vegetal en el sitio de disposición final post-clausura (Parque Ecológico Cuitlahuac).

7.2. Objetivos particulares.

Caracterizar física y químicamente el suelo (Color, Textura, Agua del suelo, Densidad Real (DR), Densidad Aparente (DA), Espacio Poroso (EP), Conductividad Eléctrica (CE), pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y % de Materia Orgánica (MO)) del Parque Ecológico Cuitlahuac donde se desarrolla la vegetación insertada.

Plantar individuos de las especies: *Cupressus sempervirens* L, *Ficus benjamina* L, *Ficus retusa* L, *Juniperus chinensis* L, *Nerium oleander* L y *Thuja orientalis* L. como especies aptas para la inserción en el Parque Ecológico Cuitlahuac.

Evaluar el establecimiento de las especies introducidas en base a los atributos de vigor, necrosis foliar, color de hoja, talla, diámetro del tronco, cobertura de copa con respecto al tiempo, índice de esbeltez, índice de tolerancia e índice de supervivencia.

Describir la respuesta de las especies introducidas frente a las condiciones de estrés del sitio.

A10. ZONA DE ESTUDIO.

El Parque Ecológico Cuitlahuac se ubica en una zona que antes era ocupado como tiradero a cielo abierto, conocido como el tiradero de Santa Cruz Meyehualco. Situado al oriente de la ciudad de México, con una extensión de 150 hectáreas y con más de 40 años de operación, este llegó a constituirse en un importante centro de influencia, que condicionó el sistema de manejo de los RS y representó uno de los principales focos de contaminación de la ciudad. Rodeado de zonas habitacionales Fig.16A. El tiradero se formó de numerosas montañas de residuos que alcanzaban 23 metros de altura, causas que lo convirtieron en el más grande del mundo, en el que se depositaron aproximadamente 44 millones de toneladas de RS. Este funcionó durante los años 40's y hasta principios de las 80's. Clausurado en septiembre de 1983, la cual concluyó en junio de 1986 e inaugurado oficialmente como Parque Ecológico Cuitlahuac el 5 de enero de 2003. Cuyo plan maestro propuesto por el Departamento de Distrito Federal en 1983 contemplaba la construcción de áreas deportivas, lagos artificiales, zoológico y juegos mecánicos (DDF., citado en Galván, 1995; Galván, *et al.*, 1995).

El parque se ubica en el oriente del Distrito Federal, en los perímetros de la Delegación Iztapalapa entre el paralelo 19°22'00" latitud Norte y meridiano 99°02'00" longitud Oeste. Se encuentra a una altitud de 2240 msnm y su extensión actual es de 148 hectáreas (www.elclima.com.mx/iztapalapa.htm, 2009). Dentro del Parque Ecológico Cuitlahuac se encuentra una parcela experimental de una extensión de 3450 m², Fig.16B. Dicha parcela, en función de su disponibilidad de agua se divide en tres zonas: 1) zona húmeda, con relativamente alta disponibilidad de agua, 2) zona semi-húmeda, con disponibilidad medía de agua y 3) zona seca; con una escasez severa del recurso (Mendoza, 2006). Estas zonas se encuentran comprendidas en el periodo que va de finales del 2007 a mediados del 2010.



Fig. 16.- (A) Imagen satelital del Parque Ecológico Cuitlahuac y (B) de la parcela experimental de la FES Zaragoza ubicada en el parque (imágenes tomada de google earth, versión 4.3, 2010).

- Sitio en el que se encuentran cada una de las especies vegetales insertadas.

A11. MÉTODO.

El método de trabajo consta de tres etapas denominadas fase de gabinete, fase de campo y fase de laboratorio.

9.1. Fase de gabinete.

En la fase de gabinete se realizó una consulta bibliográfica especializada para fundamentar las acciones y métodos a realizar y de manera muy importante hacer la elección de las especies de objeto de estudio. En la revisión bibliográfica se consultaron libros, tesis, servicios sociales, artículos científicos, periódicos, páginas de internet y bases de datos. Fig.17.

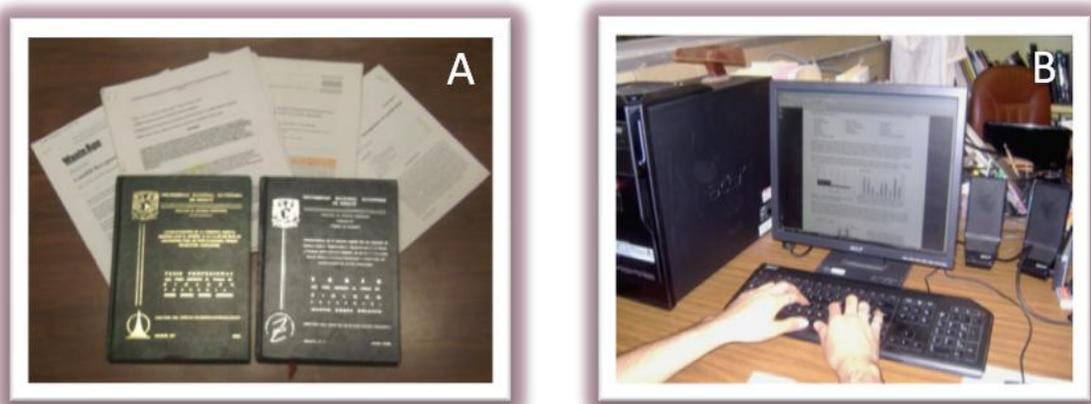


Fig. 17.- (A) Consulta bibliográfica de tesis y artículos. (B) Consulta bibliográfica en bases de datos.

Además del procesamiento y análisis de las bases de datos recabadas en campo y en el laboratorio, mediante el uso de tablas y graficas elaboradas en Excel y Origin Pro 8 para establecer diferencias entre individuos y zonas.

9.2. Fase de campo.

En la fase de campo se llevó a cabo el reconocimiento y delimitación de la zona de estudio empleando el GPS para la georeferenciación de la parcela experimental de la FES Zaragoza donde se delimitaron tres zonas; la primera es una zona semi-húmeda, la segunda una zona húmeda y la tercera una zona seca.

En cada una de las zonas se asigno el lugar de plantación para cada especie de acuerdo a la disponibilidad del sitio, empleando para esto la técnica de tres bolillo a una distancia de 5m entre cada individuo, además de elegir el sitio para la plantación de los testigos que se ubican dentro de las inmediaciones del campus II de la FES Zaragoza, de acuerdo con la NADF-001-RENAT-2006.

Una vez elegido el sitio, se realizo un muestreo del suelo Fig.18, de la parcela experimental y de las zonas donde se ubican los testigos, tomando un total de 20 muestras simples de 2 kg de suelo para la posterior determinación de los parámetros físico y químico; estos análisis se realizaron por duplicado (Muñoz, *et al.*, 2000; Ruiz y Ortega, 1979).



Fig.18.- Toma de muestras de suelo de la parcela experimental y campo II de la FES Zaragoza para su análisis físico y químico.

Posteriormente en estos sitios se elaboraron las cepas Fig.19, de 30 x 30 x 30 centímetros, con sus respectivos cajetes, también se cambio el suelo por tierra fértil y la aplicación de abonos (Harris, 1992; COCODA, 1986; GDF, 2001).



Fig. 19.- Realización de cepas en la parcela experimental y campo II de la FES Zaragoza.

También se visitó el vivero de la Dirección General de Parques Urbanos del DF. “vivero Netzahualcóyotl” y el vivero de Yecapixtla para la selección y adquisición de los ejemplares que serán introducidos en la zona de estudio de acuerdo a lo establecido por la NADF-006-RNAT-2004 y NADF-001-RNAT-2006 (Harris, 1992; COCODA, 1986 GDF, 2001).

Se preparó un sustrato adecuado para la plantación mediante una mezcla de caballaza, composta y sustrato del sitio en relación de 1:1:1.

La plantación se realizó en el mes de octubre del 2007, también se practicó una segunda plantación en el mes de mayo del 2009, para sustituir los organismos muertos o víctimas de vandalismo. Para dichas plantaciones, se utilizó fitohormonas (Radix 10000) Fig. 20A y B para estimular el crecimiento radicular de las especies seleccionadas, el sustrato previamente preparado y agua; a los ejemplares se les colocó un tutor, un acolchado sobre el cajete evitando que el agua del riego se evapore más rápido de lo normal para el sitio (Harris, 1992; COCODA, 1986; GDF, 2001).



Fig. 20.- Plantación de los organismos empleando radix 10000 (A). Formación del cajete (B)

Se dio seguimiento a los individuos insertados para diferentes tallas, desde el 2007 a la fecha, llevando el seguimiento en formatos con la información de: talla, diámetro del tronco Fig. 21A, cobertura de copa, vigor, color Fig. 21B, necrosis foliar y supervivencia. Se aplicó riego asistido permanente Fig. 21C, 2 veces por semana hasta el establecimiento de las especies insertadas (GDF, 2001).

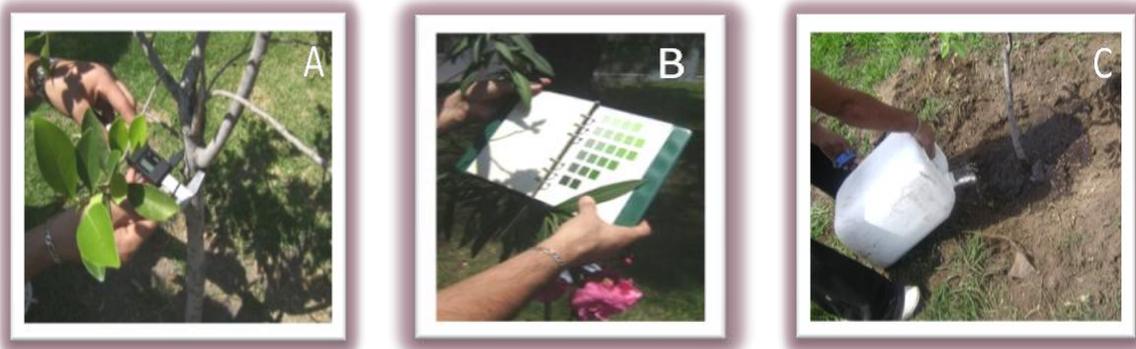


Fig. 21.- (A) Medición del diámetro en *Ficus benjamina* L. por medio del Vernier SURTEK. (B) Determinación del color de hoja en *Nerium oleander* L. empleando tablas MUNSELL de vegetación (C) Riego asistido a los organismos de la parcela experimental.

9.3. Fase de laboratorio.

En la fase de laboratorio se llevó a cabo la determinación de los parámetros físicos y químicos a las muestras simples de suelo tomadas del sitio donde se estableció la cubierta vegetal e interpretación de los datos recabados.

Los análisis físicos y químicos que se realizaron en el suelo son: la determinación de color empleando Tablas Munsell para la comparación (Munsell, 1992) Fig.22A, textura utilizando la técnica de Bouyoucos, agua del suelo, densidad real (DR) por el método del picnómetro, densidad aparente (DA) por el método del cilindro, espacio poroso (EP) a partir de DR y DA, conductividad eléctrica (CE_{25°C}) mediante un Conductivity Meter. Fig. 22B, por pasta de saturación, pH del sustrato a pasta de saturación, empleando un potenciómetro OAKTON pH/mV/°C meter pH 11 serie, Capacidad de Intercambio Catiónico Total (CIC_{total}) por el método del versenato EDTA pH7 1N y porcentaje de materia orgánica (%MO) Fig.22C. por el método de Walkley y Black (NOM-021-SEMARNAT-2000; Muñoz *et al.*, 2000; Ríos, 1985; Ruiz y Ortega, 1979).

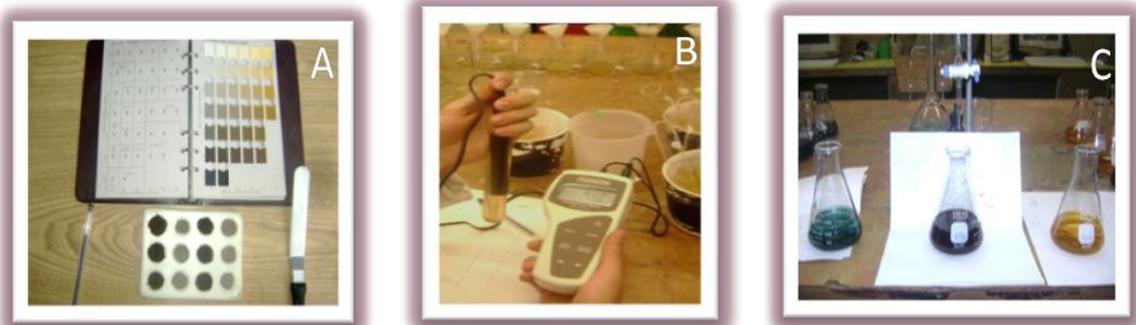


Fig. 22.- (A) Determinación de color por medio de tablas MUNSELL. (B) Determinación de conductividad eléctrica con CONDUCTIVITY METER. (C) Determinación del % de materia orgánica por Walkley-Black.

A12. RESULTADOS.

10.1. Propiedades físicas y químicas del suelo.

MUESTRA	SECO	COLOR	HUMEDO	COLOR	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
H1	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	43.6	22.8	33.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
H2	5/3 10 YR	CAFÉ	3/3 10 YR	CAFÉ OSCURO	49.6	18.8	31.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
H3	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	53.6	14.8	31.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
H4	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	43.6	22.8	33.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
H5	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	47.6	22.8	29.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
S1	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	55.6	14.8	29.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
S2	4/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO OSCURO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	49.6	20.8	29.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
S3	5/3 10YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	44.6	18.8	36.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
S4	5/3 10YR	CAFÉ	3/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO MUY OSCURO	41.6	18.8	39.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
S5	5/3 10YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	37.6	26.8	35.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
SH1	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	49.6	16.4	34	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
SH2	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	55.6	12.4	32	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
SH3	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	51.6	14.4	34	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
SH4	5/3 10 YR	CAFÉ	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	45.6	18.4	36	ARCILLO ARENOSA
SH5	4/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO OSCURO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	55.6	12.8	31.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
T3	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	61.6	10.8	27.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
TFb	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	40.6	21.8	37.6	MIGAJÓN ARCILLOSO
TJch	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	63.6	12.8	23.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
TCs	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	65.6	8.8	25.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO
TNo	5/2 10 YR	CAFÉ GRISACEO	2/2 10 YR	CAFÉ MUY OSCURO	65.6	10.8	23.6	MIGAJÓN ARCILLO ARENOSO

Tabla 1.- Propiedades físicas y químicas del suelo del Parque Ecológico Cuitlahuac y FES Zaragoza, Los resultados son un promedio de dos determinaciones. H: zona húmeda, S: zona seca, SH: zona semi-húmeda, T3 testigo para *Thuja orientalis* y *Ficus retusa*, TFb testigo *Ficus benjamina*, TJch testigo *Juniperus chinensis*, TCs testigo, *Cupressus sempervirens* y TNo testigo *Nerium oleander*.

En esta tabla se observan los resultados del análisis físico y químico del suelo heterogéneo de color tanto en seco como en húmedo y una clase textural predominantemente de migajón arcillo arenoso, con mayor proporción de arena, seguido de la arcilla. Teniéndose que no hay una variación marcada entre zonas, sin embargo, en general si la hay.

Continuación tabla 1.

MUESTRA	% de humedad	% de H ₂ O a PS	% de H ₂ O a CC	% de H ₂ O a CH	% de H ₂ O a PMP	% de H ₂ O gravitacional	% de H ₂ O capilar	% de H ₂ O no disponible	% de H ₂ O disponible
H1	30.79	73.55	67.62	4.40	6.47	5.96	63.21	12.43	61.15
H2	23.10	63.56	58.51	5.59	8.21	5.05	52.66	13.26	50.30
H3	29.45	76.18	71.73	5.76	8.47	4.45	65.97	12.92	63.26
H4	18.77	67.71	61.68	5.77	8.49	6.03	55.91	14.52	53.19
H5	28.45	73.30	67.04	5.24	7.70	6.27	61.81	13.96	59.34
S1	19.19	58.41	54.52	4.91	7.22	3.87	49.61	11.09	43.73
S2	16.64	63.85	60.03	4.87	7.17	3.85	55.13	11.01	52.86
S3	21.14	66.58	60.27	5.79	8.52	5.26	54.48	13.77	51.74
S4	18.49	66.41	60.42	5.21	7.66	5.99	55.21	13.65	52.76
S5	19.99	63.07	58.57	5.81	8.54	4.47	52.24	13.01	50.03
SH1	21.18	59.13	66.55	4.12	6.05	2.82	52.19	8.87	60.05
SH2	26.69	66.67	62.73	5.77	8.49	3.94	56.81	12.42	54.24
SH3	15.21	62.83	59.68	5.23	7.69	3.14	54.45	10.83	51.99
SH4	21.44	71.05	66.06	6.05	8.90	5.00	57.37	13.89	57.16
SH5	27.15	79.07	74.36	6.02	8.85	4.71	68.34	13.56	65.51
T3	21.96	52.05	48.46	3.59	5.28	3.59	44.88	8.87	43.18
TFb	24.46	74.68	68.67	5.76	8.47	5.75	65.53	14.22	60.20
TJch	18.22	63.32	56.04	4.86	7.14	7.29	51.16	14.43	48.90
TCs	18.34	61.86	59.02	3.86	5.68	5.41	52.58	11.09	53.34
TNo	17.94	64.69	56.59	3.30	4.85	8.11	52.09	12.96	51.74

Tabla 1.- Continuación propiedades físicas y químicas del suelo del parque ecológico Cuitlahuac y FES Zaragoza, resultados son un promedio de dos determinaciones. (Pasta de saturación; PS), (Capacidad de campo; CC), (coeficiente higroscópico; CH), (punto de marchites permanente; PMP), (Densidad aparente; DA), (Densidad real; DR), (Espacio poroso; EP). H: zona húmeda, S: zona seca, SH: zona semi-húmeda, T3 testigo para *Thuja orientalis* L. y *Ficus retusa* L., TFb testigo *Ficus benjamina* L., TJch testigo *Juniperus chinensis* L., TCs testigo, *Cupressus sempervirens* L. y TNo testigo *Nerium oleander* L.

Los valores de agua del suelo establecen que con base a las propiedades del suelo, estas serían condiciones necesarias para el aprovechamiento de las plantas, cuyos valores son adecuados para el aprovechamiento de las plantas, sin embargo, estos porcentajes están sujetos a la temporada de lluvias o riego asistido, es decir, a la disponibilidad del recurso hídrico.

Continuación tabla 1.

MUESTRA	DR (g/cm ³)	DA (g/cm ³)	% de EP	CE ₂₅ °C dS m ⁻¹	pH	CICT.(cmol(+))Kg ⁻¹	% de MO
H1	2.781	0.66	76.25	0.828	7.49	26.52	4.23
H2	2.45	0.74	69.79	1.475	8.08	27.28	1.42
H3	2.705	0.72	73.43	1.111	7.65	31.20	4.41
H4	2.44	0.94	61.47	0.946	7.38	24.48	1.95
H5	2.38	0.72	69.74	1.765	7.88	31.32	3.35
S1	2.44	0.54	77.86	1.337	8.04	24.50	2.09
S2	2.5	0.91	63.6	1.407	7.77	24.96	1.92
S3	2.78	1.01	63.67	1.020	7.70	24.84	3.18
S4	2.64	0.70	73.11	0.744	7.63	28.86	3.18
S5	2.73	0.94	65.57	1.085	8.32	27.48	2.83
SH1	2.44	0.73	70.08	3.897	8.17	26.28	1.92
SH2	2.22	0.83	62.61	1.064	7.89	27.96	1.60
SH3	2.45	1.09	55.51	1.243	8.11	24.96	2.65
SH4	2.35	0.84	64.25	1.787	7.77	30.36	4.76
SH5	2.04	0.78	61.76	0.816	6.96	29.64	5.46
T3	2.63	0.90	61.86	0.843	7.79	25.20	2.65
TFb	3.17	0.84	73.5	2.795	7.66	30.60	3.27
TJch	2.64	0.75	71.6	0.822	7.91	27.00	2.47
TJCs	2.785	0.86	69.17	0.821	7.92	29.64	3.71
TNo	2.55	0.94	63.14	1.248	8.02	23.52	1.42

Tabla 1-Continuacion propiedades físicas y químicas del suelo del Parque Ecológico Cuitlahuac y FES Zaragoza, Promedio de dos muestras simples de suelo. H: zona húmeda, S: zona seca, SH: zona semi-húmeda, T3 testigo para *Thuja orientalis* L. y *Ficus retusa* L., TFb testigo *Ficus benjamina* L., TJch testigo *Juniperus chinensis* L., TCs testigo, *Cupressus sempervirens* L. y TNo testigo *Nerium oleander* L.

Los valores de las densidades y del espacio poroso que indican un suelo con alta movilidad de agua y aire, una conductividad eléctrica no salina, el efecto sobre los cultivos son comúnmente despreciables, un pH medianamente alcalino, alta conductividad eléctrica y un porcentaje medio de materia orgánica.

10.2. Resultados del seguimiento de la plantación.

10.2.1. Parámetros de establecimiento.

ESPECIE	INDIVIDUO			TESTIGO		
	vigor	% de necrosis	Color	vigor	% de necrosis	Color
Cs	BUENO	NULA	5/6 5 GY	BUENO	NULA	4/6 7.5 GY
Fb	MALO	ALTA	4/8 5 GY	REGULAR	BAJA	4/8 5 GY
Fr	BUENO	NULA	4/8 5 GY	BUENO	NULA	4/8 5 GY
Jch	BUENO	NULA	5/10 5 GY	BUENO	NULA	5/10 5 GY
No	BUENO	NUAL	5/6 2.5 GY	BUENO	NULA	4/4 5 GY
To	BUENO	NULA	5/8 5 GY	BUENO	NULA	6/10 5 GY

Tabla 2.- Valores de los parámetros de vigor, necrosis y color de hoja para cada especie Cs: *Cupressus sempervirens* L., Fb *Ficus benjamina* L., Fr: *Ficus retusa* L., JCh: *Juniperus chinensis* L., No: *Nerium oleander* L. y To: *Thuja orientalis* L.

En la tabla 2 se aprecian algunos atributos de las especies que nos indican el establecimiento de las mismas. Se puede observar que todas las especies mostraron un vigor bueno y necrosis nula, tanto para los testigos como para los individuos problema, con excepción de *Ficus benjamina* L. (Fb), y en el color de hoja, en algunos casos se aprecia una ligera variación en los valores con respecto a los testigos. Véase anexo 1.

10.2.2. Índice de tolerancia.

NUMERO DE INDIVIDUO	<i>Cupressus sempervirens</i> L.	<i>Ficus benjamina</i> L.	<i>Ficus retusa</i> L.	<i>Juniperus chinensis</i> L.	<i>Nerium oleander</i> L.	<i>Thuja orientalis</i> L.
1	0.87	ND	1.05	0.75	1.12	1.02
2	0.54	ND	0.97	0.62	1.13	0.94
3	0.57	ND	0.98	0.71	0.79	0.92
4	0.58	ND	0.76	0.52	0.87	0.91
5	0.73	ND				
S 1	0.69	ND	0.82			0.96
S 2	0.71	ND	0.85			0.87
S 3		ND				0.86

Tabla 3.- Valores de tolerancia para las diferentes especies. ND: valores no disponibles, S1, S2 y S3 son organismos de sustitución.

En índice de tolerancia se tienen valores altos para las especies sobrevivientes, no así para, el caso de *Ficus benjamina* L. (Fb) que no sé logro establecer y valores bajos para los individuos que fueron afectados por vandalismo, en cuyo caso, los datos empleados para los cálculos son tomados hasta el deceso de los mismos.

10.2.3. Supervivencia de especies.

ESPECIE	Cs	Fb	Fr	Jch	No	To	PLANTACIÓN
No inicial	5	4	4	4	4	4	1
No final	1	0	1	2	4	0	
Índice de supervivencia	20%	0%	25%	50%	100%	0%	
No de testigos iniciales	1	2	2	2	1	2	
No de testigos finales	1	1	2	2	1	1	
Índice de supervivencia	100%	50%	100%	100%	100%	50%	
No inicial	2	2	2	NA	NA	3	2
No final	2	1	2	NA	NA	3	
Índice de supervivencia	100%	50%	100%	NA	NA	100%	
No de testigos iniciales	2	2	2	NA	NA	1	
No de testigos finales	2	2	2	NA	NA	0	
Índice de supervivencia	100%	100%	100%	NA	NA	100%	

Tabla 4.- Índice de supervivencia de las especies insertadas en el Parque Ecológico Cuitlahuac y testigos ubicados en las FES Zaragoza, de acuerdo a la plantación, Cs: *Cupressus sempervirens* L., Fb: *Ficus benjamina* L., Fr: *Ficus retusa* L., Jch: *Juniperus chinensis* L., No: *Nerium oleander* L. y To: *Thuja orientalis* L.

NA: datos no disponibles dado que no se practico segunda plantación para dichas especies (sustitución) por no ser necesario.

Aun que en el sitio hay condiciones de estrés, se obtuvo un alto porcentaje de supervivencia, con excepción de *Ficus benjamina* L. (Fb), sin embargo para el resto de las especies, el porcentaje de la primera plantación se ve afectado por vandalismo (incendios y robo de los organismos).

10.2.4. Índice de esbeltez

Índice de esbeltez para *Cupressus sempervirens* L. (2007-2010)

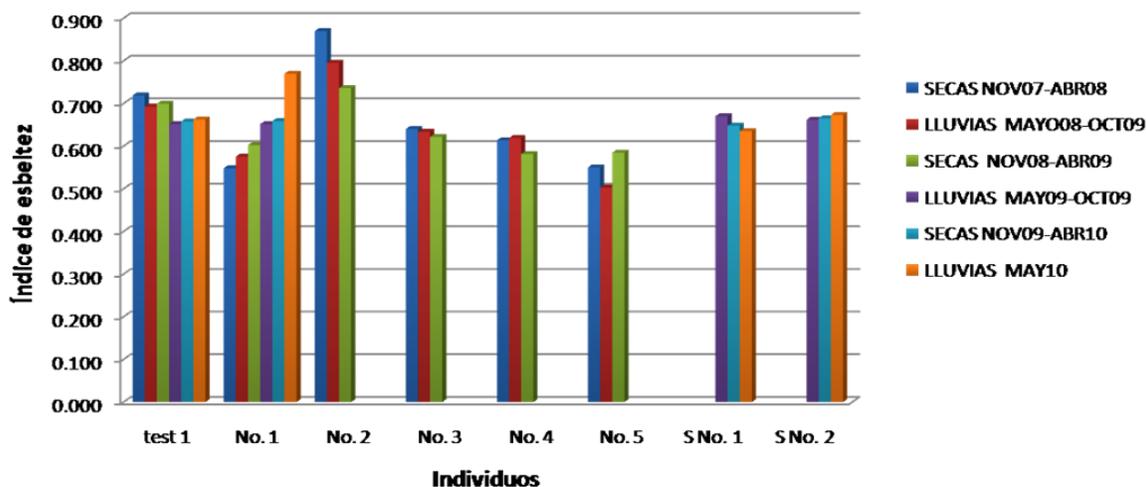


Fig.- 23. En este tipo de gráficas se puede observar la relación entre el incremento de altura con respecto al diámetro, teniendo que los individuos No. 1 y 5 mostraron mayor crecimiento de altura con respecto al diámetro y los individuos 2, 3, 4, S3 y testigo 1 presentaron mayor incrementos de diámetro que de altura, sin embargo, este fue muy poco.

Índice de esbeltez para *Ficus benjamina* L. (2007-2010)

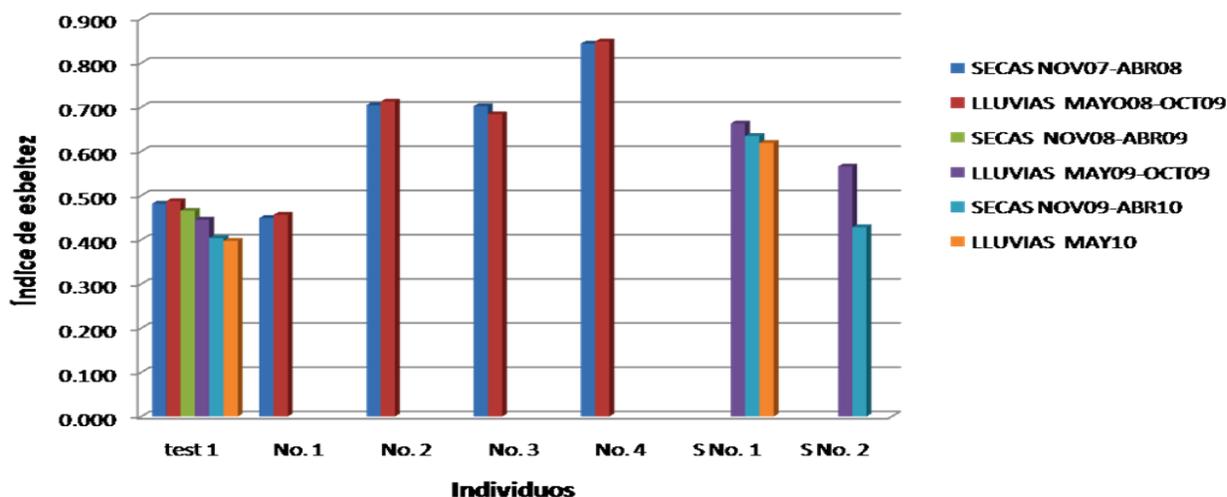


Fig.-24. El testigo y el individuo S1 mostraron mayor ganancia en diámetro, mientras que en resto de los individuos murieron.

Índice de esbeltez para *Ficus retusa* L. (2007-2010)

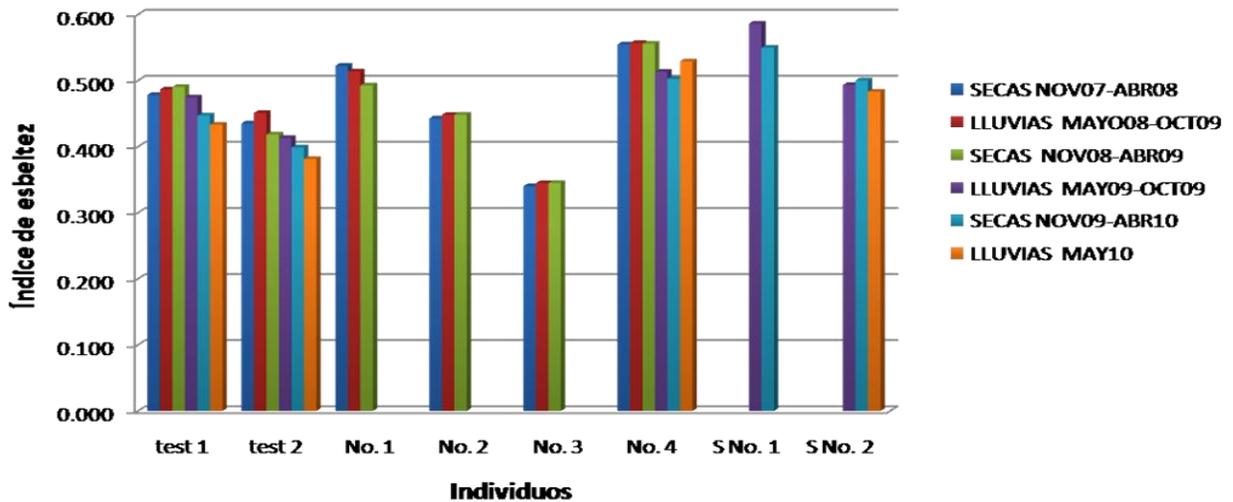


Fig.-25. En esta especie se observa una tendencia mayor al aumento de diámetro que a la altura, sin embargo, los organismos 1, 2, 3 y S1 fueron víctimas de vandalismo razón por la que se marchitaron y se secaron.

Índice de esbeltez para *Juniperus chinensis* L. (2007-2010)

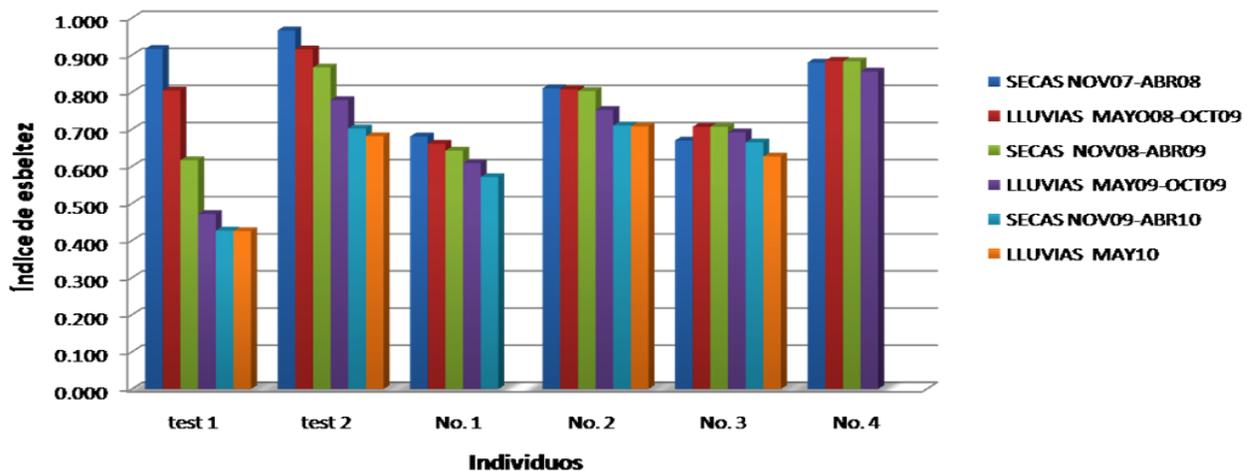


Fig.-26. Para *Juniperus chinensis* L. se tiene una disminución del índice de esbeltez, lo cual se traduce como ganancia en el diámetro como estrategia de establecimiento, siendo más evidente en los testigos.

Índice de esbeltez para *Nerium oleander* L. (2007-2010)

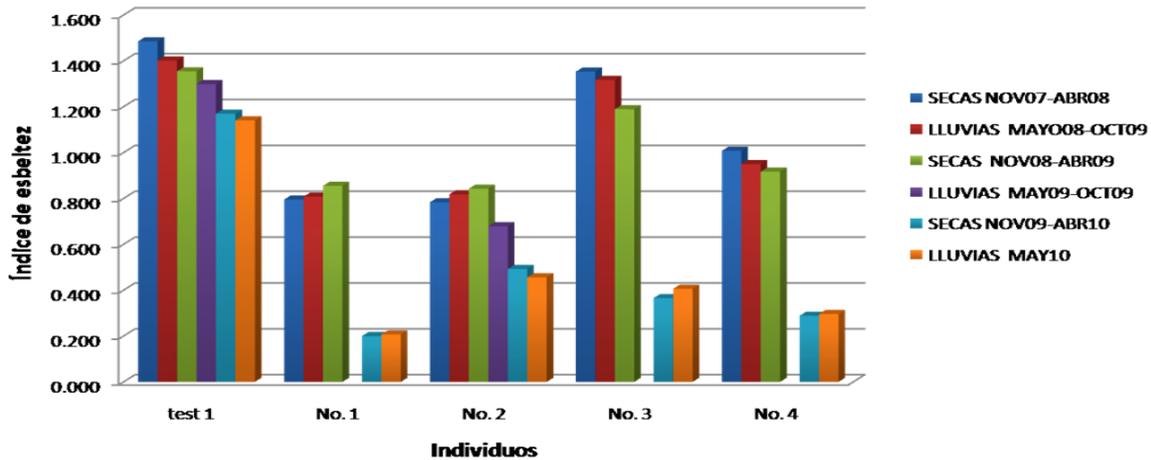


Fig.-27. El testigo muestra mayor ganancia en diámetro con respecto a la altura, sin embargo, para los individuos problema aunque la tendencia parece ser la misma, el desarrollo de los organismos se vio severamente afectada por vandalismo causando la pérdida de algunos datos.

Índice de esbeltez para *Thuja orientalis* L. (2007-2010)

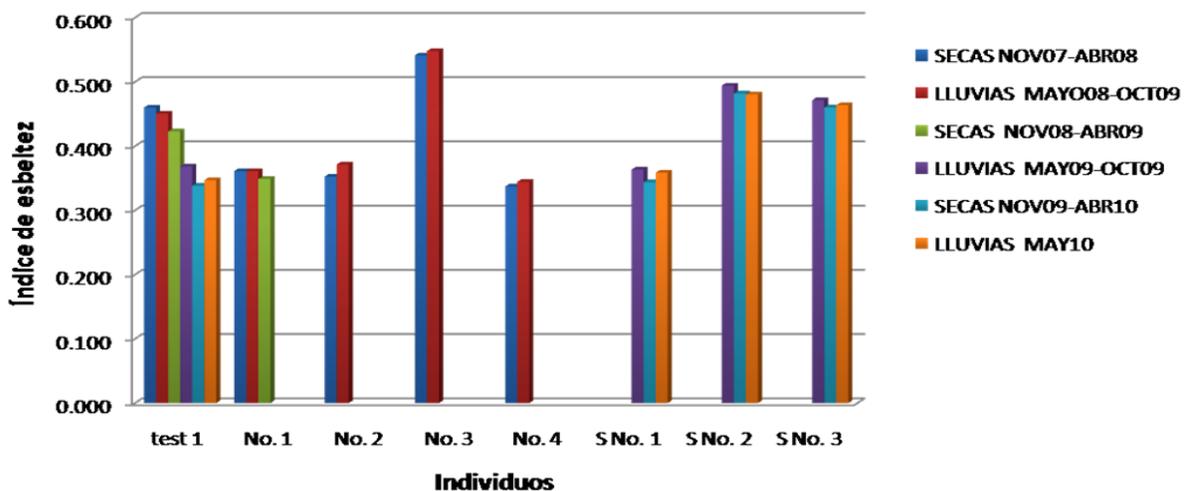


Fig.-28. El testigo 1 muestra mayor incremento de diámetro y en el resto de los organismos se mantuvieron con ligeras variaciones, de los cuales los individuos 1, 2, 3 y 4 fueron víctimas de vandalismo provocándoles la muerte.

S No: Individuos de la segunda plantación (sustitución).

Test: Testigo.

10.2.5. Patrones de crecimiento

Altura de *Cupressus sempervirens* L.

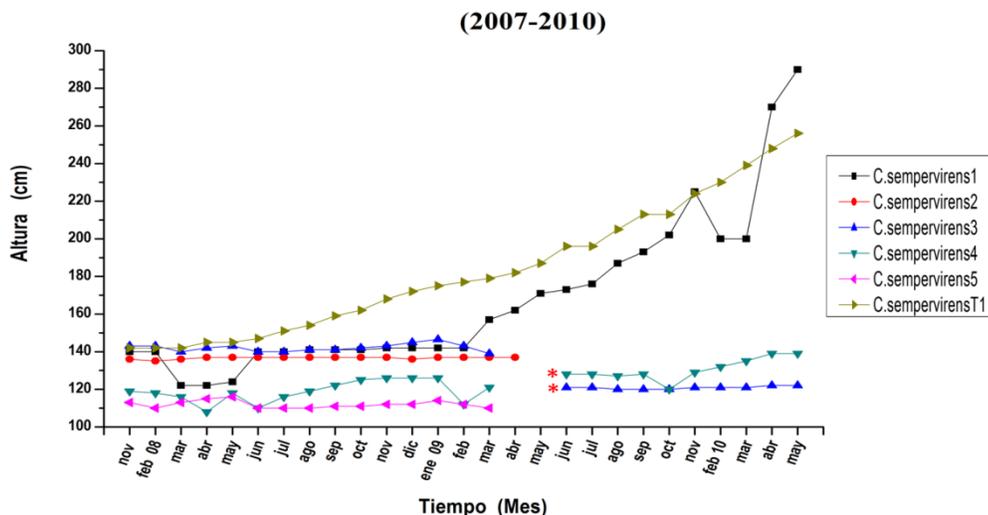


Fig.-29. En estas gráficas se aprecia la altura de los organismos en donde en algunos casos se tiene disminución debidos a vandalismo, donde se cortan los datos abruptamente es debido a la muerte de los organismos, por lo que se realizó una susutitución.

Altura de *Ficus benjamina* L.

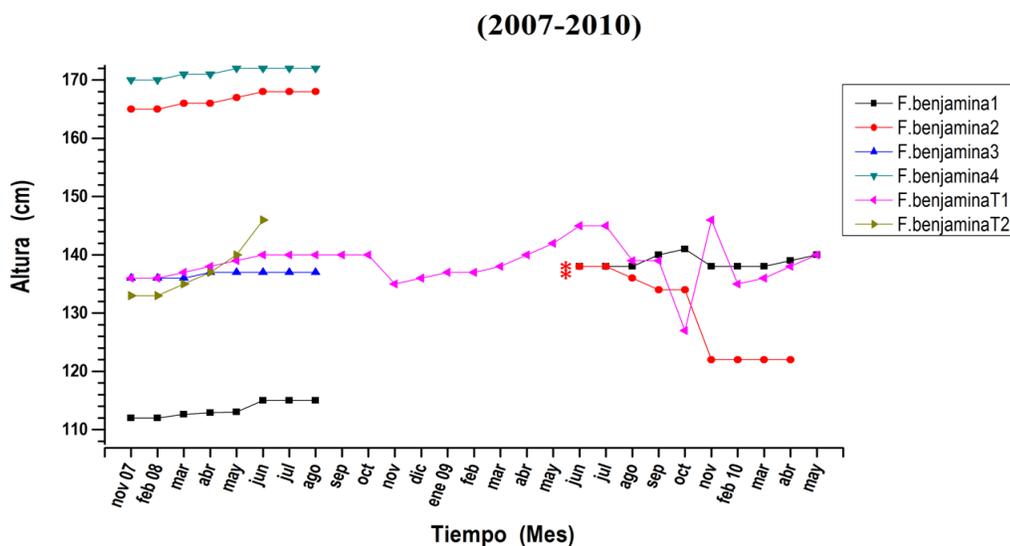


Fig.-30. El testigo 1 se mantuvo presentando aumento que se afecto por vandalismo, el individuo de sustitución No 1 presento un crecimiento ligero, el No 2 mostro una pérdida de altura, ambos afectados por vandalismo, el resto de los individuos murieron.

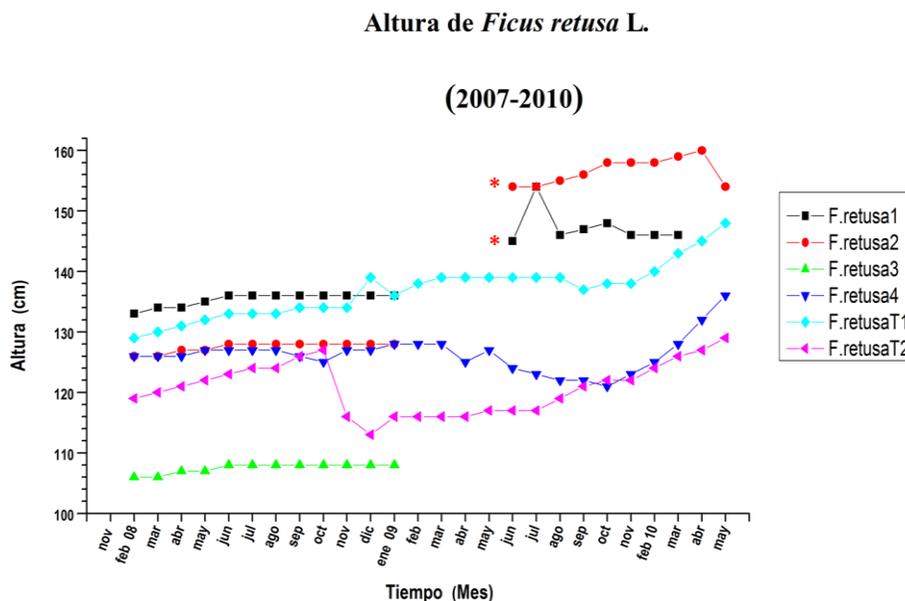


Fig.-31. Los individuos 1, 2 y 3 presentaron un ligero aumento, hasta ser pillaje de vandalismo, en cambio el individuo No 4 sobrevivió con un comportamiento similar a los testigos, en el caso de los individuos de sustitución el No 1 presento crecimiento, en el No 2 fue afectado por bandillaje.

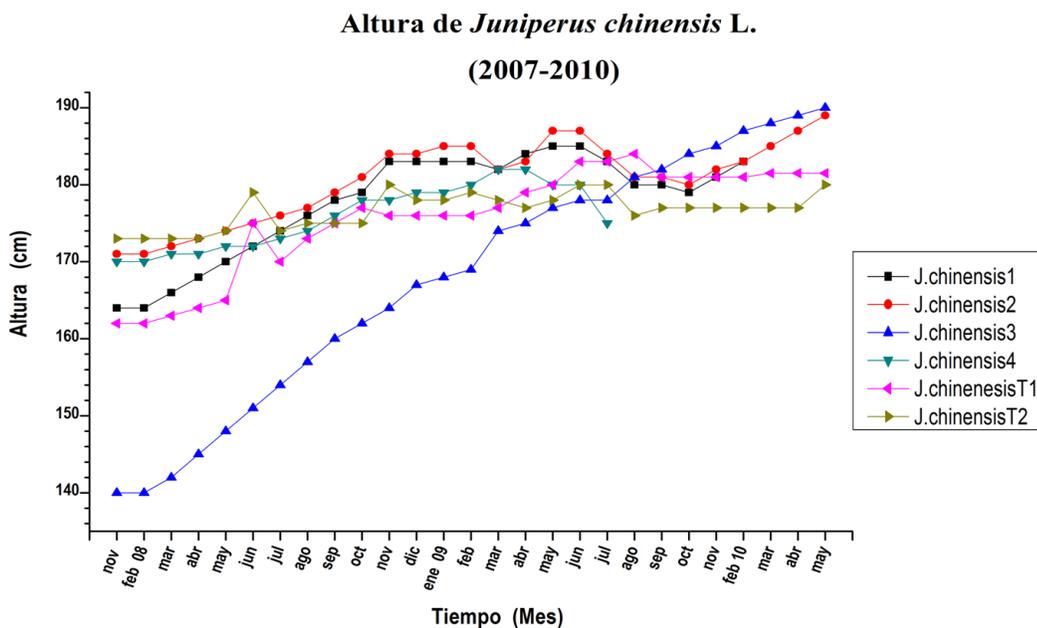


Fig.-32. Aquí se aprecia un patrón de crecimiento similar tanto para los individuos problema como para los testigos como señal del buen establecimiento de la especie.

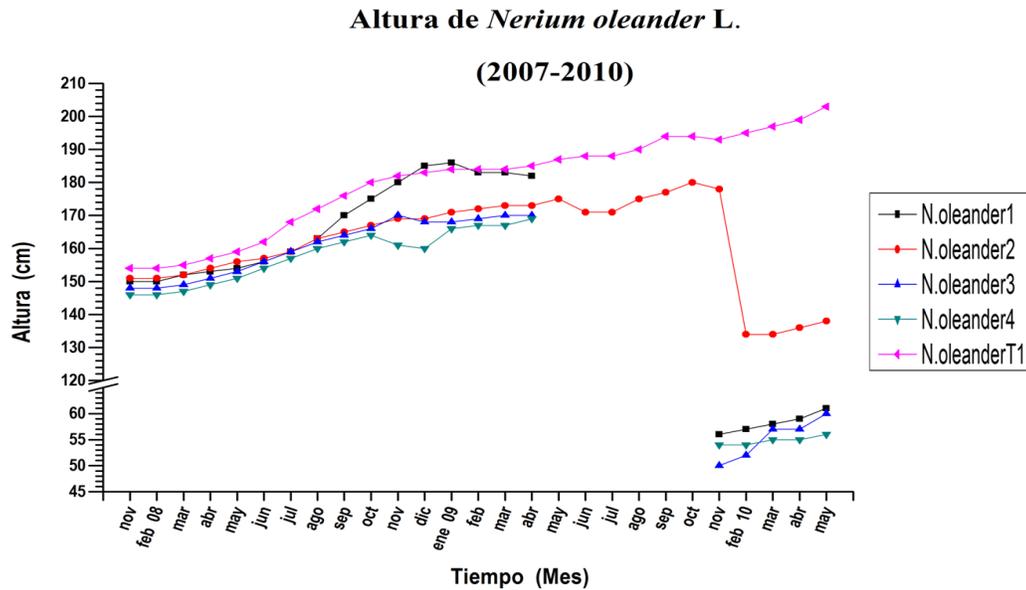


Fig.-33. El patrón de crecimiento es muy similar con respecto al testigo, solo que para los individuos problema se afecto por vandalismo, sin embargo, los organismos no murieron como indicador de ser una especie resistente al estrés vegetal.

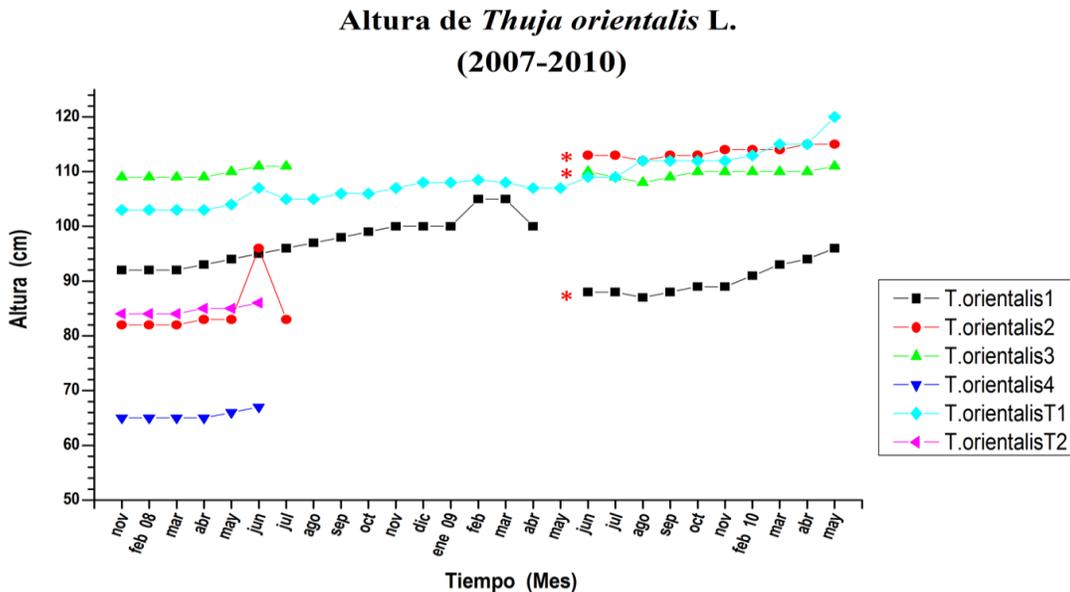


Fig.-34. Los individuos problema presentaban un patrón de crecimiento similar al testigo 2, el individuo 1 y el T1 tuvieron un comportamiento parecido, que comenzaba a tener aumentos notables hasta verse afectado por bandidaje ocasionando la muerte del ejemplar 1 y los organismos de sustitución han permanecido más o menos constantes.

* Individuos de sustitución

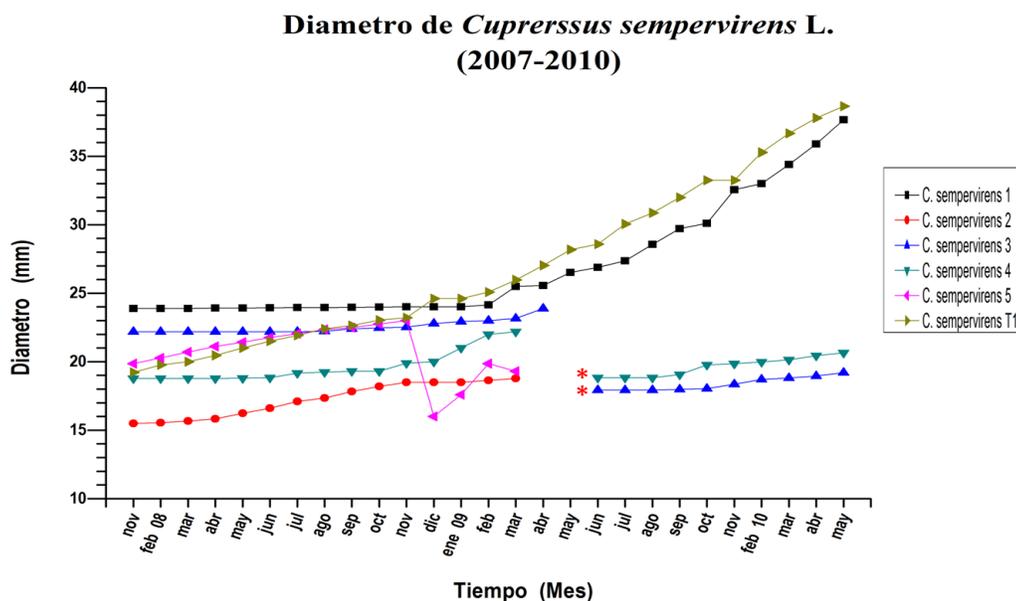


Fig.-35. En general se aprecia un patrón de crecimiento muy similar tanto para el testigo como para los individuos problema, teniéndose valores constantes hasta verse afectados por vandalismo, ocasionándoles la muerte, no así para el individuo 1 que logra sobrevivir registrando incrementos similares al testigo T1.

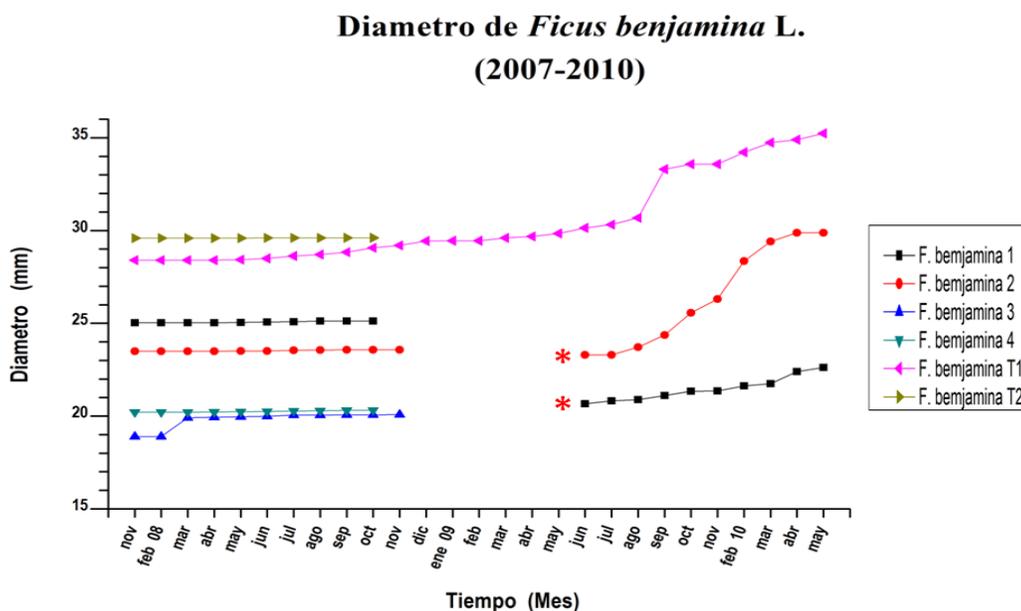


Fig.-36. Los individuos problema pese a tener un comportamiento similar al testigo no resistieron las condiciones de estrés vegetal por lo que murieron, solo el testigo T1 y los individuos de sustitución sobrevivieron mostraron incremento en diámetro.

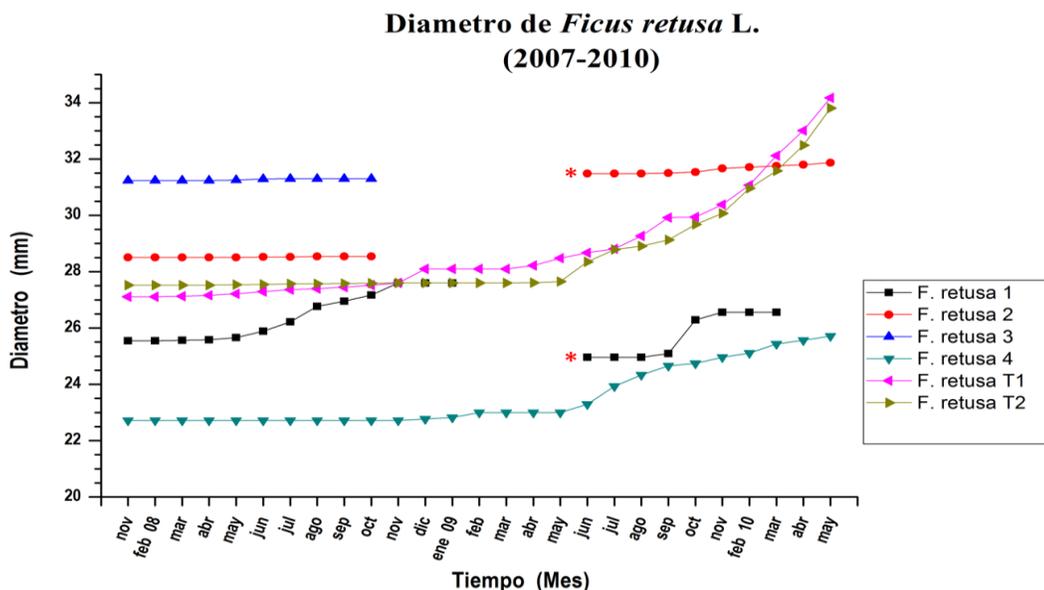


Fig.-37. En esta gráfica se tiene un comportamiento similar a la anterior, a diferencia que en este caso la muerte de los organismos se debe al vandalismo y a que el individuo 4 sobrevivió teniendo un aumento de diámetro parecido al de los testigos, aunque en menor medida.

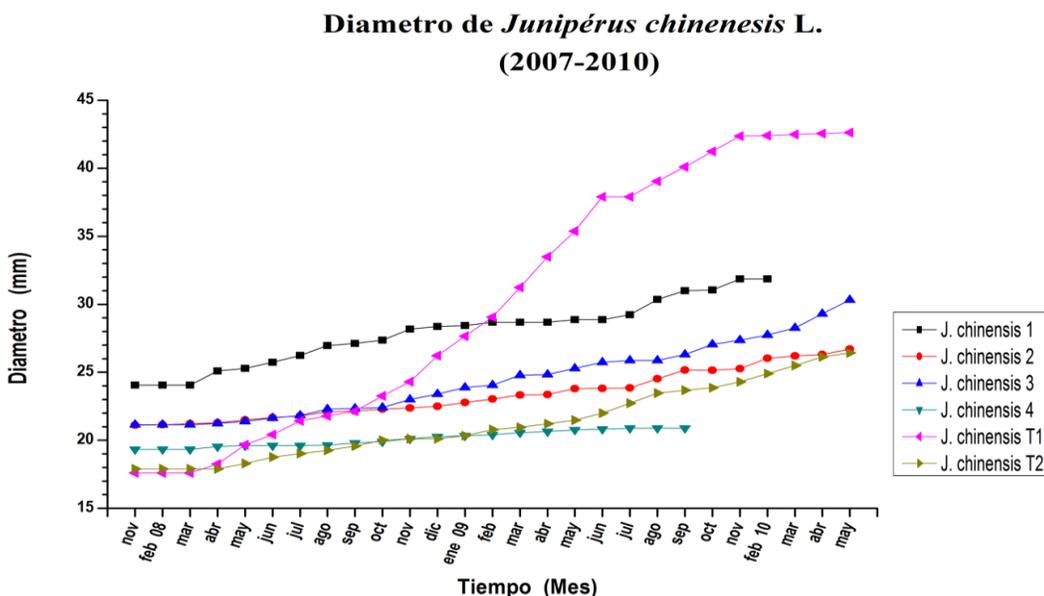


Fig.-38. En cuanto al incremento de diámetro en esta especie el patrón de crecimiento fue similar, tanto para los individuos problema como para el testigo T2, el testigo T1 mostro incrementos muy superiores al resto de los individuos. Y aunque la especie se estableció satisfactoriamente se presentó la muerte de dos organismos por vandalismo.

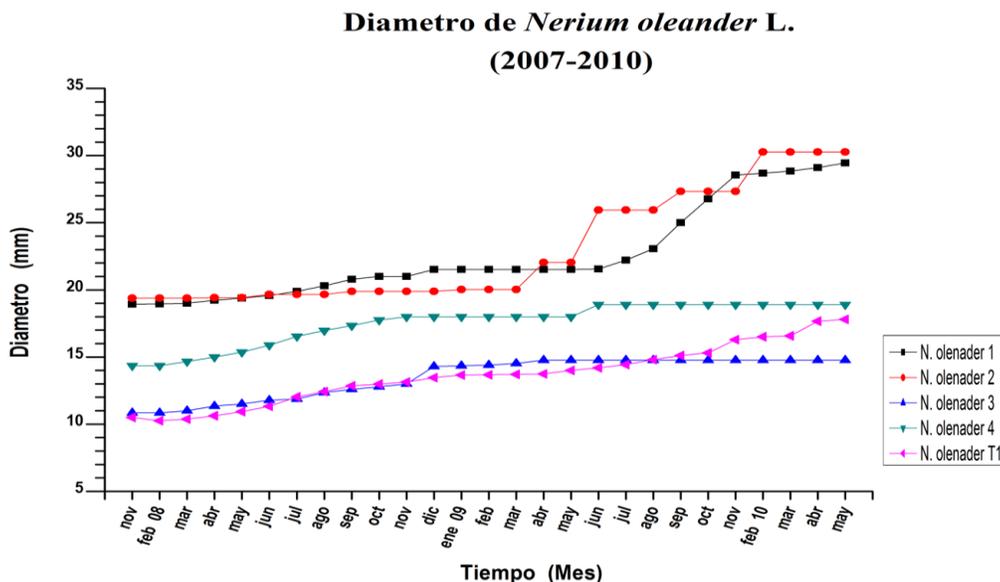


Fig.-39. El patrón de crecimiento en esta especie fue muy similar tanto para los individuos problema como para el testigo T1, sin embargo, se registraron daños en los organismos de estudio, por bandidaje en la zona, el testigo T1 mostro crecimiento constante y estabilidad en los individuos 3 y 4 e incrementos importantes para el 1 y 2.

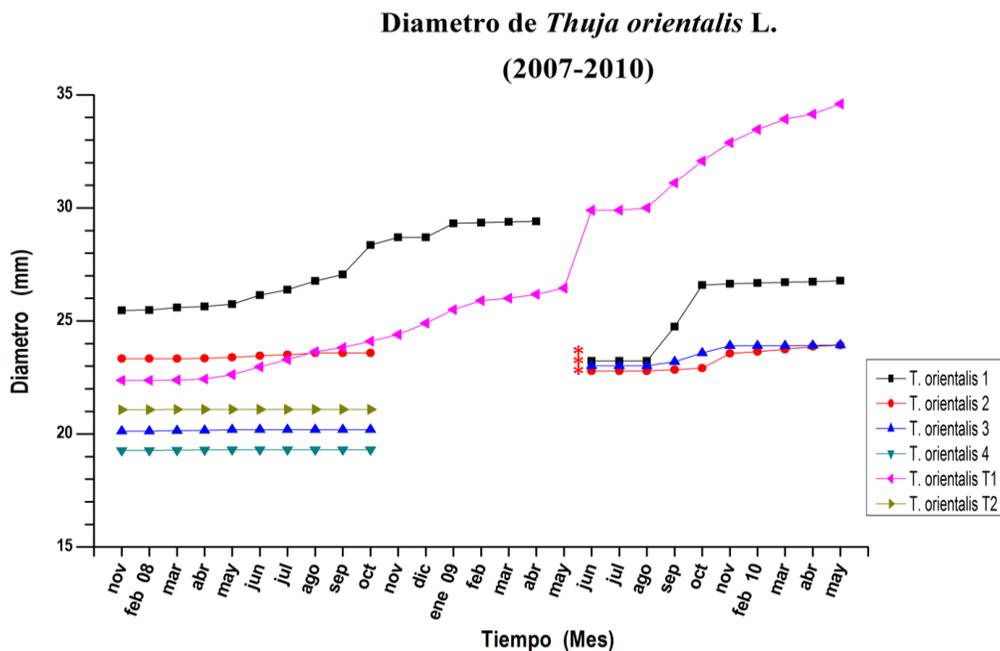


Fig.-40. En general se puede apreciar un patrón de crecimiento similar en los organismos, solo que los individuos 1, 2, 3, 4 y T2 fueron víctimas de vandalismo.

* Individuos de sustitución

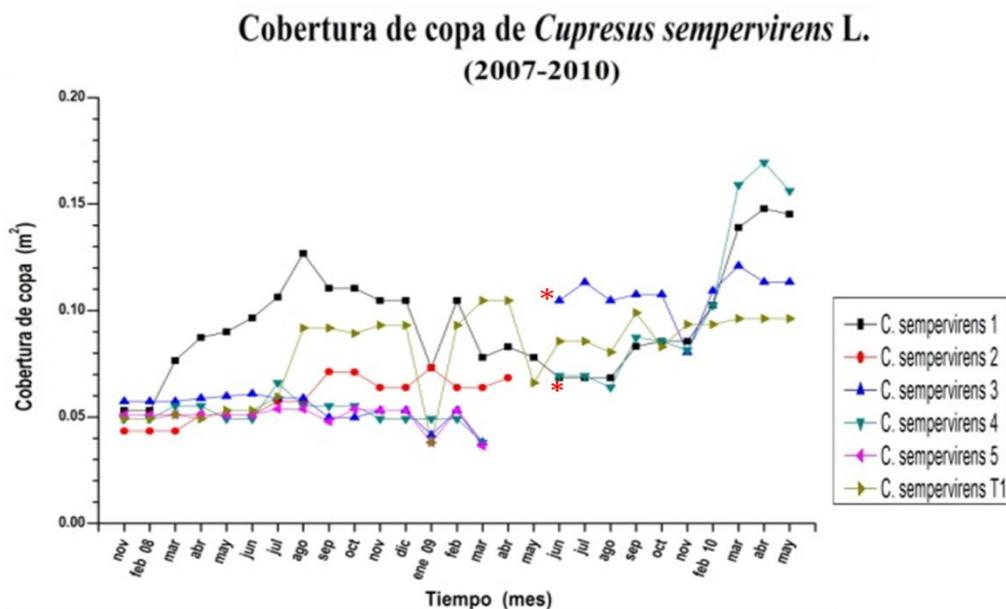


Fig.-41. En la cobertura de copa se aprecian algunos individuos un comportamiento constante, mientras que para otros se tiene ganancias y pérdidas de fronda debido a vandalismo.

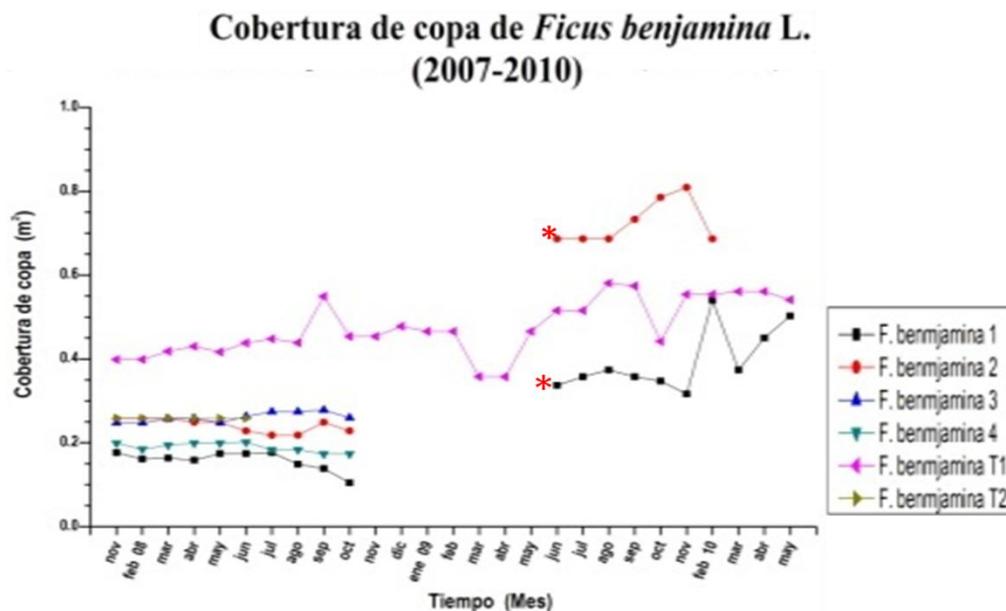


Fig.-42. Para los organismos de la primera plantación se tiene un relativo mantenimiento de la fronda hasta que se reporta la muerte de los mismos, únicamente el testigo T1 y el individuo de sustitución S1 tuvieron incrementos de la cobertura de copa, apreciándose algunas pérdidas de fronda por vandalismo.

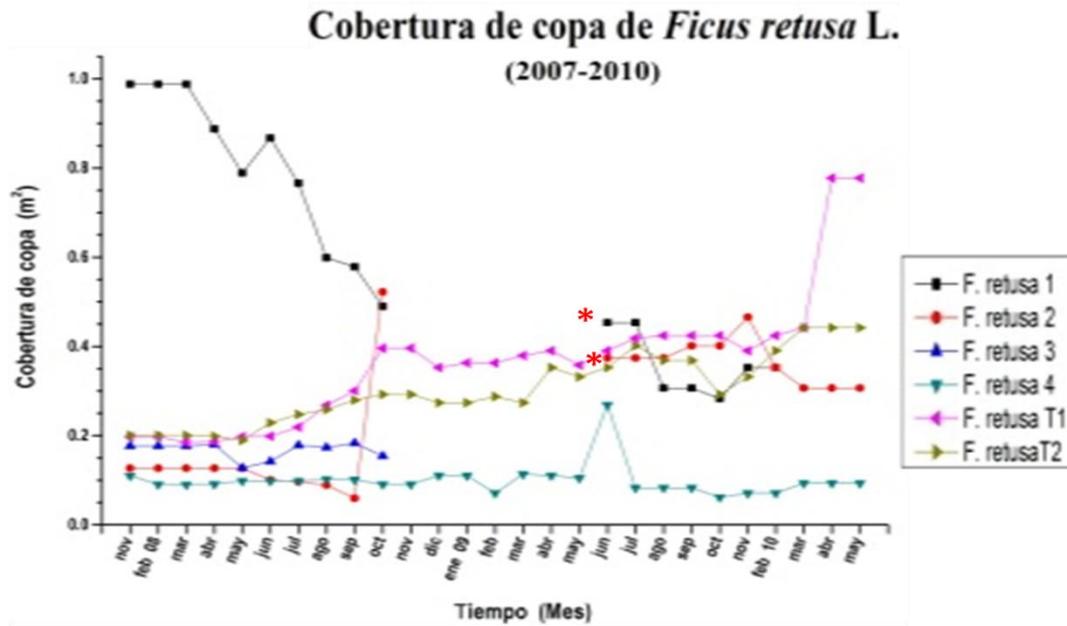


Fig.-43. Los testigos mostraron ganancia en la fronda y el organismo 3 permaneció constante, mientras que el resto de los individuos fueron afectados por vandalismo.

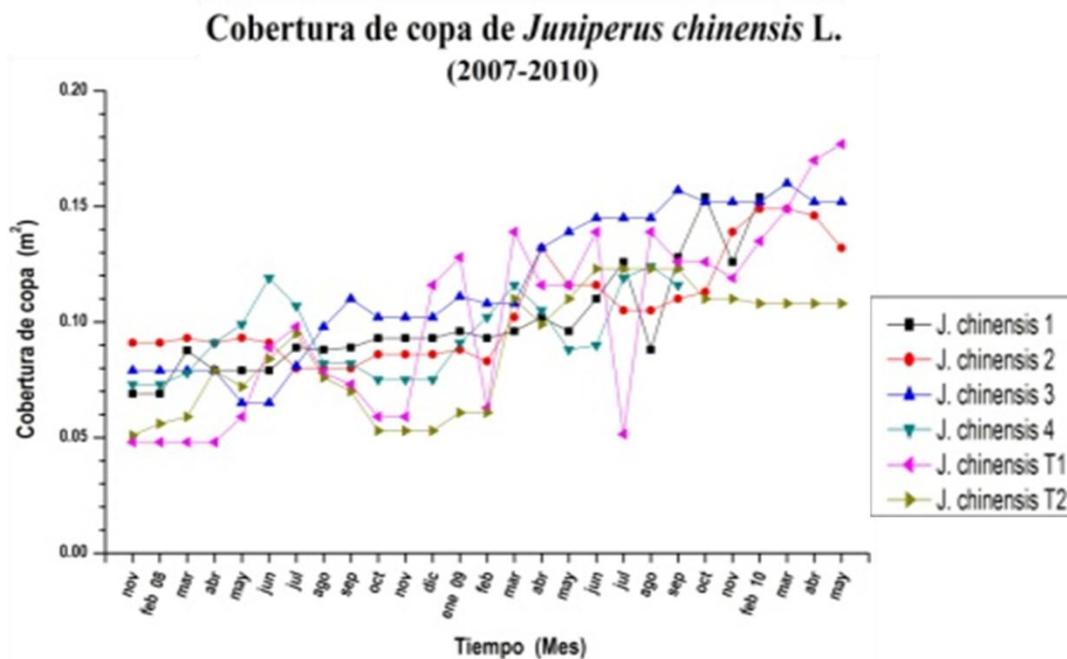


Fig.-44. En general se observa una tendencia al crecimiento de la cobertura de copa, observándose notables pérdidas de fronda a causa del bandidaje.

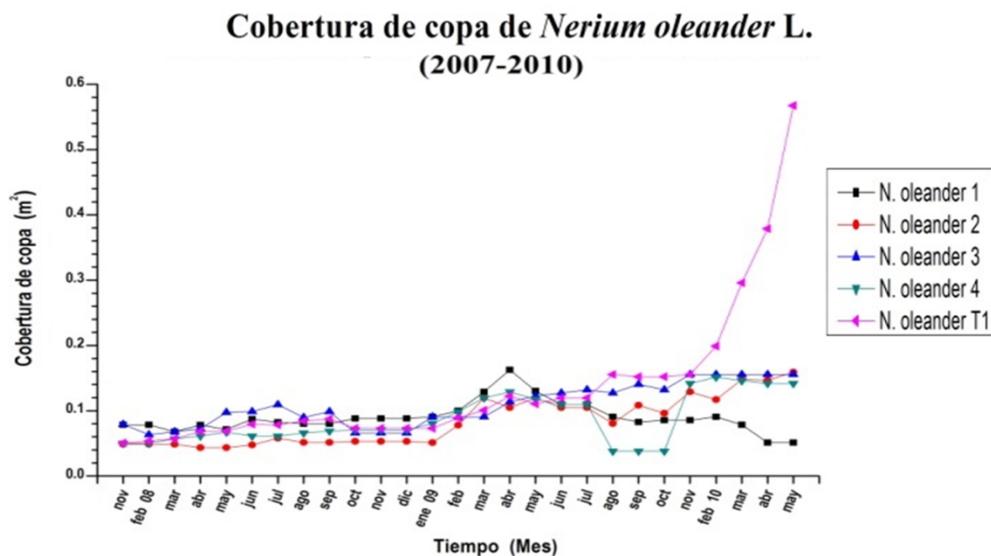


Fig.-45. Aquí se muestra un patrón de crecimiento de la fronda similar entre los individuos problema y el testigo T1, donde este crecimiento fue dañado por cuestiones de vandalismo observándose una ganancia notable para el T1 y para el resto de los organismos se registraron pérdidas y en el mejor de los casos valores constantes.

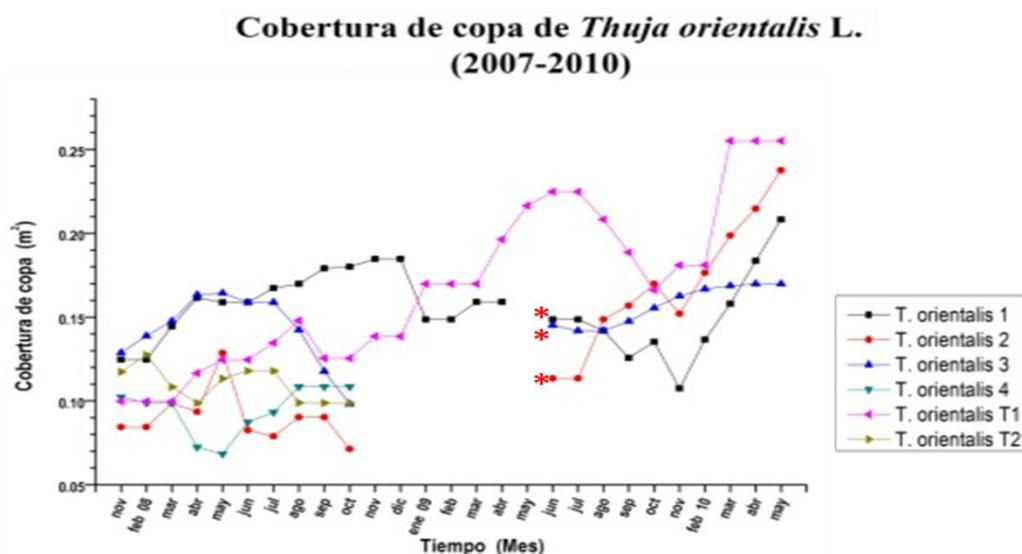


Fig.-46. Se puede observar el incremento de fronda del testigo T1 con algunas disminuciones por pillaje, los organismos de sustitución y el 1 muestran un patrón de crecimiento similar a T1 y el resto de los individuos problema tienen un crecimiento parecido a T2 los cuales se marchitaron y se secaron por el vandalismo imperante en la zona.

* Individuos de sustitución

A13. DISCUSIÓN.

11.1. Suelo.

10.1.1. Color del suelo.

El color del suelo no tiene efectos directos sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta a la temperatura y a la humedad, en algunos casos la capacidad productiva de un suelo puede ser juzgada por su color. El efecto principal del color del suelo es sobre el balance de calor, esto afecta la temperatura y la humedad del suelo e indirectamente al crecimiento de la planta, la actividad microbiana y a la estructura del suelo. Los suelos oscuros absorben mayor calor por lo tanto son más cálidos, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo se causarán mayores grados de evaporación y por lo tanto se secarán más rápidamente que un suelo claro. Generalmente mientras más oscuro es un suelo mayor es su productividad, esto se debe a la cantidad de materia orgánica presente y al lavado de nutrientes que pueda haber tenido lugar, la secuencia de productividad va descendiendo de acuerdo con el color, lo cual ubica a los resultados en su mayoría que van desde café (5/3 10YR) en la zona seca y semi-húmeda hasta café grisáceo (5/2 10YR) en la zona húmeda y las diferentes zonas de los testigos café muy oscuro (2/2 10YR) en su gran mayoría (véase tabla 1). Por lo que se puede decir, que se encuentra con un suelo con buen color, infiriéndonos una adecuada cantidad de materia orgánica, una mayor retención de humedad, por lo que se podrá regular la temperatura del medio edáfico y por consiguiente un ambiente más óptimo para la proliferación de raíces y microorganismos del suelo (SARH, 1980; Ortiz y Ortiz, 1990).

11.1.2. Textura.

Un suelo franco o también conocido como migajón es aquel que tiene las proporciones adecuadas de arena, limo y arcilla (SARH, 1980). Por tales características texturales, este tipo de suelo se puede afirmar debido a la distribución y al tamaño de partículas, una adecuada estructura, buen porcentaje de espacio poroso y buen porcentaje de retención de humedad (Grajeda y Murillo, 1980).

En la zona de estudio y en las zonas de los testigos se determinó una clase textural predominantemente migajón arcillo arenoso (véase tabla 1), lo cual nos indica que este es un suelo permeable, que permite el paso del agua y del aire sin dificultad y que retiene en sus partículas la cantidad de agua necesaria para las plantas facilitando la penetración de las raíces y su desarrollo (Urrutia, 1982).

De acuerdo con Grajeda y Murillo (1980), la textura influye en el contenido de oxígeno libre en el suelo, el porcentaje de humedad, cantidad de CO₂, por lo que ante una clase textural de migajón arcillo arenoso, no se presentan una deficiencia de O₂ o exceso de CO₂ en el suelo, lo cual limita la absorción de nutrimentos por las raíces, por contraparte los suelos bien aireados al disponer de O₂ estimulan la actividad respiratoria y una mayor absorción de nutrimentos por las raíces. De acuerdo con Ortiz y Ortiz (1990), la textura migajón arcillo arenoso no limitan el intercambio y difusión del CO₂ y O₂ en el suelo, por lo que no se restringe la capacidad de las raíces de la planta para movilizar los nutrimentos a las hojas.

11.1.3. Agua del suelo.

El agua del suelo es uno de los principales factores que afecta la fertilidad, alterando las reacciones químicas, el comportamiento físico y la biología del suelo, lo que se refleja en el crecimiento de las plantas. Un suelo puede ser rico en nutrimentos pero si está seco será un suelo totalmente infértil ya que es el agua quien disuelve las sales y compuestos en los que se encuentran los nutrimentos formando la llamada solución del suelo que es el medio más importante para proporcionar nutrimentos a la planta en crecimiento, que por así decirlo; es el intermediario entre la planta y el suelo, pues permite que la raíz absorba los nutrimentos necesarios para el crecimiento y desarrollo. Estas reacciones se ven influenciadas en alto grado por la concentración de sales en el suelo y por el contenido de agua, la fuerza o tenacidad con lo cual el agua se ve retenida por los sólidos (SARH. 1980).

El % de humedad en el momento de la toma de muestras fue para la zona seca de 16.64% a 21.14% para la semi-húmeda de 15.21% a 27.15% para humedad de 18.77% a 30.79% y para los testigos de 18.22% a 24.46%, cuyos valores son considerados bajos tanto para la zona de estudio como para los testigos, estos porcentajes de humedad implican cambios bruscos de temperatura (Urrutia, 1982). Estos incrementos de temperaturas se traducen como alteraciones en la respiración debido a la inactivación de los estomas, afectando el balance de la transpiración, absorción del agua y por ende el desarrollo vegetal a través de otros fenómenos como la actividad microbológica, nitrificación, sulfonificación y descomposición de materia orgánica (Grajeda y Murillo, 1980). El agua a capacidad de campo presenta valores que oscilan entre 48.46% a 74.35% en el suelo del sitio como en el de los testigos, de esta, una parte será aprovechada por las plantas y otra se perderá por evaporaciones. En este estado las plantas aprovechan mejor la humedad y la actividad microbiana es mayor, (Muñoz *et al.*, 2000; SARH, 1980). La temperatura es más estable. Ríos (1985) menciona que el contenido de humedad de los suelos considerado para el óptimo crecimiento de las plantas es alrededor de 2/3 del estado de saturación (véase continuación tabla 1) ante tal premisa, se tiene que el contenido de humedad en el momento

de la toma de muestras se encuentra muy por debajo de lo ya antes mencionado, sin embargo, la cantidad de agua disponible o aprovechable para las plantas está en función de la capacidad de retención del agua por el suelo influenciada por la textura y contenido de materia orgánica, de la evaporación que esta sufre y de su velocidad de movimiento. De lo que se obtuvo un porcentaje de agua disponible de 43.73% a 52.86% en la zona seca, 51.99% a 65.51% en la zona semi-húmeda, 51.30% a 63.26% en la zona húmeda y 43.18% a 60.20% para los testigos, siendo estos valores medios, aunado a esto queda apoyado también por el agua capilar la cual es de fácil acceso para las raíces que cuyos valores (véase continuación tabla 1) son muy cercanos al agua a capacidad de campo, en contraparte se tienen valores del agua a punto de marchites permanente por debajo de 9 %, esto indica que la humedad del suelo es suficiente para que las plantas sobrevivan antes de que estas lleguen al punto en que no puedan obtener la suficiente agua del suelo para su supervivencia por falta de tención.

El agua no disponible está conformada por el agua gravitacional y por el agua a punto de marchites permanente (véase continuación tabla 1) (Muñoz *et al.*, 2000). Los valores para estos dos tipos de agua son muy cercanos a la cantidad de humedad a coeficiente higroscópico, sin embargo, los datos obtenidos para este valor, aunque son pequeños (véase continuación tabla 1) para la mayoría de las zonas los valores son muy cercanos a los porcentajes de agua no disponible, mostrándose menor margen para la zona seca y en la zona semi-húmeda y de los testigos solamente en algunos puntos se tiene valores cercanos, siendo la zona húmeda donde se tiene los valores más alejados (Muñoz *et al.*, 2000; Urrutia, 1982). Con estos valores tan cercanos y con el contenido bajo de humedad se puede creer que es un suelo duro el cual debido a la clase textural y al espacio poroso, el crecimiento radicular como el flujo de agua y aire no se ven afectados, sin embargo, el suelo no está suficientemente húmedo para permitir el contacto de los iones en solución con una mayor superficie radicular (Ortiz y Ortiz, 1990).

11.1.4. Densidad aparente (DA), densidad real (DR) y porcentaje de espacio poroso (%EP).

Este tipo de densidad es un criterio útil y fundamental para calcular los movimientos de humedad, para evaluar la penetración de las raíces, capilaridad de almacenar agua en la zona radicular

Un valor de DA inferior al 1.0 g/cm³ corresponde con lo que establece Ortiz y Ortiz (1990) que el suelo no posee una capa endurecida, por lo que no es una limitante para el desarrollo de las raíces, es decir; que las raíces pueden penetrar el suelo sin dificultad. Y de acuerdo

con la NOM-021-SEMARNAT-2000 se dice que a valores menores a 1.00 g/cm^3 corresponden a suelos orgánicos, lo que sitúa a los valores de DA obtenidos para la zona de estudio y para los testigos por debajo de 1.00 g/cm^3 .

De acuerdo con Muñoz *et al.*, (2000) los datos obtenidos corresponden a suelos con valores de DA bajos. Y Ríos establece que los valores de DA oscilan entre 0.85 a 1.9 g/cm^3 lo cual sitúa a la mayoría de los datos obtenidos de la zona húmeda y seca por debajo de este rango y para los datos de la zona semi-húmeda y de los testigos valores apenas por encima del 0.85 g/cm^3 . Lo cual implica de manera general que el grado de compactación es poco y por ende, el drenaje y la aireación son rápidos y no se obstaculiza el crecimiento radicular (Ríos, 1985).

La mayoría de los suelos presentan una DR de 2.60 y 2.75 g/cm^3 Valores de DR de 1.5 y 1.6 g/cm^3 implican compactación drenaje y aireación lenta (Ríos, 1985). De acuerdo con Ortiz y Ortiz (1990) y SARH, (1980) se ha convenido para la capa arable en general una DR de 2.65 g/cm^3 como la densidad real de todos los suelos. La DR para la zona de los testigos y la zona de estudio oscila entre 2.04 a 3.17 g/cm^3 ubicándolos cercanos a la DR establecida para la capa arable. Tales valores nos indican que no hay compactación, buen drenaje, aireación adecuada, sin embargo para Muñoz *et al.*, (2000) en la zona húmeda y semi-húmeda los valores son bajos y para la zona de los testigos y zona seca se obtienen valores medios indicándonos una compactación, drenaje y aireación moderada y media respectivamente.

El espacio poroso permite la entrada y circulación del agua y aire, en este se encuentra retenida el agua con mayor o menor fuerza, lo que ocasiona que pueda ser utilizada por las plantas con mayor o menor facilidad. El agua más fácilmente aprovechable para las plantas es la que se encuentra retenida en los poros de mayor tamaño. Con una porosidad adecuada se beneficia a un desarrollo radicular más extenso y los procesos químicos y biológicos tendrán lugar bajo condiciones óptimas (SARH, 1980).

El % de espacio poroso tanto para la zona de estudio como para la zona de los testigos es alto (% de 55.51 a 77.86) de acuerdo con Muñoz *et al.*, (2000) Indicándonos un flujo de aire y agua suficiente para que no se presenten condiciones de deficiencia o toxicidad de CO_2 y O_2 , dado que esto en el sistema radical interfiere en la absorción de agua y nutrimentos, pudiendo ocasionar marchitez en las plantas o deficiencia de algunos nutrimentos (Grajeda y Murillo, 1980). Además de que el crecimiento radicular no se verá limitado, por otro lado un alto % de espacio poroso puede representar una rápida pérdida de la humedad del suelo viéndose afectada el agua disponible para las plantas, haciendo de esta el factor limitante en el desarrollo de las plantas aunque los nutrimentos están en proporciones adecuadas (Ortiz y Ortiz, 1990; Aguilera, 1989). Véase continuación tabla 1.

11.1.5. Conductividad eléctrica (CE $_{25^{\circ}\text{C}}$).

Esta indica el grado de salinidad de un suelo, con dicho análisis se establece si las cantidades existentes de sales en el suelo están presentes en un valor que pueda producir interferencia en el desarrollo normal de la vegetación.

El dato obtenido para la zona seca y húmeda (CE $_{25^{\circ}}$ dS m $^{-1}$ de 0.74 a 1.76) van de efectos salinos despreciables a muy ligeramente salinos y para la zona semi-húmeda y para los testigos (CE $_{25^{\circ}}$ dS m $^{-1}$ de 0.82 a 3.90), los datos indicados son de efectos despreciables de salinidad a moderadamente salino, esto de acuerdo con los parámetros que establece la NOM-021-SEMARNAT-2000, sin embargo para Muñoz *et al.*, (2000) los valores se reportan como no salinos.(0.74 a 1.79 CE $_{25^{\circ}}$ dS m $^{-1}$) cuyos efectos en los cultivos son comúnmente despreciables. Ver continuación tabla 1.

Dada la baja conductividad eléctrica, la aireación y la retención de humedad no se ve afectada, no se afecta la humedad disponible para la planta además de que no representa variaciones desfavorables del pH al no reducir la solubilidad de los nutrientes y por consiguiente su disponibilidad para la planta. La reducción del desarrollo de la planta o inhibición, además de daños físicos que puedan presentarse en la planta no son causados por la salinidad presente en el sitio dadas las bajas concentraciones de CE (Grajeda y Murillo, 1980).

11.1.6. pH.

El pH influye en la tasa de liberación de nutrientes, en su solubilidad, la proporción en que estos son absorbidos por las plantas y en la cantidad de iones nutritivos almacenados en el sitio de intercambio catiónico (Thompson, 1995) está influenciado por la composición de los iones intercambiables, composición y concentración de sales solubles y la presencia o ausencia de carbonatos (SARH, 1980).

Son frecuentes los casos en los que la deficiencia de un elemento en la planta se deba, no a la carencia de un elemento en el suelo, si no que existen condiciones desfavorables en el suelo, que no permiten la asimilación de ese elemento y una de ellas es el pH, también tiene influencia en la actividad y población de los microorganismos del suelo (Urrutia, 1982).

Los datos de pH que se presentan en las diferentes zonas de la parcela experimental como en el caso de los testigos se muestran en un intervalo medianamente básico esto en base a la NOM-021-SEMARNAT-2000, de acuerdo con Muñoz *et al.*, (2000) los valores obtenidos

indican para el caso de los testigos como para los individuos de la zona seca un valor predominantemente de ligeramente básico y para las zonas semi-húmeda y húmeda son desde neutro, pasando por ligeramente básico y moderadamente básico.

Este afecta directa e indirectamente la disponibilidad de nutrimentos (Ortiz y Ortiz, 1990). En general los cultivos se desarrollan en suelos con pH de 5 a 8.5 pero la mayoría va de 6.5 a 7.5 lo cual hace al pH importante para la fertilidad. Teuscher (1984) menciona un margen de 6 a 7.5 como óptimo para el adecuado crecimiento de las plantas, mencionando que las dificultades comienzan a pH mayores a 8 y menores a 6. Ante lo cual, los datos obtenidos se mantienen como favorables para la asimilación de nutrimentos dado que en general a valores de pH cercanos a la neutralidad (véase tabla 1), la mayoría de los nutrimentos se encuentran disponibles para la planta (Ríos, 1985).

Además se infiere la degradación de la materia orgánica por la actividad de bacterias así como la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y bacterias nitrificantes ya que estas son favorecidas a pH cercano a la neutralidad o alcalinidad (Grajeda y Murillo, 1980).

11.1.7. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

Es una medida de la atracción, retención e intercambio de cationes del suelo cargados positivamente. La materia orgánica y la arcilla presentan normalmente una carga negativa, ésta atrae y retiene a los cationes, dando a los suelos con alto contenido de arcilla y de materia orgánica una alta capacidad de intercambio catiónico. Estos los hace suelos muy fértiles. (UAM-A, 1999). Esta propiedad es de gran importancia para el crecimiento de las plantas puesto que los iones se presentan como bases intercambiables, sirven como elementos nutritivos, contribuyendo significativamente en el buen rendimiento de las plantas, además de tener importancia en el mejoramiento del suelo (Grajeda y Murillo, 1980).

Se ha demostrado que los valores que se obtienen de la determinación de cationes y aniones solubles en los suelos esta notablemente influenciados por la cantidad de humedad y entre más alto sea el contenido de arcilla y humus en el suelo, mayor será la capacidad de intercambio (Grajeda y Murillo, 1980). De acuerdo con Ortiz y Ortiz (1990) los cationes intercambiables están en equilibrio con los cationes en solución; siendo una fuente importante de nutrimentos para las plantas. En el poder de sustitución influye la hidratación del ion, por lo que un catión de igual valencia es retenido con mayor fuerza cuando menor es la hidratación. Los cationes intercambiables son difíciles de remover por efecto de lavado, a menos que exista la presencia de una sal que sea intercambiable.

Los resultados de las muestras del suelo varían de 23.52 a 31.32 (Cmol(+) Kg⁻¹), por lo que según la NOM-021-SEMARNAT-2000 estos corresponden a valores que van de medio a altos, siendo estos últimos los más representativos, (véase continuación tabla 1) y para lo que a Muñoz *et al.*, (2000) corresponden a valores de CIC media. Por lo que respecta a la reserva nutrimental se considera que ésta es abundante cuando la CIC es mayor de 25 (Cmol(+) Kg⁻¹) de suelo, por lo que se considera que el suelo de las diferentes zonas así como de los testigos posee una suficiente capacidad para intercambiar los cationes en la solución del suelo.

11.1.8. Porcentaje de materia orgánica (%MO).

La materia orgánica es de gran importancia ya que es la responsable de muchos fenómenos físicos y químicos que dan al suelo sus características de fertilidad y productividad (SARH, 1980). Un suelo con adecuada cantidad de materia orgánica tiene una buena estructura; esto quiere decir que se aprovecha bien el agua, las plantas prosperan y se trabaja sin dificultad. Un buen contenido de MO mejora la textura y estructura, además de aumentar la capacidad de retención de agua y evita la erosión (Urrutia, 1982). Reduce su densidad, eleva la capacidad de amortiguamiento de pH, eleva su CIC, le da al suelo una coloración oscura, es fuente de carbono (aproximadamente 40% de C) aumento de N y P. Es una fuente de alimento y energía para los microorganismos (Grajeda y Murillo, 1980) Un alto contenido de MO tiene mayor capacidad de agua aprovechable para el desarrollo de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1990) Aporta nutrimentos al suelo, favorece la aireación, capilaridad y permeabilidad (Muñoz *et al.*, 2000).

El %MO presentes en la zona de estudio y para los testigos corresponden de 1.42 a 5.46%, para lo cual la NOM-021-SEMARNAT-2000 establece intervalos para la zona seca un porcentaje medio, la zona semi-húmeda de medio a alto, la zona húmeda y los testigos desde bajo, pasando por medio, hasta alto, predominando los valores medios (véase continuación tabla 1). Para Muñoz *et al.*, (2000) estos intervalos varían de manera muy heterogénea, teniendo principalmente valores de moderadamente pobres, medio, moderadamente rico y ricos.

Dado lo anterior tenemos una heterogeneidad de resultados dadas las características intrínsecas del tecnosol, sin embargo predominan los valores medios o moderadamente ricos dependiendo la fuente citada, por lo que se puede decir que en general son suelos que poseen la suficiente cantidad de materia orgánica para proporcionarle al suelo los beneficios antes mencionados.

11.2. Plantación.

La evaluación del establecimiento de las especies empleadas fue realizado de acuerdo con lo propuesto por Mercadet (2001), quien toma parámetros de vigor, necrosis foliar y color de hoja y también por los trabajos realizados por Olaeta *et al.*, 2004. Que toman los parámetros de incremento de altura, incremento del diámetro y cobertura de copa y se incluyen el índice de esbeltez (Vásquez, 2006), índice de tolerancia (Stallings, 1979) e índice de supervivencia.

11.2.1. *Cupressus sempervirens* L.

La especie *Cupressus sempervirens* L. se ha establecido exitosamente presentado para las dos plantaciones buen vigor, necrosis nula, color de hoja 5/6 5 GY como buena respuesta al estrés presente en la zona, que de acuerdo con Galván (1995) y Duarte (2005) establecen la presencia de síntomas contrarios en la vegetación. Estos parámetros son idénticos a los reportados para el testigo, tomando en cuenta la biología de la especie (Baudilio, 1962; Chanes, 2006; Martínez, 2008), únicamente el testigo presentó una ligera variación en el color de la hoja de 4/6 7.5 GY. En cuanto al incremento en talla, diámetro y copa, este fue mínimo o nulo, por lo que de acuerdo con Galván (1995) y Duarte (2005), se presenta la alteración de los ritmos de crecimiento, sin embargo, aunque no se han presentado incrementos significativos, si se ha reportado estabilidad y constancia como señal de establecimiento al suelo, resistencia a heladas, sequías y contaminación de acuerdo con Baudilio (1962); Chanes (2006); Martínez (2008). En contraparte se tiene al individuo No.1 ubicado en la zona húmeda, con ganancias netas en talla de 150 cm y 13.78 mm de diámetro, dicho patrón de crecimiento es muy similar al del testigo, para este se tiene una ganancia en talla de 114 cm y 19.44 mm en diámetro, la cobertura de copa es muy similar al testigo, solo que este último y el individuo No.1 presentaron ganancias y pérdidas debido a vandalismo y al estrés como estrategia para no perder agua por transpiración según Gómez (2008).

El índice de esbeltez es una relación diámetro sobre altura que indica la estabilidad de los árboles. Así, árboles muy altos con poco diámetro son generalmente árboles frágiles e inestables y árboles más bajos y con grandes diámetros son árboles fuertes y estables (Vásquez, 2006). Lo que podría ser el caso del individuo No. 1 cuyo índice de esbeltez en promedio fue 0.63, sin embargo, el crecimiento de esta especie indica árboles altos (COCODA, 1986). También se tuvo un índice de tolerancia de 0.87 lo cual de acuerdo con Stallings (1979) valores altos indican que la especie tiene gran potencial para distribuirse y/o que su distribución es alta, por lo que esta especie tiene la cualidad de establecerse en

ambientes nuevos gracias a su flexibilidad ecológica innata. Dando esto un resultado de supervivencia de la primer plantación de 20%, es baja debido a factores externos como incendios y vandalismo, en la segunda plantación la supervivencia fue de 100%, en la zona húmeda.

11.2.2. *Ficus benjamina* L.

Ficus benjamina L. no presento establecimiento en la zona de estudio dado que mostro vigor regular, necrosis baja y color de hoja 4/8 5 GY en el testigo y para los individuos problema vigor malo, necrosis alta y color de hoja 4/8 5 GY como síntomas que presentan las plantas en consecuencias de la contaminación (Galván, 1995 y Duarte, 2005). En cuanto al incremento de talla presentó valores inferiores a 4 cm tanto para el testigo como para los individuos problema. En el diámetro los incrementos fueron menores a 1.95 mm para los individuos problema, solo el individuo S2 y el testigo mostraron valores de 6.58 y 6.84 mm respectivamente. La cobertura de copa mostro pérdidas en la mayoría de los individuos problema como indicador del estrés al que es sometida esta especie, sobre todo el estrés hídrico y térmico que de acuerdo con Gómez (2008) menciona la pérdida de follaje como estrategia para evitar la carencia de agua y por consecuencia disminución de la fotosíntesis. Solo el individuo S2 y el testigo mostraron incrementos en su cobertura de copa. Estos valores contrastan con lo dicho en (www.floramiata.it., 2010) que indica crecimiento rápido, tolerante al sol, al frío y a la contaminación.

El índice de esbeltez es alto, en promedio de 0.72 indicando la poca estabilidad de los individuos, siendo estos árboles frágiles e inestables, solamente el individuo S2 y el testigo mostraron valores bajos en promedio de 0.47 siendo estos árboles fuertes y estables (Vásquez, 2006). En cuanto al índice de tolerancia, este no se pudo determinar debido a la falta de datos que pudieran servir para poder obtener un índice real. La supervivencia fue de 0 para los individuos problema ubicados en las tres zonas de la parcela y 50% para los individuos de la segunda plantación ubicados en la zona seca.

11.2.3. *Ficus retusa* L.

Ficus retusa L. se ha establecido presentado para las dos plantaciones buen vigor, necrosis nula, color de hoja 4/8 5 GY como buena respuesta ante el estrés presente en la zona tanto para los testigos como para los individuos problema (Galván, 1995 y Duarte, 2005). En cuanto a la talla y diámetro se registraron incrementos que no superaron los 3 cm y 2.05 mm respectivamente, solamente el individuo No. 4 ubicado en la zona húmeda y los testigos

mostraron patrón de crecimiento similar con aumentos de altura superiores a 10 cm, y ganancias en diámetro de 2.99 mm en diámetro para el individuo No.4 y de 6.29 a 7.06 mm para los testigos que de acuerdo a la COCODA (1986) esto indica el buen estado de los ejemplares quedando una especie de rápido crecimiento con una cobertura de copa que se vio afectada por estrés vegetal y vandalismo al ser este una especie de copa densa, dando como resultado una cobertura de copa con ganancias y pérdidas (Mooney *et al.*, 1991; Leone *et al.*, 1980).

De acuerdo con Vásquez (2006) y con el índice de esbeltez que en promedio fue 0.47 indicando árboles estables cuyo crecimiento de diámetro es mayor (árbol de tronco grueso; COCODA, 1986) a la de la talla, sin embargo, este se pudo ver afectado por vandalismo. El índice de tolerancia fue desde 0.76 a 1.05 que de acuerdo con Baker (1987) y Stallings (1979) esta especie es muy apta para establecerse en la zona de estudio. Dando esto un resultado de supervivencia de la primer plantación de 25%, Esta baja supervivencia es el resultado de factores externos como incendios y vandalismo, en la segunda plantación la supervivencia fue de 100%, localizándose los supervivientes en la zona húmeda para la primera plantación y zona seca para la segunda plantación.

11.2.4. *Juniperus chinensis* L.

Juniperus chinensis L. se ha establecido exitosamente al presentar buen vigor, necrosis nula, color de hoja 5/10 5 GY, un patrón de crecimiento de altura, diámetro y cobertura de copa muy similar tanto para los individuos problema como para los testigos como señal inequívoca de su establecimiento de acuerdo con su biología (Gilman y Dennis, 1993) estos fueron ubicados en la zona húmeda y semi-húmeda, obteniéndose mejores resultados comparados con el testigo los que se localizan en la zona húmeda.

Pese a ser un árbol de talla pequeña y crecimiento lento (Gilman y Dennis, 1993) el aumento neto de talla en general fue superior a 18 cm y para el individuo No.3 fue de 50 cm este valor es incluso mayor al de los testigos que fue de 7 y 19.5 cm, esto se puede atribuir a los efectos causados por su establecimiento en una zona contaminada de acuerdo con Galván (1995) y Duarte (2005) que mencionan el trastorno en los ciclos de crecimiento. El diámetro presentó de manera general incrementos tanto para los individuos problema como para los testigos de 5.58 a 9.18 mm, solo el testigo No.1 tuvo incremento de 25.02 mm, esto se puede deber más que al estrés presente en la zona de estudio, a la biología de la especie indicando arboles de porte pequeño, donde es más evidente el incremento en diámetro con respecto a la talla (Gilman y Dennis, 1993). La cobertura de copa presentó un comportamiento variado

mostrando aumentos más o menos constantes con pérdidas y ganancias notables atribuidas al vandalismo y al estrés vegetal tanto para los individuos problema como para los testigos de acuerdo con Duncan (1994) citado en Cruz (2003).

El índice de esbeltez obtenido fue alto en todos los individuos y los testigos reportando valores de 0.61 a 0.88 respectivamente, teniéndose una altura mayor que enseguida registra su disminución, no así, para el diámetro que mostró mayores incrementos teniéndose árboles más gruesos y fuertes y por lo tanto estables de acuerdo con Valdivieso (1997), siendo más evidente en los testigos. Esta especie es muy apta para ser tomada en cuenta para la recuperación de la cubierta vegetal de acuerdo con los datos anteriores y al índice de tolerancia de 0.52 a 0.75 que indica según Stallings (1979) la capacidad para tener una distribución más amplia y con Baker (1987) de crecer en lugares fuertemente contaminados. Obteniéndose una supervivencia de 50% que solo se vio afectada por vandalismo, que de no ser por este, la supervivencia sería del 100% al igual que los testigos.

11.2.5. *Nerium oleander* L.

Nerium oleander L. se ha establecido exitosamente presentando buen vigor y necrosis nula, tanto para el testigo como para el resto de los individuos, donde solo se pudo apreciar variación del color de hoja de 4/4 5 GY para el testigo y 5/6 2.5 GY para los individuos problema. El patrón de crecimiento de talla, diámetro y cobertura de copa fue muy similar tanto para los individuos problema como para los testigos como señal inequívoca de su establecimiento acorde a su biología de acuerdo con Gilman y Dennis (1993) y COCODA (1986) los cuales se vieron severamente afectados no por la contaminación del sitio alterando sus funciones metabólicas y los ritmos de crecimiento como lo establece Galván (1995) y Duarte (2005), si no por factores externos (incendio). La talla tubo registros para el mismo periodo de tiempo de 19 a 33 cm para los individuos problema y para el testigo de 31 cm. En el diámetro los incrementos fueron menores a 5 mm para los individuos ubicados en la zona seca y semi-húmeda, para los individuos de la zona húmeda y semi-húmeda se tienen valores en promedio de 10.70 mm, en contraparte el testigo solamente tuvo una ganancia de 7.3 mm, por lo que de acuerdo con la COCODA (1986) resiste condiciones adversas de sequía, heladas, contaminación, calor y recorte brotando con vigor. La cobertura de copa presentó el mismo patrón entre los individuos problema y el testigo, este último tuvo una ganancia importante de copa mientras los individuos problema luchaban por no perder la copa manteniendo valores con mínima o nula variación.

El índice de esbeltez registra valores altos, tanto para el testigo como para los individuos problema hasta antes del incendio, estos van de 0.82 a 1.31 indicando organismos muy altos

con poco diámetro, por lo tanto frágiles, muy delgados e inestables de acuerdo con Valdivieso (1997) y Vásquez (2006), sin embargo, de acuerdo con la COCODA (1986) menciona de acuerdo a su biología, son de rápido crecimiento y en contraste con el testigo

muestra valores similares. El índice de tolerancia presenta valores altos que van de 0.79 a 1.13, de acuerdo con Baker (1987), Stallings (1979) y COCODA (1986) esta especie tiene gran potencial para ser empleada en el establecimiento de la cubierta vegetal en sitios de disposición final por su habilidad de permanecer en ambientes nuevos y a que es resistente a condiciones adversas de estrés y vandalismo. Contemplando también su supervivencia que fue de 100% los cuales se ubican en las tres zonas de la parcela.

11.2.6. *Thuja orientalis* L.

Thuja orientalis L. se establece adecuadamente teniendo para las dos plantaciones buen vigor y necrosis nula, tanto para el testigo como para el resto de los individuos, donde se pudo apreciar una variación del color de hoja de 6/10 5 GY para el testigo y 5/8 5 GY para los individuos problema, indicando una buena respuesta al establecimiento. En el patrón de crecimiento de altura fue muy similar entre el testigo y los individuos problema al ser una especie de crecimiento lento (Martínez, 2008) se registraron incrementos en general de 1 a 2 cm hasta jun-jul 2008 cuando perecieron los individuos, solo el individuo No.1, S1 y el testigo se mantuvieron, con incrementos de 5.04, 8 y 17 cm respectivamente. El diámetro presentó incrementos inferiores a 0.25mm en los individuos que perecieron, para el resto de los individuos fue de 0.93 a 3.94 mm y para el testigo de 12.23 mm. La cobertura de copa presentó un patrón de crecimiento muy heterogéneo mostrando aumentos y pérdidas, solamente se aprecia una tendencia al incremento por parte de los individuos No.1, S1, S2, S3 y el testigo.

Para esta especie pese a ser de crecimiento lento y diámetro en promedio de 15 cm, el índice de esbeltez en promedio fue de 0.41 cuyo bajo valor indica arboles estables y resistentes de acuerdo con Valdivieso (1997) y Vásquez (2006). El índice de tolerancia fue de 0.86 a 1.02, estos valores altos muestran la gran plasticidad Baker (1987) y Stallings (1979) de esta especie para establecerse en sitios contaminados y como una buena alternativa para recuperar la cubierta vegetal, sin embargo, la supervivencia fue de 0% para la primera plantación reportándose un individuo que logro establecerse por más tiempo hasta que fue afectado por factores externos (incendio) y para la segunda plantación la supervivencia fue de 100% ubicados en la zona seca, por lo que de acuerdo con su biología es altamente adaptable, tolerando heladas y sequías (Martínez, 2008).

A14. CONCLUSIONES.

Se ha logrado establecer y diversificar la cubierta vegetal en el Parque Ecológico Cuitlahuac.

El Parque Ecológico Cuitlahuac pese a ser un Tecnosol, posee buenas condiciones que no limitan el desarrollo de la vegetación, sin embargo, el factor limitante es el recurso hídrico, el cual afecta a otras propiedades.

Las especies *Cupressus sempervirens* L, *Ficus retusa* L, *Juniperus chinensis* L, *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L., mostraron buena respuesta de establecimiento, por lo tanto, son aptas para ser empleadas en la diversificación y establecimiento de la cubierta vegetal en el Parque Ecológico Cuitlahuac.

Ficus benjamina L. fue la única especie que mostró valores negativos en algunos parámetros, sin tomar en cuenta los causados por el vandalismo.

En la zona húmeda se presentan los mejores resultados para *Cupressus sempervirens* L., *Ficus retusa* L. y *Juniperus chinensis* L., la zona seca favorece a *Thuja orientalis* L., y *Nerium oleander* L. se establece adecuadamente en las tres zonas.

El éxito en el establecimiento de la cubierta vegetal es resultado de la adecuada elección de especies por su resistencia a condiciones de estrés, biología, selección en el vivero, buen manejo de las técnicas de plantación, adecuadas propiedades del suelo y riego asistido.

Una causa importante en la afectación de los parámetros estudiados y mortalidad de los organismos es el vandalismo (incendios).

Este trabajo representa un aporte importante de información experimental para el establecimiento de cubiertas vegetales para sitios de disposición final de residuos sólidos post-clausura en México.

A15. GLOSARIO.

Agente biológico-infeccioso: Cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes, en un ambiente propicio, en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada.

Árbol: Planta leñosa de 4 metros o mas de alto, con tronco bien definido y ramas que comienzan a cierta altura.

Arbusto: Planta leñosa de hasta 5 metros de alto, sin tronco conspicuo y que se ramifica desde la base.

Área verde: Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida.

Arpillera: Tela natural o artificial utilizada para envolver el cepellón de un árbol.

Biogás: Gas que resulta de la degradación de los residuos orgánicos acumulados sus productos finales son el bióxido de carbono, amoniaco y el agua, hidrogeno, monóxido y amonio, agua, acido acético y metano.

Caducifolio: árboles o arbustos que pierden cada año sus hojas, generalmente en otoño.

Cajete: Abultamiento perimetral circular o cuadrado alrededor de la cepa del árbol realizado con el objeto de captar agua.

Cepa: Hoyo para plantar árboles o plantas.

Cepellón: masa formada por el sistema de raíces de un árbol y el suelo.

Contaminación: cambio de las características químicas, físicas o biológicas del aire, agua o suelo, que pueden perjudicar a la salud, o impedir la sobre vivencia o actividades de los seres vivos.

Copa: Parte superior del árbol, que se encuentra conformado por ramas y hojas.

CRETIB: Código de clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable y biológicos infeccioso.

Cuello de raíz: Zona que separa la raíz del tallo.

Deshierbe: Actividad que consiste en retirar las plantas de germinación espontánea no consideradas para evitar la competencia por luz, nutrientes, espacio o agua.

Desmoche: Corte severo de la copa de un árbol o de una rama dejando muñones sin ramas laterales grandes como para asumir el papel terminal.

Dormancia: Estado de mínima actividad fisiológica en los órganos de las plantas. Sin dormición.

Especie introducida: Especies que han sido transportadas por seres humanos de una región a otra, por lo que no son originarias de una determinada región.

Especie nativa: Especies vegetales o animales que de manera natural componen la flora o fauna de una región.

Especie: tipo particular de una planta o de animal, que mantiene su distinción de otros tipos en la naturaleza durante un periodo de muchas generaciones sucesivas.

Establecimiento: Tiempo que tarda una planta o un árbol en el suelo para adaptarse.

Evapotranspiración: Humedad que se pierde por la transpiración de la planta y la evaporación del agua del suelo.

Fauna nociva: todo tipo de animales que se alimentan de la basura y que pueden propagar enfermedades como: malaria, amibiasis, rabia, paludismo, encefalitis, etc.

Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Herbácea: Planta cuyo tallo carece de madera.

Lixiviados. Líquido saturado de sustancias nocivas producto de la transformación de los materiales de la columna de basura, que se infiltran a través de las diferentes capas de suelo hasta llegar a los mantos acuíferos

Lugar de plantación: Sitio escogido para hacer la cepa de plantación y los alrededores del mismo.

Mantenimiento: Actividades orientadas a preservar el área verde en condiciones óptimas.

Mejoramiento: Actividades de rehabilitación o restauración de un área verde.

Mulch: Materiales orgánicos o inorgánicos que se colocan alrededor del árbol para mejorar las condiciones del suelo y reducir la evaporación del agua. Tiene beneficios como el minimizar la competencia de las malas hierbas, reducir la erosión del terreno y mejorar la aireación, entre otros.

Perennifolias: árbol que conserva todas sus hojas durante todo el año.

Plantación: proceso de introducción o establecimiento en tierra de una especie vegetal para que arraigue, crezca y se desarrolle en el terreno o en el espacio que se ha elegido para su establecimiento.

Reasignación: se refiere a la asignación de un nuevo usos al suelo de un paisaje o parte de el cual no necesariamente tiene relación con los ecosistemas que se desarrollaban en el antes de la perturbación ecológica.

Reciclar: los desechos y desperdicios que generamos diariamente por nuestra forma de vida, vuelvan a integrarse a un ciclo, ya sea natural (materia orgánica), industrial o comercial (plástico, metales, vidrio).

Recuperación: acción de recuperar algo que se dice perdido a través de métodos o técnicas aplicados para su fin.

Reforestación: se refiere a la acción de plantar árboles en un sitio que lo requiere por deforestación, perturbación, etc.

Rehabilitación: su finalidad es elevar la productividad de los ecosistemas para beneficio de los habitantes del lugar introduciendo al sitio las mismas especies o especies exóticas.

Restauración: estudio y práctica de la reconstrucción del ecosistema mediante el establecimiento de especies nativas en comunidades bioéticas deterioradas parcial o totalmente.

Revegetación: es la acción de volver a introducir especies en un lugar que ha sido deteriorado para iniciar en este una nueva vida vegetal.

Seto: plantas de ornato, generalmente arbusto, que se podan de manera que formen una pared o una división de poca altura, en jardines, banquetas y camellones.

Shock: (de trasplante). Estrés posterior al trasplante que puede causar una reducción en el crecimiento, marchitamiento o pérdidas del follaje.

Trasplante: Acción y efecto de trasladar una planta o un árbol a un lugar nuevo.

A15. ANEXOS

Distribución de las especies en la parcela experimental de la FES Zaragoza por zona y plantación. H: zona húmeda, S: zona seca, SH: zona semi-húmeda, Cs: *Cupressus sempervirens* L., Fb: *Ficus benjamina* L., Fr: *Ficus retusa* L., Jch: *Juniperus chinensis* L., To: *Thuja orientalis* L. y No: *Nerium oleande* L.

La segunda plantación fue para realizar una sustitución de los individuos muertos o víctimas de vandalismo

ZONA EN LA PARCELA	PLANTACIÓN 1						PLANTACIÓN 2					
	E S P E C I E S											
	Cs	Fb	Fr	Jch	No	To	Cs	Fb	Fr	Jch	No	To
SH	1	1	3	2	2	2	0	0	0	0	0	0
H	2	2	1	2	1	1	1	0	0	0	0	0
S	2	1	0	0	1	1	1	2	2	0	0	3

Tabla de criterios para vigor y necrosis.

VIGOR		NECROSIS	
bueno	alta	75 - 100 %	
regular	moderada	50 - 75 %	
malo	baja	25 - 50 %	
	nula	0 - 25 %	

Formulas empleadas para los cálculos de cobertura de copa, índice de esbeltez, índice de tolerancia, supervivencia.

$$\text{Cobertura de copa (C)} = \left\{ \left[\frac{(d_1 + d_2)}{4} \right]^2 \pi \right\} \quad (\text{Osorio, 1996})$$

d_1 = primer diámetro de cobertura de copa

d_2 = segundo diámetro de cobertura de copa

$$\text{Índice de esbeltez (IE)} = \text{Altura} / \text{Diámetro} \quad (\text{Rosas, 2003., Tobías, 2003})$$

$$\text{Índice de tolerancia (IT)} = \text{Cn} / \text{Cnc} \quad (\text{Stallings, 1979})$$

Cc = Crecimiento en zona contaminada

Cnc = Crecimiento en zona no contaminada

A16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguilera H. 1989. Tratado de Edafología de México, tomo I. Departamento de investigaciones de edafología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. UNAM. México D.F.

Baker. 1987. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa. Tesis de licenciatura: Selección in-vitro de plantas tolerantes a plomo para su uso en fitorremediación. UAM-I. México D.F.

Baudilio J. 1962. 500 Especies de árboles y arbustos, reproducción y multiplicación. Ed. AEDOS. Barcelona, España.

Briz J. 2004. Saturación urbana, cubiertas ecológicas y mejora medioambiental. 2a edición. Editorial mundi-prensa. España.

Chacalo H, V. Corona y Nava Esparza. 2009. Árboles y arbustos para ciudades. Ed. UAM. México DF.

Chanes R. 2006. Deodendron, árboles y arbustos de jardín en clima templado. Ed. Blume. Barcelona, España.

COCODA. 1986. Manual de planeación, diseño y manejo de las áreas verdes del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal. México D.F.

Commission of the European Communities. 1992. Landfill gas from environment to energy. EUR 14017. Luxembourg.

Cortinas N. C. 2002. Manual de capacitación para minimizar residuos a nivel municipal, a través de reducir, reutilizar y reciclar (3R). Red queretana de manejo de residuos. México Qro.

Cremoux R., et al. 1993. ¡AYUDAME!, acciones prácticas para mejorar el medio ambiente en la ciudad de México. SEP, DDF, 2 da edición. México D.F.

Cruz F. G. 2003. Mecanismos de adaptación de la raíz de cereales ante estrés nutrimental en suelos ácidos. Tesis de doctorado FES Zaragoza. UNAM. México DF.

Duane F. 1972. Golf Course from Garbage. The American City. USA.

Duarte Z. V. M. 2005. Establecimiento de la cubierta vegetal arbórea (con el género *Acacia sp*) en un sitio de disposición final post-clausura; Parque Recreativo Cuitlahuac. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Fabris. 1995. The Architectural and Landscaping Aspect in Landfill Planning: Examples in Italy. Sardinia95 Fifth International fill Symposium. S Margherita di Pula, Cagliari Italia, 2-6 October.

Fitter A.H. y Hay R. K. M. 1991. Environmental physiology of plant 2nd Edition. Academic Press. Great Britain.

Foth. 1980. Fundamentos de la ciencia del suelo. Ed. Compañía editorial continental SA. USA Michigan.

Galván V. M. A. 1995. Caracterización de los desechos sólidos del ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco y su impacto en el suelo. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Galván, A., López L y García A., 1995. Caracterización del ex tiradero de Santa Cruz Meyehualco y su efecto en la vegetación utilizada en la forestación. BIEN boletín de investigación, educación y sus nexos. vol.2 no. 1. UNAM. México D.F.

García M. y Munguía A. 2000. Evaluación del establecimiento de *Senna didymobotrya* para la recuperación de la cubierta vegetal para los sitios de disposición final post-clausura. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza; UNAM. México DF.

GDF. 2000. Cuidemos nuestros árboles. Asociación mexicana de arboricultura. México D.F.

GDF. 2001. Manual de reforestación del Distrito Federal. Gobierno del Distrito Federal. Iztapalapa. México D.F.

Gilman E., Flower F.B., Leone I.A., Arthur J.J. 1979. Vegetation Growth in Landfill Envirous. Proceeding of the Fifth anual. Research Symposium Municipal waste land disposal.

Gilman F. E y Dennis G. W. 1993. Departamento de Horticultura Ambiental, Departamento, Servicio de Extensión Cooperativa. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas de la Universidad de Florida, Gainesville. USA Florida.

Gómez N. M. 2008. Establecimiento de la cubierta vegetal con las especies de *Schinus molle L*, *Populus alba L*, *Ligustrum japonicum thumb* y *Fraxinus uhdei (Wenzi.) Linglesh.* En un extiradero a cielo abierto (Parque Recreativo Cuitlahac) y modelación del establecimiento de plantas introducidas. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza; UNAM, México D.F.

Gonzales A. J. E. 2005. Arte....factos. Museo interactivo del medio ambiente. México D.F.

González, A. A. 2008. Introducción y seguimiento de la especie *Cupressus Lindley* Klotsch ex En el en el Sitio Final Post-clausura Parque Recreativo Cuitlahuac. Servicio Social. FES-Zaragoza; UNAM. México D.F.

Grajeda B. A. y Murillo G. C. 1980. Comportamiento físico y químico del agua. Curso a nivel técnico superior. Tomo I y II. Comportamiento físico. 2ª edición. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Dirección general de distritos y unidades de riego. Secretaria técnica. México D.F.

Harris R. W. 1992. Arboriculture, integrated management of landscape trees, shrubs, and vines. Ed. Prentis hall. 2 a edición. USA. New Jersey.

Hernández B. C. P. y Gunther W. 2002. Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a cielo abierto en el estado de México. Gobierno del estado de México, secretaria de ecología 2ª edición. México D.F.

Jiménez C. B. E. 2001. La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnologías apropiadas. Ed. Limusa SA. de CV. México D.F.

LADF. 2003. Ley Ambiental del DF. Gaceta oficial del Distrito Federal el 13 de enero de 2007. Asamblea legislativa del distrito federal.- II legislatura. México D.F.

Leal M., Valencia C. y Larrald L. 1996. Temas ambientales de la zona metropolitana de la ciudad de México. Coordinación de investigación científica; UNAM Programa Universitario de Medio Ambiente. México D.F.

Leone I., Guliman E., Telson M. y Flover B. 1980. Selection of trees and planting technique for former refuse landfills. Metro tree Impr. Alliance (Metria).

Lerner H. R. 1999. Plant responses to enviromental stresses. Ed. MARCEL DEKKER, INC. USA New York.

Ley de Residuos Sólidos del DF, 2003. Gaceta oficial del distrito federal el 13 de enero de 2007. Asamblea legislativa del distrito federal.- II legislatura. México D.F.

LGEEPA. 2003. Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, centro de documentación, información y análisis. Departamento del Distrito Federal 06-04-2010. México D.F.

LGPGIR. 2003. Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos. Diario oficial de la federación del 03 de octubre del 2003. Poder ejecutivo. México D.F.

Lichtinger V., Arriaga Bolaños-Cacho J. y Aguilar J. 2001. Guía para la gestión integral de residuos sólidos municipales. Subsecretaria para la Gestión para la Protección Ambiental-SEMARNAT. México D.F.

López S. M. G. y Pérez M. C. M. 2003. El género acacia, una alternativa para recuperar la cubierta vegetal arbórea en el sitio post-clausura parque Cuitlahuac de Santa Cruz Meyehualco, DF. Tesis de licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. México D.F.

Macaya-Berti G. H. 2004. Las moraceae cultivadas en Chile. *Chloris chilensis*. Revista chilena de flora y vegetación. Año 7 No 2.

Marín A. M. 2006. Introducción de (*Grevillea robusta* y *Cupressus lindleyi*) en el Parque Ecológico Cuitlahuac anteriormente empleado como sitio de disposición final de residuos sólidos. Informe de servicio social. UNAM. FES-Zaragoza. México D.F.

Martínez G. L. 2008. Árboles y áreas verdes urbanas de la ciudad de México y su zona metropolitana. Xochitla, CONAFOR, CONABIO, deloitte. México D.F.

Mendoza, R. J. 2006. Evaluación de la capacidad de establecimiento de *Tamarix gallica* y *Tecoma stans* a diferentes tallas, para la recuperación de la cubierta vegetal arbórea y arbustiva en un sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura. Servicio Social. FES-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Mercadet A. 2001. Selección de especies y procedencias para diferentes objetivos de producción. Proyecto perfeccionamiento de los programas de mejoramiento genético de las principales especies forestales. Academia pess inc. USA San Diego California.

Meter H. R. 1992. Biología de las plantas. Ed. REVERTE, España Barcelona.

Ministerio del ambiente y calidad de vida de Francia. 1985. Les Residus Urbains, Ed. Lavoisier, Francia.

Mooney H., Winner W. P. E. y Chu E. 1991. Response of plants to multiple stresses. Academia press inc. USA San Diego California.

Mora R. J. Á. 2004. El problema de la basura en México. Fundación de estudios urbanos y metropolitanos. México D.F.

Moran B. B. D. 2008. Implementación de un sistema de biogásificación a micro-escala en el tratamiento de cadáveres de ratas del bioterio de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Munguia C. A. y García A. M. 2000. Evaluación del establecimiento de *Senna didymobotrya* para la recuperación de la cubierta vegetal para sitios de disposición final post-clausura. Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Munsell. 1992. Soil Colors Charts. Macbeth División of Kolmorgen Corporation Baltimore.

Munsell. 1997. Soil color charts for plant tissues, Macheth LLC.

Muñoz I. M. C., López G., Soler A. y Hernández M. 2000. Edafología, Manual de Métodos de Análisis de Suelos. FES-Iztacala. UNAM. México D.F.

NADF-001-RNAT-2006. Norma Ambiental para el Distrito Federal. México D.F.

NADF-006-RNAT-2004. Norma Ambiental para el Distrito Federal. México D.F.

NMX-AA-61-1985. Secretaria Desarrollo Urbano y Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Departamento del Distrito Federal dirección general de estudios prospectivos. Comisión de ecología. México D.F.

NMX-AA-91-1987. Secretaria Desarrollo Urbano y Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Departamento del Distrito Federal dirección general de estudios prospectivos. Comisión de ecología. México D.F.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Norma Oficial Mexicana. México D.F.

NOM-052-SEMARNAT-2005. Norma Oficial Mexicana. México D.F. (SEMARNAT, 2009).

NOM-055-SEMARNAT-2003. Norma Oficial Mexicana. México D.F. (SEMARNAT, 2009).

NOM-056-ECOL-1993. Norma Oficial Mexicana. México D.F. (SEMARNAT, 2009).

NOM-057-ECOL-1993. . Norma Oficial Mexicana. México D.F. (SEMARNAT, 2009).

NOM-058-ECOL-1993. Norma Oficial Mexicana. México D.F. (SEMARNAT, 2009).

NOM-083-SEMARNAT-2003. Norma oficial mexicana. México D.F. 20 de octubre de 2004

NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002. Norma oficial mexicana. 20 de octubre de 2004. (PROFEPA, 2008). México D.F.

Olaeta C. J., Espinace A. R., Szantó N. M. y Palma G. 2004. Metodología integrada para rehabilitar rellenos sanitarios y tranques de releave. Proyecto FONDEN D00I1101. Fondo de fomento al desarrollo científico y tecnológico. Pontificia universidad católica de Valparaíso. Chile.

Olaeta C. J; Espinace A. R.; Szantó N. M. y Palma G. 1997. Experiencias de reinserción de vertederos mediante la implantación de una cubierta vegetal. Facultad de Ingeniería Universidad Católica de Valparaíso. Chile.

Olivares E., Peña E. y Aguilar G. 2002. Nutrición mineral y estrés oxidativo por metales en espinaca y lechuga, en comparación con dos malezas asociadas, en cultivos semi-urbanos. INCI. Set. Vol 27, no. 9.

Ortiz V. B. y Ortiz S. C. A. 1990. Edafología. Universidad Autónoma Chapingo. 7ma edición. México.

Osorio B. O., Valiente B. A., Dávila P. y Medina R. 1996. Tipos de vegetación y diversidad β en el valle de Zapotitlán de las Salinas, Puebla, México. Boletín de la sociedad botánica de México. 59: 35-58. Ecología. Instituto de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Paramo A. 2000? La metamorfosis de la basura. El universal. México D.F.

Quadri De La T. G. 2000. Lo que a usted le conviene saber sobre los residuos y su legislación ambiental. SEMARNAP, INE. México D.F.

Ramírez O. y Salazar Z. 1998. Evaluación de las características de las especies *Malva parviflora* y *Amaranthus hybridus* para la recuperación de la cubierta vegetal en el enterramiento controlado bordo Xochiaca. Tesis de licenciatura. Fes-Zaragoza. UNAM. México D.F.

Rana S. V. S. 2007. Environmental pollution, health and toxicology. Ed. alpha science. Merrut, India.

Rending, V. y Howar M. 1989. Principles of soil interrelationship. McGraw-hill. USA.

Restrepo. 1985. La basura: consumo y desperdicio, Centro de desarrollo, México, DF.

Ríos G. R. 1985. Practicas del modulo de edafología. Laboratorio integral de Biología IV. UNAM. FES Zaragoza. México D.F.

Rosas C. A. 2003. Variaciones en el árbol de las dimensiones y de la densidad básica de la madera de *Eucaliptus camaldulensis*. Dehnh. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. División de ciencias forestales. Texcoco. México.

Ruiz B. A. y Ortega T. E. 1979. Prácticas de laboratorio de química de suelos. Departamento de suelos, Universidad Autónoma Chapingo. México.

Russell E. J. y Russell E. W. 1968. Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas. 9ª edición. Ed. Tolle, LEGE. Inglaterra Londres.

SARH. 1980. Comportamiento físico-químico del suelo y del agua, curso a nivel técnico superior. Tomo II. Comportamiento químico. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. 2ª edición. México D.F.

SEDESOL. 1984. Normas oficiales mexicanas en materia de protección ambiental 1993-1994. México D.F.

SEDESOL. 2002. Manual para la rehabilitación y clausura de tiraderos a cielo abierto. Secretaría de Desarrollo Social. Gobierno Federal. México D.F.

SEDESOL. 2008. Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas. México D.F.

SEGEM. 2000. El sector informal en la separación del material reciclable de los residuos sólidos municipales del Estado de México. Tomo 1-3.

SEGEME. 2004. Manual de sitios de disposición final clausurados. México DF.

SEMARNAT, DDF. 2000. Inventario de residuos sólidos del distrito federal. Secretaria del medio ambiente. GDF. México D.F.

SEMARNAT. 2007. Cámara de diputados del H congreso de la unión. México DF.

SEMARNAT. 2008. ¿Y el medio ambiente? Problemas en México y el mundo. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Gobierno federal. México D.F.

SEMARNAT. 2008. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. México D.F.

Stallings J.H. 1979. El suelo. Su uso y mejoramiento. Compañía Editorial Continental SA. México D.F.

Sutcliffe J. 1979. Las plantas y la temperatura. Cuadernos de Biología, Omega. España Barcelona.

Teuscher H. y Alder R. 1984. El suelo y su fertilidad. Cía. Editorial continental SA. 8ª edición. USA New York.

Thompson L. M. 1995. El suelo y su fertilidad. Ed. Reverte. 4ª edición. España Barcelona.

Tobías B. N. 2003. Informe de diagnostico de plantaciones. Hacienda inmodana. Ecuador.

UAM-A. 1999. Manual de arboricultura. Guía de estudio para la certificación del arborista. Capitulo 3. Relaciones suelo/árbol. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F.

Urrutia C. S. 1982. Conocimiento del suelo agrícola. Centro nacional de productividad de México A.C. Programa de productividad agropecuaria. México D.F.

Valdivieso G. R. 1997. Crecimiento de laurel (*caidia alliadora* (ruiz y pavon) oken) como componentes maderables de sistemas agroforestales en Talamanca, Costa Rica y Changuinola, Panamá. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

Vásquez W. 2006. Ejemplo de cálculos para parcelas permanentes de crecimiento en plantaciones forestales. CATIE.

WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 103. FAO. Roma.

Origin Pro. 8. 2008. The data analysis and graphing workspace. Version E8. www.originlab.com

Google Earth. 2010. programa de visualización geográfica. Version: 4.3 Windows. www.google.com/earth

<http://ecologia.deeuropa.net>. Mayo del 2010

<http://www.rainforest-alliance.org> (Rainforest Alliance). El Ciprés Común, por el Dr. José Galindo. Mayo del 2010

<http://www.ran.org> (Rainforest Action Network). Mayo 2010

www.arbolesornamentales.com/nombrescomunes.htm. Mayo del 2009.

www.arbolesornamentales.com/nombreslatinos.htm. Febrero del 2009.

www.chlorischile.cl/moraceaechileornm/moraceaemacaya.htm. Mayo del 2009.

www.conifers.org/cu/ju/sargentii.htm. Mayo del 2009.

www.elclima.com.mx/iztapalapa.htm. Enero del 2009.

www.eljardin.info/Arboles/Thuja_orientalis. Enero del 2009.

www.fichas.infojardin.com/arbustos/juniperus-chinensis-enebro-chino-junipero-hino.htm. Mayo del 2009.

www.floramiata.it. Mayo del 2010

www.gardendepot.org. Marzo del 2009.

www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do, The International Plants Index. Junio del 2009

www.iztapalapa.gob.mx/htm/0505020000_2005.html. Enero del 2009.

www.jtosti.com. Mayo del 2009.

www.juniperus.hu. Mayo del 2009

www.lcsd.gov.hk/. Mayo del 2009

www.pardeetree.com. Mayo del 2009.

www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx. Agosto del 2010.

www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Pages/normasoficialesmexicanasvigentes.aspx. Agosto del 2010.

www.sma.df.gob.mx/rsolidos/inventario-08/inventario2008.pdf. Agosto del 2010.

www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/nadf-001-rnat-2006.pdf. Agosto del 2010.

www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/nadf-006-rnat-2004.pdf. Agosto del 2010.

www.tecnun.es/Asignaturas/Ecologia/Hipertexto/13Residu/110ReSolUrb.htm. Enero del 2009.

www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/344/gestion.html

A17. RECOMENDACIONES.

Utilizar el conocimiento aquí generado para la reforestación exitosa del Parque Ecológico Cuicahuac empleando las especies de mayor éxito propuestas de acuerdo a la zona.

El empleo de las especies: *Cupressus sempervirens* L, *Ficus retusa* L, *Juniperus chinensis* L, *Nerium oleander* L y *Thuja orientalis* L. mejorara la estética del parque y los servicios ambientales del Parque Ecologico Cuithahuac.

Probar la aplicación de micorrizas en el establecimiento de la cubierta vegetal.

Determinar la humedad del suelo en diferentes puntos de la parcela experimental en el periodo de un año con el fin de adecuar el programa de riego asistido por zona.