



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Establecimiento de la cubierta vegetal con las especies de *Schinus molle* L., *Populus alba* L., *Ligustrum japonicum* Thunb., y *Fraxinus uhdei* (Wenzig) Lingelsh, en un extiradero a cielo abierto (Parque Recreativo cuitlahuac) y modelación del establecimiento de plantas introducidas.

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:

MARTÍN GÓMEZ NOLASCO

DIRECTORA:

BIOL. MARIA DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA



México D.F.

JUNIO/2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por darme la oportunidad de cobijarme con su sabiduría y por ofrecer una educación de calidad con visión humanista.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por inculcar a sus alumnos Valores universales que ayudan a mejorar el entorno que nos rodean.

A mis padres por el simple hecho de haberme dado la vida, para aprovecharla al máximo y lograr las metas que me he propuesto en la vida.

A todos mis profesores que me ayudaron a realizar uno de mis sueños:
Biol. María de los Ángeles Galván Villanueva, por su comprensión y sus comentarios tan atinados tanto en lo académico, como personal.

M. en C. Armando Cervantes Sandoval, por darme la oportunidad de ayudarme en la parte de modelación que es muy importante para mi, y brindarme su amistad sincera.

M. en C. Germán Calva Vásquez, por su amistad y por los comentarios que ayudaron a enriquecer este trabajo.

M. en C. Patricia Rivera García, por ayudar a enriquecer este trabajo con sus comentarios.

Biol. Leticia Lopez Vicente, por sus comentarios tan acertados para mejorar este trabajo.

M. en C. Carlos Castillejos Cruz por la facilidad que proporciono para la determinación de los especímenes introducidos al Parque Recreativo Cuitlahuac.

DEDICATORIAS:

A mi esposa Gudelia Jiménez Pacheco, por estar con migo todo este tiempo y alentarme siempre en salir adelante a pesar de las adversidades.

A mis hijos:

Nasli Arlet Gómez Jiménez, por iluminar y alegrar mi vida.

Martin Gómez Jiménez, por la alegría que trajo a nuestras vidas.

A familiares y amigos en general, que creyeron en mi y a los que no, los aliento a conseguir sus metas con perseverancia y dedicación.

A aquellos que algún día estuvieron a qui, y que a hora se nos han adelantado, gracias a ellos por inculcarme valores que hoy me están sirviendo para cumplir mis metas.

INDICE

1. RESUMEN.....	6
2. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1 Antecedentes.....	7
3. MARCO TEÓRICO.....	9
3.1 Marco Jurídico	9
3.1.1 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA)	9
3.1.1.1 Artículo 7; Fracción VI.....	9
3.1.1.2 Artículo 135; Fracción I, II, y III	9
3.1.1.3 Artículo 136; Fracción I, II, III y IV	10
3.1.2 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos	10
3.1.2.1 Artículo 1; Fracción I y II	10
3.1.2.2 Artículo 97.....	10
3.1.3 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	11
3.1.3.1 Capitulo 1 Artículo 6; Fracción III.....	11
3.1.3.2 Capitulo 4 Artículo 50.....	11
3.1.3.3 Artículo 51.....	11
3.1.3.4 Artículo 54	12
3.1.4 Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003	12
3.1.5 Norma Oficial Mexicana NOM-084-SEMARNAT-2003	12
3.1.6 Norma Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994	12
3.1.7 Norma Oficial Mexicana NOM-062-ECOL-1994	12
3.2 Residuos Sólidos Municipales en la Ciudad de México	12
3.3 Formas de disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM)	16
3.3.1 A cielo abierto	16
3.3.2 Enterramiento controlado	16
3.3.3 Relleno sanitario	17
3.3.3.1 Objetivos de la disposición final de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) en un relleno sanitario.....	21
3.3.3.2 Beneficios que ofrece un relleno sanitario	21
3.3.3.3 Etapa preliminar a la clausura.....	22
3.3.3.4 Etapa de clausura	22
3.3.3.5 Etapa de posclausura	22
3.3.3.6 Obras de control que se construyen en la etapa de postclausura	22
3.3.3.7 Etapa de mantenimiento y monitoreo ambiental.....	22
3.4 Revegetación	23
3.4.1 Revegetación en Ambientes Naturales	24
3.4.2 Revegetación en sitios de disposición final de Residuos Sólidos.....	26
3.5 Importancia de la producción de especies vegetales en viveros y su utilidad	32
3.6 Biología de las especies vegetales introducidas en el Parque Recreativo Cuitlahuac	33

3.6.1 Características Generales de las Especies:.....	33
3.6.1.1 <i>Schinus molle</i> L. (Pirúl).....	33
3.6.1.2 Descripción Botánica.....	34
3.6.1.3 Clasificación Taxonómica.....	35
3.6.1.4 <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenzi.) Linglesh. (Fresno).....	35
3.6.1.5 Descripción Botánica	35
3.6.1.6 Clasificación Taxonómica	36
3.6.1.7 <i>Pópulus alba</i> L.(Álamo Plateado).....	36
3.6.1.8 Descripción Botánica	37
3.6.1.9 Clasificación Taxonómica	37
3.6.1.10 <i>Ligustrum japonicum</i> Thunb. (Trueno).....	38
3.6.1.11 Descripción Botánica	38
3.6.1.12 Clasificación Taxonómica	39
3.7. Modelos Dinámicos	40
3.7.1 Descripción informal del Modelo.....	41
3.7.2 Descripción Formal del Modelo	43
3.7.3 Marco Experimental y Modelos Simplificados.....	43
3.7.4 Verificación y Validación del Modelo.....	44
3.7.5 Construcción de Modelos Dinámicos	46
3.7.6 Software (Stella)	48
3.7.6.1 Acumulador (Nivel o Stock)	48
3.7.6.2 Flujo	48
3.7.6.3 Convertidor	49
3.7.6.4 Conector	49
3.8 Planteamiento del problema.....	50
3.9 Objetivos	52
3.9.1 Objetivos Generales.....	52
3.9.2 Objetivos Particulares	52
3.10 Hipótesis	53
3.11 Justificación.....	54
4. MÉTODO	55
4.1 Área de Estudio.....	55
4.1.1 Localización Geográfica.....	55
4.1.2 Condiciones Climáticas.....	57
4.2 Muestreo del Sustrato	58
4.2.1 Análisis Físico del Sustrato	60
4.2.2 Análisis Químico del Sustrato.....	60
4.3 Selección de Especies	61
4.4 Determinación de las Especies en el Herbario FEZA.	62
4.5 Técnica de Transplante de las Especies Vegetales Introducidas a la Parcela Experimental.	62

5. RESULTADOS.....	65
5.1 Análisis Físico del Sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac.....	65
5.2 Análisis Químico del Sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac.....	66
5.3 Seguimiento de las Especies.....	67
5.4 Gráficas de las variables en estudio para el modelo.....	74
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	78
7. CONCLUSIONES.....	84
8. RECOMENDACIONES	86
9. GLOSARIO.....	87
10.REFERENCIAS.....	90
12.CITAS ELECTRONICAS.....	93
13. ANEXO 1. Determinación de los individuos en el herbario FEZA, introducidos en el Parque Recreativo Cuitlahuac.....	94

FIGURAS

Figura 1	Ciclo General de la Basura.....	13
Figura 2	Basura Recolectada y Dispersa en México en el 2000	14
Figura 3	Porcentaje de Basura Depositada en Sitios Controlados, Tiraderos Clandestinos y no controlados en México en el 2000	15
Figura 4	Selección de Especies en Viveros	23
Figura 5	Importancia de producción de Especies de Plantas en Vivero	32
Figura 6	<i>Schinus molle</i> L. Introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac	35
Figura 7	<i>Fraxinus uhdei</i> Introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac	36
Figura 8	<i>Populus alba</i> L. Introducido al Parque Recreativo Cuitlahuac	37
Figura 9	<i>Ligustrum japonicum</i> Thunb Introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac.....	39
Figura 10	Imagen satelital del Parque Recreativo Cuitlahuac	55
Figura 11	Suelo Antrosol en el Parque Recreativo Cuitlahuac	57
Figura 12	Parcela Experimental del Parque Recreativo Cuitlahuac	58
Figura 13	Elaboración de Muestras Compuestas	59
Figura 14	Diferentes Formas de Plantaciones	63
Figura 15	Seguimiento de Altura del Pirul del mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	67
Figura 16	Seguimiento de Altura del Álamo plateado, correspondiente a Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	67
Figura 17	Seguimiento de Altura del Trueno, durante los meses de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	68
Figura 18	Seguimiento de Altura del Fresno, correspondiente al periodo de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	68
Figura 19	Seguimiento de Cobertura del Pirul, durante el periodo Correspondiente al mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007..	69
Figura 20	Seguimiento de Cobertura del Álamo correspondiente al mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	70
Figura 21	Seguimiento de Cobertura del Trueno del periodo de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	70
Figura 22	Seguimiento de Cobertura del Fresno de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007	71
Figura 23	Seguimiento de Diámetro del Pirul, correspondiente al mes de Noviembre de 2006 a Diciembre 2007	71
Figura 24	Seguimiento en Diámetro del Álamo, en los meses de Noviembre 2006 a Diciembre 2007	72
Figura 25	Seguimiento en Diámetro del Trueno comprendido en el periodo de Noviembre de 2006 a Diciembre 2007	72
Figura 26	Seguimiento en Diámetro del Fresno, durante los meses de noviembre 2006 a Diciembre 2007	73
Figura 27	Curva de regresión ajustada para CIC y MO.....	74
Figura 28	Análisis de varianza para MO,pH, y CIC.....	74
Figura 29	Representación del modelo con el Software Stella.....	75
Figura 30	Establecimiento de plantas en el Parque Recreativo Cuitlahuac.....	76
Figura 31	Suelo antrosol urbano en el Parque Recreativo Cuitlahuac.....	78
Figura 32	Suelo compactado en el Parque Recreativo Cuitlahuac.....	79

CUADROS

Cuadro 1. Tipos de sitios de disposición final y tonelajes de basura por día	18
Cuadro 2. Análisis físico del sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac	65
Cuadro 3. Análisis químico del sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac.....	66

RESUMEN

En un suelo antrosol (acumulación de residuos sólidos) como el que existe en el Parque Recreativo Cuitlahuac, surgen diversos problemas para el establecimiento de especies arbóreas como arbustivas, esto es, debido al bajo contenido de nutrimentos, poca retención de agua, baja concentración de oxígeno, elevada compactación después de los primeros 30 cm de profundidad. Por ello se recomienda la introducción de plantas resistentes a las condiciones extremas en el lugar, además de modificar la talla de los organismos entre 150–250 cm, y reducir el tiempo para obtener el estrato arbóreo. Se introdujeron especies de álamo plateado (*Populus alba* L.), trueno (*Ligustrum Japonicum* Thunb.), pirúl (*Schinus molle* L.), y fresno (*Fraxinus uhdei* (Wenzi.) Linglesh.), sanas de buen vigor con una altura de 150-250 cm con el fin de establecer la cubierta vegetal en el Parque Recreativo Cuitlahuac; ya que estas plantas cuentan con las características deseables para poblar el lugar en menor tiempo. Las cuales fueron seleccionadas del vivero Nezahualcoyotl, y trasplantadas en la parcela experimental de 2550 m² en el sitio de estudio (Parque Recreativo Cuitlahuac), haciendo cepas de 30x30x30 cm; con aireación de 24 Hrs, el método de plantación se realizó al tres bolillo (zig – zag). Se hicieron muestreos del suelo de tipo no probabilísticos, y se realizaron los análisis físicos y químicos del mismo (color, textura, conductividad eléctrica a 25°C, densidad aparente, densidad real, pH, % de materia orgánica, y CIC), estos análisis se determinaron de acuerdo a lo establecido en la NOM-021-RECNAT-2000 en el Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES Zaragoza (UNAM). Se realizó el seguimiento mensual de las especies trasplantadas de los atributos: altura, cobertura, diámetro. Se obtuvieron los ejemplares para herborizar y llevarlos al herbario FEZA para su determinación. Estos resultados tuvieron gran similitud con trabajos antes hechos en el lugar de estudio (García y Munguía en el 2000, López y Pérez en el 2003, Duarte en el 2005); con respecto a los análisis físicos y químicos del suelo; aunque en materia orgánica esta vez se obtuvo un resultado más bajo de 1.7% a 2.4% y la capacidad de intercambio catiónico indica que hay poco intercambio de nutrimentos, lo que demuestra que a pesar que hay suficiente materia orgánica en el sitio esta no es degradada lo suficiente por la fauna del suelo y a que el exceso de carbonato de calcio impide su degradación, lo que provoca el bajo intercambio de nutrimentos y minerales entre el suelo y las plantas de la zona de estudio. Aunado a esto la alta temperatura de 50-60 °C del lugar, junto con el pH elevado, el riego asistido de una a dos veces por semana y el vandalismo, son factores muy importantes que afectan el establecimiento de las plantas en la zona de estudio del Parque Recreativo Cuitlahuac, y su permanencia. Los datos fueron procesados y modelados en el software “Stella” con información de trabajos anteriores y el actual para llevar a cabo la simulación del modelo del lugar, y saber la relación suelo-planta que existe y así poder predecir el establecimiento y sobrevivencia de las especies vegetales. Los resultados obtenidos son muy semejantes a los reportados en el sistema real del Parque Recreativo Cuitlahuac, el factor principal para el establecimiento de las especies de *Schinus molle* L., *Populus alba* L., *Fraxinus uhdei* (Wenzi.) Linglesh., y *Ligustrum japonicum* Thunb., es el agua y el vandalismo predominante en la zona. La aplicación de este software es algo muy novedoso y por lo tanto es una aportación del mismo; debido a que es un trabajo pionero en el uso del Software “Stella” con enfoque de relación suelo-planta.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

El Ministerio del Ambiente y Calidad de Vida de Francia plantea la importancia de ocupar los rellenos sanitarios clausurados en parques o campos productivos, (Citado en Olaeta y colaboradores , 1987) para lo cual señala una serie de posibilidades de especies tanto arbóreas 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. Olaeta y colaboradores (1987), señalan que también 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*.

García y Munguía (2000), resaltaron la importancia de caracterizar física y químicamente el sustrato (suelo y vegetación) del Parque Recreativo Cuitlahuac, determinando que la disponibilidad de agua, elevada salinidad, pH alcalino y déficit nutrimental, son importantes para el establecimiento de los vegetales, además las modificaciones que ha sufrido la fauna y flora del lugar. Se propone a *Senna didymobotrya*, como una especie con gran capacidad de éxito para establecerse bajo condiciones adversas.

López y Pérez (2003), determinaron cuales son las variables del sustrato que afectan el desarrollo de la planta y que son comunes a la mayoría de los sitios de la zona de estudio como Bordo de Xochiaca, Santa Fe, Tlalpan, Tlahuac, Milpa alta, San Lorenzo Tezonco, Santa Catarina, entre otros . Introdujeron ejemplares de *Acacia saligna* y *Acacia nerifolia* con tallas de 120 a 150 cm de altura, en el Parque Recreativo Cuitlahuac, como componentes de la vegetación arbórea en sitios perturbados por Residuos Sólidos Municipales (RSM).

Después del estudio se obtuvo un 90 % de supervivencia para ambas especies, con lo que concluyen que se pueden emplear para recuperar la cubierta vegetal, el estrato arbóreo y arbustivo en zonas de disposición final de residuos sólidos post-clausura.

En el 2005, Duarte, sugirió que es de suma importancia incrementar las áreas verdes en la ciudad de México, en donde la vegetación sólo cubre el 5% del área de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), y particularmente para la delegación Iztapalapa, existen 1.74 m² por habitante, de tal manera se deben aprovechar las praderas artificiales generadas al clausurarse un sitio de disposición final estableciendo una cubierta vegetal. Dado que las condiciones del sustrato del Parque Cuitlahuac son extremas, se dificulta el establecimiento de muchas especies vegetales. Si se emplean individuos del género *Acacia*, las cuales son fijadoras de nitrógeno, resistentes a temperaturas altas, sequía y salinidad extrema, se podrá establecer la cubierta vegetal del parque. Además reportó alta heterogeneidad de todo el sustrato tanto vertical como horizontal.

Gómez (2007), propuso; para tener mayor éxito en el establecimiento del estrato arbóreo y arbustivo en un sitio de disposición final, no basta con introducir especies resistentes al lugar; sino que se debe poner mayor cuidado en la talla de introducción, la cual debe oscilar de 150-250 cm para obtener el estrato arbóreo en menos tiempo del sitio. Además especies perennes de buena fronda y que tengan riego asistido dos veces por semana durante el tiempo de establecimiento y periodo de sequía de las mismas; ya que en árboles establecidos con buena fronda podrán tener una estancia más amena las personas que visitan el lugar.

MARCO TEÓRICO

Marco Jurídico

Para la construcción de un relleno sanitario, operación y disposición de Residuos Sólidos Municipales (RSM), es necesario que se cumpla con las especificaciones de las Leyes y Normas Oficiales Mexicanas (NOM) vigentes; además con la Norma Ambiental del Distrito Federal (NADF), de poda y mantenimiento de arboles para la revegetación del lugar (Parque Recreativo Cuitlahuac). Cumpliendo con estas disposiciones se podrá evitar la contaminación al ambiente en su conjunto, como: dañar a la fauna, flora, agua, aire y a las personas en general. Estas Leyes y Normas establecen en general lo siguiente:

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

Artículo 7.- Corresponden a los Estados, de conformidad con lo dispuesto en esta ley y las leyes locales en la materia, las siguientes facultades:

VI. Obliga a los Estados a ocuparse de la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos. www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Artículo 135.- Los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo se consideran, en los siguientes casos:

I. La ordenación y regulación del desarrollo urbano;

II. La operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios;

III.- La generación, manejo y disposición final de residuos sólidos, industriales y peligrosos, así como en las autorizaciones y permisos que al efecto se otorguen.

www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007 *Reformada en el DOF 13-12-1996*

Artículo 136.- Los residuos que se acumulen o puedan acumularse y se depositen o infiltren en los suelos deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar:

I. La contaminación del suelo;

II. Las alteraciones nocivas en el proceso biológico de los suelos;

III.- Las alteraciones en el suelo que perjudiquen su aprovechamiento, uso o explotación, y

Reformada en el DOF 13-12-1996

IV. Riesgos y problemas de salud.

www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Artículo 1º.- 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:

I.- Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos;

II.- Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana.

www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Artículo 97.- Las normas oficiales mexicanas establecerán los términos a que deberá sujetarse la ubicación de los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, en rellenos sanitarios o en confinamientos controlados.

Las normas especificarán las condiciones que deben reunir las instalaciones y los tipos de residuos que puedan disponerse en ellas, para prevenir la formación de lixiviados y la migración de éstos fuera de las celdas de confinamiento.

Asimismo, plantearán en qué casos se puede permitir la formación de biogás para su aprovechamiento. Los municipios regularán los usos del suelo de conformidad con los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano, en los cuales se considerarán las áreas en las que se establecerán los sitios de disposición final de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.

CAPÍTULO I De Las Facultades

Artículo 6o.- Corresponde a la Secretaría el ejercicio las siguientes facultades:

III. Coordinarse con la Secretaría de Obras y Servicios en la aplicación de las disposiciones complementarias para la restauración, prevención y control de la contaminación del suelo generada por el manejo de los residuos sólidos que establecen esta Ley y demás disposiciones jurídicas aplicables;

CAPITULO IV De La Disposición Final

Artículo 50.- La selección de los sitios para disposición final, así como la construcción y operación de las instalaciones deberá sujetarse a lo estipulado en las normas oficiales mexicanas y demás ordenamientos jurídicos aplicables.

Artículo 51.- Los sitios de disposición final tendrán un acceso restringido a materiales reutilizables o reciclables y deberá recibir un menor porcentaje de residuos orgánicos. Además, emplearán mecanismos para instalar sistemas de extracción de biogás y tratamiento de lixiviados para su recolección.

Artículo 54.- 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. www.df.gob.mx 14-enero-2008

Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003.

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. www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Norma Oficial Mexicana NOM-084-SEMARNAT-2003

Proyecto de norma oficial mexicana NOM-084-ECOL-1994, que establece los requisitos para el diseño de un relleno sanitario y la construcción de sus obras complementarias. www.semarnat.gob.mx/leyesynormas 15-oct-2007

Norma Oficial Mexicana NOM-060-ECOL-1994

Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal, publicada en el diario oficial de la federación el 13 de mayo de 1994.

Norma Oficial Mexicana NOM-062-ECOL-1994

Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos sobre la biodiversidad que ocasionan por el cambio de uso del suelo de terrenos forestales a agropecuarios, publicada en el diario oficial de la federación el 13 de mayo de 1994.

Residuos Sólidos Municipales (RSM) en la Ciudad de México

Los Residuos Sólidos Municipales (RSM), conocidos comúnmente como basura, están compuestos por residuos orgánicos e inorgánicos, donde el 53% son residuos orgánicos como: restos de material vegetal, papel, cartón, madera y en general materiales biodegradables. Los inorgánicos representan el 47%, como: vidrio, plástico, metales, material inerte y materiales de construcción como cascajos, etcétera.

Estos provienen de las actividades que se desarrollan en el ámbito doméstico, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como de actividades industriales que no se deriven de sus procesos (SEMARNAT, 2001).

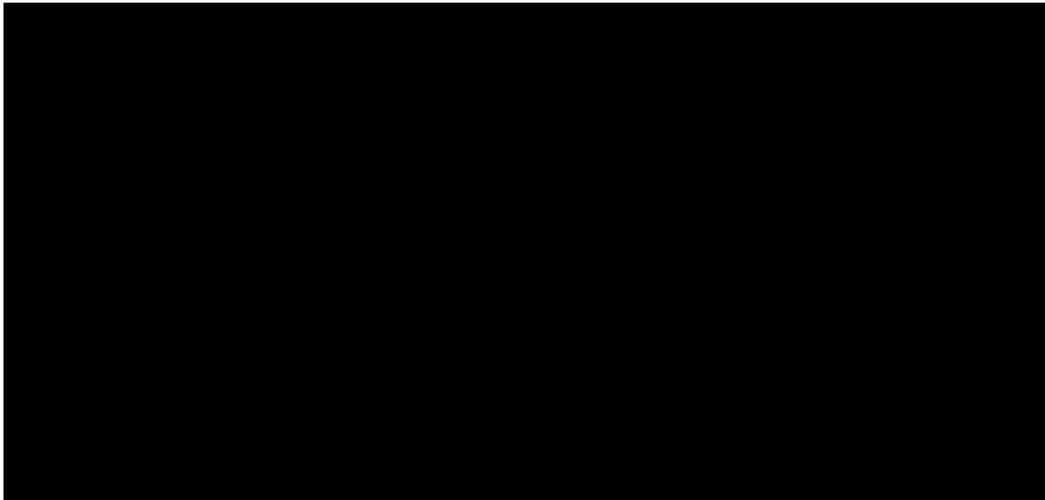
El manejo adecuado de los residuos sólidos, incluye el control de la generación, almacenamiento, recolección, transferencia, procesamiento y disposición final (figura 1). Todas las etapas deben de ser efectuadas bajo criterios que tomen en cuenta cuestiones de salud pública, economía, tecnología, estética, así como la conservación y el uso eficiente de los recursos naturales (Jiménez, 2002).



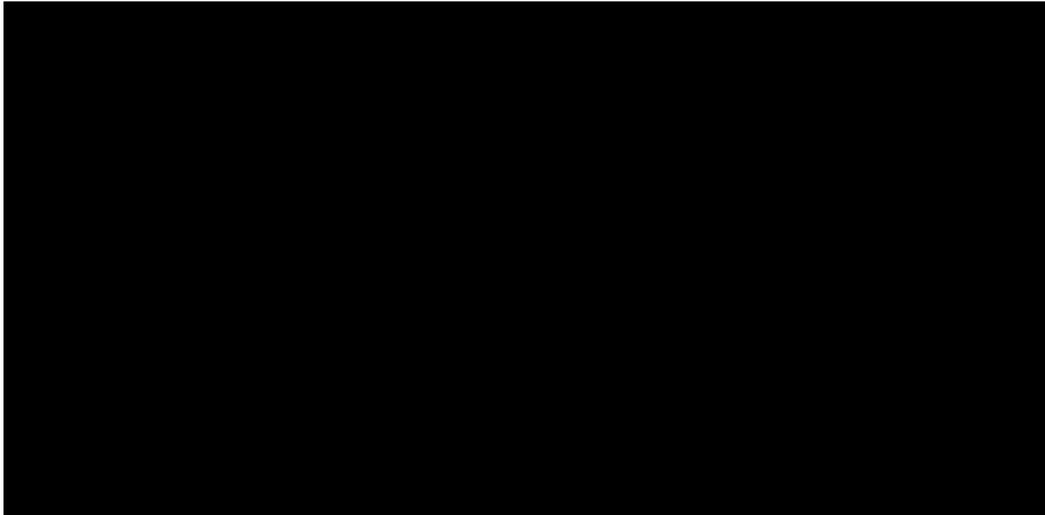
Figura 1. Ciclo general de la basura

La Ciudad de México, cuenta con una extensión territorial de 3,129 km² y una población de 20 millones de habitantes en el área metropolitana (INEGI, 2000 citado en Duarte, 2005). La generación de los residuos aumenta en función directa del incremento de la población. De 19,621 toneladas de basura que se generan a diario, el 70% se distribuyen en los tiraderos y rellenos del Distrito Federal y el Estado de México, mientras que el 30% restante se depositan en las calles y terrenos baldíos de la ciudad (Jiménez, 2002).

En México del 100% de RSM generados, se recolectaba en el año 2000, el 83% de los residuos (figura 2) lo cual equivale a 69,886 ton/día, quedando dispersas 14,314 toneladas; el 17% no es recolectada.



Del total generado (figura 3) poco más del 49% se depositan en sitios controlados, lo que equivale a 41,258 toneladas por día, lo que significa que 42,942 toneladas se disponían diariamente a cielo abierto, en tiraderos no controlados, tiraderos clandestinos o dispersos en forma inadecuada, lo que representa el 51% (SEMARNAT, 2001).



Actualmente, el 53% de los residuos urbanos generados en México es orgánico, 14% es papel y cartón, 6% vidrio, 4% plástico, 2% textil, 3% hojalata y 18% otros (madera, cuero, hule, envases de cartón encerados, trapo y fibras diversas). Estos valores son diferentes para las principales capitales, zonas urbanas y localidades rurales del país. (Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental, (COMIA), 2003).

En México, la generación de residuos sólidos municipales per cápita en el 2000 era de 0.679 a 1,329 Kg./hab/día. Los valores inferiores corresponden a zonas en su mayoría semirurales o rurales, mientras que los valores superiores representan la generación para zonas metropolitanas. Además depende del nivel social en que se encuentre, escolaridad, ideología, religión, económico, etcétera. (SEMARNAT, 2001).

Formas de disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM)

A cielo abierto

Este método actualmente es el más usado en el interior de la República Mexicana por comodidad, menor costo y tradición desde hace mucho tiempo. Consiste en el depósito incontrolado de residuos sólidos directamente en el suelo, provocando la contaminación del aire, agua y suelo, así como problemas de salud pública.

En la zona Metropolitana de la ciudad de México se contaba con 8 de estos tiraderos a cielo abierto, los cuales son: Santa Fe, Tlahuac, Tlalpan, Milpa Alta, San Lorenzo Tezonco, Bordo de Xochiaca, Santa Catarina y Santa Cruz Meyehualco. Este último sobresale por sus dimensiones de 148 hectáreas, actualmente Parque Cuitlahuac. Ubicado en la Delegación Iztapalapa, con una vida útil por más de 35 años y clausurado en 1983 (Jiménez, 2002).

Además de que los tiraderos son peligrosos para el aire y el agua subterránea, el terreno que se utiliza como basurero queda inservible debido a que, al depositar la basura, se cubre la capa vegetal que lo cubría originalmente.

El suelo se erosiona y crea polvo saturado de microorganismos y partículas nocivas. Después el viento ocasiona que se formen tolvánicas en estos sitios, y traslada los residuos de un lugar a otro de la ciudad de México (Salas, y colaboradores, 1992).

Enterramiento Controlado.

En este método se elige un área en donde la basura se extiende y se compacta; después se forma una montaña de cierta altura y luego se cubre con material de diferente índole como suelo, cascajo, o bien con el producto del desazolve de los tubos de drenaje. Con este método se evita la dispersión de la basura, (Leal, y colaboradores, 1996).

Cuenta con algunas obras de infraestructura y aplica métodos de operación comparables a un relleno sanitario. Estos sitios en general, no cumplen por completo con la NOM-ECOL-083-1996 y no cuentan con la impermeabilización necesaria. Por otro lado no representan 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).

Relleno Sanitario.

Esta tecnología consiste en el depósito de los Residuos Sólidos Municipales (RSM), dentro de celdas y en capas compactadas, las cuales se cubren con tierra, utilizando maquinaria pesada para la distribución, homogenización y compactación de los residuos. Debe contar con membranas impermeables para evitar la filtración de los líquidos lixiviados y un recolector del mismo para darles un tratamiento adecuado. Además debe tener las siguientes medidas de control, que deben mantenerse hasta por 25 años o más posterior a su clausura:

- Captación, extracción, tratamiento y monitoreo de gas.
- Captación, tratamiento y monitoreo de lixiviados.
- Captación y desvío de aguas pluviales
- Monitoreo de acuíferos.
- Monitoreo y seguimiento de los asentamientos humanos adyacentes o cercanos al relleno sanitario. (Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental; (COMIA), 2003).

Para las condiciones actuales del país, el relleno sanitario es la técnica más segura para la disposición de los residuos sólidos generados en los distintos asentamientos humanos (SEDUE, 1984). México, al igual que muchos países del mundo enfrenta grandes retos en la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (GIRSM).

Debido al elevado índice de crecimiento demográfico e industrial del país, y a la imagen creada de productos suntuarios que influyen en las costumbres de la población induciendo al consumo de artículos desechables, sin promover su manejo adecuado y con ello acentuando los problemas de contaminación ambiental (SEMARNAT, 2001).

La NOM-083-ECOL-1996, publicada en el diario oficial el 25 de noviembre de 1996; establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a la disposición final de los Residuos Sólidos Municipales (RSM); deberá tener una distancia mínima de 1,500 m con respecto a la traza urbana de la población por servir. El cierre de estos sitios consiste en la formación, compactación, y cobertura de grandes volúmenes de Residuos Sólidos Municipales. (SEMARNAT, 2001).

Se deberá considerar las toneladas de basura generadas por día de acuerdo a la tabla 1.

Cuadro 1. Tipos de Sitios de Disposición Final y Tonelaje de Basura por día (SEGEM, 2000)

Tipo	Tonelaje recibido = Ton/día
A	mayor a 100
B	50 - 100
C	10 - 50
D	menor a 10

En lo referente a estudios y análisis previos requeridos se resume en la siguiente matriz:

Estudios y análisis final	Tipo de sitio de disposición		
	A	B	C
Geológico y geohidrologico regional	x		
Evaluación geológica y geohidrologica	x	x	
Topográfico	x	x	x
Geotédico	x	x	
Generación y composición de los RSM	x	x	x
Generación de biogás	x	x	
Generación de lixiviados	x	x	

Nota: para el tipo D se tendrá un cumplimiento mínimo.

Se debe tomar en cuenta que su ubicación esta restringida a:

- a).- Áreas naturales protegidas
- b).- Hábitat sensible y de alta biodiversidad
- c).- Zonas de inundación y con problemas de estabilidad
- d).- Aeropuertos
- e).- Localidades con más de 2,500 habitantes
- f).- Cuerpos de agua superficial con caudal continuo
- g).- Pozos de extracción de agua.

En resumen el proyecto de ingeniería y construcción debe contener:

- Aprovechamiento del sitio.
- Sistemas de impermeabilización
- Sistemas de captación, conducción, y control de biogás.
- Captación , extracción tratamiento o recirculación de lixiviados
- Drenaje pluvial
- Zona de emergencia
- Obras complementarias
- Manual de operación
- Programa de monitoreo ambiental
- Clausura.

En las consideraciones topográficas se recomienda tener un terreno plano; con la finalidad de evitar un encharcamiento de agua pluvial en la cubierta temporal de los residuos; se considera una pendiente del 2 % en el sentido transversal de la celda, en el sentido longitudinal, entre 1.5 % y 2 % (SEDUE, 1984).

La pendiente de la superficie de trabajo debe permitir la estabilidad y adecuada compactación de los materiales cuando se excede. El ángulo de reposo de los RSM se provoca deslizamientos y erosión por efecto de la lluvia o viento. La pendiente afecta el grado de compactación, por lo que a menor pendiente mayor compactación (SEMARNAT, 2003).

La construcción de los rellenos sanitarios únicamente minimiza momentáneamente los problemas asociados a la disposición de residuos sólidos, estas construcciones cumplen con un tiempo de vida media relativamente corto de aproximadamente 15 años, dependiendo de la capacidad que tiene el sitio; pasado este tiempo el lugar pasa a convertirse en otra problemática, ya que estas zonas por contener diversos tipos de materiales no es recomendable cualquier tipo de construcción. Por esta razón; actualmente se han convertido en áreas verdes donde las familias de las colonias circunvecinas ocupan como zona de esparcimiento (SEGEM, 2000).

La última etapa posterior al cierre, es la que corresponde a su uso después de la clausura aquí es donde se establecen las actividades destinadas a reincorporar el relleno sanitario ya sellado a su entorno, controlando las emisiones de biogás, líquidos lixiviados y los problemas que puedan causar los asentamientos entre otros, de manera que se impida causar impactos negativos al ambiente y la salud de la población aledaña, terminar de implementar las instalaciones de monitoreo, establecidas en la etapa de sellado, necesarias para minimizar la contaminación de aire, suelo o agua. El uso pos-clausura: agrícola, recreacional, y/o apoyo a algún tipo de estructuras (Olaeta y colaboradores, 1987).

Objetivos de la disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM) en Un relleno sanitario

Son evitar los siguientes puntos:

- 1.- Riesgos a la salud
- 2.- Molestias a la población
- 3.- Afectación del paisaje
- 4.- Contaminación del ambiente
- 5.- Contaminación del suelo, aire y mantos freáticos
- 6.- Optimizar el uso de los recursos mediante el reciclado
- 7.- Organizar y controlar la pepena de los residuos sólidos
- 8.- Concienciar a la población por una cultura ecológica

Beneficios que ofrece un Relleno Sanitario:

- ❖ Resuelve de manera ambiental el problema de disposición final de los RSM.
- ❖ Fomenta la participación de la comunidad con educación integral de los problemas sanitarios y ambientales.
- ❖ Contribuye al desarrollo socioeconómico de la localidad, mediante la generación de puestos de trabajo.
- ❖ Contribuye a mejorar la salud y el ecosistema, mediante la creación de áreas verdes para la recreación, mejoramiento del paisaje y la calidad ambiental (SEMARNAT, 2001).

Etapa Preliminar a la Clausura:

Esta fase considera el desarrollo de estudios básicos que servirán de fundamento para definir los criterios y lineamientos para el diseño de la clausura y saneamiento del sitio.

Etapa de clausura:

Se realiza principalmente el movimiento, compactación y sellado de los residuos sólidos, de acuerdo con los niveles especificados en el proyecto para cada relleno sanitario.

Etapa de Posclausura:

Orientada a la construcción de sistemas de control ambiental, e iniciara una vez que los residuos estén cubiertos en su totalidad de acuerdo con la NOM-083-SEMARNAT-2003.

Las obras de control que se construirán en la etapa de postclausura 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) sobre la cubierta del sitio saneado.
- ❖ Colocación de cubierta vegetal (pasto y especies vegetales).
- ❖ Colocación de una barrera vegetal. Instalaciones para el mantenimiento, y control (caseta de control, cercado perimetral y oficinas).

Etapa de Mantenimiento y Monitoreo Ambiental

Una vez clausurado el sitio de disposición final, 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, orgánicos volátiles, y lixiviados), a los efectos climáticos, alteraciones geológicas, sismos, etcétera.; siendo indispensable vigilar y dar seguimiento a estos sitios en un largo plazo de 30 años. (NOM-084-SEMARNAT, 2003).

Revegetación:

Al elegir especies vegetales adecuadas; (Figura 4), será necesario una rusticidad general que permita a la planta vivir con cuidados escasos o nulos, de acuerdo con la filosofía subyacente de minimizar los costos. Se debe tratar en lo posible, de plantas perennes, para que cubran la superficie durante todo el año. (Briz, 2004) sugiere: que la capacidad para extenderse horizontalmente y cubrir lo mejor posible la superficie disponible, será otra característica muy deseable a considerar en una planta a introducir. Una superficie bien cubierta mantendrá mucho mejor la humedad del sustrato en beneficio de las plantas.



Figura 4. Selección de Especies en Vivero.

Revegetación en ambientes naturales:

Las plantaciones de arbustos y árboles para ambientes naturales según las características de los distintos tramos de la obra; mediante la revegetación se trata de conseguir, según Ederrá, (1996), los siguientes objetivos:

- ❖ Combatir de forma eficaz y natural el riesgo de erosión, fundamentalmente por las siembras en taludes de desmonte y terraplén.
- ❖ Crear un ambiente lo más parecido posible al clímax de la zona, mediante el empleo de especies propias del área, de forma que la obra se integre con facilidad en el entorno. Además, en los terraplenes suficientemente amplios, se podrá crear ambientes forestales que no existían antes de hacer la obra, lo cual puede compensar en cierta medida la pérdida de vegetación en la capa superficial.
- ❖ Que la misma vegetación que se implante sirva de barrera acústica para atenuar los problemas de ruido. En este sentido, la creación de formaciones arbustivas y arbóreas en hilera son lo más efectivo.
- ❖ La protección del suelo contra erosión y escurrimientos acuíferos, estabilización del suelo superficial, cortinas rompevientos y rehabilitación de tierras abandonadas.
- ❖ Dar al conjunto de la obra un aspecto final cuidadoso y agradable.

Granados y Pérez (1995), reportaron que las plantas caducifolias; restringen el proceso de la fotosíntesis a la época húmeda del año (cuando tienen hojas), y cesa en la época seca debido a la ausencia del tejido foliar; en cambio en las plantas perennes, la absorción de CO₂ y la producción de O₂ se lleva a cabo todo el año.

La plantación de árboles como una parte integral de otros usos de la tierra para una estancia agradable (recreación), sombra, abrigo, y para mejorar el suelo a través de la caída de hojas, fijación de nitrógeno, etcétera. pudiéndose agregar uno más a esta lista: con fines de investigación.

Los árboles de hoja caduca, sufren daños más o menos importantes en contacto con los contaminantes, pero cada primavera proporcionan nuevamente hojas sanas. Los elementos de filtrados se renuevan automáticamente cada año; los árboles de hojas perennes, cuyas hojas están expuestas a la contaminación durante muchos años sufren un deterioro mas importante e irreparable en caso de contaminación química (Granados y Pérez, 1995).

Lo idóneo es colocar al principio de la primavera una línea de plantas caducifolias, que serán los filtrantes de primavera y otoño, y después los de hojas perennes que actuaran como filtros en el invierno, protegidos por otra parte, por los otros árboles durante la época de vegetación; de esta forma el daño se limitara al otoño e invierno.

Hopker y colaboradores, (1989); citado en Krupa, (1998) menciona que las condiciones criticas nutrimentales de las plantas pueden acelerar la disminucion de la capacidad fotosintética y además; reducir la resistencia a heladas en follaje mas viejo.

Cuando los nutrimentos del suelo están desbalanceados, las plantas quedan sujetas a esfuerzos que originan una reduccion en el crecimiento y la calidad. Un constante y balanceado suministro de elementos esenciales para la planta, de otra forma se originaran deficiencias o toxicidades (Donahue, 1981.)

Harrison (1999); establece que el pH del suelo es el parámetro químico más importante de los que intervienen en el crecimiento de plantas y el comportamiento de los contaminantes iónicos en el suelo. La disponibilidad o solubilidad de algunos nutrimentos de las plantas disminuye con un aumento de pH.

Revegetación en sitios de disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM)

En el Parque Recreativo Cuitlahuac, se utilizó por medio del método de área; que es el más utilizado y puede aplicarse a cualquier tipo de tiraderos para efectuar el cierre y rehabilitación del mismo,; este método puede emplearse en cualquier tipo de terreno, en especial a los tiraderos a cielo abierto, que es el caso del sitio en estudio.

Este tipo de suelos es denominado Antrosoles; es decir, suelos formados por influencia humana, que se presenta en su variante de suelo Antrosol Urbano <http://edafología.ugr.es/cartotema02/> 13-mayo-2007, el cual es formado por materiales de zonas urbanas. Constituidos principalmente por desechos de actividades humanas, en las cuales se encuentran los materiales de la construcción, de otros sitios o terrenos, basuras urbanas, etcétera. Esta capa presenta un espesor que va de los 30 a los 40 cm.

Se ha comprobado las consecuencias que trae la formación de un suelo antrópico y su respectiva compactación; que es el caso de la problemática que se presenta en el Parque Recreativo Cuitlahuac, obedece a diversos factores como: estrés hídrico, estrés salino, deficiencia de nutrientes, altas temperaturas, deficiencia de oxígeno, entre otras. Cabe destacar que la problemática de este sitio se debe a los diversos factores que se mencionan anteriormente y no a uno solo.

La compactación del suelo puede reducir la toma de nutrientes de las plantas, ya que afecta la disponibilidad de oxígeno para la respiración de la raíz. Es interesante notar que no todos los nutrientes se ven reducidos en el mismo grado. (Millar y colaboradores, 1981). Existen suelos en los cuales la baja permeabilidad del horizonte B ocasiona que los árboles tengan raíces superficiales y, por tal razón, sean fácilmente derribados por el viento.

El efecto primario de compactación sobre el crecimiento vegetal, puede ser asociado directamente con el agua disponible. El segundo efecto es la condición en que queda el suelo después de utilizar maquinarias para su preparación. El tercero es la considerable falta de oxígeno en el suelo explorado (Primavesi, 1984) Por lo tanto, el suelo compactado o denso disminuye el desarrollo del vegetal, debido al metabolismo poco eficiente y a la respiración fermentativa.

Según Parker, (2000) las consecuencias que lleva la compactación del suelo sobre el crecimiento de las plantas; puede reducir el crecimiento de las raíces y el volumen del suelo recorrido por las raíces; disminuyendo por tanto la absorción de nutrimentos y agua. Además puede ocasionar problemas en cuanto a la incorporación de nitrógeno, humedad y el suministro de oxígeno. La compactación del subsuelo puede afectar a determinados factores como la disponibilidad del agua, la incorporación del N, y la posibilidad de incorporar K en algunos casos. Estos factores influyen sobre el crecimiento de la planta y su rendimiento productivo.

Thompson y Troeh en,1988. Establecen que el suministro de oxígeno en un suelo mal drenado puede ser tan bajo que los procesos vitales se vean drásticamente alterados. Las plantas no se llegan a desarrollar con normalidad y la población microbiana del suelo se modifica. La respiración de las raíces es necesaria para la absorción de nutrientes y de agua. Las plantas pueden sufrir deficiencia de un elemento que se halla actualmente en el suelo en cantidades adecuadas, si se agota el suministro de oxígeno.

Según Harrison 1999, los suelos arenosos con contenidos bajos de materia orgánica y de minerales de arcillas tienden a tener baja capacidad de adsorción y es muy alto el riesgo de que los contaminantes se laven a través del perfil del suelo y alcancen la capa freática.

La mayor dificultad que experimentan las plantas que se desarrollan sobre suelos alcalinos es la de absorber cantidades suficientes de hierro, manganeso, boro, y quizá otros oligoelementos por una parte; y fosfatos por la otra, no porque sus raíces sean incapaces de absorber estos elementos de soluciones con tales pH, sino porque los elementos están en una forma tan insoluble que las raíces no pueden disolverlos para subvenir a sus exigencias (Russell y Russel, 1968).

Un suelo calcáreo contiene carbonato de calcio (CaCO_3) y cuando se trata con ácido clorhídrico (HCl) se puede observar la formación de burbujas que representan el desprendimiento de dióxido de carbono. El carbonato de calcio es relativamente insoluble, pero cuando está presente en los suelos forma una presión constante para saturar el intercambio con calcio. Por esta razón los suelos calcáreos están 100% saturados de base y el pH está controlado principalmente por la hidrólisis del carbonato de calcio. Como resultado, el pH de los suelos calcáreos varía por lo general de 7⁺ a un máximo de 8.3 (Millar, y colaboradores, 1981).

La contaminación por metales pesados disminuye la actividad biológica del suelo, debido a la reducción de las poblaciones microbianas, lo que provoca una disminución de la fertilidad del mismo. El Cd es uno de los elementos más tóxicos, le siguen en orden decreciente de toxicidad Ni, Cu, Zn y Pb. La mayoría de ellos provienen por la descomposición y combinación de los (RSM) cuando se encuentran en un sitio de disposición final (Briz, 2004).

Los metales pesados de la corteza proceden tanto del suelo por absorción y transporte como del aire por depositación atmosférica. Entre las técnicas más empleadas como la base de la recuperación están las de revegetación, que pretenden conseguir la reimplantación de una cubierta vegetal con distintos objetivos como son:

- Económicos: Por recuperar la zona y se favorezca el ocio, el recreo y la afluencia de personas, como pueden ser las áreas de descanso o zonas recreativas.
- De corrección de impactos: si se trata de zonas alteradas a causa de obras civiles, generalmente se intenta corregir impactos negativos de la obra y, también, inducir impactos positivos que compensen a los negativos no recuperables. (Ederrá, 1996).

Los trabajos de rehabilitación incluyen, además de la revegetación, un tratamiento previo de remodelación del terreno, para adecuarlo a la topografía local. La remodelación ha de conseguir minimizar los problemas de erosión y pérdida del suelo, creando una topografía que, por sus características de líneas, pendientes y elementos, permanezca integrada en el entorno y facilite la implantación de la vegetación y la circulación correcta del agua. Es conveniente tener en cuenta que, si es posible, lo mejor es intentar reproducir la topografía que tenía el lugar antes de que fuera degradado y, en todo caso, es importante tratar de evitar introducir elementos discordantes, llamativos o impactantes (Ederrá, 1996).

Un rasgo distintivo que caracteriza a la vegetación en suelos deficientes en nutrientes es la elevada frecuencia de especies con una tasa de crecimiento particularmente lenta, con baja proporción de fósforo disponible. Por consiguiente, podría parecer que la adaptación para sobrevivir en suelos estériles incluye, tanto en las especies leñosas, como en las herbáceas, reducciones en la estatura, forma de la hoja, y tasa de potencial de crecimiento (Philip, 1982).

Las características deseables de la vegetación que se coloca sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas, de rápido crecimiento, resistentes a las condiciones prevalecientes en el sitio, perennes, y que se extiendan horizontalmente sobre el área. Se debe evitar que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo.

La talla y diámetro de especies de plantas introducidas para cubierta vegetal en el sitio de disposición final, es muy importante debido a que ello depende un rápido establecimiento.

Tener una cubierta vegetal en estos tipos de sitios, implica plantas que tengan un crecimiento rápido para poblar en poco tiempo el lugar; perennes y con raíces poco profundas que se extiendan de forma horizontal y además con buena cobertura (fronda), para tener una mayor área de protección del sustrato y para que en ellos descansen los visitantes que van al lugar.

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. Además la cubierta vegetal protege contra los efectos de la erosión del viento y del agua que son los principales fenómenos naturales causantes del transporte del suelo de un lugar a otro. Y evita que queden expuestos los Residuos Sólidos Municipales (RSM).

La cubierta superior del sitio esta 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. Los sitios utilizados como rellenos sanitarios, una vez clausurados y acondicionados, pueden ser utilizados como parques y recreación, jardines botánicos, y áreas de estacionamiento y deportivas. Sin embargo el uso final de estos sitios como áreas verdes es lo más común.

Los primeros síntomas que muestran las plantas vasculares como consecuencia de la contaminación suelen ser generalmente necrosis en las hojas. Los daños varían según las concentraciones y el tiempo de exposición. En general, como la contaminación altera las funciones metabólicas, los primeros síntomas de afección suelen ser clorosis y necrosis foliar. Siempre aparecen los daños por el borde de la hoja (Ederrá, 1996). Los vegetales también muestran otros síntomas, además de clorosis o necrosis en las hojas; como: gigantismo, enanismo, cambios de color en las flores, anomalías en los frutos, trastornos en los ritmos de crecimiento y floración.

Millar y colaboradores, 1981; sugieren que el marchitamiento se debe a una disminución en la permeabilidad de las células de la raíz al agua, como un resultado de alteración de los procesos metabólicos debida a una deficiencia de oxígeno. Además el marchitamiento está asociado con una velocidad reducida de fotosíntesis y crecimiento.

En cuanto a las respuestas de las plantas a las condiciones desfavorables debidas a altas temperaturas, (Christiansen y Lewis, 1987); establecen que están estrechamente relacionadas con el estado de hidratación de la planta. El marchitamiento, la quema de hoja, el doblamiento, o abscisión foliar, son los primeros indicadores del daño causado por temperaturas altas. La deficiencia de minerales reduce el crecimiento de la planta.

Christiansen y Lewis (1987), señalan que entre las variables ambientales que intervienen en el crecimiento y desarrollo de la planta; la deficiencia o tensión hídrica es una de las más importantes. Es por ello que se recomienda el riego durante los periodos de alta temperatura. El desprendimiento de las hojas, o la menor producción de área foliar es una forma común de reducir la pérdida de agua. El área foliar disminuida puede reducir naturalmente el proceso fotosintético total de la planta.

Hay que tener siempre en cuenta el clima de la zona para elegir correctamente las especies y la época de siembra: si el clima es templado y húmedo, generalmente no suele haber limitaciones, y la siembra se puede hacer indistintamente en otoño o en primavera, pudiéndose utilizar una gran variedad de especies; en cambio, si el clima es más seco, la siembra se debe hacer en otoño, sobre todo si se trata de pendientes orientadas al sur, y las especies adecuadas para la siembra suelen ser menos; a veces, para que prosperen desde el principio deben elegirse semillas de especies propias de zonas algo más áridas que la que se intenta recuperar (Ederrá,1996).

La plantación debe llevarse a cabo en la época de lluvias que hay riego temporal; o en época de secas con riego asistido (dos veces por semana). El cepellón protege las raíces, y hay que tener siempre cuidado para que no se rompa durante el traslado o el manejo de la planta. (Ederrá, 1996) y Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-001-RNAT-2006. www.df.gob.mx 15-oct-2007

Importancia de la producción de especies vegetales en viveros y su utilidad

Las técnicas de los viveros (figura 5) ampliamente utilizadas para plantaciones comerciales se presentan también para material de lucha contra la erosión y establecimiento de especies arbóreas y arbustivas en sitios con estrés hídrica, pero solo se deben utilizar las plántulas de mejor calidad y de suficiente tamaño.



Figura 5. Importancia de producción de especies de plantas en Viveros.

Cuando se seleccionan las plantas de preferencia a las jóvenes, pues estas son las que resisten mejor el golpe de la trasplatación; así como también son por lo general de tamaño mediano, por esta razón son más fáciles y menos costosas para el embalaje y el transporte. Además, alcanzan la madurez casi tan pronto con individuos establecidos en el sitio. Para la plantación es preferible en primavera-verano, porque así tienen las plantas un margen amplio de tiempo para adaptarse (crecimiento y desarrollo) a las condiciones extremas del lugar.

Biología de las especies vegetales introducidas en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

Características Generales de las Especies:

Schinus molle L. : (Pirúl)

Árbol de 4–12 m de altura; diámetro 60 cm, tronco sinuoso y copa irregular. siempre verde. Se ha empleado en el tratamiento de algunos padecimientos genito-urinario, la emulsión de la goma se emplea para curar enfermedades de los ojos, como cataratas y manchas en la cornea. La resina masticada ayuda a fortalecer las encías. Esta especie se recomienda para el control de la erosión y para el establecimiento de cortinas rompevientos.

Sistema radical extendido y superficial con respuesta a la poda de forma mediana. Tolerancia a bajas temperaturas, tolerancia a aspectos de suelos delgados, salinos, alcalino seco, húmedo, con necesidades de riego baja. Follaje caducifolio. Forma de la copa extendida y colgante de forma irregular, crecimiento mediano. Tolerancia al sombreado baja. Longevidad de 60 – 80 años. Árbol Perennifolio. Pertenece a la familia **Anacardiaceae**. Habita cualquier tipo de suelo, inclusive muy alcalino, muy tolerante al sol (heliófilo) y a sequía. Le dañan las heladas, principalmente a sus plántulas.

Descripción Botánica:

Hojas alternas, imparipinnadas, de 15 – 41 foliolos de forma lineal de 10 – 30 cm de largo, lanceoladas, finamente aserradas. Hojas simples o compuestas, coriáceas o delgadas, foliolos sésiles o subsésiles; inflorescencias espiciformes, en pseudos-racimos o panículas; flores pequeñas amarillentas unisexuales o bisexuales, las masculinas a veces exhiben gineceo rudimentario; perianto biseriado, cáliz de 4-5 piezas, corola de 4-5 pétalos; androceo de 8-10 estambres, pistilo tricarpelar con tres estilos libres en su extremo distal con sus correspondientes estigmas, ovario unilocular, uní ovular, el óvulo péndulo; fruto drupáceo, esférico.

Pecíolos de 2 mm de largo, delgados, flores unisexuales, pétalos glabros, verde-amarillentos en las flores masculinas; verde- blanquecinos en las femeninas, truncados, ovados, de 2mm de largo, estambres 10, en dos verticilos; el extremo de estambres mas largos que la corola, ovario unilocular por tener solo una división fértil, estilo corto, trífido, fruto en drupa, pequeño, carnoso durante su desarrollo, seco en la madurez, y de color rojo, mide 5 mm de diámetro y contiene una sola semilla. Flor en pequeñas panículas, de color amarillo verdoso, hermafroditas; florece de marzo a mayo.

Clasificación Taxonómica

Reino	Plantae
Sub-Reino	Tracheobionta
Súper División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Rosidae
Orden	Sapindales
Familia	Anacardiaceae
Genero	<i>Schinus</i> L.
Especie	<i>Schinus molle</i> L.



Figura 6. Pirúl introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

Clasificación Taxonómica según USDA <http://plants.usda.gov/> y herbario FEZA.

Fraxinus uhdei (Wenzi) Lingfesh. : **(Fresno)**

Sistema radical extendido, profundo, con respuesta a la poda de forma excelente. Tolera las bajas temperaturas, tolera suelos ácidos, húmedos, con necesidades de riego alta y media. Su follaje es perennifolio; forma de la copa ovoide, con crecimiento rápido que puede llegar a medir de 10 a 15 metros de altura, follaje mediano, tolerancia al sombreado es baja. Longevidad de 80 – 100 años.

Descripción Botánica:

Hojas opuestas, imparipinnadas de 7–15 folíolos de bordes dentados. Flor no muy aparentes, reunidas en panículas terminales o axilares sobre ramas del año anterior florece en abril y mayo. Fruto sámaras aladas, alargadas; corteza agrietada.

Clasificación Taxonómica

Reino	Plantae
Sub-Reino	Tracheobionta
Súper División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-Clase	Asteridae
Orden	Scrophulariales
Familia	Oleaceae
Genero	<i>Fraxinus L.</i>
Especie	<i>Fraxinus udhei (Wenzi.) Linglesh.</i>



Figura 7. Fresno en el Parque Cuitlahuac

Clasificación taxonómica según USDA <http://plants.usda.gov/> y herbario FEZA.

Populus alba L. :(**Álamo plateado**)

Árbol de crecimiento rápido, sistema radical extendido de forma superficial, respuesta a la poda mediana; con tolerancia a las bajas temperaturas, habita bosques, suelos húmedos y secos. Riego mediano, follaje perennifolio mediano. Tolerancia al sombreado mediano, longevidad de 30 – 40 años.

Propagación: Mediante semillas, por retoños radicales o por esquejes. Resiste a la sequía. El principal uso que se le da es como planta de sombra y ornato por la belleza de su follaje cuyas hojas presentan en el envés un tomento blanco muy denso que ofrece un efecto muy agradable cuando el viento las agita.

Descripción Botánica:

Hojas alternas, simples triangulares de 7 a 15 cm de largo y ancho, con ápice agudo, dentadas, color verde brillante, flores desnudas y unisexuales, estaminadas, con 40 a 60 estambres, pistiladas y ovario globoso. Fruto cápsula pequeña cónica de color verde inferiores de 10 cm de largo que se abren liberando las semillas, envueltas por pelos blancos y algodonosas. Corteza verde amarillenta, suave, delgada cuando joven cambiando a gruesa de color gris y profundamente estriada. Rama de color amarillento, oscuro, lenticeladas, prominentes yemas terminales, ovoides, oscuras, resinosas de 2 cm de largo, yemas laterales mas pequeñas. Flores en amentos colgantes, los masculinos con hoja de 7.5 cm de largo grises y con anteras rojas, cilíndricas, con los estambres y las anteras al principio de color púrpura después amarillento, las femeninas hojas de 5 cm de largo. Verdes sobre pies separados, son mucho mas cortas y con estigmas de 2-4 de color rosa que contienen en su interior numerosos primordios seminales anatropos, el fruto es una cápsula glabra.

Clasificación Taxonómica

Reino	Plantae
Sub Reino	Tracheobionta
Súper División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub Clase	Dilleniidae
Orden	Salicales
Familia	Salicaceae
Genero	<i>Populus</i>
Especie	<i>Populus alba</i> L.



Figura 8. Álamo introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac

Clasificación Taxonómica según USDA <http://plants.usda.gov/> y herbario FEZA.

Ligustrum japonicum Thunb. : (Trueno)

Árboles o arbustos con las hojas opuestas o alternas. Simples o imparipinada, sin estipulas. Flores hermafroditas excepcionalmente unisexuales, actinomorfas, axilares o agrupadas en racimos o panículas en el extremo de las ramas. Cáliz 4 lobulado o 4 dentado, rara vez ausente. Corola de 4 pétalos, libres o soldados, in duplicado – valvadas rara vez ausente. Estambres 2, con los filamentos cortos y las anteras biloculares, dehiscentes por líneas longitudinales. Gineceo sin carpico, supero, bicarpelar, bilocular, con 2 o mas óvulos de placentación axilar. Estilo simple; estigma capitado o bífido. Fruto drupáceo, abayado, capsular o samarideo. Es un árbol de hojas enteras y frutitos esféricos, oscuros, abayados.

Descripción Botánica

Árbol mediano con follaje persistente; flores cremas aromáticas; frutos púrpuras, carnosos. Florece en la primavera y fructifica a principios del verano. Hojas opuestas, simples, con pecíolo de 1-1,5 cm; limbo 6-8 x 3,5-5 cm, ovado-elíptico, entero, de base cuneada o ligeramente redondeado y ápice agudo-acuminado, ligeramente coriáceo, con el haz verde oscuro brillante y envés verde-amarillento, glabro. Inflorescencias de tipo panícula, terminales, de 4 -15 x 2,5 -10 cm, sobre pedúnculos glabros. Flores hermafroditas, pequeñas y numerosas, amarillentas o blanquecinas, sésiles o cortamente pediceladas; cáliz acampanado, truncado, con 4 dientes de 1,3-1,8 mm; corola acampanada, simpétala, con 4 lóbulos de 3-4 mm, reflejos; androceo con 2 estambres externos, insertos en la boca del tubo de la corola. Gineceo con ovario biloculado, con 2 rudimentos seminales en cada lóculo. Fruto de tipo drupa, de 6-7 mm, elipsoides, de color negro-azulado.

Clasificación Botánica

Reino	Plantae
Sub-Reino	Tracheobionta
Súper-División	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Sub-Clase	Asteridae
Orden	Scrophulariales
Familia	Oleaceae
Genero	<i>Ligustrum L.</i>
Especie	<i>Ligustrum japonicum Thunb.</i>



Figura 9. Trueno introducido en el Parque Recreativo Cuitlahuac

Clasificación taxonómica según USDA <http://plants.usda.gov/> y herbario FEZA.

Modelos Dinámicos

Un modelo es una representación abstracta o simplificación del sistema real y complejo, destacando solo los atributos funcionales importantes y los componentes estructurales más evidentes. Obviamente no se consideran todos los atributos; si así se hiciera no sería un modelo si no el ecosistema real.

El modelo ayuda para los siguientes aspectos: a) a la comprensión del sistema en estudio, b) conceptualizar complicados procesos y fenómenos, c) organizar el trabajo, la obtención de la información de campo y el análisis, d) interpretar el sistema a macro escala, e) probar la validez de las mediciones obtenidas en el campo y las premisas que deriven de esos datos, f) predecir alteraciones del sistema a macro y micro escala, g) generar hipótesis, y, aportar información útil para la toma de decisiones sobre el medio ambiente en el ordenamiento y manejo de la zona de estudio (Yáñez, 1986).

La modelación se hace para auxiliar la conceptualización y la medición en sistemas complejos (conjunto o combinación de cosas o partes que forman un todo e interactúan entre ellos) y algunas veces para predecir las consecuencias de una acción que puede ser cara, difícil destructiva, como para hacerla en el sistema real. Los modelos son dispositivos para predecir el comportamiento de una entidad compleja o poco entendido, a partir del comportamiento de partes que están bien entendidas.

El término dinámica se refiere a cambios en el tiempo. Si algo es dinámico, está cambiando constantemente. Por lo tanto, un sistema dinámico es aquel en el que las variables interactúan produciendo cambios en el tiempo. Un sistema dinámico, es un sistema en el cual las variables interactúan para promover cambios en el tiempo. Los sistemas dinámicos se utilizan, también, para analizar como los cambios estructurales en una parte del sistema pueden afectar la conducta del sistema como un todo.

La perturbación de un sistema permite probar como éste respondería al conjunto de condiciones cambiantes. La simulación de computadora es la imitación del comportamiento de un sistema, a través de cálculos numéricos que realiza la computadora, basado en un modelo de dinámicas de sistemas. Un modelo de dinámica de sistemas es la representación de la estructura de un sistema. Una vez que se construye el modelo de dinámica de sistemas y se especifican las condiciones, la computadora puede simular el comportamiento de distintas variables del modelo en el tiempo.

La simulación por computadora no es solo útil para modelar sistemas que son difíciles de observar en la vida real, si no que también puede mejorar el proceso de aprendizaje cuando se combina con la experiencia real. El proceso de modelación es un buen auxiliar para mejorar la comprensión y el proceso de toma de decisiones.

Existen diferentes descripciones de modelos que se detallan a continuación:

Descripción informal del modelo

Según Racczynski (1993), antes de construir un modelo matemático y un programa de simulación de un sistema real, hay que preparar una descripción completa para evitar posibles errores o deficiencias en la modelación. La descripción informal del modelo incluye las siguientes **etapas**:

Primera: **componentes del modelo**, estos pueden ser partes: físicas de un sistema real, imaginarias de un sistema en diseño o de un modelo abstracto que aun no existe físicamente.

9

La parcela experimental del Parque Recreativo Cuitlahuac, representa el componente del modelo realizado en este trabajo; con una extensión de 2550 m² y compuesto por suelo Antrosol úrbico, es decir, formado por acción humana por movilizaciones de tierras (bancales, terrazas), acumulación de cascajos, escombros y en general por materiales de RSM, etcétera. (<http://edafologia.urg.es/carto/tema02>, 21, marzo, 2007).

Segunda: **variables descriptivas**: estas sirven para describir las condiciones en las cuales se encuentran los componentes del modelo. La mayoría de estas son funciones de tiempo.

Las cantidades de trasplantes de las especies a introducir, el C.I.C, pH, y M.O. son las variables de entradas; la variable de estado (stock) es el número de especies de plantas que se encuentran físicamente establecidas en el lugar de estudio, y las variables de salida están representadas por el marchitamiento, vandalismo y mortalidad de las especies de plantas.

Tercera: **reglas de interacción entre los componentes**, los componentes influyen recíprocamente y cambian los valores de sus variables descriptivas.

La parcela experimental del Parque Recreativo Cuitlahuac presenta poca M.O., C.I.C., con un pH alcalino y poca humedad del suelo antrosol, influyendo todo ello en el establecimiento de las especies en el lugar y en la cual se verán reflejadas las variables de salida con el marchitamiento de las especies menos adaptadas al lugar, que aunado al vandalismo predominante en la zona; dará como resultado la mortalidad de especies de plantas que no fueron aptas a las condiciones prevalecientes en el lugar de estudio.

La descripción informal del modelo no tiene que incluir ninguna descripción matemática y solo sirve para dividir el modelo en componentes, listar las variables descriptivas con sus interpretaciones físicas y describir el funcionamiento del sistema y se puede expresar en palabras.

Descripción formal del modelo

Para pasar de una descripción informal a la descripción formal correspondiente hay que especificar los espacios a los cuales pertenecen todas las variables descriptivas y dar una descripción exacta de la función de transición de estados, que dice como cambia el estado del sistema, con el tiempo, y la función de salida, la cual muestra como depende la salida del sistema de su estado (Raczynski, 1993).

Este trabajo experimental se realiza con las interacciones reciprocas de las variables dinámicas, con datos del sistema en estudio que generalmente se realiza con ecuaciones diferenciales y/o algebraicas, que en nuestro caso se utilizo ecuaciones algebraicas.

Marco experimental de los modelos simplificados:

Según las consideraciones anteriores podemos observar que ni la descripción informal ni tampoco la descripción formal del modelo son únicas. Para seleccionar la adecuada, hay que considerar los siguientes seis aspectos de simulación:

1. El objetivo de simulación. Es la tarea que se intenta resolver a través de esta. Saber como se comportara el sistema a modelar a través del tiempo, principalmente en nuestro trabajo, si el área de estudio estará poblada por especie vegetales y en que proporción.
2. El sistema real. Este es el objeto, cuyo comportamiento intentamos modelar y simular. Con las condiciones adversas que se encuentran en el sitio de estudio, se intenta introducir especies vegetales resistentes al lugar y poblarlo en poco tiempo.
3. El modelo básico. Es el que refleja todas las propiedades del sistema real. Es el dibujo o simplificación del sistema en estudio, donde únicamente se toman las variables más importantes. Como pH, C.I.C, M.O., Trasplantes, Plantas establecidas, Marchitamiento, Vandalismo y mortalidad son las variables manejadas en nuestro modelo.
4. Marco experimental. Se define como un conjunto de variables descriptivas. Determina lo que se quiere medir, calcular y observar durante la simulación. Es la simulación del modelo que al correrlo nos da la pauta para saber si el modelo refleja lo que nos presenta el sistema real. En nuestro caso que tanto influyen las condiciones adversas del sistema en estudio en el establecimiento de las plantas.
5. Modelo simplificado. La simplificación del modelo se determina con el marco experimental actualmente aplicado. A cada sistema real le corresponden algunos modelos simplificados. Son las variables esenciales con las cuales el modelo se puede simular con respecto al sistema real.

6. La computadora. Es una herramienta de simulación, esta impone ciertas limitaciones técnicas al marco experimental y al modelo simplificado. Solo el que cumple con estas limitaciones pueden ser realizado prácticamente. Raczynski, (1993).

Verificación y validación del modelo

La verificación es el proceso por el cual el autor del modelo da las respuestas a las preguntas: ¿Funciona el modelo según sus objetivos?, ¿Es el código computacional correcto y correspondiente al diagrama de flujo? (Raczynski, 1993). La validación es el proceso en el cual se establece si el modelo refleja el comportamiento del sistema real con la exactitud deseada y si el modelo puede ser usado para tomar decisiones que se aplicaran en el sistema real.

El problema se origina cuando se debe interpretar la naturaleza en su conjunto con pocas o ninguna restricción en las fuentes de variación de sus procesos e incluso con interacciones entre ellos. La complejidad del problema, entonces, nos impide muchas veces dar una interpretación adecuada al comportamiento natural, a pesar de que podamos conocer bastante exactamente muchas parcelas individuales de ese mundo (Llavador, 2002).

En ese momento cuando surge el artificio del modelo matemático del sistema natural. El modelo se constituye en un instrumento que permite, enlazando los elementos de conocimiento disponibles, una aproximación al problema de interpretación del sistema (Llavador, 2002).

¿Por qué es necesario acudir a un modelo cuando se tiene hoy más capacidad que nunca de medir las propiedades que nos interesan? se pueden anticipar tres razones que avalen el recurso a esta técnica de representación:

- a) En primer lugar puede ser necesaria una predicción anticipada en el tiempo: hay que saber lo que va a ocurrir antes de que ocurra, y por lo tanto antes de que tengamos oportunidad de medir.
- b) En otras ocasiones el planificar un experimento real puede conllevar unos riesgos totalmente inaceptables o unos costos prohibidos (costos económicos, sociales, ambientales o de cualquier tipo).
- c) El disponer de una hipótesis previa sobre el funcionamiento global de un sistema puede ser clave a la hora de diseñar un experimento.

Aunque el modelo matemático pueda incorporar en su desarrollo altos grados de integración y complejidad, debe quedar suficientemente claro que este no es la naturaleza si no una representación de ella, y por lo tanto ni sustituye ni puede evitar la observación de esta (Llavador, 2002).

Los modelos matemáticos pueden constituir una herramienta útil para evaluar los impactos que diversas acciones puedan provocar en el medio; así, en su aplicación a la evaluación de impactos medioambientales, los modelos matemáticos pueden permitir (Peirce 1998, citado en Llavador, 2002):

- Examinar las características medioambientales actuales (línea base) de un área en estudio.
- Identificar los procesos naturales y artificiales que pueden producir cambios en las características del área en estudio.
- Considerar anticipadamente las posibles interacciones entre las presiones ambientales (como la explotación de recursos naturales o la emisión de contaminantes) tanto en las condiciones actuales como futuras.
- Predecir los posibles efectos tanto beneficiosos como adversos de las presiones sobre el ambiente (salud humana, biodiversidad, valor económico, etc.)
- Introducir medidas en orden a evitar, minimizar o mitigar los efectos adversos o aumentar los efectos beneficiosos.

Por último, se debe resaltar que la construcción de un modelo se puede convertir en una técnica muy adecuada para combinar toda la información parcial de que se dispone y que se sabe afecta a un determinado sistema. Completado el proceso de construcción del modelo, obtendríamos un esquema de la composición interna del sistema y su funcionamiento; las relaciones internas entre sus componentes y las relaciones de estos con el exterior.

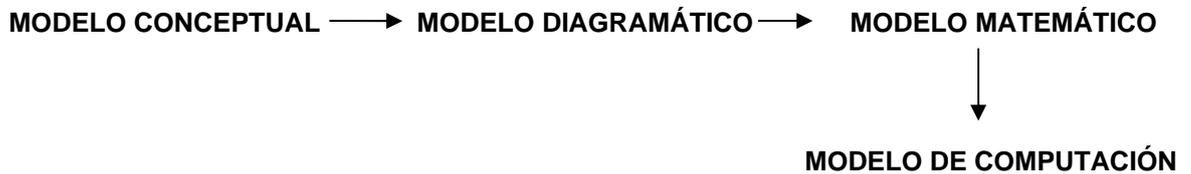
La construcción del modelo, al tratarse en definitiva de un proceso de síntesis de información parcial, proporcionará una visión global, difícil de alcanzar mediante otros procedimientos (Llavador, 2002).

Construcción de modelos dinámicos

En el proceso de elaboración de un modelo matemático, se pueden establecer las siguientes fases (Citado en Llavador, 2002):

1. Adquisición de información y conocimientos previos sobre el sistema;
2. Especificación del objeto del modelo. Formulación del problema e identificación de las variables internas que definen el estado del sistema a representar.
3. Identificación de las variables externas que afectan al sistema (por ejemplo, condiciones ambientales) y delimitación del intervalo de valores de estas dentro del cual puede operar el modelo;
4. Establecimiento de relaciones entre las diferentes variables del modelo; tanto entre las variables internas entre si como entre estas y las variables externas;
5. Selección de la estructura matemática del modelo y estimación de parámetros;
6. Verificación del modelo y ajuste a las mediciones preliminares de que se dispone;
7. Validación del modelo a partir de nuevas observaciones del sistema y estimación de la incertidumbre de las predicciones.

De acuerdo con Yáñez (1986), en la actualidad existen diversos pasos que se siguen en la construcción de un modelo. Las etapas lógicas de todos los **modelos ecológicos** son los siguientes:



Se utilizan estas etapas o procesos, por que son las más sencillas para construir modelos y se enfocan a incrementar la comprensión y predicción de los sistemas.

EL MODELO CONCEPTUAL: Es la formulación de ideas de ¿cómo parece ser el **Sistema ecológico**, sobre la base de la lógica, experiencias empíricas, datos que fueron colectados para otros propósitos, o un modelo previamente construido para algún otro sistema.?

EL MODELO DIAGRAMÁTICO: Es el dibujo diagramático de las ideas del modelo conceptual, puestas en compartimentos racionales, considerando las entradas y las salidas de cada compartimento, donde las flechas representan el movimiento, el flujo de energía y/o materiales; las entradas a un compartimento desde dentro del sistema se denominan endógenas; el contenido de los compartimentos se denominan “**estados variables**” del sistema, esto es, que sus valores cuantitativos cambian con el tiempo.

EL MODELO MATEMÁTICO: Sea este analítico o simulado, se basa en las relaciones entre las “**funciones forzantes**” y los estados variables, o las relaciones entre el comportamiento interno de cada estado variable;

EL MODELO DE COMPUTACIÓN: Después de escribir una serie de “**ecuaciones de diferencias**” que describen adecuadamente el sistema en estudio, se puede construir un modelo en la computadora.

El paso final de la modelación es determinar que tan bien el modelo representa el ecosistema real, el proceso se denomina **validación**. Existen diferentes maneras de abordarlo, el primero es la **simulación y comparación**, el segundo es la **predicción experimental**, el tercero es la **exposición a la crítica**, y una cuarta manera es el **análisis sensitivo**.

Software Stella

La importancia de este *Software* radica en que es de fácil comprensión y se utiliza en la educación, en el ámbito profesional y de investigación. Con el uso del *Software Stella* se comprende mejor los fenómenos naturales y con ello se puede tomar decisiones de forma crítica.

Es un programa de simulación por computadora que proporciona una interface gráfica fácil de entender; para observar la interacción cuantitativa de las variables dentro de un sistema. La interfase gráfica se puede utilizar para describir y analizar sistemas complejos de física, química, biología y ciencias sociales. Los modelos de *STELLA* se componen de sólo cuatro elementos básicos, como lo son:

Acumulador (Nivel o Stock): El acumulador es un símbolo genérico que se utiliza para representar algo que se acumula o se drena. Un ejemplo es la materia orgánica del suelo que se acumula y/o se degrada en el tiempo. El stock se utiliza para representar cualquier elemento del modelo que se acumula y/o se vacía con el tiempo, sea físico o no. Los acumuladores se definen con un valor inicial; para definir un acumulador solo debemos otorgarle un valor inicial. Cualquier variable en el modelo puede ser usada para definir el valor inicial del acumulador.

Flujo: Es la tasa de cambio de un acumulador. En el ejemplo anterior el Flujo es la cantidad de materia orgánica que llega al suelo por el grifo, menos la que se degrada que ha salido por la tubería. Las cañerías son conducto para transportar flujos de cosas dentro y fuera del acumulador.

Los flujos están regulados por una válvula en la parte superior del conducto (simbolizada por una "T"). El círculo conectado al fondo de la válvula, es el lugar donde se especifica la lógica que guía el comportamiento de la válvula y por ende el volumen del flujo. De esta forma conjunta, el círculo y la válvula representan el sistema regulatorio del flujo. Este arreglo aparece automáticamente cada vez que creamos un flujo. Los flujos se definen mediante ecuaciones.

Convertidor: Se utiliza para realizar manipulaciones sobre los datos de entrada o convertir esos datos de entrada en algún tipo de señal de salida. Se refiere al círculo como un "convertidor", ya que su función más común es la de convertir lo que le llega y que pueda usarse en un paso posterior del proceso. Dependiendo de la señal que genere el convertidor, la válvula puede estar totalmente abierta, permitiendo un gran volumen de flujo o cerrada evitando el pasaje de flujo o en algún lugar intermedio entre esos dos extremos.

Conector: Es una flecha que permite que la información se pase entre los convertidores, entre acumuladores y convertidores, entre acumuladores y flujos o entre convertidores y flujos.

Las nubes es el símbolo de *Stella*, que se usa para indicar que no nos interesa saber de donde viene o hacia donde se dirige el flujo. En caso de que si nos interese saber, entonces sustituimos la nube por un acumulador. Por lo tanto, las nubes definen los límites de un modelo.

Nota: La realimentación ocurre cuando una salida de un sistema se alimenta a la entrada.

El uso del *Software "Stella"* en este trabajo es de gran importancia ya que se comprende mejor el sistema en general, la relación (suelo-planta), con sus partes interactuando; dando una predicción anticipada en el tiempo. Proporcionando una visión global, difícil de alcanzar con otros procedimientos. Y además se realiza para minimizar costos. Este trabajo es pionero en el uso del *Software "Stella"* con enfoque de relación suelo-planta.

Planteamiento del Problema.

El tipo de suelo antrosol del Parque Recreativo Cuitlahuac, con temperaturas termofílicas, deficiencia hídrica, poca retención de agua, suelo antropico heterogéneo y compactado después de los 30 cm de profundidad donde se encuentra la cubierta de basura, elevada salinidad, poca disponibilidad de nutrimentos, etcétera. Se ha observado que en el Parque Cuitlahuac (antes tiradero de Residuos Sólidos Municipales), las plantas introducidas años atrás y con reintroducciones recientes, presentan baja capacidad de establecimiento y las que sobreviven presentan crecimiento lento.

Es muy importante mantener la cubierta vegetal arbórea y arbustiva para evitar la exposición de Residuos Sólidos Municipales (RSM), a corto, mediano y largo plazo. Trabajos anteriores, solo se enfocaban a introducir especies de plantas resistentes al lugar; realizando además los análisis físicos y químicos del sustrato en estudio, obteniendo resultados poco satisfactorios.

Es por ello que con este trabajo se pretende establecer la cubierta vegetal del Parque Cuitlahuac, ya que se introducen especies de plantas con mayor talla de 150-250 cm, para su rápido establecimiento y con ello obtener en menor tiempo la cubierta vegetal del lugar. Se introduce también el *Software "Stella"*, que es un programa computacional con el cual se pretende simular la relación que existe entre el suelo y la planta, para predecir en el tiempo que tanto afecta esta relación y que tan poblado estará el sitio por especies de plantas introducidas. Para un futuro próximo y lejano se pueda pronosticar las condiciones que prevalecerán en el sitio, para recuperar la cubierta vegetal del lugar en poco tiempo. Este programa computacional se utiliza principalmente para aquellos estudios en donde los análisis resultan muy costosos, o son muy difíciles de realizar.

Este estudio se enfoca en realizar los análisis físicos y químicos del sustrato, así como también que especies introducir, resistentes a las condiciones del lugar y obtener la talla óptima, ya que es indispensable para reducir el tiempo de obtención de una cubierta vegetal arbórea y arbustiva; que evite la exposición de los residuos al ambiente.

A todo ello el criterio a seguir para seleccionar las plantas adecuadas en el vivero deben cumplir con una rusticidad general, tamaño adecuado, libre de enfermedades, buen vigor y variedad.

Todo esto repercutirá en beneficio de la sociedad, principalmente a zonas aledañas al lugar; mas aún a las personas que van al parque hacer ejercicio o como recreación con la familia; al estar más poblado de árboles de diversas variedades y más frondosos para una mejor estancia en el lugar.

Justificación

La rehabilitación de un sitio de disposición final de Residuos Sólidos Municipales (RSM); siempre ha costado mucho esfuerzo (conocimiento del sitio) y dinero, es por ello que la mayoría no son tratados adecuadamente por las autoridades correspondientes, para darles una reasignación apropiada. Con una adecuada planeación podrían ser de gran utilidad a la sociedad en su conjunto, más aún, a personas que viven en zonas aledañas o circunvecinas al sitio. La asistencia al sitio es muy frecuente y representa un riesgo a la población que los visita.

Frecuentemente es necesario modelar, es decir, reproducir artificialmente un fenómeno o la relación entrada-salida de un sistema. Esto ocurre siempre y cuando la operación de un sistema o las experimentaciones en el son imposibles, costosas, peligrosas, o poco prácticas (Raczynski, 1993).

Es por ello que con este trabajo se pretende incorporar en la revegetación dirigida del "Parque Cuitlahuac" especies de plantas resistentes al lugar, usando el *Software "Stella"*; para abatir costos y hacer predicciones del sistema, en lo referente a la relación suelo-planta del sitio en el tiempo, es decir; que tanto estará poblado por las plantas, el lugar de acuerdo al tipo de suelo antroposoil, un sitio con más árboles e incrementar la diversidad biológica produciendo un mejor microclima, obtener la talla máxima de introducción y mayor cobertura de copa; evitando con esto la exposición de residuos sólidos a corto, mediano y largo plazo, y mejorando la estancia de las personas que visitan el lugar.

Objetivos

Objetivo general:

Establecer la cubierta vegetal con las especies de *Schinus molle* L., *Populus alba* L., *Fraxinus uhdei* (Wenzi) Linglsh., y *Ligustrum japonicum* Thunb.; en el sitio de disposición final posclausura, "Parque Recreativo Cuitlahuac", utilizando el Software Stella para modelar el establecimiento de las plantas introducidas.

Objetivos particulares:

- ✓ Determinar las propiedades físicas y químicas del sustrato en estudio.
- ✓ Seleccionar las especies de plantas en el vivero a introducir.
- ✓ Introducir las plantas seleccionadas (*Schinus molle* L., *Fraxinus uhdei* (Wenzi) Linglsh., *Populus alba* L., y *Ligustrum japonicum* Thunb.)
- ✓ Realizar el seguimiento del establecimiento de las especies introducidas durante un año en relación a la disponibilidad de agua en el lugar de estudio.
- ✓ Determinar las variables de altura, cobertura de copa y diámetro.
- ✓ Evaluar la capacidad de establecimiento a diferentes tallas introducidas entre 150-250 cm.
- ✓ Determinar la talla óptima para obtener la cubierta arbórea en menos tiempo.
- ✓ Determinar la sobrevivencia y mortalidad de las especies introducidas.
- ✓ Obtener el comportamiento del pH, M.O., y C.I.C., en el tiempo para el lugar de estudio con el Software Stella.
- ✓ Modelar el establecimiento de plantas introducidas en el Parque Recreativo Cuitlahuac de trabajos anteriores y actuales con el Software "Stella"

Hipótesis

Si el establecimiento de las especies vegetales introducidas en el lugar de estudio; están en función a la resistencia a condiciones extremas de (sequía, disponibilidad de nutrimentos, altas temperaturas, suelo contaminado, talla introducida.); entonces si se introducen especies con estas características, se tendrá mayor establecimiento y una mayor cobertura vegetal para evitar la exposición de los residuos sólidos .

MÉTODO

Área de estudio:

Localización Geográfica.

El ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco (figura 10), actualmente llamado Parque Recreativo Cuitlahuac se localiza en la Ciudad de México, en el perímetro de la Delegación Iztapalapa al Sureste de la zona Metropolitana del Distrito Federal, entre los paralelos 19°22'00" latitud Norte y los meridianos 99°02'00" longitud Oeste.



Figura 10. Imagen satelital del Parque Recreativo Cuitlahuac.

Colinda al Norte con el Eje 5 Oriente y terreno de Propiedad Federal, al Sur con el Eje 6 Oriente y la Unidad Habitacional Santa Cruz Meyehualco, al Oriente con la Avenida Guelatao de la colonia Santa María Aztahuacan y al Poniente con la calle Carlos L. Grávidas de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero. Este sitio fue manejado como tiradero a cielo abierto, teniendo una superficie de 148 hectáreas.

La clausura del ex tiradero de Santa Cruz Meyehuelco se llevo a cabo en septiembre de 1983, con una vida útil de 35 años y formado con una columna de basura de 22 y 23 metros de altura en promedio; utilizándose como material de cobertura proveniente de zonas de construcción. Los residuos fueron depositados sobre suelos tipo regosol eutrítico, parecidos a los del ex lago de Texcoco y con características salino-sódicas con alto contenido de arcilla. A partir de esta clausura se propuso establecer una extensa zona verde con fines recreativos, adoptando el nombre de Parque Recreativo Cuitlahuac. Este tiradero fue dividido en dos secciones, al sur en canchas deportivas y al norte como área recreativa (Galván, y colaboradores, 1995).

El ex tiradero de Santa Cruz Meyehualco recibía alrededor de 6, 400 toneladas de desechos sólidos al día, los cuales eran separados dentro del sitio por cerca de 800 familias de pepenadores. Tuvo un periodo de vida útil de casi 35 años, tiempo durante el cual ocupó una extensión mayor de 148 hectáreas en las que fueron depositadas aproximadamente 44, 712,500 toneladas de basura. 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 Recreativo Cuitlahuac (Galván, y colaboradores, 1995).

La cubierta vegetal que se ha intentado mantener para que se establezca en estos sitios, ha presentado una serie de problemáticas, que ha impedido que esta se desarrolle adecuadamente, debido a las condiciones extremas que se presentan en este tipo de sitios como lo son: un suelo antrósol (figura 11) con una mezcla de diferentes materiales (acumulación de residuos procedentes de minas, material de construcción: escombros, basuras urbanas, etcétera.,) (<http://edafologia.ugr.es/carto/tema02>) bajo contenido de nitrógeno, de medio a extremadamente rico en materia orgánica, ligeramente alcalino, salinidad elevada, estrés hídrico, temperaturas que se generan en el interior de la columna de basuras mayores de 60°C, alto contenido de hidrocarburos y metales pesados; se ha registrado una concentración promedio de Fe con 3227.46 ppm, Zn con 1180 ppm, Cr de 1458 ppm, etcétera. (Galván y colaboradores, 1995)



Figura 11. Suelo Antrosol en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

Condiciones climáticas:

El clima predominante es el templado subhúmedo, con lluvia en verano, donde la temperatura media anual varía entre los 12°C y los 18°C. El periodo de lluvia se inicia con escasas precipitaciones durante el mes de abril, incrementándose en los meses de mayo, junio, y julio siendo los meses más lluviosos agosto, septiembre, y octubre, disminuyendo la precipitación durante el resto del año.

La precipitación media anual es de 403.8 mm en los meses mas secos y de 864.8 mm en los meses mas lluviosos. <http://cuentame.inegi.gob.mx> 29-septiembre-2007.

Muestreo del sustrato

El muestreo del suelo antrosol se realizó en el Parque Recreativo Cuitlahuac (figura 12), entre los paralelos 19°22'00" latitud Norte y los meridianos 99° 02'00" Longitud Oeste. Este lugar cuenta con 148 hectáreas, uniendo las zonas sur y norte, en esta última se tiene una parcela experimental de 35 x 80 m² (2550 m²).



Figura 12 .Parcela experimental en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

El muestreo se hizo en el mes de septiembre del 2006, siendo este de tipo no probabilístico. Por la variación que presenta el lugar; presentándose estrato heterogéneo horizontal y vertical.

Se hicieron excavaciones de forma manual y mecánica en el mes de abril del 2006, con dimensiones de 30x30x30 cm. Se realizo una mezcla de suelo antrosol úrbico del lugar, tierra con hoja y caballaza en proporción 1:1:1.

En este mismo mes se llevo acabo la plantación de los individuos de las especies de *Schinus molle* L. (Pirúl), *Fraxinus uhdei* (Wenzi.) Linglesh. (Fresno), *Populus alba* L. (Álamo plateado) y *Ligustrum japonicum* Thunb. (Trueno); las cepas fueron rellenas con la mezcla anterior; inmediatamente después se regó a saturación de acuerdo con la NADF-001-RNAT-2006. www.df.gob.mx 15-oct-2007

Se realizaron seis muestras simples por cada zona, dieciocho en total de tres diferentes zonas, para obtener seis muestras compuestas (Figura 13), estas se realizaron por el método del cuarteo de acuerdo con la NOM-021-RECNAT-2000.

Las muestras fueron determinadas en el laboratorio de Contaminación Atmosférica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II, donde se determinaron los análisis físicos y químicos del sustrato.



Figura 13. Elaboración de muestras compuestas.

Análisis físico del sustrato

- 1.- El Análisis Físico del color del suelo en seco y en húmedo de cada zona de la parcela experimental se realizó con las tablas Munsell 1992, descrita en el manual de Muñoz y colaboradores, (2000).
- 2.- Para la determinación de humedad se realizó por diferencia de pesos (Muñoz y colaboradores, 2000).
- 3.- La determinación de carbonatos cualitativamente (Muñoz, y colaboradores 2000).
- 4.- Para la Conductividad Eléctrica a 25°C se realizó por pasta de saturación mencionada en Muñoz y *colaboradores*, (2000) y NOM- 021-RECNAT-2000.
- 5.- Textura de Bouyucos (Muñoz y colaboradores (2000), y NOM-021 RECNAT-2000).

Análisis Químico del Sustrato

- 1.- El método de Winkler y Black (NOM – 021 –RECNAT-2000), para la determinación del porcentaje de materia orgánica.
- 2.-Para el pH real y pH potencial se analizó por el método Potenciométrico para saber el grado de precisión de cada determinación de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000; Muñoz y colaboradores, (2000); y Reyes,(1996). Utilizando tiras reactivas marca Merck, tiras reactivas marca Machery - Nagel y Conductronic pH 10.
- 3.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), se realizó por el método de Versenato (Muñoz y colaboradores (2000), y NOM-021-RECNAT-2000).

Selección de especies:

Se establecieron criterios para seleccionar especies en el vivero, primero se investiga la biología de cada una de ellas. Se compraron las especies de *Schinus molle* L., *Populus alba* L., *Fraxinus uhdei* (Wenzi.) Linglsh., y *Ligustrum japonicum* Thunb., en el vivero Nezahualcóyotl; bajo los siguientes criterios: las de mejor vigor, libres de plagas y enfermedades, jóvenes, talla de 150-250 cm diámetro y con buena cobertura de copa, perenes, resistentes a las condiciones prevalecientes al lugar de introducción.

En particular, el tiempo necesario para establecer una cubierta vegetal es un motivo importante de consideración al elegir la especie de plantas que se van a utilizar. Cuando se eligen las especies arbóreas y/o arbustivas destinadas a labores de reasignación de suelos se trata en buena parte de analizar su adaptabilidad a las condiciones predominantes en el lugar, sus características morfológicas y su valor de aprovechamiento. Además las especies deben tener buena supervivencia y rápido crecimiento en lugares empobrecidos, facilidad de establecimiento y necesidad de poco mantenimiento. Algunas de las especies que cumple con la mayor parte de estos requisitos son: *Álamo Plateado*, *Pirul*, *Fresno*, y *Trueno*.

Los objetivos en todos los casos deben ser los de producir plantas fuertes que estén bien equilibradas fisiológicamente y que se hallen exentas de plagas y enfermedades y listas para su trasplante, sobre todo cuando los brotes están dormidos. El tamaño necesario del material dependerá fundamentalmente de las especies; tal vez sean preferibles las plantas grandes para sitios pobres, pero además conviene utilizar recipientes pequeños para un traslado adecuado.

Determinación de las especies en el Herbario FEZA:

Curiosamente, el primer problema que en esto aparece radica en la determinación botánica de las especies, porque las plantas incorrectamente etiquetadas en viveros son mucho más frecuentes de lo que cabría esperar. (Briz 2004). Es por ello que las especies seleccionadas del vivero Nezahualcoyolt, fueron determinadas en el Herbario FEZA de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (Anexo 1).

Técnica de trasplante de las especies vegetales introducidas a la parcela experimental

Si el terreno es llano se puede plantar en cuadrado o marco real, en rectángulo y al tres bolillo. Si el terreno tiene bastante pendiente, hay que cuidar las distancias de los árboles entre las distintas líneas. (Ederrá, 1996; y Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-006-RNAT-2004, www.df.gob.mx 15-oct-2007).

Para realizar el trasplante hay que tener en cuenta el objetivo del mismo, el tipo de terreno, así como la época. Para la plantación de las especies vegetales en el Parque Recreativo Cuitlahuac se realizó al tres bolillo con una distancia de 2 a 3 metros entre individuos, ya que esta técnica resulta más apropiada al lugar para que las plantas cubran mayor superficie del suelo, evitando la exposición de los RSM que existen en el lugar.

Cuando se van a plantar en cepas conviene que estos se hayan hecho con 8-10 semanas de antelación, para que la tierra se meteorice y las raíces puedan prosperar con más facilidad. (Ederrá, 1996).

La altura de las especies introducidas fueron de 150 a 250 cm; se colocaron en un espacio mínimo de dos a tres metros entre ellos, alternando organismos de diferentes especies aplicando la técnica del tres bolillos (seguir el plantado en zigzag; figura 14). El sistema normal para plantar material crecido en recipientes es hacer cepas de tamaño suficiente y plantarlo en él, después de quitarle el recipiente, procurando no perturbar las raíces. La cepa debe ser lo suficientemente profundo como para que quepan bien las raíces sin doblarlas y para que pueda quedar a nivel del suelo el cuello de la raíz de la planta.

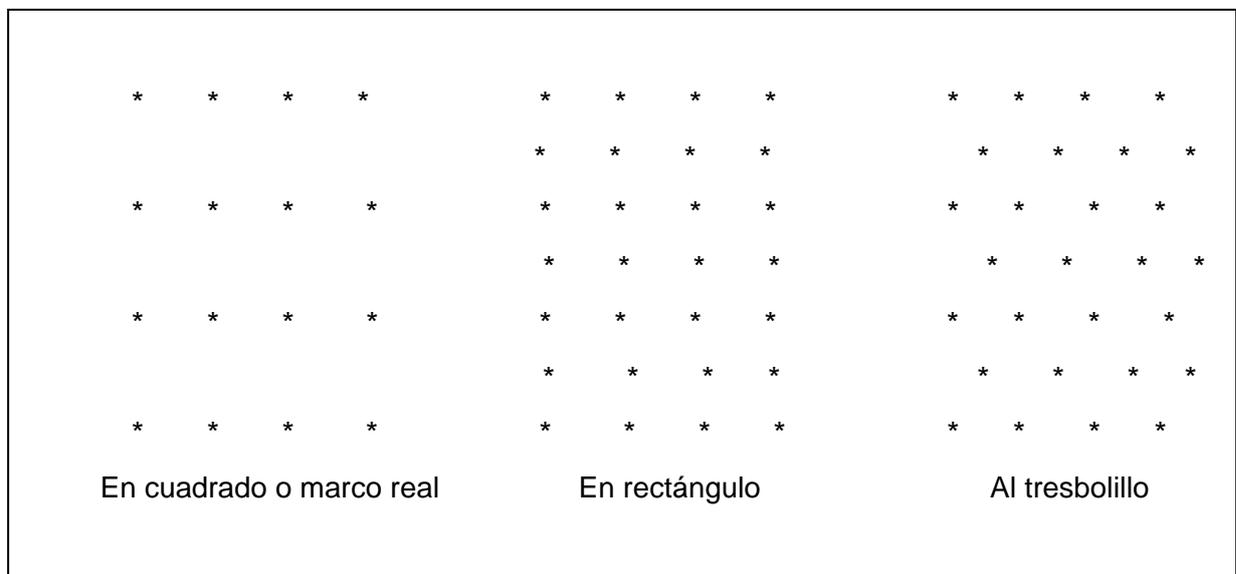


Figura 14. Diferentes formas de plantaciones

Las cepas se deben llenar con tierra superficial o de la que se saco de la cepa; el suelo entorno a la planta hay que apisonarla fuertemente para impedir que se formen alrededor de las raíces bolsas de aire. La introducción de las especies vegetales se realizó entre los meses de septiembre y octubre de 2006. El cuidado y protección del material plantado se lleva a cabo semana a semana, regándolas y dándoles un seguimiento determinando sus atributos como: diámetro, altura, cobertura, color de las hojas, necrosis, hasta que las plantas ya están establecidas.

Los individuos vegetales se encuentran en una zona seca, donde no hay disposición de agua y está era llevada para el riego de los individuos. El testigo fue plantado dentro de las instalaciones de la Fes-Zaragoza Campus II, en una zona bajo las mismas condiciones que los individuos del Parque Recreativo Cuitlahuac, con riego asistido y permanente.

Resultados

Cuadro 2.

Análisis Físico del Sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac.

	Zona húmeda	Zona semihúmeda	Zona seca
Color del Suelo con tablas Munsell.			
En seco	7.5 YR 8/4	10 YR 6/2	10 YR 7/4
En húmedo	7.5 YR 4/4	7.5 YR 4/2	10 YR 4/6
Densidad Aparente g/cm	1.1	1.0	1.1
	1.1	1.0	1.1
Densidad Real g/cm ³	3.0	1.6	2.1
	1.6	1.2	1.2
Prueba de efervescencia de Carbonato de Calcio con Ácido Clorhídrico al 10% CaCO ₃ (%)	Leve Leve 2 a 10	Moderada Moderada 2 a 10	Moderada Moderada 2 a 10
Espacio poroso en (%)	53.4 27.6	36.0 20.8	24.8 5.6
Contenido de humedad en (%)	37.4 36.6	29.9 38.5	19.0 28.5
Características Texturales			
Textura en (%)			
Arena	74.2	70.9	76.9
Limo	16.0	16.0	14.0
Arcilla	9.8	13.1	9.1

Clase Textural : Migajón arenosa

Los análisis físicos en el color del sustrato se presentan de café claro, pasando por gris claro hasta café oscuro; en la prueba de efervescencia al Carbonato de Calcio con ácido Clorhídrico se comprobó que en el lugar existe mucho CaCO₃, principalmente en la zona seca y semihúmeda, además en la zona húmeda se encontró mayor número de espacio poroso con el cual se comprueba que en esta zona se filtra más el agua y las plantas lo aprovechan mejor. La clase textural indica que el Parque Recreativo Cuitlahuac es en su mayor parte arenoso debido al material presente en él.

Cuadro 3.

Análisis Químico del Sustrato del Parque Recreativo Cuitlahuac

	Zona húmeda	Zona semihúmeda	Zona seca
C.I.C. por método de Versenato (EDTA) en mmoles/Kg	2.2 2.4	2.2 2.1	1.8 1.9
(%) de M.O. y C.O	2.2 1.4	2.4 1.4	1.7 1.0
pH real con H ₂ O des-ionizada	8.0	8.0	7.0
Con tira Macherey Nagel	8.0	8.0	7.0
Con tira Merck	8.0	8.0	8.0
Con potenciómetro Conductronic y solución buffer pH 10	8.0 8.4	8.0 8.1	8.0 8.2
pH potencial con KCl	7.0	8.0	8.0
Con tira Macherey Nagel	7.0	7.0	8.0
Con tira Merck	7.0	7.0	7.0
Con potenciómetro Conductronic y solución buffer de pH 10	7.0 7.2 7.7	7.0 7.3 7.5	7.0 7.3 7.8

Los análisis químicos resultaron de acuerdo a los esperados para un tipo de sustrato de tipo Antrosol que es el caso del lugar de estudio, ya que la Capacidad de Intercambio Catiónico resultó muy baja con lo que se comprueba que existe poco intercambio de nutrientes entre el sustrato y la planta, a pesar haber medianamente Materia Orgánica esta no es degradada lo suficiente por la existencia de carbonato de calcio el cual impide su degradación y por la nula existencia de fauna en el sustrato que ayude a degradar la Materia Orgánica, como consecuencia de lo anterior el pH se encuentra un poco elevado reportándose como medianamente alcalino; a un así se considera viable para el establecimiento de las plantas en el lugar de estudio.

Seguimiento de las especies

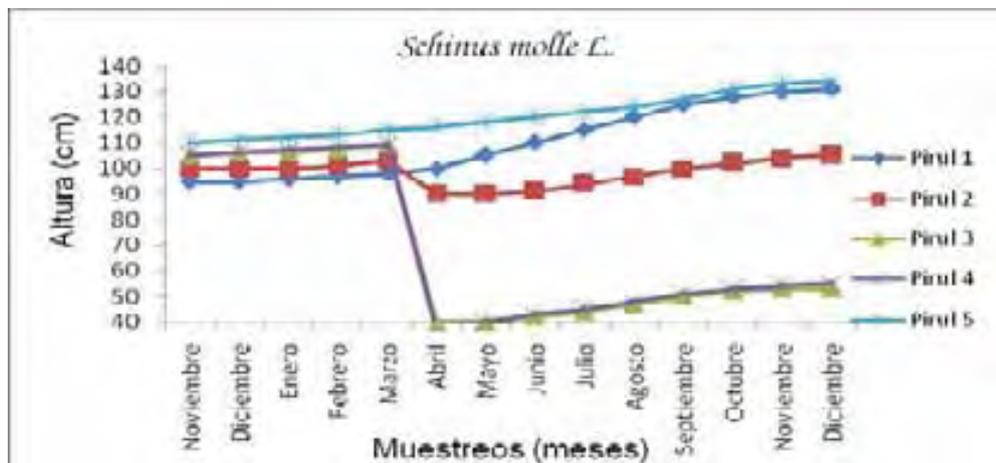


Figura 15. Seguimiento de la altura del *Pirul*, del mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

En esta figura se puede observar la altura de los cinco individuos de Pirúl, la cual muestra buena respuesta al trasplante; los individuos marcados con los números tres y cuatro sufrieron vandalismo, es por ello que la gráfica muestra una caída en altura de estos individuos.

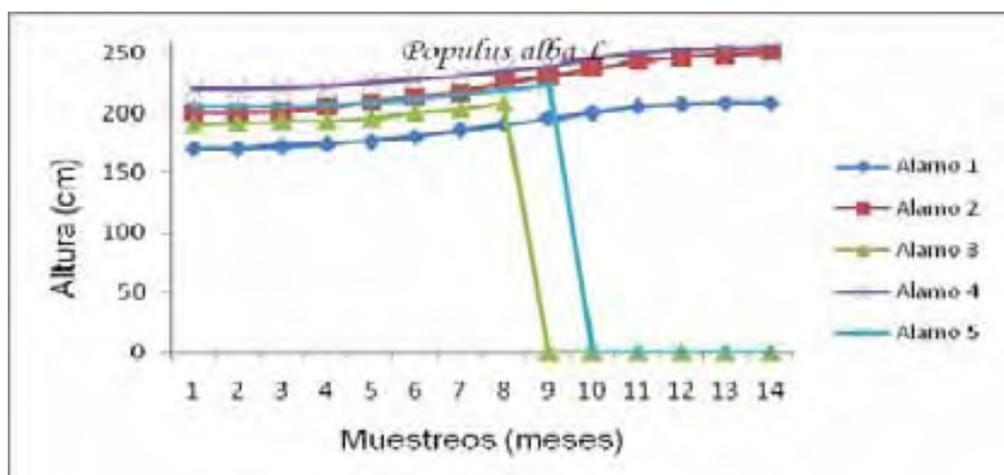


Figura 16. Seguimiento de la altura del *Álamo*, correspondiente a Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Los individuos marcados con los números tres y cinco sufrieron actos de Vandalismo con lo cual se marchitaron y se secaron; estableciéndose mejor los marcados con los números dos, cuatro y el testigo marcado con el numero uno.

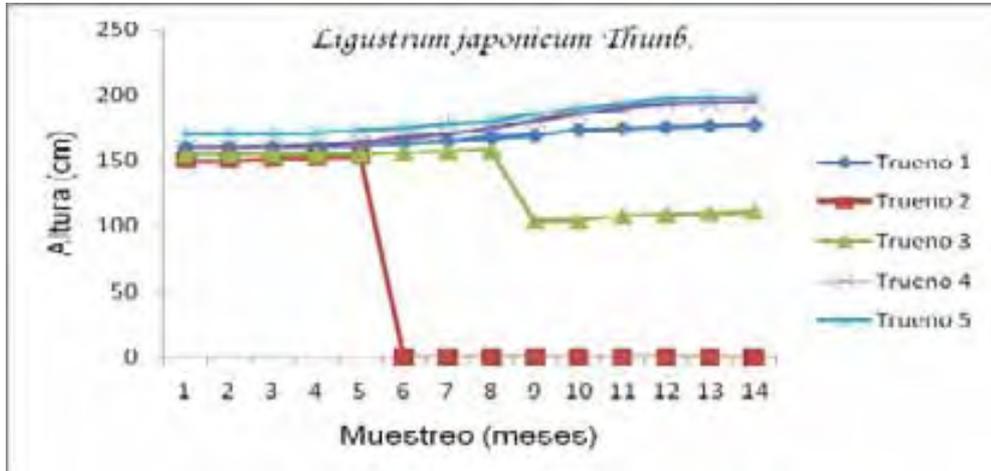


Figura 17. Seguimiento de Altura del *Trueno*, durante los Meses de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Los individuos con los números dos y tres presentaron actos de vandalismo con lo cual se marchitaron, los restantes se adaptaron adecuadamente.

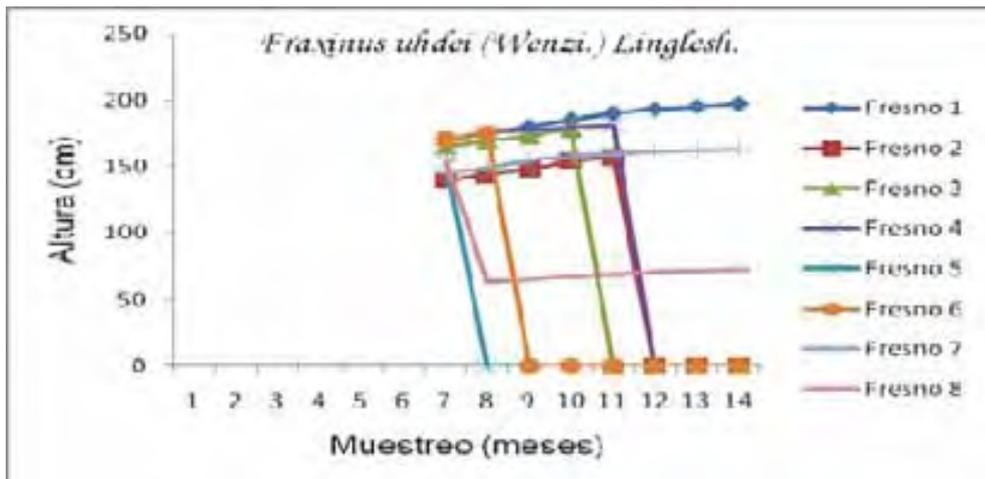


Figura 18. Seguimiento de Altura del Fresno, Correspondiente al Periodo de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Los individuos con los números dos, tres, cuatro, cinco, y seis se marchitaron por causa del vandalismo y murieron, a pesar de que el individuo marcado con el numero ocho sufrió el mismo tipo de causa, este se recupero adecuadamente.

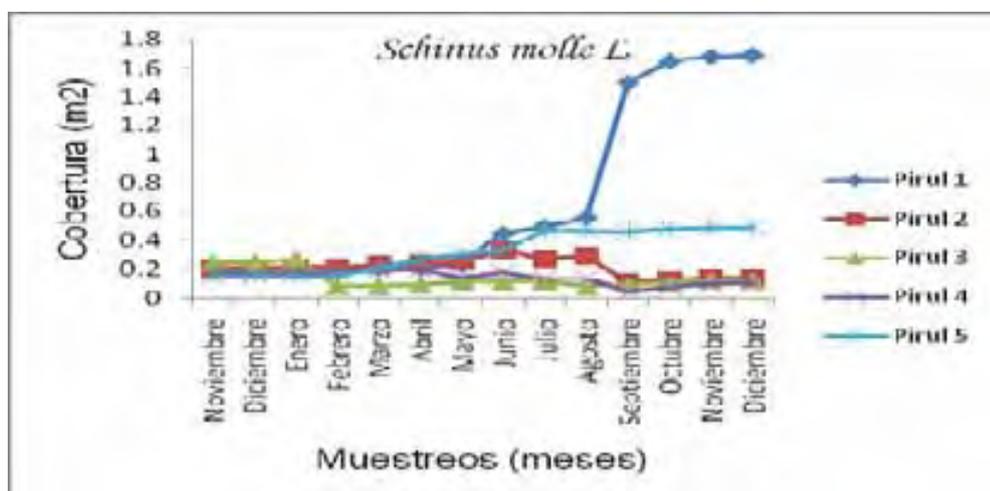


Figura 19. Seguimiento de Cobertura del Pirul durante el Periodo Correspondiente al Mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007

Los individuos con mayor cobertura fueron los marcados con los numero cinco y el testigo con el numero uno, comprobando con ello que el testigo se desarrollo el doble que los plantados en la parcela experimental, contando con los mismos cuidados en riego, poda y abono.

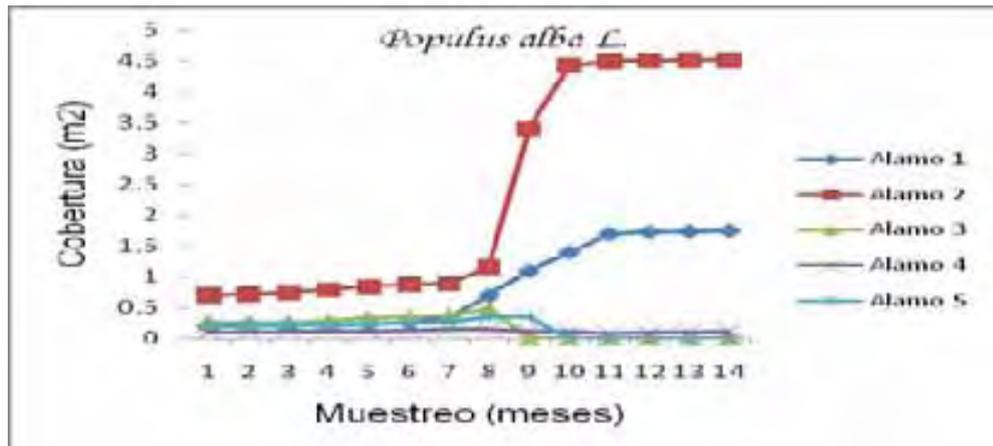


Figura 20. Seguimiento de Cobertura del Álamo, correspondiente al Mes de Noviembre de 2006 a de Diciembre de 2007.

El individuo numero dos desarrollo adecuadamente su fronda, ya que se encontraba en zona humeda, esto nos indica que el desarrollo de los ejemplares se realiza con el abastecimiento del vital liquido.

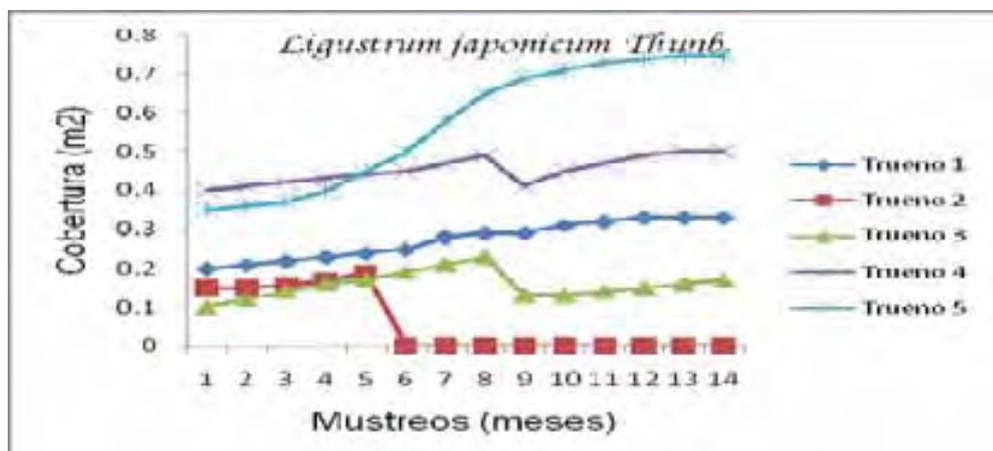


Figura 21. Seguimiento de Cobertura del Trueno del periodo Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

A pesar de haber sufrido vandalismo la mayoría de ellos, estos se repusieron adecuadamente a las condiciones, excepto el trueno numero dos que se murió.

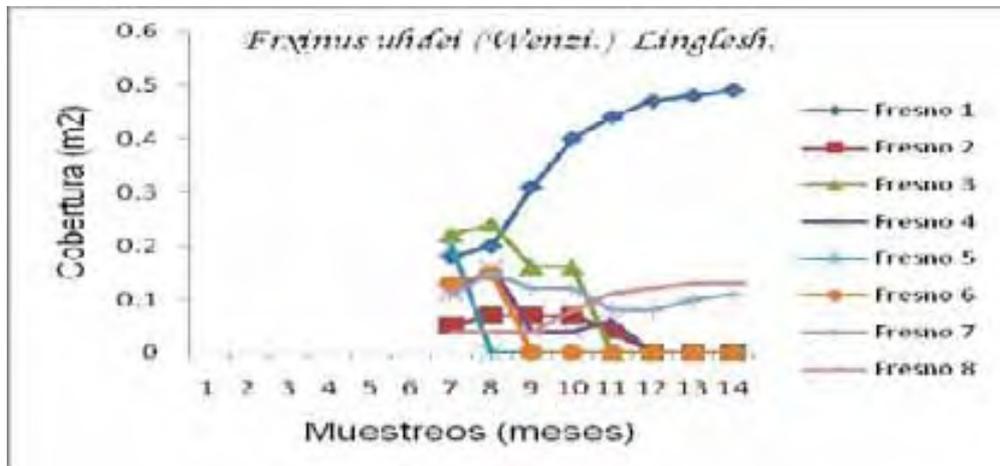


Figura 22. Seguimiento de Cobertura del Fresno de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Los fresnos fueron introducidos tiempo después con respecto a las demás especies en la cual se observa que la mayoría de ellos sufrió deceso por vandalismo y por la falta de agua en el lugar de estudio.

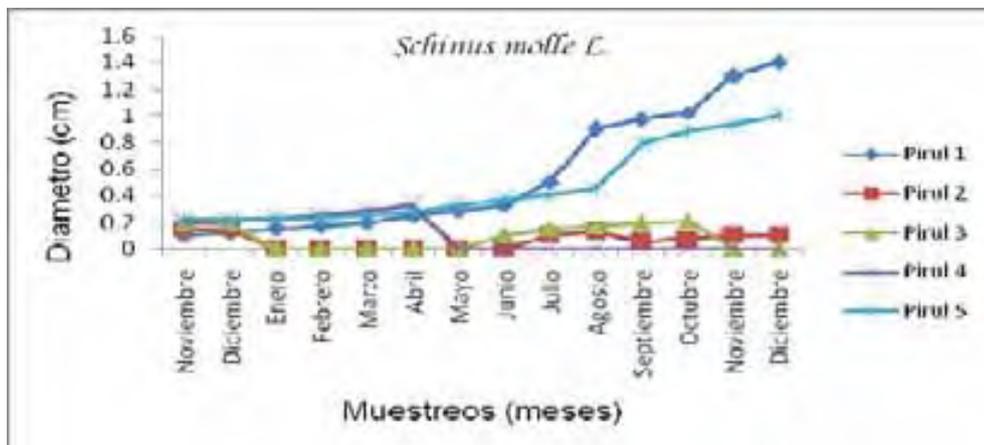


Figura 23. Seguimiento del Diámetro del *Pirul* Correspondiente al mes de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Podemos ver que el pirúl numero cinco y el testigo con numero uno son los únicos que se pudo registrar el diámetro, debido a que estos presentaron la altura requerida mínima de un metro, los demás individuos presentaron poca cobertura sufrida por el vandalismo imperante en la zona de estudio.

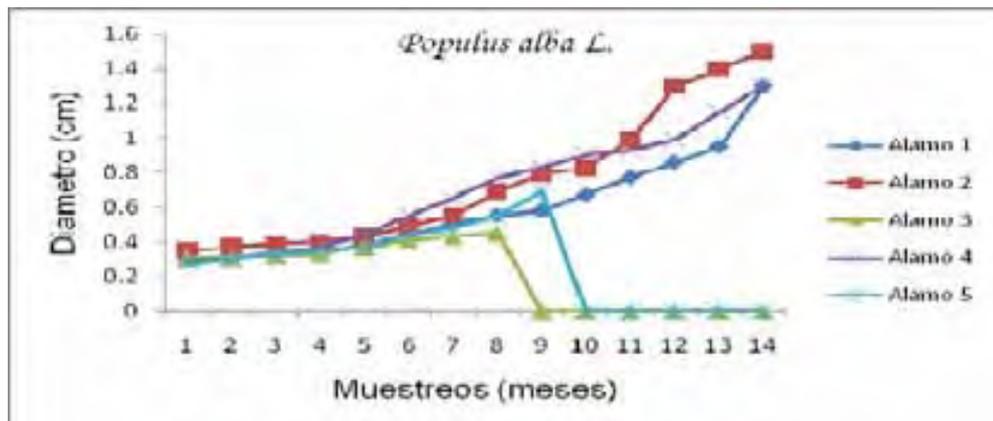


Figura 24. Seguimiento del diámetro del Álamo, en los Meses de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

La especie de Álamo plateado fue la que presentó mayor diámetro que el Pirul, trueno y fresno, con ello se comprobó que el Álamo fue la especie que más creció, pero también fue la que más agua necesitó.

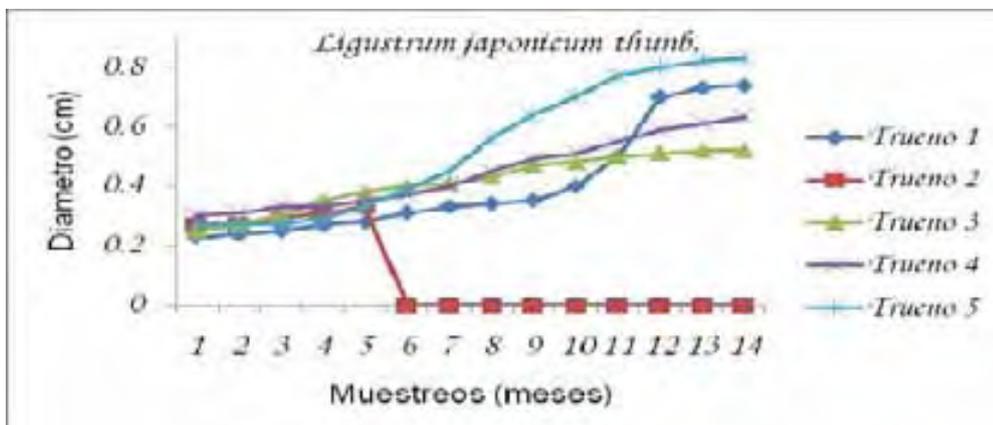


Figura 25. Seguimiento del Diámetro del Trueno, Comprendido en el Periodo de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

El trueno en su mayoría se estableció adecuadamente a las condiciones del sitio, excepto el individuo marcado con el número dos el cual debido al vandalismo desapareció del lugar.

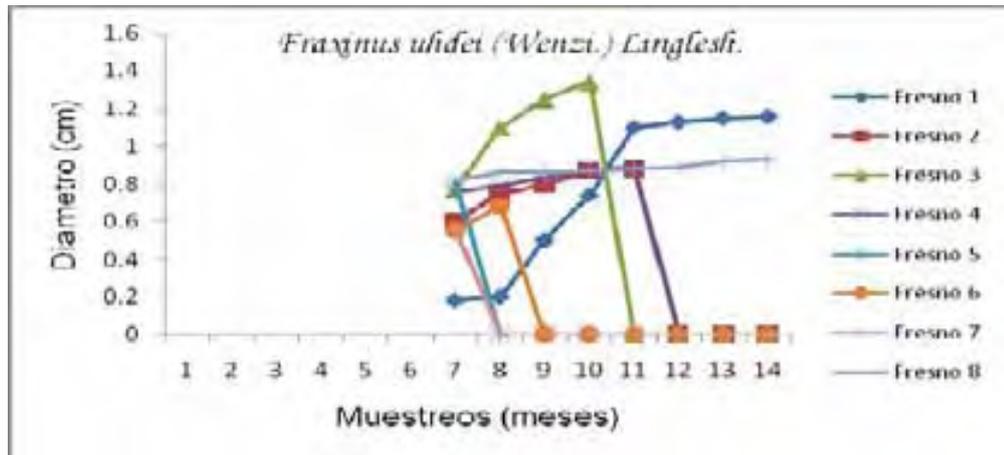


Figura 26. Seguimiento del Diámetro del Fresno, durante los Meses de Noviembre de 2006 a Diciembre de 2007.

Esta especie sufrió mucho vandalismo, a unado a la falta de agua del lugar fue la que menos se adaptó. La mayoría de estos individuos fueron introducidos de una talla menor a 120 cm con lo cual se comprueba que tallas menores a 150 cm les cuesta más en adaptarse a las condiciones del sitio en estudio.

Gráficas de las variables en estudio para el modelo

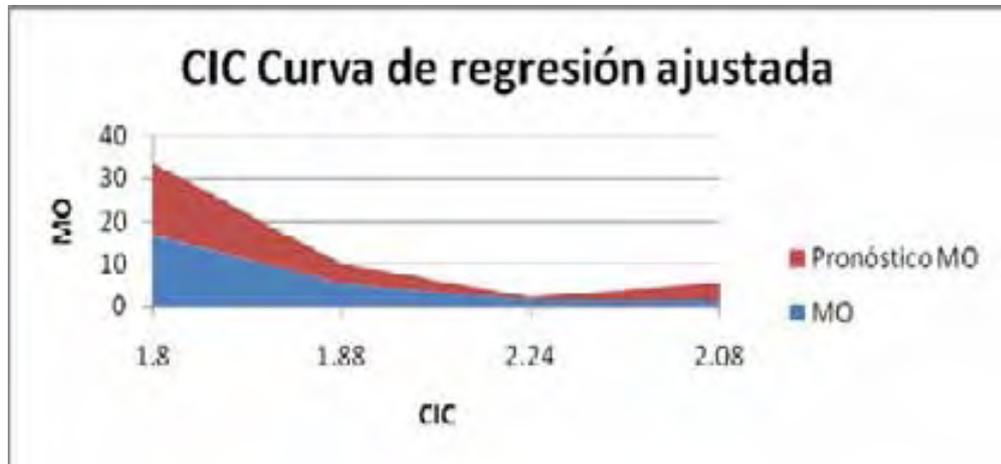


Figura 27. Curva de regresión ajustada para CIC y MO

Esta gráfica muestra la relación que existe entre la cantidad de Materia Orgánica (MO) y la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), la cual dice que a mayor MO menor será la CIC en el transcurso del tiempo.

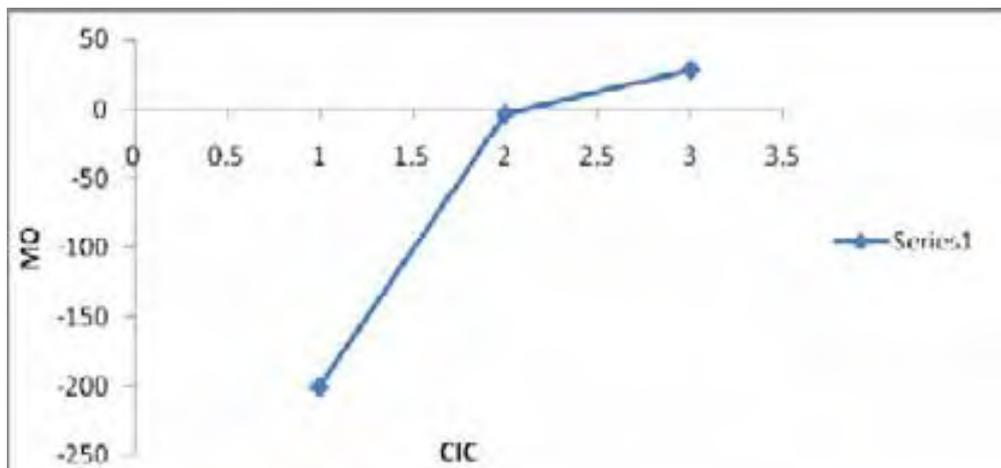


Figura 28. Análisis de varianza para MO, CIC, y pH

El punto de intersección para las tres variables como: MO, CIC y pH se localiza en -200, luego se presenta un valor de -3 para la CIC, después 28 para el pH.

Esto quiere decir, según el análisis de varianza que a mayor MO habrá menor CIC y un pH elevado.

Table 1

Graph 1

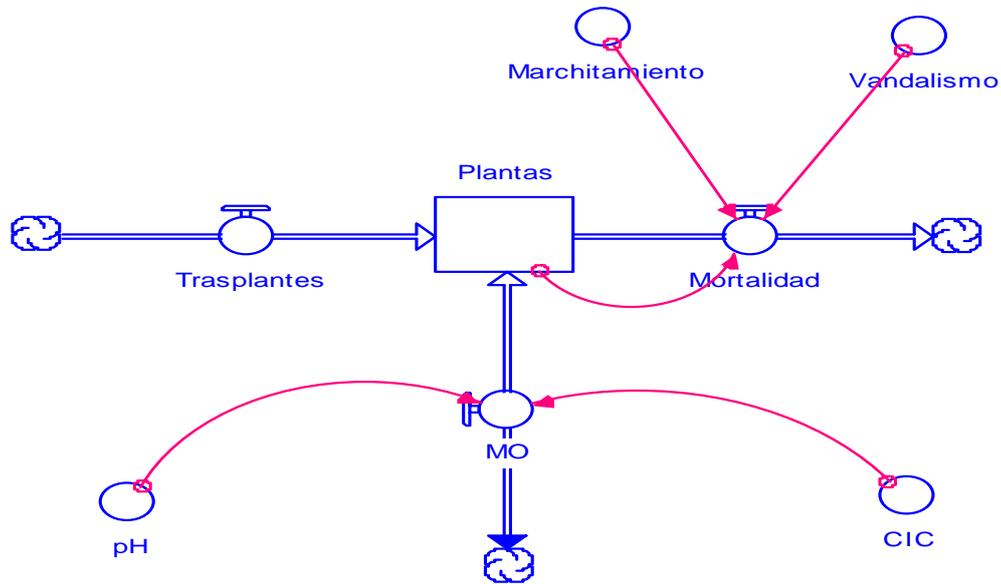


Figura 29. Representacion del modelo con el "Software Stella"

Esta es el area de dibujo del *Software "Stella"*, en donde se puede observar las distintas variables tanto del sustrato como de las plantas que componen el modelo y representan el sistema del Parque Recreativo Cuitlahuac; en el cual interactuan para dar el establecimiento de las plantas introducidas.

A donde llega la flecha es representada con la letra "Y" en el plano Cartesiano, y de donde sale la flecha representa el eje de la "X". Esto se realiza con el fin de encontrar la ecuacion de relaciones entre las distintas variables que se manejan,(ver ecuaciones del modelo "Stella",pagina 77). Los factores independientes se suman y los factores que interactuan entre ellos se multiplican; esto quiere decir que las variables semejantes de un sistema como: (pH, CIC, y MO) se multiplican y variables distintas entre un sistema y otro (marchitamiento,vandalismo y mortalidad de las plantas se suma con las variables que componen el sustrato (pH,MO, y CIC).

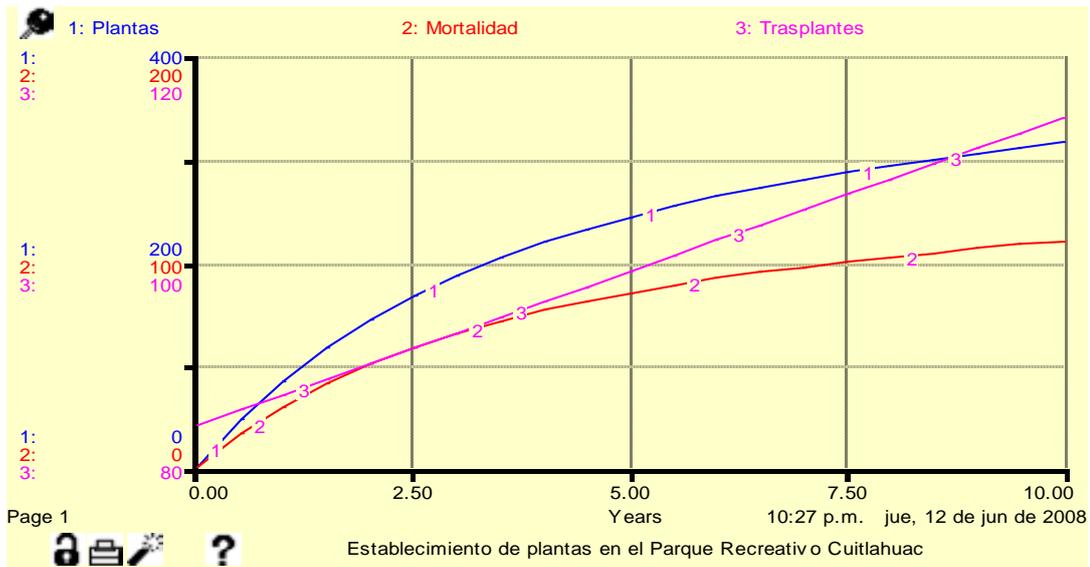


Figura 30. Establecimiento de plantas en el Parque Recreativo Cuitlahuac

En esta gráfica se observa como la variable planta presenta un crecimiento a pesar de los factores limitantes. Iniciando con valores desde cero para llegar a establecerse después de los dos años y medios, continuando con esa tendencia hasta después de los diez años que se maneja en el programa permanece estable el número de plantas introducidas. La tasa de trasplante muestra una tendencia lineal en el tiempo; si esta se realiza con reintroducciones constantes y la tasa de mortalidad permanece constante después de lo diez años de acuerdo con la gráfica.

Las siguientes ecuaciones representan el código computacional del modelo que se está trabajando (Software Stella). Son ecuaciones dinámicas que muestran la evolución a través del tiempo del sistema dinámico que se está modelando.

Se puede apreciar el valor inicial de las plantas, partiendo de cero antes de iniciar las reintroducciones, en los trasplantes se realizan dos reintroducciones en el periodo de un año de estudio, una con cuarenta y una y la otra con cuarenta y tres plantas introducidas, las cuales se suman con el tiempo y se multiplican por tres que es el número de planta que debe ir aumentando en cada introducción; la ecuación que representa la materia orgánica se obtuvo de un análisis de varianza con los datos de pH, CIC, y MO. La tasa de mortalidad se maneja con porcentaje del total de plantas muertas, sumando las que sufrieron vandalismo y marchitamiento. Para los valores obtenidos de pH y CIC se tomaron los promedios de los análisis realizados.

Estas ecuaciones se pueden obtener anotando los datos de las variables en el programa Excel, en el cual se selecciona la ecuación que más se asemeja a la línea de tendencia que se está trabajando, aceptando el factor "R" por arriba de 0.6

$$\text{Plantas (t)} = \text{Plantas (t - dt)} + (\text{Trasplantes} + \text{MO} - \text{Mortalidad}) * dt$$

$$\text{INIT Plantas} = 0$$

INFLOWS:

$$\text{Trasplantes} = 3 * \text{time} + 84$$

$$\text{MO} = -200.337 - 3.733 * \text{CIC} + 28.65 * \text{pH}$$

OUTFLOWS:

$$\text{Mortalidad} = \text{plantas} * \text{Marchitamiento} + \text{plantas} * \text{Vandalismo}$$

$$\text{CIC} = 2$$

$$\text{Marchitamiento} = 0.144$$

$$\text{pH} = 7.475$$

$$\text{Vandalismo} = 0.204$$

Análisis de Resultados

La inclinación del sitio fue medida con clisímetro oscilando de 2°-27°, esta influye en la estabilización del lugar, ya que presenta pendientes muy pronunciadas de 6-15 m de altitud lo que provoca hundimientos en el lugar y poca estabilización.

Se ha comprobado las consecuencias que trae la composición heterogénea de un suelo antrópico y su compactación; caso que se presenta en el Parque Recreativo Cuitlahuac (Cuadro 2 y 3; Figura 31), lo que ocasiona un sustrato con condiciones extremas como: estrés hídrico, estrés salino, deficiencia de nutrientes, altas temperaturas, deficiencia de oxígeno, entre otras. Según, (Parker , 2000) ; la compactación del suelo sobre el crecimiento de las plantas; puede reducir el crecimiento de las raíces y el volumen del suelo recorrido por las raíces disminuyendo por tanto la absorción de nutrimentos y agua. Además puede ocasionar problemas en cuanto a la Incorporación de nitrógeno, humedad y el suministro de oxígeno.



Figura 31. Suelo Antrosol úrbico presente en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

De acuerdo con Millar, y colaboradores en 1981, demostraron que existen suelos en los cuales la baja permeabilidad ocasiona que los árboles tengan raíces superficiales y, por tal razón, sean fácilmente derribados por el viento. La compactación del suelo puede reducir la toma de nutrimentos, ya que afecta la disponibilidad de oxígeno para la respiración de la raíz (Cuadro 2 y 3; Figura 32) . Es interesante notar que no todos los nutrimentos se ven reducidos en el mismo grado, al igual que Primavesi sugirió en 1984 que la compactación del suelo es, un impedimento decisivo en el abastecimiento de agua, por confinar las raíces a capas muy superficiales. Las condiciones de desarrollo de una planta van empeorando a medida que el suelo va compactándose y formando costras, debido al deterioro de su estructura grumosa (migajonosa).



Figura 32. Suelo compactado en el Parque Recreativo Cuitlahuac.

La compactación del subsuelo afecta a las plantas en su crecimiento, su rendimiento productivo y a determinados factores como la disponibilidad del agua, incorporación del N, y posibilidad de incorporar K en algunos casos. (Parker, 2000).

Según Millar y colaboradores (1981); sugirieron que el marchitamiento se debe a la disminución en la permeabilidad de las células de la raíz al agua, como un resultado de alteración de los procesos metabólicos debida a una deficiencia de oxígeno. Además el marchitamiento esta asociado con una velocidad reducida de fotosíntesis y crecimiento.

Briz, (2004), sugiere: que la capacidad para extenderse horizontalmente y cubrir lo mejor posible la superficie disponible, será otra característica muy deseable a considerar en una planta a introducir. Una superficie bien cubierta mantendrá mucho mejor la humedad del sustrato en beneficio de las plantas.

La determinación del color del suelo se realizó en seco y en húmedo con las tablas Munsell (Cuadro 2, Pagina 65). Encontrándose resultados similares a los reportados por Duarte 2005, para la zona en estudio.

En general la textura del suelo es migajón – arenosa, para la zona húmeda las características texturales son: 74.2 % de arena, 16 % de limo, y 9.8 % de arcilla, zona semi-húmeda son 70.92 % de arena, 16 % limo y 13.08 para arcilla y zona seca los valores reportados son de 76.92 % de arena, 14 % de limo y 9.08 % para la arcilla (Cuadro 2, Pagina 65) , los altos contenidos de arena infieren gran cantidad de poros, produciendo una alta movilidad del agua evitando su retención, a unado a esto el sitio presenta condiciones extremas en el día muy cálidas y en las noches temperaturas frías, por lo que la mayor cantidad de agua que llega al suelo es evaporada.

Los valores encontrados para pH de las diferentes zonas oscilan entre los 7.18-8.4 (Cuadro 3, Pagina 66) dando valores muy altos, los cuales indican la presencia de un suelo medianamente salino-sódico con gran presencia de carbonatos de sodio. Estos valores cotejados con resultados de compañeros anteriores (García y Munguía en el 2000; López y Pérez en el 2003; Duarte en el 2005 y Gómez Nolasco en el 2008) en el mismo sitio, son muy similares los datos, lo cual demuestra la poca variabilidad del sustrato.

El % de materia orgánica para las tres zonas de estudios es de 1.7-2.4 % medianamente rica, en especial para la zona húmeda según la NOM - 021 - REC NAT - 2001 (Cuadro 3, Pagina 66) . Estos resultados fueron comparados con trabajos anteriores. En el 2000, García y Munguía reportaron valores de 11.75–16.80 %, López y Pérez en el 2003 obtuvieron valores de 3.0–6.5 %; y en el 2005 Duarte obtuvo valores de 1.81 – 6.77 %; demuestran que el contenido de materia orgánica es muy variable y depende de la zona de estudios y la época del año de muestreo; a pesar de haber suficiente materia orgánica esta es degradada muy lentamente, lo cual provoca la poca asimilación de nutrimentos por parte de la planta. Philip en, 1982 demostró que un rasgo distintivo que caracteriza a la vegetación en suelos deficientes en nutrientes es la elevada frecuencia de especies con una tasa de crecimiento particularmente lenta. La presencia de carbonato de calcio provoca la poca degradación de la materia orgánica.

Los valores obtenidos para la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) van 1.80 -2.40 mmoles Kg⁻¹, son muy bajos de acuerdo con la NOM-021-REC NAT-2000 (Cuadro 3, Pagina 66) ; lo cual indica que a pesar de haber suficiente materia orgánica; hay poco intercambio de nutrimentos entre el suelo y la planta. Con respecto a este parámetro los trabajos anteriores no lo reportan ; el cual es un error grave no considerar esta variable, ya que este es un indicador muy importante para diagnosticar la calidad del suelo en estudio.

Para corroborar la taxonomía de las especies introducidas en el sitio de estudio, se enviaron muestras de los ejemplares prensadas al herbario FEZA (anexo 1) donde se determinaron taxonómicamente, comprobándose que corresponden a los nombres científicos inicialmente manejados.

Los resultados demuestran que para el trasplante de especies vegetales, es necesario introducirlos a una talla adecuada que oscile entre los 150 – 250 cm. para su rápido establecimiento y así tener una cubierta arbórea y arbustiva en menos tiempo.

En la medición de atributos de las plantas contra el tiempo; la especie de planta que mas creció fue el álamo con 50 cm de altura en un año, seguida del fresno con 45 cm en altura, trueno 30 cm de altura y Pirul con 20 cm de altura; pero también el álamo fue la especie que presento mas estrés hídrico con respecto al testigo.

En cuanto a la comparación de las plantas testigos con los de la zona de estudio, los primeros tuvieron mejor respuesta de establecimiento ya que a pesar de tener las mismas condiciones en riego, poda y la misma talla para el trasplante; los testigos se desarrollaron el doble de 80 a 100 cm y con mejor vigor con lo que se concluye lo reportado por Parker en el 2000, y Millar et al 1981, menor crecimiento en talla y diámetro en situación de estrés hídrico, salino y nutrimental.

La medición del diámetro de las plantas tuvo mayor precisión con el Vernier, que con el flexómetro, debido a que este último tiene más rango de error por la escala que maneja.

En cuanto a la sobrevivencia y mortalidad se puede observar que el mayor índice de mortandad se debe al vandalismo con el 20.4% y marchitamiento con 14.4%, dando un total de 34.9% de mortalidad.

El modelo contiene las variables principales (Figura 29,Página 75), de las plantas (marchitamiento,vandalismo,mortalidad y trasplantes), estas representan el establecimiento en el lugar de estudio, y con el modelo se puede predecir los cambios de esas variables en el tiempo.

Según el modelo la principal relación que existe para el establecimiento de las plantas es la cantidad de materia orgánica disponible en el lugar para el abastecimiento de nutrimento de los vegetales.

La tasa de mortalidad representada en el modelo esta influenciada principalmente por el marchitamiento y el vandalismo imperante en la zona de estudio.

A pesar de que faltaron mucho más datos, para obtener un modelo mas confiable, se considera que cumple con las expectativas.

El modelo resulta ser muy útil en la toma de decisiones con respecto al lugar de estudio, debido a que nos dice como atacar el problema de la deforestación.

Conclusiones

- El sustrato resulta ser complejo, con variaciones fuertes en % de arena, limo, y arcilla, % de materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, pH, en espacio y profundidad, que intervienen en el establecimiento de las plantas.
- El factor principal para el establecimiento de las especies de plantas en el lugar de estudio, es el agua. Por lo que el riego asistido por lo menos dos veces por semana es fundamental.
- La especie que mejor respuesta tuvo al sitio fue el *Populus alba* L., seguido de *Fraxinus uhdei* (Wenzi) Lingelsch, después el *Schinus molle* L., y por ultimo el *Ligustrum japonicum* Thunb., por lo que se recomienda su introducción para recuperar la cubierta vegetal arbórea en estos sitios.
- Las especies presentan un crecimiento del 50% menor con respecto al testigo. El que presento mayor cobertura fue el *Populus alba*, con ello regula el clima y permite el desarrollo de otras especies bajo el dosel.
- Con procedimientos de mantenimiento como riego asistido dos veces por semana, poda a los individuos, poda a toda el área en estudio, abonado y encalado, es posible que las plantas se establezcan.
- La talla óptima para el establecimiento de las plantas es de 150-200 cm de altura, ya que a esta talla resisten mayor al trasplante adaptándose en menor tiempo al lugar.
- De acuerdo al modelo las variables del suelo como pH, CIC, y MO se mantienen constante en el tiempo, lo cual indica que para el establecimiento de las plantas en el lugar depende en gran medida de las variables de las plantas (marchitamiento, vandalismo y el numero de trasplante), las cuales presentan gran variación.

- El número de plantas establecidas según el modelo presenta una distribución de Michaelis-Menten, en donde después de los diez años permanece constante.
- A pesar de algunas limitantes (falta de información) que existe en el modelo, este representa adecuadamente al lugar en cuanto al establecimiento de las plantas.
- Es necesario contar con mayor información de parámetros físicos y químicos del sustrato y atributos de las plantas para que al modelar con el Software “Stella”, los resultados sean más reales y se puedan realizar simulaciones confiables.

Recomendaciones

- Se recomienda introducir plantas de buen vigor, sin enfermedades y principalmente con talla de 150 a 200 cm de altura, ya que en esta talla se adaptan mejor a las condiciones del sitio.
- Proponer a las autoridades poner mayor vigilancia para evitar el vandalismo en la zona de estudio.
- Que las autoridades se comprometan a poner agua para el riego de las plantas en los primeros días de su introducción hasta su establecimiento.
- Introducir especies resistentes al lugar conociendo su biología.
- Incrementar la diversidad de especies resistentes al sitio, para evitar que las plagas y otras enfermedades puedan atacar fácilmente a los individuos.
- Introducir especies de plantas especialmente perennes y de buena fronda, ya que regulan el micro-clima, dando un ambiente más agradable para los visitantes al lugar.
- Proponer a las autoridades que desarrolle pláticas informativas para concienciar a los visitantes de lo que se realiza en parque y evitar que dañen las plantas.
- Para que el modelo represente fielmente las condiciones del lugar se recomienda que sea alimentado con más información a cerca de las variables a manejar; ya que cuantos más datos se maneja en el modelo, más confiable serán los resultados del mismo.
- Se sugiere para trabajos posteriores realizar análisis del agua de riego, análisis de micro y macro nutrimentos del suelo y planta, y por ultimo realizar análisis de la contaminación atmosférica del lugar.

Glosario de términos:

Basura: Desechos mezclados que se producen como consecuencia de las actividades humanas, ya sea domésticas, industriales, comerciales, o de servicio. Son objeto de los que nos deshacemos por que nos dejaron de prestar utilidad.

Celdas: Formación geométrica que se le da a los residuos sólidos municipales y al material de cubierta (suelo), debidamente compactados mediante un equipo mecánico y se diseñan a diario.

Cepa: Conocido comúnmente como hoyos. Son agujeros u hoyos que se hacen en la superficie del suelo; sus dimensiones se basan dependiendo en lo que se desea plantar.

Clausura: Cierre del sitio o lugar donde se depositaron los Residuos Sólidos Municipales (RSM).

Disposición final: Lugar o depósito a donde llegan los Residuos Sólidos Municipales que cumplieron su ciclo o utilidad a la sociedad.

Enterramiento Controlado: En este método se elige un área donde la basura se extiende y se comprime, después se forma una montaña de cierta altura y luego se cubre con tierra. Con este método se evita la dispersión de la basura y la acumulación de gases inflamables.

Especies nobles: Especies de plantas con crecimiento rápido, que ayudan a mejorar las condiciones del ambiente donde se desarrollan.

Especies pioneras: Especies de plantas, las cuales soportan condiciones adversas y tienen crecimiento rápido.

Estrés hídrico: Falta o escasez de agua que provoca en las plantas la no asimilación de los nutrientes para su desarrollo.

Geomembrana: Capa de plástico con espesor ligero que se pone sobre el suelo en un relleno sanitario donde se depositan los Residuos Sólidos Municipales; con el fin de evitar la filtración de sustancias nocivas al subsuelo y al manto freático.

Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales (GIRSM): Proceso orientado a administrar eficientemente los recursos existentes en un determinado territorio, buscando el mejoramiento de la calidad de vida de la población, sin afectar el ambiente.

Lixiviados: Sustancias nocivas que se forman por la descomposición de la basura al entrar en contacto con el agua, y por la descomposición microbiana.

Modelo: Representación (maqueta) del mundo real.

Abstracción o simplificación del sistema ecológico real y complejo.

Modelos Dinámicos: Sistemas que cambian con el tiempo.

Monitoreo: Seguimiento que se le da a un sitio de disposición final para evitar consecuencias por las sustancias que emanan del lugar y dañar al ambiente y la población.

NOM-083: Norma Oficial Mexicana, la cual tiene por objeto establecer las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño y construcción.

NOM-84: Norma Oficial Mexicana, la cual establece las especificaciones de Protección ambiental para la operación, monitoreo, clausura y obras Complementarias de un sitio de disposición final de RSM.

Pepena: Acción que ejercen algunas personas para la separación de la basura en objetos de rehúso y útiles.

Reasignación: Darle una alternativa de uso a un lugar determinado, diferente a lo que fue antes de su uso.

Reforestación: Renovación de árboles y otros tipos de vegetación en terrenos donde se han talado árboles.

Relleno sanitario: Método para eliminar los residuos sólidos en tierra, al colocarlos dentro de una celda. El proceso de construcción de una celda comprende espaciar la basura en capas delgadas, compactarla y cubrirla con tierra al final de cada jornada.

Residuos: 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 puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final.

Residuos Sólidos Municipales (RSM): Desechos producto de las actividades industriales, domésticas, comerciales, o municipales, comúnmente denominados como basura.

Sistema: Conjunto de objetos u cosas estrechamente relacionados o ligados entre si, de manera que juntos forman una unidad de trabajo que funciona como un todo.

Simulación: Reproducir artificialmente un fenómeno o las relaciones entradas-salidas de un sistema.

Suelo antroposo: Suelos formados por influencia humana, el cual esta formado por materiales de zonas urbanas; constituidos por desechos de actividades urbanas como materiales de la construcción, de otros sitios o terrenos (minas), y basuras urbanas.

Terraplén: Escalones o peldaños en donde se siembra árboles, con el fin de combatir la erosión.

Tiradero a cielo abierto: Método que consiste en depositar la basura al aire libre, la cual es una fuente de contaminación al ambiente como; son el suelo, aire, agua; y además proliferan animales indeseables que transmiten enfermedades a los humanos.

Técnica del tres bolillo (zig-zag): Consiste en la plantación de árboles en forma de zig-zag.

Vida útil: Periodo en el cual el relleno sanitario recibe los residuos sólidos municipales (basura).

Referencias

Aguilar, R. M. y Salas, V. H. (2002). "La Basura, Manual para el Reciclamiento Urbano". Editorial Trillas. 8ª Reimpresión. México D. F. pp. 12-24.

Briz, J. (2004). "Saturación Urbana, Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental". Segunda edición. Editorial Mundi- Prensa. España. pp. 183-223.

Christiansen, M. N. y Lewis, C. F. (1987). "Mejoramientos de Plantas en Ambientes poco Favorables". Editorial Limusa. 1º Edición. México. D.F. pp. 9-419.

Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental (COMIA). (2003). "Guía de Cumplimiento de la NOM-083". Semarnat. Tomo 1-3

Duarte, Z, V. M. (2005). "Rehabilitación de la Cubierta Vegetal Arbórea (con el genero acacia) en un sitio de disposición final posclausura, Parque Recreativo Cuitlahuac". Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. pp. 2-50.

Donahue, R. L. (1981). "Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas". 1ª Edición. Editorial Prentice Hall Internacional. Madrid, España. 72-283

Ederrá, I. A. (1996). "Botánica Ambiental Aplicada, las Plantas y el Equilibrio Ecológico de nuestra tierra". Ediciones Universidad de Navarra, S.A. (EUNSA). España. pp. 76-187.

Galván, V. M. A. López, V. L. y García, A. E. M. (1995). "Boletín de Investigación, Educación y sus Nexos Bien". Vol.2 No 1. México, D.F. pp. 17-19.

García, A. M. y Munguía, CH. A. (2000). "Evaluación del Establecimiento de *Sennadidy mobotrya* para la Recuperación de la Cubierta Vegetal para Sitios de Disposición Final Posclausura". Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D. F. pp. 40-76

Gómez, N. M. (2007). "Seguimiento de las Especies de *Acacia baileyana*, *Acacia saligna* y *Acacia Nerifolia* en un Sitio de disposición Final Posclausura (Parque Recreativo Cuitlahuac). Servicio Social. FES-Zaragoza, (UNAM). México. D. F. pp. 30-42

Granados, S. D. y Pérez, C.L. (1995). "Destrucción del Planeta y Educación Ambiental". Universidad Autónoma Chapingo. México D.F. pp. 54-60

Harrison, R. M. (1999). "El Medio Ambiente. Introducción a la Química Medio Ambiental y la Contaminación". Editorial Acribia, S.A. Zaragoza España. pp. 170-190.

Harrison, R. M. (2003). "El Medio Ambiente. Introducción a la Química Medio Ambiental y la Contaminación". Editorial Acribia, S. A. Zaragoza España. pp. 207-245

Jiménez, C. B. (2002). "La Contaminación Ambiental en México. Limusa Noriega" Editores. México. D.F. pp. 453-545.

Krupa, S. V. (1998). "Polución, Población, y Plantas". Universidad Autónoma Chapingo. 20-30

Leal, M. Chávez, V. y Larralde, L. (1996). "Temas Ambientales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México". Grupo Impresor Arma. S. A. de C. V. México, D. F. pp. 77-123

López, S. M. G. y Pérez, M. C. M. (2003). "EL Género *Acacia*. Una Alternativa para Recuperar la Cubierta Vegetal Arbórea, en el sitio Postclausura. Parque Recreativo Cuitlahuac de Santa Cruz Meyehualco". Tesis de licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D. F. pp. 15-78

Llavador, C. F. (2002). "Modelos Matemáticos de sistemas acuáticos dinámicos". Publicaciones de la Universidad de Alicante. Campus de San Vicente s/n. pp. 19-43

Millar, C. E. Turk, L. M. Foth, H.D. (1981). "Fundamentos de la Ciencia del Suelo". Cía.; Editorial continental, S. A. de C.V. 5ª Impresión. México. D. F. pp. 28-353

Muñoz, I. D. J. Mendoza, C. A. López, G. F. Soler, A. A. y Hernández, M. M. M. (2000). "Edafología. Manual de Métodos de Análisis de Suelo". FES-Iztacala (UNAM). pp. 1-67

Norma Oficial Mexicana (NOM) NOM 021-RECNAT-2000. "Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad, y Clasificación de Suelos. Estudios, Muestreos y Análisis". México. D.F. pp. 26-81

Olaeta C, Espinace A, Szanto N, Palma G, (1987). "Experiencias de Reinserción de Vertederos Mediante la Implantación de una Cubierta Vegetal". Universidad de Valparaíso. Chile. pp. 2-10

Parker, R. (2000). "La Ciencia de las Plantas 2. 1ª Edición. Editorial Paraninfo, Thompson Learnin. Madrid, España. pp. 67–251.

Philip, G. J. (1982). "Estrategias de Adaptación de las Plantas, y Procesos que controlan la vegetación". Editorial Limusa. 1ª Edición. México D.F. pp. 36-211

Primavesi, A. (1984). "Manejo Ecológico del Suelo". 6ª Edición. Editorial El Ateneo. Argentina. pp. 20–57.

Raczynski, Stanislaw. (1993). "Simulación por Computadora". Editorial Limusa, S.A. de C.V. 1ª Edición. México, D.F. pp. 9-142

Reyes, J. I. (1996). "Fundamentos Teórico-Practico de Temas Selectos de la Ciencia del Suelo". 1ª Impresión. UAM (Iztapalapa). México. D.F. pp. 55-191.

Russell, E. J. y E, W. Russel. (1968). "Las Condiciones del Suelo y el Crecimiento de las Plantas". Aguilar, S.A. 4ª Edición. Editorial Madrid, España. pp. 605-618

Salas, M. R. Cuesta, Z. M. A. Gómez, G. C. García, N.A. (1992). "La Ciudad de México un Esbozo de sus Problemas Ambientales". Ediciones la Viga. México, D.F. pp. 19-61

SEDUE. (1984). "Manual de Rellenos Sanitarios. 1ª Edición. Editorial McGraw Hill. México, D.F. pp. 1-196

SEGEM. (2000). "El sector informal en la separación del material reciclable de los Residuos Sólidos Municipales del Estado de México. Tomo 1-3

SEMARNAT, (2001). "Guía para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Municipales". 1ª Edición. México, D.F. pp. 7-140

SEMARNAT. (2003). "Guía de Cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003". Tomo 1-3.

Thompson, L. M. y Troeh, F.R. (1988). "Los Suelos y su Fertilidad". Editorial Reverte S.A. 4ª Edición. Barcelona España. pp. 13–17.

Yáñez, A. A. (1986). "Ecología de la Zona Costera. Análisis de Siete Tópicos". AGT Editor, S.A. 1ª Edición. México D.F. pp.57 – 69

Citas electrónicas:

<http://cuentame.inegi.gob.mx> 29-septiembre-2007

<http://plants.usda.gov/> 14-enero-2008

"Normas Oficiales Mexicanas (NOM)" www.semarnat.gob.mx/leyesynormas
15-Oct-2007

Suelos Antrosoles. <http://edafología.urg.es/carto/tema02> 21-marzo-2007.

www.df.gob.mx "Normas del Distrito Federal" 15-octubre-2007

Anexo 1.

Determinación de especímenes introducidos en el Parque Recreativo Cuitlahuac.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA
HERBARIO FEZA

BIOL. MA. DE LOS ANGELES GALVÁN VILLANUEVA PRESENTE.

Le informo que a solicitud del alumno de tesis Martín Gómez Nolasco, se determinaron Especímenes botánicos que serán introducidos al Parque Recreativo Cuitlahuac. Las especies determinadas fueron las siguientes:

Schinus molles L. (ANACARDIACEAE)
Fraxinus uhdei (Wenzi.) Linglesh. (OLEACEAE)
Populus alba L. (SALICACEAE)
Ligustrum japonicum Thunb. (OLEACEAE)

Sin más por el momento le envió un saludo cordial.

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPIRITU”
México D.F., a 16 de marzo de 2007

M. en C. Carlos Castillejos Cruz