



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

CARRERA DE BIOLOGÍA

Relación suelo-planta del género *Agave*, en un sitio
de disposición final de residuos sólidos post-
clausura Parque Ecológico Cuitláhuac.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G A

P R E S E N T A:

BERENICE MUÑOZ ABUNDIZ.



DIRECTORA:
BIÓL. MARÍA DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA

México D.F.

octubre, 2013



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.

DEDICADO...

Madre... por todo el tiempo que me hemos compartido juntas en este largo camino llamado vida, por esas interminables charlas, estrés, lágrimas y risas sé que no pude tener mejor madre, amiga y cómplice. Eres tan buena Te amo tanto y soy tan dichosa de ser tu hija.

Borrego porque he aprendido mucho de tí, que a pesar de todas las adversidades seguimos juntos y unidos. Por tus aportaciones con la bacteria, kriño y ahora la linda tony.

Sílcildure y Hawaii 5.0 por ser un sostén tan valioso y un gran apoyo en todo este camino por dejarme compartir tantos momentos invaluable a lado de mí, amorsh y obvio no podría faltar tt.

Beat LFC por el tiempo que he pasado a tu lado, conversaciones, salidas, y los majestuosos conciertos por que siempre estás conmigo, somos cómplices.

Gro a pesar de todo lo vivido siempre estás ahí, para mí alegrándome la vida con instantes inapreciables con trínquililinguí, cerebro y mordure.

*A ustedes por todo su apoyo, comprensión, consejos, palabras y cariño.
Solo puedo decirles:*

Gracias por compartir esta aventura conmigo.

Al fin sucede.

AGRADECIMIENTOS...

A mi querida universidad por albergarme en sus aulas, por todas las enseñanzas adquiridas y experiencias vividas es un orgullo y me honra pertenecer a la máxima casa de estudios.

Biol. María de los Angeles Galván Villanueva, por todo su apoyo incondicional, comprensión, paciencia, consejos académicos y personales, por ser siempre tan linda conmigo mi mamá académica que hace honor a su nombre.

M. en C. Ramiro Ríos Gómez, por su tiempo y conocimientos aportados para finalizar este trabajo.

M. en C. Germán Calva Vásquez, por el espacio brindado para la realización de este trabajo, consejos académicos y su sincera amistad.

DRA. María Socorro Orozco Almanza, por sus acertadas observaciones, recomendaciones y contribución para la mejora de este trabajo.

DRA. Rosalva García Sánchez, por sus importantes, detalladas y valiosas recomendaciones para la realización de este trabajo.

Biol. Aída Zapata, por las facilidades brindadas en el Laboratorio de Absorción Atómica.

M. en C. Jorge Gallegos, por su apoyo en la parte de herborización de agaves.

DR. Abisai García Mendoza, por su valiosa aportación para la identificación de especies.

Monny, Carla y Cesar, porque no puede encontrar mejores amigos con ustedes he compartido todos los estados de ánimo, momentos, cariño, comprensión y apoyo en los instantes de locura, por saber perdonarme y entenderme. Se que aunque no estemos juntos siempre podre contar con ustedes los AMO.

Benito, Ivan, Edgar, Poblano, Misael, Gris, Viry, por su apoyo y por todo lo vivido dentro y fuera del Laboratorio de Contaminación Atmosférica.

Monik porque en ti encontré una buena amiga, consejos, apoyo y ayuda soy tu enfado #1.

OK te conozco de otra vida, desordene átomos tuyos para hacerte aparecer y si te abrazo es para sentir que estoy sola pero estas aquí no te olvides que mi corazón está dentro de tí tío.

A todos mis profesores, y compañeros que han estado cerca.

La tinta no seco y en palabras dije muchas cosas pero en mi corazón todavía queda tanto por decir.

GRACIAS GRACIAS GRACIAS TOTALES!!

G.A.C.C

*Veo las cosas como son
Vamos de fuego en fuego hipnotizándonos
Y a cada paso sientes otro déjà vu*

*Similitudes que soñas
Lugares que no existen
Pero vuelves a pasar
Errores ópticos del tiempo y de la luz*

*Tanto pediste retener
Ese momento de placer
Antes de que sea tarde
Vuelve la misma sensación
Esta canción ya se escribió
Hasta el mínimo detalle*

*Mira el reloj, se derritió
Rebobinando hacia adelante te alcanzó
Ecos de antes rebotando en la quietud*

*Todo es mentira, ya verás
La Biología es la única verdad
Sacar belleza de este caos es virtud*

*Tanto pediste retener
Ese momento de placer
Antes de que sea tarde
Vuelve la misma sensación
Esta canción ya se escribió
Un mínimo detalle que cambió*

*Cerca del final
Sólo falta un paso más
Siente un déjà vu
Déjà vu...*

Que otra cosa es un árbol más que libertad.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"
DIRECCIÓN

**JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
PRESENTE.**

Comunico a usted que la alumna **MUÑOZ ABUNDIZ GUADALUPE BERENICE**, con número de cuenta **404024510**, de la carrera de Biología, se le ha fijado el día **1** del mes de **octubre** de 2013 a las **10:00 hrs.** para presentar examen profesional, el cual tendrá lugar en esta Facultad con el siguiente jurado:

PRESIDENTE M. en C. RAMIRO RÍOS GÓMEZ

Ramiro Ríos Gómez

VOCAL BIÓL. MA. DE LOS ÁNGELES GALVÁN VILLANUEVA

Ma. de los Angeles Galván Villanueva

SECRETARIO DRA. ROSALVA GARCÍA SÁNCHEZ

Rosalva García Sánchez

SUPLENTE M. en C. GERMÁN CALVA VÁSQUEZ

Germán Calva Vásquez

SUPLENTE DRA. MARÍA SOCORRO OROZCO ALMANZA

Ma. Socorro Orozco Almanza

El título de la tesis que presenta es: **Relación suelo-planta del género Agave, en un sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura Parque Ecológico Cuitláhuac.**

Opción de titulación: tesis.

Agradeceré por anticipado su aceptación y hago propia la ocasión para saludarle.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D.F., a 29 de agosto de 2013.

Dr. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR
DIRECCIÓN

RECIBÍ
OFICINA DE EXÁMENES
PROFESIONALES Y DE GRADO

Armando Cervantes Sandoval
VO. BO.
M. en C. ARMANDO CERVANTES SANDOVAL
JEFE DE CARRERA

ÍNDICE.

Pág.

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. Residuos sólidos.....	3
2.2. Residuos sólidos urbanos.....	3
2.3. Disposición de los residuos.....	4
2.4. Sitios de disposición final.....	5
2.4.1. Tiraderos a Cielo Abierto.....	6
2.4.2. Enterramiento Controlado.....	6
2.4.3. Relleno Sanitario.....	7
2.5. Clausura.....	7
2.6. Post-Clausura.....	8
2.7. Cubierta vegetal en los sitios de disposición final post-clausura y el suelo.....	8
2.8. Tecnosoles.....	10
2.9. Tipos de estrés.....	11
2.9.1. Estrés vegetal.....	11
2.9.2. Estrés salino.....	11
2.9.3. Estrés nutrimental.....	12
2.9.4. Estrés por metales.....	13
2.9.4.1. Aluminio.....	14
2.9.4.2. Calcio.....	15
2.9.4.3. Cadmio.....	15
2.9.4.4. Cobre.....	15
2.9.4.5. Cromo.....	16
2.9.4.6. Hierro.....	17
2.9.4.7. Potasio.....	17
2.9.4.8. Magnesio.....	18
2.9.4.9. Manganeseo.....	18
2.9.4.10. Sodio.....	19
2.9.4.11. Plomo.....	19
2.9.4.12. Selenio.....	19
2.9.4.13. Zinc.....	20
2.10. Espectroscopía de absorción atómica.....	21
2.10.1. Absorción atómica de flama.....	21
2.10.2. Emisión atómica.....	22
2.11. Características del género <i>Agave</i>	23
2.12. Marco jurídico.....	25
2.12.1. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA).....	26
2.12.2. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos	27

(LGPGIR).....	
2.12.3. Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF).....	27
2.12.4. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF).....	27
2.12.5. Normas Oficiales Mexicanas (NOM).....	28
2.12.6. Normas Técnicas Mexicanas (NMX).....	28
III. ANTECEDENTES.....	29
IV. JUSTIFICACIÓN.....	34
V. HIPÓTESIS.....	35
VI. OBJETIVOS.....	36
6.1. Objetivo general.....	36
6.2. Objetivos particulares.....	36
VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	37
7.1. Localización geográfica.....	37
VIII. MÉTODO.....	38
8.1. Fase de campo.....	38
8.1.1 Muestreo de suelo.....	38
8.2. Localización de los individuos del género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac...	38
8.2.1. Recolecta de material vegetal.....	40
8.2.2. Evaluación de las características de las especies del género <i>Agave</i>	40
8.2.3. Censo actual de los individuos del género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	41
8.3. Fase de laboratorio.....	42
8.3.1. Análisis físico del Tecnosol.....	42
8.3.2. Análisis químicos del Tecnosol.....	42
8.3.3. Nutrimientos extractables.....	43
8.3.4. Metales pesados.....	44
8.4. Herborización del material vegetal.....	45
8.5. Identificación de las especies del género <i>Agave</i> presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	46
8.6. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	47
IX. RESULTADOS.....	48
9.1. Caracterización física y química de Tecnosol.....	48
9.2. Nutrimientos extractables.....	49
9.3. Metales pesados.....	50
9.4. Especies del género <i>Agave</i> presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	52
9.4.1. <i>Agave americana</i> L.....	52
9.4.2. <i>Agave atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck.....	52
9.4.3. <i>Agave inaequidens</i> K. Koch.....	53
9.4.4. <i>Agave mapisaga</i> Trel.....	54
9.4.5. <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	54
9.5. Evaluación de las características de las especies del género <i>Agave</i>	55

9.6. Censo actual de los individuos del género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac...	56
9.6.1. <i>Agave americana</i>	57
9.6.2. <i>Agave atrovirens</i>	57
9.6.3. <i>Agave inaequidens</i>	58
9.6.4. <i>Agave mapisaga</i>	59
9.6.5. <i>Agave salmiana</i>	59
9.7. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	60
X. DISCUSIÓN.....	63
10.1. Caracterización física y química del suelo.....	63
10.1.2. Color del suelo.....	63
10.1.3. Conductividad eléctrica (CE _{25°C}).....	63
10.1.4. Textura.....	64
10.1.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	65
10.1.6. Porcentaje de materia orgánica (%MO).....	65
10.1.7. pH.....	65
10.1.8. Nutrientos extractables.....	66
10.1.9. Metales pesados.....	67
10.2. Identificación de las especies del género <i>Agave</i> presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	69
10.3. Evaluación de las características de los agaves presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	69
10.4. Censo del género <i>Agave</i>	72
10.5. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género <i>Agave</i> en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	73
XI. CONCLUSIONES.....	74
XII. RECOMENDACIONES.....	75
XIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
XIV. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.....	85
XV. GLOSARIO.....	86
XVI. ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figuras.	Pág.
1.- Tiradero a cielo abierto Santa Cruz Meyehualco.....	6
2.- Enterramiento controlado.....	6
3.- Cubierta vegetal en Sitios de Disposición Final.....	10
4.- Cambio de energía del átomo.....	22
5.- Anatomía de los agaves.....	25
6.- Imagen satelital del Parque Ecológico Cuitláhuac.....	37
Ubicación de puntos de georeferencia, muestreo de suelo y recolecta de material	
7.- vegetal.....	39
8.- Recolecta de material vegetal.....	40
9.- Pencas colectadas para su herborización e identificación.....	40
10.- Medición de altura.....	41
11.- Color de hoja por tablas Munsell de vegetación.....	41
12.- Áreas donde se llevó a cabo el censo de los individuos del género <i>Agave</i>	41
13.- Color del suelo (Munsell, 1992).....	42
14.- Conductividad eléctrica relación 1:2 (NOM-021-RECNAT-2001.....	42
15.- % Materia orgánica método de Walkley y Black.....	43
16.- Espectrofotómetro de absorción atómica.....	43
17.- Lectura de nutrimentos.....	44
18.- Lectura de metales pesados.....	45
19.- Herborización del material vegetal.....	45
20.- Fotografías tomadas para identificación.....	46
21.- Concentración de Ca, K, Mg y Na en el Tecnosol.....	49
22.- Concentración de Al en el Tecnosol.....	50
23.- Concentración de Cr, Pb y Se en el Tecnosol.....	51
24.- Concentración de Cd, Cu, Fe y Zn en el Tecnosol.....	51
25.- <i>Agave americana</i> L.....	52
26.- <i>Agave atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck.....	53
27.- <i>Agave inaequidens</i> K. Koch.....	53
28.- <i>Agave mapisaga</i> Trel.	54
29.- <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.....	54
30.- Modificación morfológica.....	55
31.- Poda inadecuada.....	55
32.- Daño por vandalismo.....	55
33.- Censo de las especies del género <i>Agave</i>	56
34.- Alturas de los individuos de <i>Agave americana</i>	57
35.- Coberturas de los individuos de <i>Agave americana</i>	57
36.- Alturas de los individuos de <i>Agave atrovirens</i>	58
37.- Coberturas de los individuos de <i>Agave atrovirens</i>	58
38.- Alturas de los individuos de <i>Agave inaequidens</i>	58

39.- Coberturas de los individuos de <i>Agave inaequidens</i>	58
40.- Alturas de los individuos de <i>Agave mapisaga</i>	59
41.- Coberturas de los individuos de <i>Agave mapisaga</i>	59
42.- Alturas de los individuos de <i>Agave salmiana</i>	60
43.- Coberturas de los individuos de <i>Agave salmiana</i>	60
44.- Parámetros físico-químicos y los sitios.....	61
45.- Nutrimientos extractables y los sitios.....	61
46.- Metales pesados y los sitios.....	62
47.- Físico-químicos, nutrimentos, metales y los sitios.....	62

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadros	Pág.
1.- Propiedades físicas del Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.....	48
2.- Propiedades químicas del Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.....	49
3.- Concentración promedio de Ca, K, Mg y Na (mg kg^{-1}) en el Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.....	50
4.- Concentración promedio de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn (mg kg^{-1}) en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	51
5.- Evaluación de las características de los agaves presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.....	56

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el ex-tiradero a cielo abierto Santa Cruz Meyehualco, mejor conocido como Parque Ecológico Cuitláhuac, tuvo como finalidad caracterizar física y químicamente el ambiente edáfico así como identificar las diferentes especies del género *Agave* presentes evaluando sus características dasonómicas, llevando a cabo un censo y relacionar esas propiedades fisicoquímicas del suelo con los agaves presentes en el lugar de estudio. Para la caracterización física y química del suelo se tomaron 9 muestras simples de nueve sitios donde se encuentran las diferentes especies de agaves. Los resultados para cada uno de los análisis son los siguientes: color del suelo por Tablas Munsell el predominante es café grisáceo oscuro (10 YR 4/2), CE_{25°C} por pasta de saturación presenta un efecto despreciable de salinidad, muy ligeramente salino y moderadamente salino, la clase textural por Bouyoucos en su mayoría franco, la CIC por el método del CaCl₂ 1N pH7 presenta valores altos de 25.64 a 32.18 (cmol (+)Kg⁻¹), el % de MO por el método de Walkley y Black de alto a muy alto 4.23 a 9.34, pH relación 1:1 7.04 a 7.76 medianamente alcalino a neutro. Por emisión atómica de flama potasio y sodio por absorción atómica de flama Magnesio y Calcio, la concentración de Ca es media en cuanto a K, Mg y Na fue mínima en cuanto a metales pesados por absorción atómica de flama las concentraciones de Al, Cd, Cr, Fe, Pb y Zn se encuentran por debajo de los niveles mínimos, sin embargo Mn, Cu y Se, se localizan dentro de los niveles máximos. Para la identificación de especies se tomaron fotografías así mismo se recolectó material biológico para su herborización y se lograron identificar cinco diferentes especies *Agave americana*, *Agave atrovirens*, *Agave inaequidens*, *Agave mapisaga* y *Agave salmiana*; sin embargo un ejemplar no pudo ser identificado hasta especie ya que ha presentado cambio en su morfología, en el caso de los otros ejemplares su identificación no se llevó a cabo por causa de vandalismo ya que esto ocasionando daños en la estructuras de las especies. La evaluación de las características consistió en medir la altura, cobertura, vigor y color de cada una de las especies, *A. americana* con alturas de 1.72 – 1.80 m y cobertura de 2.40 – 2.35 m de diámetro; *A. atrovirens* con alturas de 1.55-2.34 m y cobertura de 2.10-3.20 m de diámetro; *A. inaequidens* con alturas de 1.10-1.63 m y una cobertura de 1.47-3.49 m de diámetro; *A. mapisaga* con alturas de 1.30-3.38 m y una cobertura de 2.45-6.55 m de diámetro y *A. salmiana* con alturas de 1.10-2.69 m de altura y una cobertura de 2.18-5.54 m de diámetro. El censo arroja un total de 269 individuos los cuales corresponden a *A. americana* 3, *A. atrovirens* 8, *A. inaequidens* 2, *A. mapisaga* 121, *A. salmiana* 98, *Agave* spp 1 y *Agave* spp 36 las cuales sufrieron daños por vandalismo. El análisis estadístico muestra la relación entre los sitios de muestreo y las especies de agaves los cuales son el sitio 7 y 9 se relaciona con *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*. Todos los análisis de suelo se llevan a cabo en el Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza C-II, en cuanto a la identificación de especies se realizó en el Jardín Botánico del Instituto de Biología. Se concluyó que las propiedades tanto físicas como químicas del suelo donde fueron plantadas las diferentes especies de agaves, reúnen las condiciones necesarias que han favorecido su desarrollo así como su reproducción tanto sexual como asexual, a lo largo del tiempo, así mismo estas especies en particular *A. mapisaga* y *A. salmiana*, representan una opción para la recuperación de la cubierta vegetal en ex-tiraderos con condiciones edáficas similares a las del Parque Ecológico Cuitláhuac.

I. INTRODUCCIÓN.

En la ciudad de México el problema de la basura se remonta a la década de los 50's del siglo XX. En cuatro décadas, la generación de residuos sólidos se incrementó nueve veces y sus características se transformaron de materiales mayoritariamente orgánicos, a elementos cuya descomposición es lenta y requiere de procesos físico-químico-biológicos complementarios para efectuarse. Nuestra sociedad produce inmensas cantidades de desechos y volúmenes de residuos, parecen estar creciendo a un ritmo más rápido que la población estos residuos se distribuyen en los tiraderos a cielo abierto, enterramientos controlados y rellenos sanitarios del Distrito Federal y el Estado de México, mientras que los restantes se depositan en las calles y terrenos baldíos de la ciudad (Jiménez, 2002).

La disposición final de los residuos sólidos es la última etapa del proceso que siguen estos residuos a partir de su generación. Durante varias décadas esta actividad no presento un problema a las autoridades encargadas del aseo urbano, bastaba con llevar los residuos fuera de los núcleos urbanos evitando el impacto visual y molestias a la población. Anteriormente la cantidad de residuos producidos era mucho menor permitiendo la reintegración rápida al ciclo natural sin ocasionar un daño significativo al ambiente. Su inadecuada disposición final tomó importancia en la década de los 80's debido al rápido crecimiento urbano-industrial que ha experimentado esta metrópoli, propiciando el establecimiento de los tiraderos Santa Cruz Meyehualco, Santa Fe, San Lorenzo Tezonco, Santa Catarina, Bordo Xochiaca, Tlahuac, Tlalpan y Milpa Alta ocupando una superficie de 308 ha, esto ha causado grandes efectos ambientales y de salud (Hernández y Wehenpohl, 2002).

En la actualidad la mayoría de los residuos son depositados en sitios de disposición final haciendo uso del relleno sanitario, enterramiento controlado, recurriendo más al enterramiento no controlado. La aplicación de una metodología adecuada para la disposición final de los residuos sólidos urbanos coadyuvará de manera importante a la protección del ambiente. Pero esto es solo un paso, estos sitios llegan a su máxima capacidad teniendo una vida útil de aproximadamente 15 años. Para minimizar los riesgos y propiciar el crecimiento de especies vegetales mayores, es recomendable que al sitio se le dé un espacio de por lo menos 10 años, para darle el uso apropiado (Hernández y Wehenpohl, 2002).

Lo más común es establecer un área verde con árboles, arbustos y pasto para fijar la capa final de tierra y conformar un paisaje agradable, de tal manera que a mediano plazo permita utilizar el terreno como un sitio de recreo y esparcimiento o bien puede dársele simplemente un uso como área verde (Hernández y Wehenpohl, 2002). Hoy en día en estos sitios se establecen áreas verdes tales como áreas abiertas, parques, campos de golf, áreas naturales y senderos para bicicletas para finalmente utilizarla como área recreativa y convivencia social (Hernández y Wehenpohl, 2002; Mcbean *et al.*, 1995; Marton, 1996; Leone *et al.*, 1980).

El tiradero de Santa Cruz Meyehualco tuvo un periodo de vida útil de 1947-1982 con una extensión mayor de 148 ha en la que fueron depositadas aproximadamente 44, 712,500 toneladas de basura. El ex tiradero de Santa Cruz Meyehualco recibía alrededor de 6,400 toneladas de desechos sólidos al día (García y Murguía, 2000). 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 (ladrillos, arena, grava, etc). Al finalizar la clausura se convirtió en una extensa zona verde con especies de *Eucaliptus spp*, *Casuarinas* y *Pópulus alba*, así como el estrato rasante con diferentes tipos de gramíneas (García y Murguía, 2000). Sin tomar en cuenta las condiciones particulares del sitio para el uso con fines recreativos, convirtiéndose en lo que hoy conocemos como “Parque Ecológico Cuitláhuac” (Galván *et al.*, 1995; García y Murguía, 2000; Duarte, 2005)

En 2003 fue introducido el género *Agave* como uno de los componentes de la vegetación dadas sus características de establecimiento que presentan y que son plantas adaptadas a condiciones de aridez, raíces someras y ramificadas, cutícula gruesa y succulencia estos son algunos de los atributos que le permiten establecerse en zonas carentes de agua. Existen variantes en cuanto a las respuestas al ambiente, ya que se encuentran distribuidas en diversas regiones con diferentes climas (Sánchez, 1993). El presente estudio tiene la finalidad de conocer las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico donde fueron plantadas, así mismo conocer que especies integran la población de agaves, medir sus características, con cuantos individuos se conforma la población de agaves, ver la relación del suelo con los agaves.

II. MARCO TEÓRICO.

2.1. Residuos sólidos.

Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó (LGEEPA, 2003).

En cuanto a la LGPGIR, define de la siguiente manera al Residuo: 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 conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (LGPGIR, 2003).

Por otra parte la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal; los define de la siguiente forma. Residuos sólidos, el material, producto o subproducto que sin ser considerado como peligroso, se descarte o deseché y que sea susceptible de ser aprovechado o requiera sujetarse a métodos de tratamiento o disposición final (LRSDF, 2003).

2.2. Residuos sólidos urbanos.

Los residuos sólidos urbanos han sido definidos recientemente en la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos de la siguiente manera. Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por la Ley como residuos de otra índole (LGPGIR, 2003). Es importante resaltar que la definición de la Ley permite identificar claramente los residuos sólidos urbanos y los diferencia de aquellos denominados residuos de manejo especial y residuos peligrosos.

Esta definición actualiza el concepto de residuos sólidos municipales que a su vez se refiere a los desechos domiciliarios o basura. Y se clasifican de la siguiente manera:

- Residuos orgánicos:

Todo residuo sólido biodegradable.

- Residuos inorgánicos:

Todo residuo que no tenga características de residuo orgánico y que pueda ser susceptible a un proceso de valorización para su reutilización y reciclaje, tales como vidrio, papel, cartón, plásticos, laminados de materiales reciclables, aluminio y metales no peligrosos y demás no considerados como de manejo especial.

- Residuos de Manejo Especial.

Son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos.

- Residuos Peligrosos.

Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en la Ley.

2.3. Disposición de los residuos.

Durante la época prehispánica, el problema de la basura en la Gran Tenochtitlan, era responsabilidad que los nobles y los monarcas asumían, prohibiendo vender y comprar fuera de los mercados establecidos, razón por la cual nadie tiraba basura en las calles. El sistema de limpia entre los aztecas era atendido por más de mil hombres, los cuáles desempeñaban su trabajo con orgullo y la satisfacción de tener una ciudad limpia.

En la época Colonial el virrey Revillagigedo estableció el primer grupo de carros tirados por caballos, que recogían la basura y la depositaban en los tiraderos ubicados, según los historiadores, en Santa María la Ribera.

En los inicios del México independiente, se estableció en el Distrito Federal un sistema de limpia de carretones de tracción animal, que por las mañanas y en las noches pasaban por las calles tocando una campanilla para que la gente acudiera a depositar su basura. Para entonces se impusieron multas de 2 pesos a quienes tiraban la basura en la calle por primera vez; 4 pesos la segunda y 6 pesos la tercera.

Al final del siglo XIX, la recolección de basura se realizaba con unos 80 carretones. Los ayuntamientos de los pueblos y la policía de salubridad se hacían cargo de la limpieza de las calles, mercados, plazas públicas, hospitales, cárceles, casas de beneficencia y de remover todo lo que pudiera alterar la salud pública. A principios de los sesentas se crea la Dirección General de Servicios Urbanos del Distrito Federal de la que depende la oficina de Recolección de Desechos Sólidos. Al final de esta década, desapareció la mencionada Dirección General para surgir nuevamente a principios de los ochentas. De esta Dirección depende en la actualidad la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final de los desechos sólidos de la ciudad de México (Mora, 2004).

2.4. Sitios de disposición final.

Hoy en día la disposición final de los RSU debe ser realizada de tal forma que sus emisiones no provoquen daños al ambiente. Para tal fin debe tomarse en cuenta a) medidas de pre-tratamiento, b) alternativas tecnológicas existentes, c) condiciones de la disposición, d) cantidad y e) composición (Hernández y Wehenpohl, 2002, Kiss y Encarnación, 2006, Quadri *et al.*, 2003).

2.4.1. Tiradero a cielo abierto.

En nuestro país aún persiste la práctica inadecuada de disposición final de los RSU a cielo abierto (Hernández y Wehenpohl, 2002). Estos tiraderos son fuentes de contaminación del aire, el agua y el suelo. (Salas, 1992, Leal, *et al.*, 1995, Jiménez, 200 y Mora, 2004) (Fig. 1).



Fig. 1.- Tiradero a cielo abierto Santa Cruz Meyehualco.

2.4.2. Enterramiento controlado.

Una forma más apropiada de disposición es el enterramiento controlado, con la ventaja de que los residuos se compactan, se cubren con tierra evitando parcialmente la dispersión de los RSU, sin embargo no cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003 y tiene las desventaja de contaminar, agua, aire, suelo y biota (Ramírez y Salazar, 1998; Maldonado, 1995) (Fig. 2).



Fig. 2.- Enterramiento controlado.

2.4.3. Relleno sanitario.

Esta tecnología consiste en el depósito de los RSU, 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 hacia el suelo en donde se encuentran depositados los residuos sólidos urbanos y un sistema de recolección previo para su posterior tratamiento. Además debe tener las siguientes medidas de control, que deben mantenerse hasta por 25 años o más posterior a su clausura entre otros:

- Captación, extracción, tratamiento y monitoreo de biogás y lixiviados.
- Captación, y desvío de aguas pluviales.
- Monitoreo de acuíferos.
- Monitoreo de los asentamientos de la superficie de las celdas de confinamiento.
- Implementación y mantenimiento de la cubierta vegetal (rasante, herbácea, arbustiva y arbórea).
- Monitoreo y seguimiento de los asentamientos humanos adyacentes o cercanos al relleno sanitario (COMIA, 2003; Hernández y Wehenpohl, 2002, NOM-083-SEMARNAT-2003, SEDESOL, 2002).

2.5. Clausura.

Es la suspensión definitiva del depósito de residuos sólidos debido al agotamiento de su vida útil, a sus efectos de contaminación al ambiente o bien a las molestias y daño a la sociedad. Por lo tanto esta actividad no contempla ninguna acción de control ambiental excepto la restricción de la entrada de residuos. Las acciones encaminadas al control de los residuos sólidos, después de la clausura, se conocen como el saneamiento ambiental, método que utiliza principios de ingeniería para la conformación, compactación y sellado de los residuos sólidos que se encuentran a cielo abierto, así como para la construcción de sistemas de control, necesarios para minimizar los impactos al ambiente y a la salud de la población, durante la estabilización de los mismos (Hernández y Wehenpohl, 2002; Christensen *et al.*, 1989).

2.6. Post-clausura.

Esta etapa prácticamente está orientada a la construcción de sistemas de control ambiental, e inicia una vez que los residuos sólidos han sido cubiertos en su totalidad. Las obras de control son:

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

Clausurado el sitio de disposición final, la degradación de los residuos produce biogás, componentes orgánicos volátiles y lixiviados por lo cual es indispensable vigilar y dar un seguimiento al sitio durante 30 años (Hernández y Wehenpohl, 2002).

2.7. Cubierta vegetal en los sitios de disposición final post-clausura y el suelo.

La selección y colocación del material adecuado para la cobertura final de los residuos sólidos, requiere de la aplicación de técnicas a efecto de que pueda cumplirse adecuadamente con los requisitos técnicos necesarios para asegurar el buen funcionamiento del sello final. El propósito de la cubierta final en un sitio de disposición final es aislar a los residuos cercanos a la superficie del ambiente, para minimizar la migración de líquidos en las celdas y controlar el venteo del gas generado. Además de que la capa superficial tiene la función de proporcionar un medio adecuado para el crecimiento de las plantas ya que este es esencial para proteger la superficie de la cubierta de la erosión (Pfeffer, 1992, Senior, 1995).

Un sistema de cobertura final debe ser construido para que cumpla con las funciones anteriores, aunado a un mínimo mantenimiento del drenaje adecuado, reduciendo la erosión y asentamientos, con una permeabilidad muy baja (Hernández y Wehenpohl, 2002). Por tal motivo, el material a utilizarse para la cobertura final de los residuos sólidos deberá contar con ciertos requisitos para cumplir con algunas funciones primordiales, tales como:

- a) Minimizar la proliferación de moscas y roedores, así como controlar la atracción de animales.
- b) Controlar el escurrimiento de agua pluvial.
- c) Controlar el flujo de biogás.
- d) Minimizar los posibles incendios.
- e) Disminuir el impacto estético negativo al medio ambiente.
- f) Operar adecuadamente durante la clausura de otras zonas.
- g) Soportar la cubierta vegetal.**
- h) Minimizar la erosión por viento.
- i) Asegurar la estabilidad de los taludes.
- j) Evitar la saturación de los residuos sólidos (Hernández y Wehenpohl, 2002).

El suelo constituye un recurso natural de gran importancia, que desempeña funciones en la superficie terrestre como reactor natural y hábitat de organismos, así como soporte de infraestructura y fuente de materiales no renovables (Volke, *et al.*, 2005). Las características de los suelos que son eficaces en este proceso son un buen drenaje, moderadamente permeable y textura arcillosa (Loughry, 1973). Básicamente, el crecimiento de las plantas terrestres depende del suelo, del agua y de los elementos nutritivos. Además de esto, el suelo deberá proporcionar un medio en el cual las raíces puedan funcionar, así como el anclaje de las mismas en el suelo para mantener a la planta erecta. (Foth, 1989).

Las características deseables de la vegetación que se debe colocar sobre la última capa de tierra vegetal son: raíces poco profundas debido a la deficiencia de oxígeno en la zona radicular, de rápido crecimiento, resistente al biogás, capaz de soportar la falta de agua y que se extiendan horizontalmente sobre el área. Debe evitarse que las raíces penetren y dañen las capas de clausura que se encuentran más abajo (Hernández y Wehenpohl, 2002; Bozkurt, *et al.*, 2000; Senior, 1995; El-Fadel *et al.*, 1997) (Fig. 3).

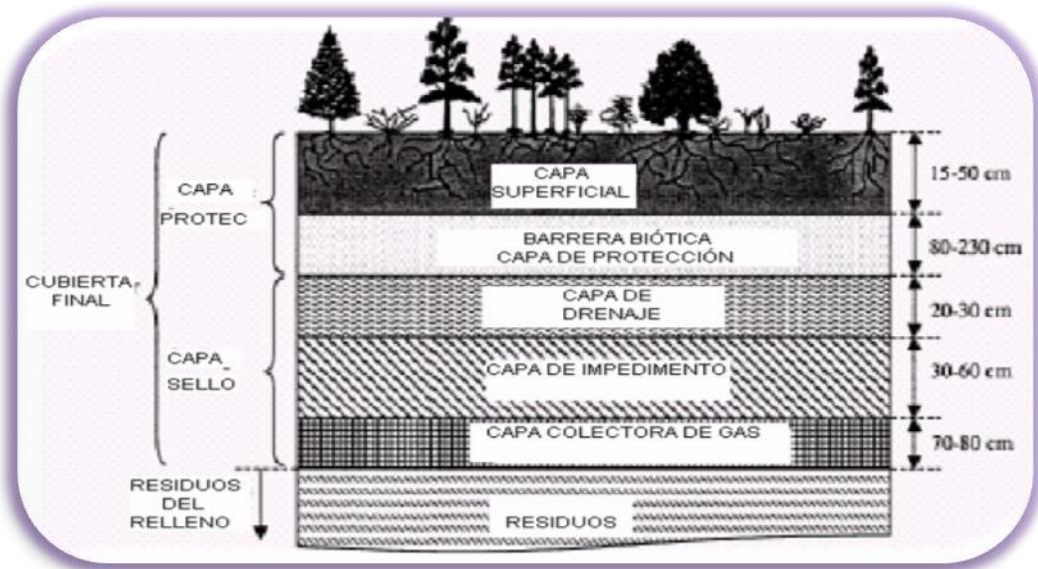


Fig. 3.- Cubierta vegetal en Sitios de Disposición Final (Bozkurt, 2000).

2.8. Tecnosoles.

Aunque algunos materiales que se utilizaron para cubrir los residuos sólidos del Ex tiradero Santa Cruz Meyehualco, tienen un origen natural (bancos de cenizas volcánicas), estos fueron mezclados con materiales residuales de construcciones., además de la mezcla de todos ellos al realizar las actividades post-clausura. Debe tomarse en cuenta también que el espesor que está en contacto con los residuos ha recibido cantidades variables de contaminantes producto de la descomposición de los mismos debido al ascenso capilar de agua y gases principalmente durante la época seca. Con base en el origen, características morfológicas y composición química que hace del suelo que cubre la superficie del Extiradero de Santa Cruz Meyehualco este se clasifica como un Tecnosol con base en la WRB versión 2007.

Los Tecnosoles comprenden un nuevo Grupo de Suelos de Referencia (GSR) y combina suelos cuyas propiedades están originadas por su origen técnico. Incluyen suelos de desechos (rellenos, lodos, escorias, escombros o desechos de minería y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembranas y suelos construidos en materiales hechos por el hombre. Los Tecnosoles son frecuentemente referidos como suelos urbanos o de minas.

La pedogénesis en estos suelos está fuertemente afectada por materiales y su organización. Se encuentra principalmente en áreas urbanas e industriales, en áreas pequeñas, aunque en un patrón complejo de asociación con otros grupos.

Los Tecnosoles se encuentran en todo el mundo donde la actividad humana ha llevado a la construcción de suelo artificial, sellando el suelo natural, o extrayendo material que normalmente no sería afectado por procesos de superficie. Así, ciudades, caminos, minas, vertederos de basura, derrames de petróleo, depósitos de hollín de carbón y otros semejantes, se incluyen en los Tecnosoles. Están fuertemente afectados por la naturaleza del material o la actividad humana que lo colocó. Muchos Tecnosoles tienen que ser tratados con cuidado ya que pueden contener sustancias tóxicas resultantes de procesos industriales. En particular los de vertederos de basura, normalmente se cubren con una capa de material de suelo *natural* para permitir la revegetación (WRB, 2007).

2.9. Tipos de estrés.

2.9.1. Estrés vegetal.

En algunos casos la presencia de un elemento en concentraciones en exceso puede inducir la deficiencia de otro elemento. Resulta de cambios en procesos fisiológicos por uno o la combinación del medioambiente y factores biológicos (Hale y Orcutt, 1987 y Nover *et al.*, 1989). El estrés es el efecto producido por un factor ambiental externo que dista del óptimo y actúa sobre la planta generando una respuesta. La aclimatación o tolerancia que las plantas sufren a diversos factores ambientales; llamados estrés, tales como falta o baja disponibilidad de agua y oxígeno, elevada concentración de sales, entre otros (Money, *et al.*, 1991).

2.9.2. Estrés salino.

La elevada concentración de sales en la solución del suelo pueden causar efectos directos o indirectos en el crecimiento radical, altera el potencial osmótico en la raíz y la incorporación de agua se ve reducida, afectando también la permeabilidad.

La salinidad afecta el balance nutricional de la planta, es decir cuando el pH se incrementa reduce la solubilidad y disponibilidad de los nutrientes esenciales (Rending y Howard, 1989).

2.9.3. Estrés nutrimental.

Puede ser consecuencia bien por bajos niveles de disponibilidad del elemento o por la presencia de concentraciones en exceso. Los síntomas visuales de deficiencia constituyen una base valiosa para evaluar el estado nutricional de la planta. Los síntomas de deficiencia son la consecuencia de las alteraciones metabólicas en diferentes fases de crecimiento de las plantas. Los síntomas de deficiencia de nutrientes en las plantas varían de especie a especie y de elemento a elemento. En general, los síntomas son amarillamiento de las hojas, más oscuro que el color verde normal, clorosis intervenal, necrosis y torsión de las hojas.

En general, cada fitotoxicidad produce ciertos síntomas característicos. Los más generales son el retraso del crecimiento y clorosis de las hojas. Los síntomas de la toxicidad observada pueden ser debidos a una toxicidad específica del metal para el cultivo o debido a un antagonismo con otros nutrientes.

Los niveles tóxicos de metales en los suelos son alcanzados por el metal que lleva componentes solubles en el suelo natural o por las prácticas de eliminación de residuos de la minería, la fabricación industrial y las aguas residuales urbanas (Madhava *et al.*, 2006). Es aquel que se presenta en la planta ya sea por deficiencia o exceso (toxicidad) de los llamados nutrientes esenciales (Meter, 1992). Los metales pesados generalmente restringen el crecimiento de las plantas, esa condición potencialmente limita la absorción de los nutrientes. Dado que un rasgo distintivo que caracteriza las vegetación en suelos deficientes en nutrientes es la elevada frecuencia de especies con una tasa de crecimiento particularmente lenta (Briz, 2004).

2.9.4. Estrés por metales.

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 absorción de nutrimentos y por ende de su fertilidad. La adición de estos contaminantes a los diferentes sistemas son por actividades naturales y principalmente por actividades antropogénicas, algunos de estos metales se encuentran como constituyentes de los residuos y se incorporan a la columna de basura y suelo antrópico por los procesos de degradación química y biológica de los (RSU) cuando se encuentran en un sitio de disposición final. La planta depende de su sistema de raíces para adquirir algunos elementos minerales para su desarrollo y crecimiento. (Briz, 2004).

Las altas concentraciones de metales pesados tales como Cd, Pb, Hg, Cd, Zn y Ni afectan el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas. Sin embargo, Cu, Zn y Ni son micronutrientes esenciales a bajas concentraciones. Los metales pesados afectan a varios procesos fisiológicos y metabólicos. Las plantas han desarrollado varios mecanismos que responden y controlan a la absorción y la acumulación de metales pesados tanto esenciales y no esenciales. Estos mecanismos de tolerancia en las plantas varían de especie a especie (Madhava *et al.*, 2006).

Dentro de las formas químicas que se encuentran en el suelo una de las más importantes son los metales extractables que son aquellos elementos que son fácilmente absorbidos por la planta de tal forma cuando se requieren realizar estudios de la relación suelo-planta-nutrimento, suelo-planta-contaminante (Bautista, 1994). La dinámica de los metales pesados en el suelo no sólo depende de las condiciones edáficas como el pH, contenido de materia orgánica, textura, entre otros sino también de especiación química de los metales, además de las diferentes especies de plantas y animales presentes en el sitio (Donisa, *et al.*, 2000; Ross, 1994). La toxicidad de un suelo debida a metales pesados y elementos asociados es una consecuencia directa de sus concentraciones en las fases biodisponibles; es decir, la solución del suelo y las formas adsorbidas, y a ella se deberían referir los diferentes niveles de toxicidad y se potencia en gran medida por su fuerte tendencia a formar complejos organometálicos lo que facilita su solubilidad, disponibilidad y dispersión (González, 2003).

Las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, traslocar y acumular nutrientes, sin embargo algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, traslocados y acumulados en las plantas debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos químicos requeridos. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso de su entrada a la cadena alimentaria.

La absorción y posterior acumulación dependen del movimiento de los metales desde la solución del suelo a la raíz de la planta, el paso de los metales por las membranas de las células corticales de la raíz, el transporte de los metales desde las células corticales al xilema desde donde la solución con metales se transporta de la raíz a los tallos y la posible movilización de los metales desde las hojas hacia tejidos de almacenamiento usados como alimento por el floema.

Otra forma de ingreso puede ser mediante absorción foliar. Por otro lado aunque la toxicidad relativa de los diferentes metales hacia las plantas puede variar con el genotipo de la planta y las condiciones experimentales, cuando se presentan en cantidades excesivas, los más tóxicos para las plantas superiores y microorganismos edáficos son el Cd, Hg, Cu, Ni, Pb, Co, y posiblemente Ag, Ba y Sn (Farago, 1994; Kabata, 2011, www2.sag.gob.cl/Recursos.../6).

2.9.4.1. Aluminio.

En general la solubilidad de los hidróxidos de Aluminio es baja a pH 5-8, sin embargo la fracción de Al que es fácilmente intercambiable juega un papel muy importante en la fertilidad del suelo. Las soluciones de suelos neutros contienen aproximadamente $400\mu\text{g l}^{-1}$ (Kabata-Pendias, 2011). El aluminio es tóxico para las plantas en concentraciones de 0.1 a 3.0 mg/L en la solución del suelo. Cuando aumenta la acidez incrementa la disponibilidad de aluminio y puede ser la causa de la disminución de los bosques nativos, así como la reducción del crecimiento de los cultivos en estos suelos. La disponibilidad del aluminio en un suelo puede ser fácilmente controlada por el encalado y el mantenimiento del pH del agua del suelo entre 6.0 y 7.0.

La toxicidad del aluminio en las plantas afecta el crecimiento de las raíces y la absorción de elementos esenciales en especial el fósforo, y el antagonismo del calcio y magnesio, mientras que la toxicidad del aluminio se asocia con los efectos propuestos (Pais y Benton, 1997).

2.9.4.2. Calcio.

El calcio existe como catión Ca^{2+} en la solución del suelo y como calcio cambiante en suelos con coloides. Usualmente el calcio es el catión con la más alta concentración en el suelo con formas solubles y cambiables para suelos con pH alto (>8.0), estos pueden contener considerables cantidades de calcio como precipitados de carbonato de calcio (CaCO_3) y sulfato de calcio (CaSO_4). El calcio se mueve en el suelo por flujo de masa, el principal factor de suministro, difusión, la disponibilidad del calcio puede ser significativamente afectada por el nivel de humedad en el suelo (Jones, 1998).

2.9.4.3. Cadmio.

La solubilidad de cadmio en el suelo disminuye significativamente con un aumento en el pH del suelo. Las plantas varían en su sensibilidad a cadmio en soluciones nutritivas 0,2 a 9 mg / kg. Cadmio a 3 mg / kg en las plantas deprimen el crecimiento. Los síntomas de toxicidad de cadmio son clorosis y necrosis seguida de abscisión de la hoja como el cadmio interfiere con la fotosíntesis y la absorción y el transporte de elementos minerales en la planta. El efecto del cadmio en las plantas varía según la especie y con otros elementos, con efectos tanto sinérgicos y antagónicos (Kabata-Pendias, 2011, Pais y Benton, 1997).

2.9.4.4. Cobre.

Es un micronutriente esencial, es inmóvil en el suelo. El cobre puede ser fácilmente precipitado e interactuar fácilmente con sustancias orgánicas y minerales del suelo. La disminución de la disponibilidad de la planta se puede obtener por el encalado, la adición de fertilizantes de fosfato, y la adición de materia orgánica al suelo.

La toxicidad se produce cuando los niveles de cobre en tejido exceden de 20 a 30 mg / kg. El cobre es particularmente tóxico para las raíces, poco se trasloca a la cima de la planta. El síntoma de la toxicidad de cobre es la clorosis, como alto contenido de cobre interfiere con el metabolismo del hierro.

La deficiencia de cobre no es común porque el requisito de la mayoría de los cultivos es muy bajo. Las deficiencias de cobre son más propensas a ocurrir en los suelos orgánicos y minerales en los suelos con un pH alto y / o alto contenido de materia orgánica. La tolerancia al cobre puede variar de especie a especie (Kabata-Pendias, 2011, Madhava *et al.*, 2006, Pais y Benton, 1997).

2.9.4.5. Cromo.

La química del cromo en el suelo es compleja basado en el estado Valente (+3 a +6) con efectos de solubilidad y reactividad. El cromo (III) de forma estable comúnmente establecido en el medioambiente, y esta forma del elemento es considerado esencial para algunas funciones biológicas. El cromo (VI) forma tóxica para plantas, animales y el hombre no es común en el medioambiente. Cromo (VI) es 100 veces más tóxico para las plantas, animales y el nombre que el cromo trivalente. La solubilidad de las dos formas se ve significativamente afectada por el pH, la baja solubilidad se produce entre un pH de 5,5 y 8,0. La disponibilidad para la planta en los suelos con alto contenido de Cromo puede ser reducido por el encalado y la adición de fertilizantes de fosfato y materia orgánica. En algunas plantas varía su sensibilidad al cromo; 5 a 15 mg / kg en los resultados de la toxicidad de la solución nutritiva, y 150mg/kg en el suelo es tóxico para algunas plantas ya que el cromo tiende a acumularse en las raíces y no se trasloca fácilmente.

Existe alguna evidencia de un efecto estimulante de los bajos niveles de cromo en el crecimiento de las plantas. Los suelos arenosos son usualmente pobres en Cr (Kabata-Pendias, 2011, Pais y Benton, 1997).

2.9.4.6. Hierro.

El hierro en el suelo existe principalmente en óxidos e hidróxidos y es quelatado por la materia orgánica. El hierro en la solución del suelo puede ser afectada por el pH, bajo condiciones anaeróbicas, el ión férrico (Fe^{3+}) es reducido a ferroso (Fe^{2+}) el cual incrementa significativamente esta solubilidad en el suelo y bajo condiciones ácidas induce toxicidad ya que su solubilidad se incrementa y pasa fácilmente a la solución del suelo en donde puede ser absorbido por las plantas.

La deficiencia de hierro, se debe a la habilidad de la raíz para extraer minerales de las plantas y agentes de quelatos. La toxicidad de hierro es más probable que ocurra en suelos fuertemente ácidos, sulfatados y en suelos inundados. La tolerancia de hierro en las plantas es a menudo asociada con la oxidación e inmovilización o exclusión de hierro soluble por las raíces. Las plantas adaptadas a condiciones de aguas anegadas son comúnmente más tolerantes a altos niveles de Fe que en plantas que crecen en suelos bien aireados (Pais y Benton, 1997, Kabata-Pendias, 2011).

2.9.4.7. Potasio.

El Potasio es absorbido, o retirado del suelo, por las plantas, en la forma iónica (K^+), es esencial para el crecimiento vegetal, y su función principal parece estar ligada al metabolismo. El Potasio es vital para la fotosíntesis. Cuando la concentración de potasio es deficiente, la fotosíntesis disminuye. A medida que el potasio se torna deficiente, la velocidad de respiración de las plantas aumenta. Estas dos condiciones de deficiencia de potasio - reducción en la fotosíntesis y aumento en la respiración - disminuyen el abastecimiento de carbohidratos para las plantas (Volke, 2005). El potasio se mueve siendo absorbido a la superficie de la raíz por difusión en la solución del suelo, la difusión es altamente dependiente de la temperatura. La extensión del contacto de la raíz con el suelo también tiene un efecto significativo en la captación. El oxígeno en el suelo tiene grandes efectos para la captación de muchos de los iones.

La deficiencia de potasio se puede presentar con gran facilidad, son sensibles a la enfermedad por infestación, el rendimiento de la fruta y calidad serán reducidas, en hojas viejas. La deficiencia de potasio puede deberse a la presencia de NH_4^+ (Jones, 1998).

2.9.4.8. Magnesio.

El magnesio existe como catión Mg^{2+} en la solución del suelo y como cambiante de magnesio en suelos coloidales. Usualmente el catión es el siguiente a tener las más altas concentraciones en el suelo en formas solubles y cambiables cuando el suelo es ligeramente ácido a neutro en pH. La relación entre magnesio y potasio es bien conocida, así como la relación entre magnesio y calcio.

La disponibilidad de magnesio se declina significativamente cuando el pH de la solución del suelo es ácido. La deficiencia de magnesio puede ocurrir bajo estrés del suelo húmedo incluso cuando el suelo es adecuado en disponibilidad del magnesio o puede ser inducida por altas concentraciones de los cationes de NH_4^+ , K^+ ó Ca^{2+} en el medio de la raíz, los síntomas de deficiencia son color amarillento en las hojas y clorosis en las venas. La toxicidad de Mg en concentraciones extremadamente elevadas puede reducir el crecimiento (Jones, 1998).

2.9.4.9. Manganeso.

Es uno de los elementos traza más abundante, se encuentra en el suelo en una amplia gama de estados de oxidación, dependiendo de las condiciones físico-químicas su solubilidad depende del pH y del potencial redox a medida que aumenta el pH disminuye la disponibilidad, como la deficiencia de manganeso se relaciona con el pH alto y la toxicidad se asocia con el pH bajo. La disponibilidad de manganeso también se reduce la temperatura del suelo esta baja al aumentar el contenido de materia orgánica del suelo. La toxicidad de manganeso puede ocurrir en suelos ácidos y en condiciones anaeróbicas.

El estado del manganeso en una planta puede ser influenciado significativamente por su relación con otros elementos, principalmente hierro, así como fósforo, calcio, magnesio y silicio (Kabata-Pendias, 2011, Madhava *et al.*, 2006, Pais y Benton, 1997).

2.9.4.10. Sodio.

No se sabe generalmente si es requerido por las plantas verdes. Sin embargo, ciertas plantas autóctonas de suelos salinos crecen mejor con un amplio suplemento de NaCl. Para las plantas el sodio es un micronutriente esencial. Bajo deficiencias de sodio, las plantas exhiben clorosis y necrosis o problemas para formar flores (Bloom y Epstein, 2005). El Sodio es esencial y en adiciones de cloruro de sodio al suelo este puede proveer incremento en el rendimiento de algunas plantas. El sodio es tóxico en algunas plantas con concentraciones altas. La salinidad también interfiere en la adquisición y utilización de nitrógen, para muchos organismos. Tóxico para plantas y animales en niveles altos exceptuando a algunas plantas que crecen y se desarrollan en ambientes altamente salinos (Reiman, 1998).

2.9.4.11. Plomo.

Es el menos móvil de los metales pesados en el suelo, se acumula primeramente en la superficie, afecta la microflora del suelo, el Pb disponible en el suelo es influenciado por el pH, disminuyendo al aumentar el pH del suelo, a condiciones acidas es poco soluble en agua (Pais y Benton, 1997). Se asocia principalmente con los minerales de arcilla, óxidos de Mn, Fe e hidróxidos de aluminio (Kabata-Pendias, 2011). Las plantas expuestas a altos niveles de plomo por el ambiente como aire y el suelo pueden acumular el metal y manifestar toxicidad (Wayne y Ming, 1999). El plomo puede ser absorbido fácilmente por las raíces de la planta se desplaza a la parte superior.

2.9.4.12. Selenio.

En general, el selenio es relativamente bajo, pero en suelos mal drenados o suelos áridos calizos los niveles de selenio son altos, se puede acumular a niveles suficientes en las plantas que representan un peligro considerable para los animales de pastoreo.

La solubilidad del selenio en los suelos es baja, aunque el selenio soluble se absorbe fácilmente por las plantas. La disponibilidad de selenio está determinada por las condiciones climáticas (la disponibilidad disminuye con la disminución de la temperatura y el aumento de las precipitaciones), las condiciones de oxidación-reducción y pH.

La absorción de selenio y la acumulación en las plantas se ven afectados por otros elementos, tales como nitrógeno, fósforo y azufre, así como la mayoría de los micronutrientes, como el cadmio (Pais y Benton, 1997).

2.9.4.13. Zinc.

El zinc está distribuido uniformemente en los suelos es fácilmente absorbido por sustancias minerales y orgánicas, acumulándose sobre todo en la capa superficial del suelo. La química del zinc en el suelo es bastante compleja en términos de sus diferentes formas iónicas, es el más soluble de todos los metales pesados en los suelos. La disponibilidad del zinc por la planta disminuye con el aumento de pH del suelo. La deficiencia de zinc es más probable que ocurra en el lixiviado de los suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica, suelos neutros a alcalinos y / o suelos con alto contenido de fósforo disponible. El efecto del fósforo sobre el zinc se cree que ocurre dentro de la planta y no es un factor importante en la absorción de zinc. Otras interacciones importantes son con el cobre, hierro, arsénico. La toxicidad puede ocurrir cuando los niveles de zinc en el suelo se elevan por la aplicación de los desechos industriales o aguas residuales, que pueden contener niveles de zinc en exceso de 1700mg/kg. Los efectos de la toxicidad del zinc puede ser reducido significativamente por el encalado del suelo a un pH de 6,0 o superior (Kabata-Pendias, 2011, Pais y Benton, 1997).

2.10. Espectroscopia de absorción atómica.

Comprende el estudio de la absorción de energía radiante en una longitud de onda específica para cada elemento, por átomos neutros en estado gaseoso. Se basa en la absorción, emisión o fluorescencia por átomos o iones elementales. Hay dos regiones del espectro que dan información atómica, ultravioleta/visible y la de rayos X. Los espectros atómicos ultravioleta y visible se obtienen mediante un adecuado tratamiento térmico que convierte los componentes de una muestra en átomos elementales, la absorción y emisión de los átomos resultantes sirve para la determinación cualitativa y cuantitativa de uno o varios de los elementos presentes en la muestra (Galván V. y Zapata C, 2004).

La espectroscopía de absorción atómica tiene tres técnicas de uso analítico: la absorción, emisión y la fluorescencia, basándose esta en la radiación electromagnética por las partículas atómicas respectivamente. Cada elemento tiene un número específico de electrones que está directamente relacionado con el núcleo atómico y que conjuntamente con él, da una estructura orbital, que es única para cada elemento. Los electrones ocupan posiciones orbitales en una forma predecible y ordenada. La configuración más estable de más bajo contenido energético, es conocida como estado fundamental o estado basal y es la configuración orbital normal para el átomo.

Si a un átomo se le aplica energía de una magnitud apropiada, ésta será absorbida por el e inducirá que el electrón exterior sea promovido a un orbital menos estable o estado excitado. Como este estado es inestable, el átomo espontáneamente retornará a su orbital inicial estable y emitirá energía radiante equivalente a la cantidad de energía inicialmente absorbida en el proceso de excitación, la longitud de onda de la luz emitida es una propiedad específica y característica de cada elemento. El proceso de excitación y decaimiento al estado fundamental es común a los tres campos de la espectroscopía atómica.

2.10.1. Absorción atómica de flama.

Cuando la luz de una determinada longitud de onda incide sobre un átomo libre en esto fundamenta, el átomo puede absorber energía y pasar al estado excitado, en un proceso

conocido como absorción atómica. La propiedad del átomo de absorber luz a una longitud de onda específica, es la cantidad de luz, a una longitud de onda específica, que es absorbida, cuando ésta pasa a través de una nube atómica, conforme el número de átomos se incrementa en el paso de la luz, la cantidad que de ésta será absorbida se incrementará en una forma predecible. Permitiendo efectuar una determinación cuantitativa del analito presente, al medir la cantidad de luz absorbida. El uso de fuentes especiales de luz y la selección cuidadosa de la longitud de onda, permite la determinación de elementos individuales en la presencia de otros. La nube de átomos requerida para las mediciones en absorción atómica, es producida por la adición de suficiente energía térmica a la muestra para disociar los compuestos químicos en átomos libres.

Bajo condiciones apropiadas de flama, la mayoría de los átomos permanecerán en estado fundamental y son capaces de absorber luz de longitud de onda específica de una fuente de luz (Galván y Zapata, 2004).

2.10.2. Emisión atómica.

En la emisión atómica, la muestra es sometida a una alta energía y temperatura, con el objeto de producir átomos al estado excitado, que sean capaces de emitir luz. La fuente de energía puede ser un arco eléctrico, una flama, o más recientemente un plasma. Este espectro de emisión puede usarse como una característica única para la identificación cualitativa del elemento. La facilidad y la velocidad a la cual se pueden hacer determinaciones exactas y precisas utilizando esta técnica, han hecho que la absorción atómica sea uno de los métodos más populares para el análisis elemental (Galván y Zapata, 2004) (Fig. 4).

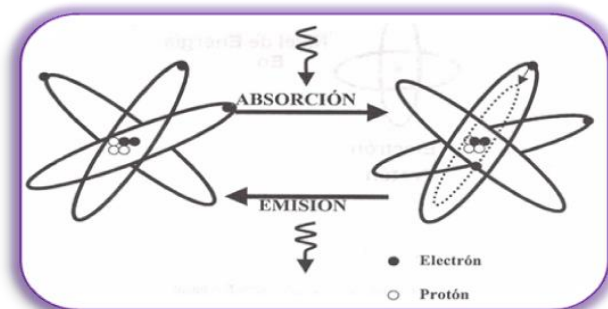


Fig. 4.- Cambio de energía del átomo.

2.11. Características del género *Agave*.

Taxonómicamente el género *Agave* se ubica en la familia Agavaceae. En el continente Americano se reportan aproximadamente 310 especies, de las cuales en México existen 272, por ello se considera a este país como centro de origen del género. El género *Agave* cuyo nombre viene del griego y significa “admirable”, fue descrito inicialmente por Linneo en 1753, siendo la primera especie *Agave americana* L.

En cuanto a las características botánicas, relacionadas con la morfología, varios autores han realizado la descripción del género. Son plantas perennes, rizomatosas, de tallos acaules, hojas grandes dispuestas en roseta y suculentas-fibrosas que terminan en una espina; los márgenes de las hojas presentan pequeñas espinas ganchudas o rectas; inflorescencia en espiga o panoja con escapo largo semileñoso; las flores son de color amarillo verdoso, protándricas con perianto infundiliforme tubo de longitud variable y seis segmentos casi iguales; seis estambres filamentosos filiformes, más largos que los segmentos del perigonio, con anteras amarillentas; ovario ínfero trilocular, tricarpelar, con placentación axilar, multiovulada; fruto capsular leñoso alargado, dehiscente con 3 alas con numerosas semillas aplanadas algo triangulares de testa negra (Sánchez, 1993).

Las especies tienen una gran variedad morfológica, pudiéndose agrupar bajo dos tipos de especializaciones en el primero presentan hojas suculentas y fibrosas, dispuestas en rosetas espiraladas al final de los tallos, margen de la hoja dentado, denticulado, corneo, filifero o entero y ápice con una espina o mucron terminal; las especies en su mayoría están adaptadas a ambientes secos con amplias fluctuaciones y niveles altos de radiación solar. El segundo grupo está conformado por hierbas con órganos de reserva subterráneos; las hojas pueden o no tener fibras, el margen es entero o finamente denticulado y en ápice sin espina terminal estas plantas están adaptadas a climas estacionales donde se alternan ciclos lluviosos con secos, y calientes con fríos. Son plantas adaptadas a condiciones de aridez, raíces someras y ramificadas, cutícula gruesa, suculencia, estomas hundidos, metabolismo fotosintético y metabolismo ácido de crasuláceas (MAC) son algunos de los atributos que le permiten establecerse en zonas carentes de agua (Sánchez, 1993).

En ambos grupos la inflorescencia es terminal bracteada, pedunculada, de apariencia espigada, racemosa o paniculada por lo general de tamaño desproporcionado en relación con la roseta que la originó. Las flores son bisexuales, trímeras, hipóginas o epíginas y estambres incluso o exsertos con diferentes grados de engrosamiento. El fruto es capsular o abayado; las semillas pueden ser aplanada o rodeadas por una larga ala o semiesféricas con endospermo ruminado; la acumulación de fitomelano en la exotesta le proporciona su característico color negro (García *et al.*, 2004).

Dispuestas en espiral arregladas en roseta en el ápice de un tallo, el cual puede ser corto o apenas sobrepasar unos centímetros del suelo, o bien ser largo o erecto en este caso llega a medir hasta tres metros de altura; en varias especies el tallo se dobla hasta el sustrato y reptar sobre el suelo o las rocas, por lo que es difícil observarlo, ya que pueden surgir rosetas a lo largo, y además quedar cubiertos por las hojas secas. Las hojas por lo general son suculentas, fibrosas con la base dilatada y carnosas; su forma varía de linear a lanceolada u ovada; las de especies más pequeñas no sobrepasan los veinte gramos de peso, mientras que las de los magueyes pulqueros son los más grandes del género llegando a pesar más de treinta kilogramos cada una. El número de hojas varía según la especie que puede ir de cinco a diez hasta de 150 a 200.

Los márgenes exhiben una gran diversidad morfológica, los dientes córneos (en la mayoría de las especies) sobresalen como proyecciones de tejido, o bien se ubican en una banda cornea continua, mientras en otras es filífero y se desprende en delgadas fibras o bien muestra dos dientecillos microscópicos. La hoja casi siempre tiene una espina al final del ápice que puede medir desde unos milímetros hasta cinco centímetros. El envés muestra la huella de los dientes de la hoja que le antecedió, lo que es muy notorio en las especies con hojas suculentas. El color de las mismas se presenta en tonos de verde y glauco o amarillos rojizos o violetas. Incluye un buen número de plantas útiles, destacando las productoras de fibras, ornamentales y alimenticias.

En el Valle de México se cultivan representantes de los géneros *Agave* y *Poliantes*. Los agaves son plantas que requieren muy pocos cuidados, aunque si se les cultiva generosamente la respuesta en su crecimiento se da con rapidez y de forma notoria. Los agaves tiene una distribución amplia en ambientes limitantes (suelos someros, infértiles y secos).

Un suelo arcilloso con buen drenaje; una exposición soleada; unos riegos generosos en verano y sequedad en invierno, son circunstancias favorables para su buen desarrollo. En invierno la temperatura mínima aconsejable es de 5-8°C, pero pueden soportar fríos mayores, incluso de algunos grados bajo cero en el caso de un buen número de especies. Para su mejor crecimiento y floración conviene que sean plantadas al exterior, a pleno sol. En el caso de ejemplares jóvenes cultivados en maceta, un suelo no enriquecido traerá consigo un lento crecimiento, con lo cual se los podrá conservar en maceta durante un período más prolongado. (Alfaro *et al*, 2007; Ballester, 1977; Rzedowki, 2001; García, 2007; Irish y Irish, 2000 y Magallán y Hernández, 2000) (Fig. 5).

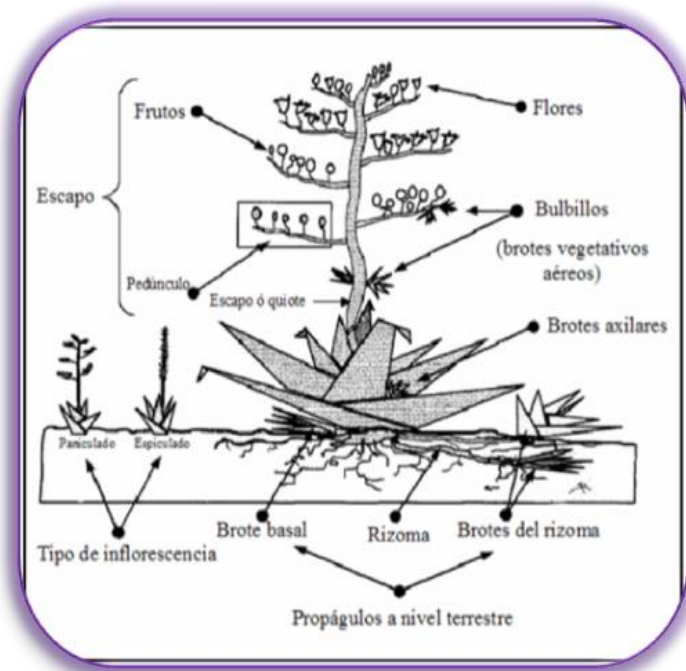


Fig. 5.- Anatomía del agave.

2. 12. Marco jurídico.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, menciona que toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar. Así mismo los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos que es la recolección, traslado, tratamiento y disposición final de residuos.

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

En su Artículo 7.- 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.

El Artículo 137.- Queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento transporte, alojamiento, tratamiento y disposición final de residuos sólidos municipales.

La secretaría expedirá las normas a que deberán sujetarse los sitios, el diseño, la construcción y la operación de las instalaciones destinadas a la disposición final.

La LGEEPA en cuanto a delitos ambientales se refiere en su Capítulo IV a la Prevención y Control de la Contaminación del Suelo.

Artículo 134.- Para la prevención y control de la contaminación del suelo se consideran los siguientes criterios:

- I.- Corresponde al estado y la sociedad prevenir la contaminación del suelo;
- II.- Deber ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos
- III.- Es necesario prevenir y reducir la generación de residuos sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reuso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes.

Artículo 135.- Criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo en los siguientes casos:

- 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.

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
- IV.- Riesgos y problemas a la salud.

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

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, sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para prevenir la contaminación de sitios por el manejo de materiales y residuos, así como definir los criterios a los que se sujetará su remediación (LGPGIR, 2003).

2.12.3 Ley Ambiental del Distrito Federal (LADF).

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

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

Tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos urbanos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia, la selección de los sitios para disposición final.

Así como la construcción y operación de las instalaciones que deberá sujetarse a lo estipulado en las normas oficiales mexicanas y demás ordenamientos jurídicos aplicables (LRSDF, 2003).

2.12.5. Normas Oficiales Mexicanas (NOM).

NOM-083-SEMARNAT-2003. Establece las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura.

Y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial.

NOM-021-SEMARNAT-2000. Tiene por objeto establecer las especificaciones técnicas de muestreo y análisis de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, a partir de sus características específicas de construcción, formación y distribución.

2.12.6. Normas Técnicas Mexicanas (NMX).

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

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

III. ANTECEDENTES.

Se han reportado diversos trabajos los cuales mencionan una serie de metodologías hasta culminar con la implementación de una cubierta vegetal y los usos más comunes que deben tener los sitios de disposición final, tiraderos a cielo abierto y en particular rellenos sanitarios cuando estos llegan a su cierre definitivo. Sin embargo, no hay información acabada sobre el tipo de vegetación que puede llegar a establecerse que presente un crecimiento y desarrollo, sin problemas a las condiciones adversas que se presentan para la recuperación de las cubiertas vegetales para estos casos en específico. Algunos de estos trabajos se mencionan a continuación:

Leone *et al.*, (1980), en un estudio realizado en New Jersey reporta varias especies como tolerantes a las condiciones que se presentan en un vertedero. Estas son *Fraxinus lanceolata*, *Ginko biloba*, *Liquidambar stryacifiua*, *Populus sp*, *Pinus strobus* y *Salix babylonica*.

El Ministerio del Ambiente y Calidad de Vida de Francia (1985), plantea la importancia de ocupar los rellenos sanitarios acabados en parques o campos productivos, para lo cual señala una serie de posibilidades de especies tanto 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. Destacan autores como Purves y McKenzie 1994 o Giordano y Mays 1981, han publicado que un aumento de la absorción de metales pesados como: plomo, cobalto, níquel, cromo y otros, puedan provocar toxicidad en las plantas entrando a la cadena alimentaría afectando a hombre y animales

Taboada (1992), analizando el sustrato del enterramiento controlado Bordo Xochiaca muestra que tiene un comportamiento heterogéneo por la variabilidad y composición de los residuos, siendo este alcalino, extremadamente rico en materia orgánica, Na, K, P, y Pb, no ocurre lo mismo para Ni, Fe, Cu, Zn y Cd cuyas concentraciones son diferentes para cada zona. Las familias mejor representadas son la Gramineae, Solanaceae y Compositae.

Tosh *et al.*, (1994), examinan la eficacia de ectomicorrizas *Laccaria proxima*, *involutus Paxillus* y *Hebeloma crustuliniforme* y el suelo, en plántulas de *Betula pendula* debido a la migración vertical de los gases producidos en un relleno sanitario de Reino Unido.

Dobson y Moffat (1995), hacen una reevaluación acerca de la vegetación que debe emplearse en los vertederos en Reino Unido, incluyen al césped, plantas herbáceas considerando a los árboles inapropiados por la penetración de las raíces a la cubierta del suelo.

Galván (1995), evaluó la concentración de metales en el ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco, y el comportamiento de estos metales en orden de importancia fue el siguiente: Fe 80 kg /tn, Zn 11 kg /tn, Cr 8 kg /tn, Pb 5 kg /tn, Cu 3 kg /tn, Co 0.2 kg /tn, Ni 0.2 kg /tn y Cd 0.3 kg /tn.

Maldonado (1995), revela que en el enterramiento controlado Bordo Xochiaca los análisis físicos y químicos a los lixiviados presentan un pH básico, gran contenido de sólidos disueltos y en suspensión, el contenido de metales pesados (Cd, Cu, Fe, Pb, y Zn) tanto disueltos como totales es alto.

Olaeta *et al.*, (1997), han estudiado el tema en cuanto a la recuperación de la cubierta vegetal en vertederos de Limache, La Feria y Papudo en Chile, señalando que cada uno tiene una solución en particular dadas las condiciones donde se encuentren ubicados estos vertederos. Estos autores reportan especies con mejor desarrollo a *Acacia caven*, *Acacia saligna*, *Acer negundo*, *Eucalyptus globulus*, *Fraxinus exelsior*, *Gaznia, sp.*, *Liquidambar stratiflua*, *Mesembryanthemum sp.*, *Parquinsonia aculeata*, *Robina pseudoacacia*, *Rosa sp.*, y *Schinus molle*.

Ramírez y Salazar (1998), evaluaron las características de especies como: *Malva parviflora* y *Amaranthus hybridus* para la recuperación de la cubierta vegetal en un sitio de disposición final de residuos sólidos denominado enterramiento controlado en Bordo Xochiaca.

García y Murguía (2000), resaltaron la importancia de la caracterización física y química del sustrato del Parque Cuitláhuac así como la evaluación y establecimiento en el sitio de *Senna didymobotrya*. Sugiriéndola como una especie idónea para el Parque.

Misgav *et al.*, (2001), señalan la recuperación de los vertederos en Israel, como espacios abiertos haciendo uso de herbáceas, arbustos y árboles sin mencionar alguna especie en particular.

Nixon *et al.*, (2001), examinan el potencial de producción de biomasa y energía forestal en un vertedero en Reino Unido, restaurado con especies de ciclo corto sauces y álamos, en el sur de Inglaterra, sin embargo señalan que los rendimientos son susceptibles dadas las condiciones del suelo.

Pastor y Hernández (2002), reportan en suelos de antiguos vertederos de la Comunidad de Madrid, que las gramíneas son las más representadas, seguido de leguminosas así como las compuestas cariofiláceas y crucíferas *Anacyclus clavatus*, *Hirschfeldia incana* y *Spergularia rubra* respectivamente y *Lolium rigidum* y *Dactylis glomerata*, frecuentes en la mayoría de los vertederos y substratos.

López y Pérez (2003), determinaron las variables del sustrato que llegan a perjudicar el desarrollo del género *Acacia* y que son comunes a la mayoría de los sitios del Parque Cuitláhuac de Santa Cruz Meyehualco, en la zona de estudio como pH ligeramente ácido a moderadamente alcalino con alto contenido de materia orgánica ya que el sustrato se presenta muy heterogéneo puede introducirse este género en sitios similares.

Rai *et al.*, (2004), evalúan la factibilidad de *Prosopis juliflora* L para la revegetación de vertederos con cenizas, en la India.

Remon *et al.*, (2005), examinaron las características edafológicas y botánicas de un vertedero metalúrgico antiguo en Francia, para evaluar metales pesados y la viabilidad de remediación analizando hojas, tallos y partes de raíces de *Poa compressa*, *Dactylis glomerata*, *Robinia pseudoacacia*, *Elytrigia camprestris* y *Thymus pulegioides*.

Duarte (2005), realizando estudios en el Parque Ecológico Cuitláhuac, sugiere el aumento de la diversidad de especies haciendo uso de *Acacia saligna*, *A. neriifolia*, *A. baileyana*, *A. melanoxylon* y *Aretinoides* presentaron buena resistencia al trasplante y una mayor capacidad de establecimiento en el sitio, recomendándolas para su introducción masiva en las áreas verdes.

De Mei y Di Mauro (2006), reportan a *Ceratonia siliqua*, *Phillyrea latifolia*, *Olea europaea* y *Quercus ilex* las cuales mostraron la capacidad de adaptación favorable. En cuanto a *Hedysarum coronarium*, *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus*, *Rosmarinus officinalis*, *Myrtus communis* y *Viburnum tinus*. *Fraxinus ornus* y *Acer campestre* su respuesta fue satisfactoria dadas las condiciones presentes en vertederos en Puglia al sur de Italia.

Gómez (2008), propone que la introducción de las especies como: *Shinus molle* L., *Populus alba* L., *Ligustrum japonicum thumb.*, y *Fraxinus uhdei* (Wenzi) Linghesh en el Parque Ecológico Cuitláhuac, tomando en cuenta su talla así como la implementación de riego asistido ya que estas resultan ser especies que pueden establecerse en sitios de disposición final de residuos.

Criollo y Hernández (2011), evalúan el establecimiento de *Kalanchoe blossfeldiana*, así como el de *Nerium oleander* y *Tamarix gallica* en un sitio de disposición final post-clausura “Parque Ecológico Cuitláhuac”, que se pueden establecer a las condiciones del sitio en mayor medida *Tamarix gallica* mencionando que la escases de agua es una limitante en la recuperación de la cubierta vegetal.

Chavéz y Ochoa (2011), hacen la determinación de metales pesados en flor, hoja, semilla, tallo y vaina de *Acacia saligna* H. L. Wendl. Flor, fruto y cladodio para *Opuntia ficus-indica* (L) Mill y flor, hoja, y rama para *Tamarix gallica* (L). Reportan en la mayoría de los individuos no se encontró Cd en concentración tóxica en ningún órgano vegetal establecido mientras que el Zn se encuentra en altas concentraciones en todas las estructuras de las especies estudiadas.

Ceja (2011), propone a *Cupressus sempervirens* L., *Ficus benjamina* L., *Ficus retusa* L., *Juniperus chinensis* L., *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L. Para su evaluación y establecimiento en un sitio de disposición de final post-clausura “Parque Ecológico Cuitláhuac”, tomando en cuenta su biología y requerimientos de cada una de las especies elegidas, proporcionando altas posibilidades para la recuperación y diversificación exitosa de la cubierta vegetal en el “Parque Ecológico Cuitláhuac”.

IV. JUSTIFICACIÓN.

Los sitios de disposición final de residuos sólidos representan un problema para la sociedad una vez que estos se clausuran pues contaminan suelo, agua, atmósfera y ofrecen condiciones restrictivas para el establecimiento de una cubierta vegetal, por otra parte existen pocos estudios sobre los efectos que los factores estresantes como lo son temperatura, pH, drenaje y contaminantes que tienen sobre las especies vegetales. En el Parque Ecológico Cuitláhuac, se encuentra un suelo muy heterogéneo tanto horizontal como verticalmente, las condiciones que se presentan en la columna de basura resultan ser una limitante importante para el establecimiento de diversas especies vegetales.

En 2003 se hace una introducción extensa de individuos del género *Agave*, se ha observado que los agaves resisten las condiciones presentes del suelo, en el Parque Ecológico Cuitláhuac, crecen y se reproducen. Ya que no existen reportes en los que se haya investigado el efecto de dichas condiciones sobre las especies del género *Agave*. En este estudio se evaluó el desarrollo del género *Agave* en el ambiente edáfico que le ofrece el sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura del Parque Ecológico Cuitláhuac.

V. HIPÓTESIS.

Si el género *Agave* es resistente a condiciones de suelos someros, elevadas temperaturas, salinidad y baja disponibilidad de agua, entonces presentará un desarrollo exitoso a mediano y largo plazo en las diferentes áreas verdes en el sitio de disposición final post-clausura del Parque Ecológico Cuitláhuac. Donde las condiciones físico-químicas del Tecnosol pueden ser similares a las de su ambiente natural.

VI. OBJETIVOS.

6.1. Objetivo general.

Caracterizar física y químicamente el ambiente edáfico donde se desarrolla el género *Agave* en el sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura Parque Ecológico Cuitláhuac.

6.2. Objetivos particulares.

Identificar las especies del género *Agave* presentes en la zona de estudio.

Evaluar las características dasonómicas del género *Agave* presente en un sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura Parque Ecológico Cuitláhuac.

Realizar un censo actual de los individuos del género *Agave*.

Comparar las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico con el desarrollo del género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

VII. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.

7.1. Localización Geográfica.

El extiradero de Santa Cruz Meyehualco, actualmente llamado “Parque Recreativo Cuitláhuac” 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°21’00” latitud norte y los meridianos 99°06’00” longitud oeste. Colinda al norte con terreno de Propiedad Federal, al Sur con la Unidad Habitacional Santa Cruz Meyehualco, al oriente con la Avenida Guelatao de la colonia Santa María Aztahuacán y al Poniente con la calle Carlos L. Grávidas de la Unidad Habitacional Vicente Guerrero. Se encuentra a una altitud de 2240 msnm y su extensión actual es de 1, 481,188 m² (www.elclima.com.mx/iztapalapa.htm,_2009) (Fig. 6).

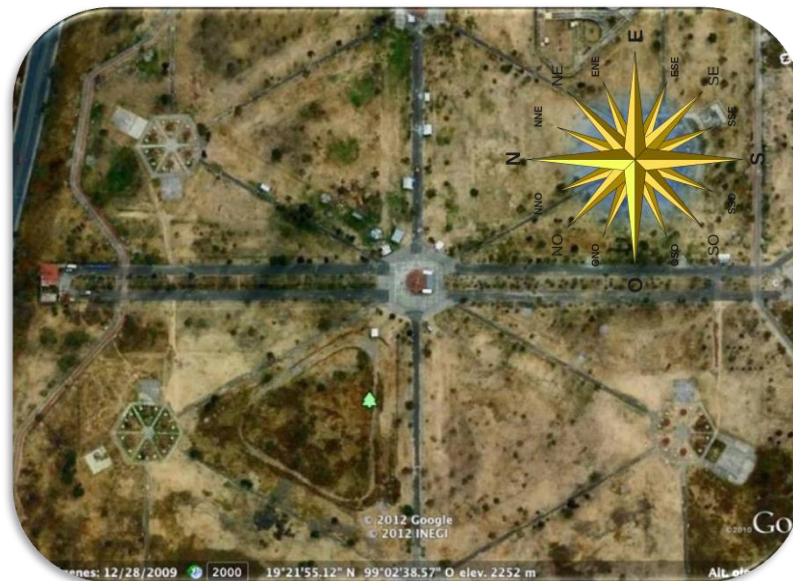


Fig. 6.- Imagen satelital del Parque Ecológico Cuitláhuac.

VIII. MÉTODO.

La metodología empleada en la realización de este trabajo se dividió en tres fases: Gabinete la cual consistió en la revisión de la literatura especializada para fundamentar la investigación tanto en la parte teórica como en la parte práctica; Campo en esta fase se ubico la zona de estudio, los lugares de muestreo de suelo y recolecta de material biológico; Laboratorio parte del método en la cual se desarrolla la parte experimental, herborización de material biológico, análisis de suelo y por último el procesamiento de los resultados para los análisis estadísticos.

8.1. Fase de campo.

8.1.1. Muestreo de suelo.

Se realizaron recorridos por toda el área del Parque Ecológico Cuitláhuac y se seleccionó la zona norte en particular para el desarrollo de este trabajo en virtud de ser esta en la que se encuentra el 100 % de la población del género *Agave*. Con el fin de estudiar la relación suelo-planta para las especies de este género en el área de estudio se hizo un muestreo en zig-zag, a lo largo del área de distribución de las especies del género. El espesor de suelo que fue muestreado en cada uno de los puntos fue de 30 cm, se determino en función de la profundidad del sistema radical que presentan estas especies. Se establecieron nueve puntos en donde se desarrollan las especies en estudio y fueron tomadas muestras simples, las cuales se trasladaron al Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES-Zaragoza C-II.

8.2. Localización de los individuos del género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

En virtud que este género está bien representado en el área se decidió hacer recorridos por la zona y con base en la información recabada por la Directora de este trabajo sobre estos especímenes se eligió a este género para estudiar la relación suelo-planta en el sitio. Se hicieron recorridos por toda el área del Parque Ecológico Cuitláhuac.

Se seleccionó la zona norte en particular para el desarrollo de este trabajo en virtud de ser esta en la que se encuentra el 100 % de la población del género *Agave*. Se georeferenciaron cinco puntos de la zona donde se desarrollan las diferentes especies de agaves mediante un GPS marca Sportrak Map, MAGELLAN, así mismo se realizó el muestreo de suelo y se ubicaron las diferentes especies de agaves para su recolecta (Fig. 7).



Fig. 7.- Ubicación de puntos de georreferencia, muestreo de suelo y recolecta de material vegetal.

Zonas donde se desarrollan individuos del género *Agave*.

▲ Puntos de Georreferencia.

COORDENADAS

Latitud	Longitud	Altitud
19°22'05"	099°02'35"	2246msnm
19°22'06"	099°02'35"	2250msnm
19°22'19"	099°02'33"	2246msnm
19°22'19"	099°02'33"	2246msnm
19°22'14"	099°22'34"	2246msnm

Sitios de muestreo.

Sitios de ubicación de especies	
✱	<i>Agave americana</i>
✱	<i>Agave atrovirens</i>
✱	<i>Agave inaequidens</i>
✱	<i>Agave mapisaga</i>
✱	<i>Agave salmiana</i>

8.2.1. Recolecta de material vegetal.

Una vez localizados los individuos del género *Agave* se seleccionaron con base a sus diferencias morfológicas entre ellos como forma de la roseta, tamaño de la roseta, forma de la hoja, forma de las espinas y color de la hoja. Con base a este criterio, se tomaron fotografías y se recolectó material biológico necesario para su identificación el cual consistió en seleccionar las pencas que estas estuvieran completas y que no presentaran daños, se cortaron las pencas desde la base del agave y posteriormente fueron trasladadas al Laboratorio de Contaminación Atmosférica de la FES-Zaragoza C-II (Figs. 8 y 9).



Fig. 8.- Recolecta de material vegetal



Fig.9.- Pencas colectadas para su herborización e identificación.

8.2.2. Evaluación de las características de las especies del género *Agave*.

A cada uno de los individuos se le midió altura con flexómetro y se midieron los diámetros de la roseta para calcular la cobertura, color por medio de Tablas Munsell para vegetación (NADF-006-RNAT-2004, Munsell, 1977 y Osorio, 1996) (Figs. 10 y 11).



Fig. 10.- Medición de altura.



Fig. 11.- Color de hoja por tablas Munsell de vegetación.

8.2.3. Censo actual de los individuos del género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Se realizó el censo en el camellón y las áreas paralelas a él, donde se establecen la mayoría de las poblaciones del género *Agave*; (Fig. 12). En el censo practicado en 2005 se reporta la presencia del género *Agave* como un componente de la vegetación introducida en el sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura Parque Ecológico Cuitláhuac (Cuadro 1).



Fig. 12.- Áreas donde se llevo a cabo el censo de los individuos del género *Agave*.

8.3. Fase de laboratorio.

8.3.1. Análisis físico del Tecnosol.

La caracterización del suelo se empezó con el acondicionamiento de la muestra, secado a temperatura ambiente y pasado por un tamiz de malla número 2mm. Se analizaron nueve muestras simples por duplicado se realizaron los parámetros: color en seco y húmedo por Tablas Munsell, textura por el método de Bouyoucus y conductividad eléctrica ($CE_{25^{\circ}C}$) relación 1:2, con un conductímetro marca HANNA. (Ruiz y Ortega, 1979; Ríos, 1985; Munsell, 1992; Muñoz *et al.*, 2000; NOM-021-RECNAT-2001) (Figs. 13 y 14).



Fig. 13.- Color del suelo (Munsell, 1992).

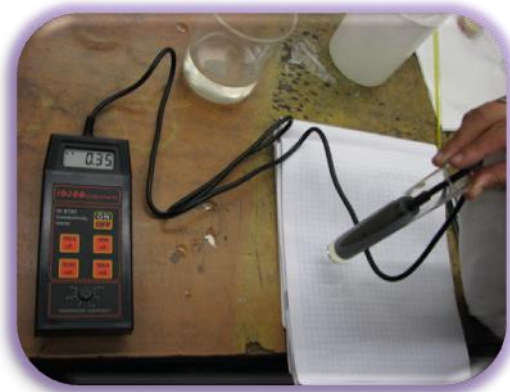


Figura. 14.- Conductividad eléctrica relación 1:2 (NOM-021-RECNAT-2001).

8.3.2. Análisis químico del Tecnosol.

Se determinaron por duplicado: Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) por el método del $CaCl_2$ 1N pH7, % materia orgánica (% MO) por vía húmeda método de Walkley y Black, pH método potenciométrico relación 1:1 empleando un potenciómetro (Ruiz y Ortega, 1979; Palmer, 1980; Ríos, 1985; Muñoz *et al.*, 2000; NOM-021-RECNAT-2001) (Fig. 15).



Fig. 15.- % Materia orgánica método de Walkley y Black.

8.3.3. Nutrientes extractables.

La determinación se llevó a cabo en el Laboratorio de Absorción Atómica de la FES-Zaragoza C-II, con un espectrofotómetro marca Varian modelo SPECTRAA 200 (Fig. 16).



Fig. 16.- Espectrofotómetro de absorción atómica.

La extracción fue con acetato de amonio 1N pH 7.0 (Galvan y Zapata, 2004). Por emisión atómica de flama potasio y sodio aire/acetileno, por absorción atómica de flama magnesio aire/acetileno y calcio con óxido nitroso/acetileno. Se realizó el análisis de las nueve muestras por duplicado (Fig. 17).

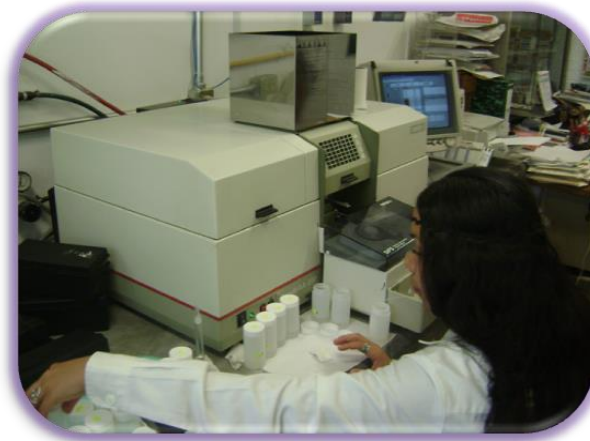


Fig. 17.- Lectura de nutrimentos.

8.3.4. Metales pesados.

La determinación se llevó a cabo en el Laboratorio de Absorción Atómica de la FES-Zaragoza C-II, con un espectrofotómetro marca Varian modelo SPECTRAA 200. El análisis realizó con acetato de amonio 1N pH 7.0 (Galvan y Zapata, 2004). Por absorción atómica de flama aluminio tipo de flama óxido nitroso/acetileno, cadmio aire/acetileno, cromo aire/acetileno, cobre aire/acetileno, hierro aire/acetileno, plomo aire/acetileno, selenio óxido nitroso/acetileno y zinc aire/acetileno, se realizó el análisis de las nueve muestras por duplicado (NOM-021-RECNAT-2001; Galván y Zapata, 2004) (Fig. 18).



Fig. 18.- Lectura de metales pesados.

8.4. Herborización del material vegetal.

Se colocaron cada una de las hojas recolectadas de las diferentes especies en la mesa de trabajo con el haz hacia abajo, dejando expuesto el envés de este modo se realizó un corte longitudinal para extraer la pulpa y fibras teniendo cuidado para no maltratarlas, posteriormente se le aplicó borato de sodio y sal para ayudar al secado hasta su deshidratación total de la penca, posteriormente se prensaron, y en seguida fueron llevadas al cuarto de secado del Herbario FES-Zaragoza C-II. Por último se trasladaron al Jardín Botánico de Ciudad Universitaria, junto con las fotografías para su identificación (Figs. 19).



Fig. 19.- Herborización del material vegetal.

8.5. Identificación de las especies del género *Agave* presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

La identificación se realizó en el Jardín Botánico del Instituto de Biología bajo la asesoría del Dr. Abisaí García Mendoza con la ayuda de las fotografías y material herborizado (Fig. 20). La escritura del nombre de las especies se realizó con base en el The International Plants Index, www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do.



Fig. 20.- Fotografías tomadas para identificación.

8.6. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Se realizó un análisis estadístico multivariado Cluster usando el programa IBM SPSS Statistics 19, para comparar las propiedades físicas y químicas del suelo y su relación con el género *Agave*, utilizando las variables de $CE_{25^{\circ}C}$, textura, CIC, % MO, pH, Nutrientos extractables y Metales pesados (Pérez, 2000).

IX. RESULTADOS.

9.1. Caracterización física y química del Tecnosol.

Debido a que el suelo es heterogéneo, en el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos del análisis físico iniciando por el color del suelo en seco predominando el café grisáceo oscuro, en húmedo café muy oscuro, una conductividad eléctrica que señala un suelo no salino y presenta en su mayoría una clase textural franco predominando el porcentaje de arena y limo. Los criterios de clasificación en cuanto a $CE_{25^{\circ}C}$ (Anexo 5).

Cuadro 1.- Propiedades físicas del Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.

SITIO	COLOR SECO	COLOR HUMEDO	$CE_{25^{\circ}C}dSm^{-1}$	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE TEXTURAL
1	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.55	63.2	29.28	7.52	MIGAJON ARENOSO
2	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.38	53.2	27.28	19.52	MIGAJON ARENOSO
3	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	2.22	44.2	41.28	14.52	FRANCO
4	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.31	42.2	40.28	17.52	FRANCO
5	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	1.54	43.2	10.52	46.28	FRANCO
6	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.70	48.2	43.28	8.52	FRANCO
7	10 YR 4/2 CAFÉ GRISACEO OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.88	48.48	39.28	12.24	FRANCO
8	10 YR 3/3 CAFÉ OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.73	51.48	31.28	7.52	MIGAJON ARENOSO
9	10 YR 3/3 CAFÉ OBSCURO	10 YR 2/2 CAFÉ MUY OBSCURO	0.70	50.48	30.28	19.52	FRANCO

Cuadro 1.- Color de suelo por tablas Munsell, CE relación 2:1, Textura por Bouyoucus (Ruiz y Ortega, 1979; Ríos, 1985; Muñoz *et al.*, 2000; NOM-021-RECNAT-2001).

En los diferentes sitios se obtuvo en general una CIC alta, presentan en su mayoría muy alto porcentaje de materia orgánica, en cuanto al pH se encuentra de medianamente alcalino a neutro.

Cuadro 2. Propiedades químicas del Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.

SITIO	CIC. (Cmol(+))kg ⁻¹	% MO	pH
1	25.64	8.42	7.50
2	27.88	8.22	7.17
3	28.44	4.92	7.55
4	28.04	4.23	7.74
5	32.18	6.58	7.43
6	27.94	6.72	7.51
7	27.28	6.41	7.20
8	27.94	9.34	7.76
9	27.36	8.80	7.04

Cuadro 2.- CIC Método del cloruro de calcio, % MO Método de Walkley y Black y pH relación 1:1 Método potenciométrico. (Ruiz y Ortega, 1979; Ríos, 1985; Muñoz *et al.*, 2000; NOM-021-RECNAT-2001).

9.2. Nutrimientos extractables.

Se presentan las concentraciones de nutrimentos extractables del Tecnosol en los nueve sitios de muestreo, las cuales corresponden por orden decreciente: calcio, seguido de magnesio y potasio que muestran un ligero comportamiento homogéneo en los sitios de muestreo, en cuanto a la concentración de sodio el comportamiento es heterogéneo (Fig. 21).

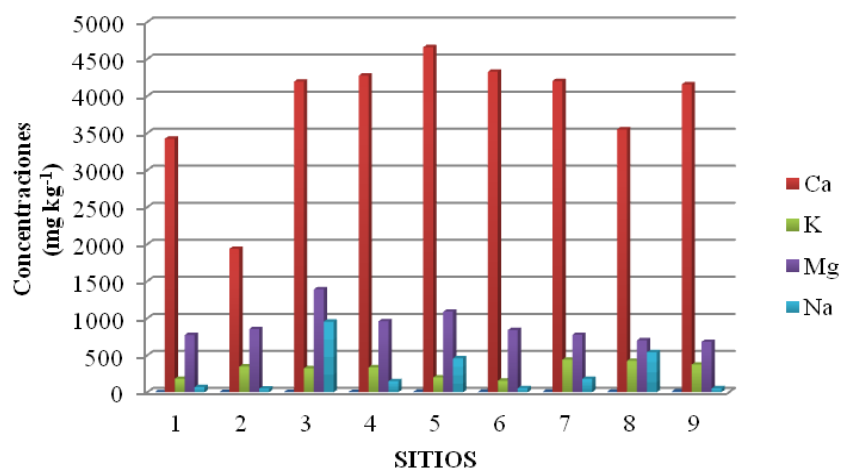


Fig. 21.- Concentración de Ca, K, Mg y Na en el Tecnosol.

Cuadro 3.- Concentración promedio de Ca, K, Mg y Na (mg kg^{-1}) en el Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.

Sitio	Ca	K	Mg	Na
1	3423.6	180.20	772.6	69.36
2	1935.7	346.65	853.01	49.45
3	4194.17	324.48	1390.2	952.40
4	4276.24	337.02	959.09	149.96
5	4659.28	200.10	1087.53	458.04
6	4328.36	155.76	839.26	55.49
7	4201.45	440.87	773.53	180.81
8	3549.15	424.99	701.22	539.84
9	4157.01	373.50	679.84	52.53

9.3. Metales pesados.

Se presentan las concentraciones de metales pesados en el Tecnosol en los nueve sitios de muestreo, por orden descendente están: aluminio presenta una tendencia ascendente hasta el sitio 6 y posteriormente hay un declive, manganeso, cromo, plomo estos elementos exhiben un comportamiento similar, selenio muestra una ligera variación en los sitios 7 y 9, zinc, hierro, cobre y cadmio de igual manera ostentan la misma tendencia (Figs. 22 - 24).

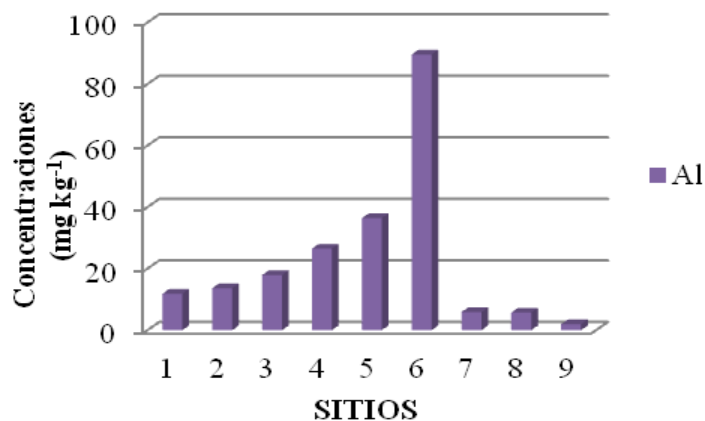


Fig. 22.- Concentración de Al en el Tecnosol.

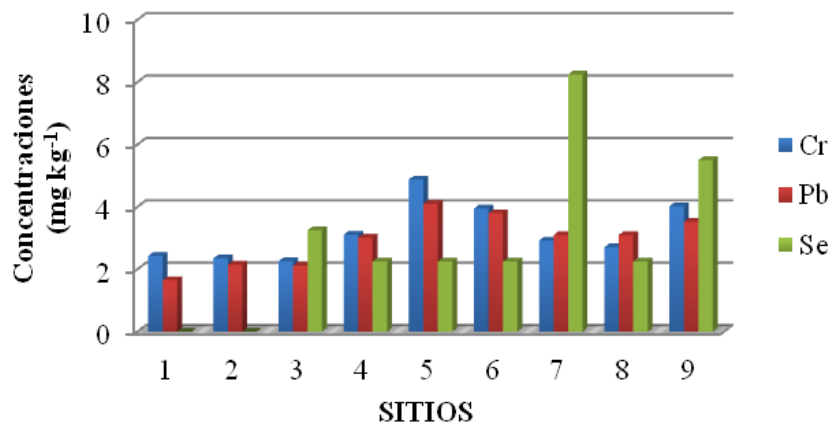


Fig. 23.- Concentración de Cr, Pb y Se en el Tecnosol.

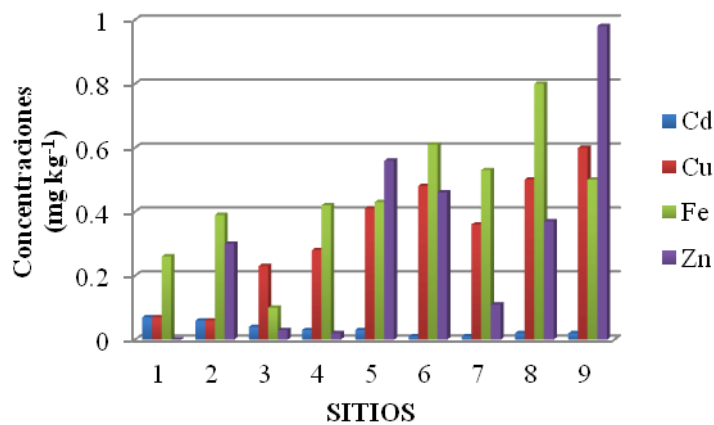


Fig. 24.- Concentración de Cd, Cu, Fe y Zn en el Tecnosol.

Cuadro 4.- Concentración promedio de Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn (mg kg⁻¹) en el Tecnosol del Parque Ecológico Cuitláhuac.

Sitio	Al	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Se	Zn
1	11.85	0.07	2.43	0.07	0.26	15.77	1.65	ND	ND
2	13.65	0.06	2.35	0.06	0.39	19.14	2.15	ND	0.3
3	17.92	0.04	2.26	0.23	0.1	16.28	2.12	3.25	0.03
4	26.5	0.03	3.11	0.28	0.42	12.31	3.02	2.25	0.02
5	36.4	0.03	4.88	0.41	0.43	21.72	4.1	2.25	0.56
6	89.6	0.01	3.95	0.48	0.61	17.43	3.8	2.25	0.46
7	5.9	0.01	2.92	0.36	0.53	17.41	3.1	8.25	0.11
8	5.72	0.02	2.71	0.5	0.8	14.23	3.1	2.25	0.37
9	1.95	0.02	4.02	0.6	0.5	18.48	3.52	5.5	0.98

9.4. Especies del género *Agave* presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Se identificaron cinco poblaciones a las cuales pertenecen las siguientes especies: *Agave americana* L., *Agave atrovirens* Karw. Ex Salm-Dyck., *Agave inaequidens* K. Koch., *Agave mapisaga* Trel., *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. Y otras no lograron ser identificadas, una por presentar cambios morfológicos y otras por la carencia de estructuras requeridas para su determinación lo cual dificultó su identificación, quedando solo en género *Agave* sp. A continuación se muestran en orden alfabético cada una de las cinco especies identificadas. Anexo 7.

9.4.1. *Agave americana* L.

En el Parque Ecológico Cuitláhuac podemos encontrar para esta especie individuos con rosetas grandes que van de 1.72-1.85 m de alto, 2.40-2.60 m² de cobertura, presentan tallos cortos. Las hojas lanceoladas, angostas hacia la engrosada base, planas, cóncavas y un color verde glauco presentan buen vigor (Fig. 25).



Fig. 25.- *Agave americana* L.

9.4.2. *Agave atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck.

Esta especie cuenta con alturas que van de 1.55-2.34 m coberturas de 2.10-3.20 m², su tallo es corto, las hojas son lanceoladas gruesas y angostas cerca de la base, y se distribuyen muy juntas en torno al tallo de color verde oscuro presentan buen vigor (Fig. 26).



Fig. 26.- *Agave atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck.

9.4.3. *Agave inaequidens* K. Koch.

Esta especie cuenta con alturas que van de 1.10-1.63 m y una cobertura de 1.47-3.49 m², de tallo corto, hojas oblanceoladas la parte superior cóncava, gruesas-carnosas presentando un color verde-glaucoso presentan buen vigor (Fig. 27).



Fig. 27.- *Agave inaequidens* K. Koch.

9.4.4. *Agave mapisaga* Trel.

Esta especie presenta alturas que van de 1.30-3.38 m y una cobertura de 2.45-6.55 m², sus tallos son cortos, presenta reproducción sexual y asexual debió a sus abundantes hijuelos, sus hojas son lineares-lanceoladas, su base es muy gruesa y carnosa, tienen un color glauco pálido con bandas, presentan buen vigor (Fig. 28).



Fig. 28.- *Agave mapisaga* Trel.

9.4.5. *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Estas especies muestran rosetas que van de 1.10-2.69 m de altura y una cobertura de 2.18-5.54 m², sus hojas son lineares-lanceoladas, carnosas y rígidas su color es verde-glaucos, presentan buen vigor (Fig. 29).



Fig. 29.- *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.

Debido a que un ejemplar mostro cambios en su morfología, forma de la roseta, coloración, forma y tamaño de las hojas así como sus espinas y otros presentaron daño por consecuencia de la poda inadecuada o vandalismo no fue posible su identificación hasta especie (Figs. 30 - 32).



Fig. 30.- Modificación morfológica.

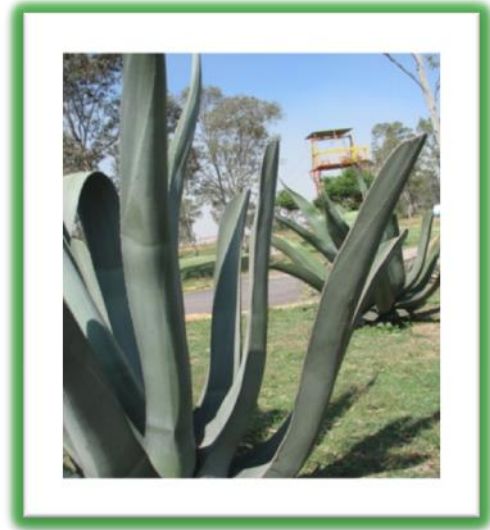


Fig. 31.- Poda inadecuada.



Fig. 32.- Daño por vandalismo

9.5. Evaluación de las características de las especies del género *Agave*.

Los resultados son el promedio de altura y cobertura de cada una de las especies censadas, así como el vigor y color que presentan en el Parque Ecológico Cuitláhuac. Cuadro 5. Criterios de vigor Anexo 1. De los agaves, que fueron introducidos en 2003, solo se tiene un censo general (Duarte, 2005) no se cuenta con información que indique en qué estado se encontraban estos individuos, de aquí la necesidad de evaluar su condición actual.

A mapisaga es la especie de mayor talla seguida de *A salmiana* todos los individuos están vigorosos, por sus cualidades estos dos especies se recomiendan para sitios de disposición final de residuos sólidos.

Cuadro 5.- Evaluación de las características de los agaves presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Especie	Altura (m)	Cobertura (m ²)	Vigor	Color
<i>Agave americana</i> L.	1.79	2.45	Bueno	7.5 GY 5/4 Verde glauco
<i>Agave atrovirens</i> Karw. Ex Salm-Dyck.	1.84	2.78	Bueno	7.5 GY 4/4 Verde oscuro
<i>Agave inaequidens</i> K. Koch.	1.36	1.86	Bueno	7.5 GY 6/2 Gris glauco
<i>Agave mapisaga</i> Trel.	2.05	3.99	Bueno	2.5 GY 6/2 Glauco pálido
<i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck.	1.96	2.88	Bueno	7.5 GY 4/4 Verde glauco

9.6. Censo actual de los individuos del género *Agave* en el “Parque Ecológico Cuitláhuac.

A continuación se muestra el número de especies identificadas y las no identificadas, donde la especie más abundante fue *Agave mapisaga* con una población del 45%, seguida por *Agave salmiana* con una población del 36% y la menos abundante *Agave inaequidens* con el 1%. En el censo de 2005 realizado por Duarte la población de incluía 288 individuos, actualmente la población consta de 232 individuos, es decir la sobrevivencia es de 80.5% (Fig. 33).

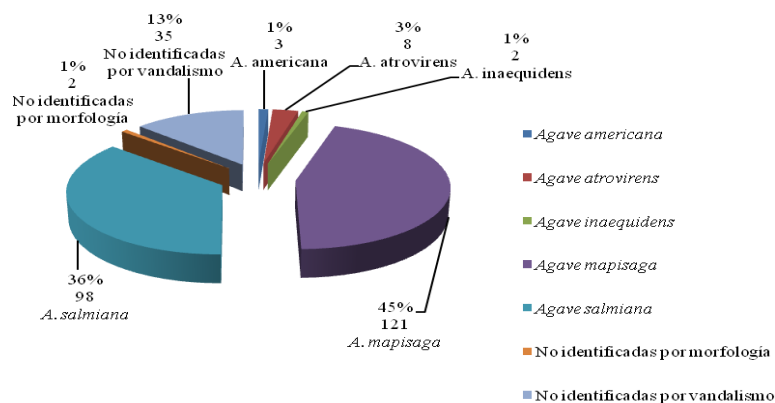


Fig. 33.- Censo de las especies del género *Agave*.

9.6.1. *Agave americana*.

Especie representada por 3 individuos, los cuales se ubican en los sitios 2 y 3 del muestreo del suelo. El primero de 1.80 m de altura y 2.35 m² de cobertura, el segundo de 1.85 m de altura y 2.60 m² de cobertura, siendo éste el de mayor tamaño; en cuanto al tercero de 1.72 m de altura y 2.40 m² de cobertura. A continuación se observan las alturas y coberturas de cada una de los individuos (Figs. 34 y 35).

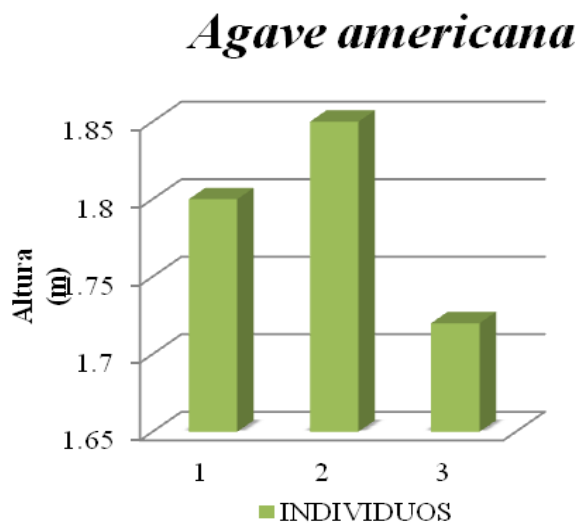


Fig. 34.- Alturas de los individuos de *A americana*.

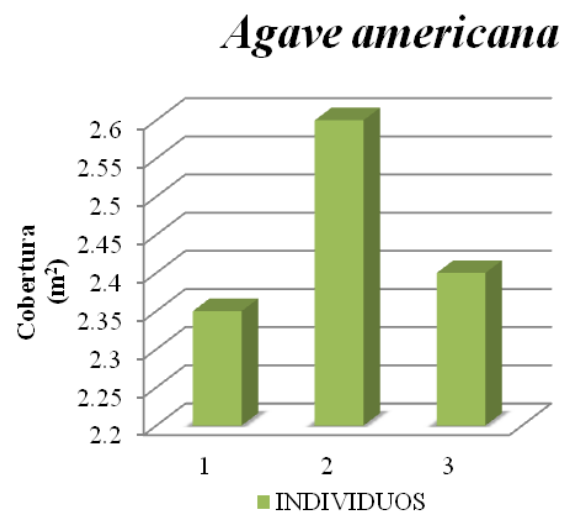


Fig. 35.- Coberturas de los individuos de *A americana*.

9.6.2. *Agave atrovirens*.

Especie representada por 8 individuos los cuales se ubican en los sitios 6, 7 y 8 del muestreo de suelo. El individuo de mayor altura 2.34 m y cobertura 3.20 m² el individuo que presenta menor altura 1.55 m y cobertura 2.10 m². A continuación se observan las alturas y coberturas de cada uno de los individuos (Figs. 36 y 37).

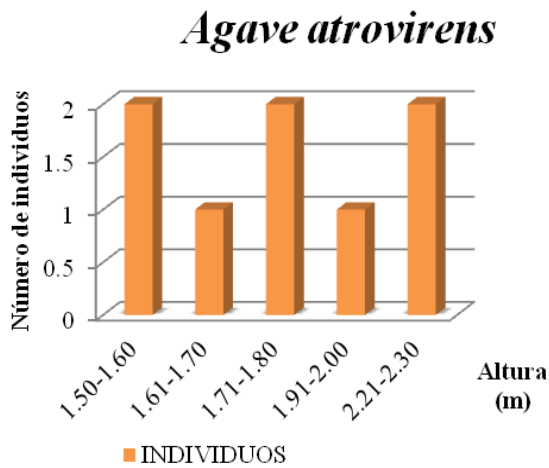


Fig. 36.- Alturas de los individuos de *A atrovirens*.

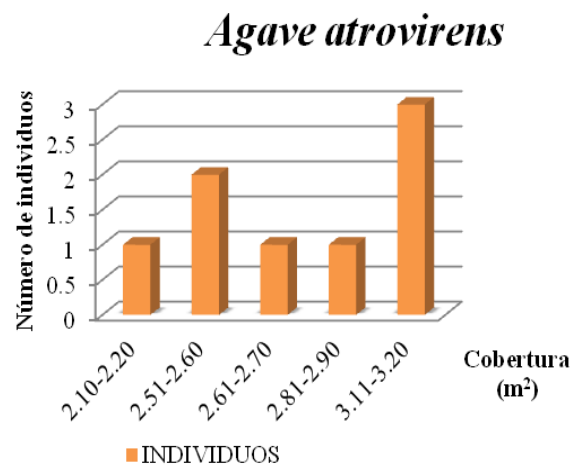


Fig. 37.- Coberturas de los individuos de *A atrovirens*.

9.6.3. *Agave inaequidens*.

Especie representada solo por dos ejemplares, ubicados en el sitio 1 del muestreo de suelo. El primero cuya altura de 1.63 y cobertura 2.25 m², el segundo con una altura de 1.10 m y cobertura de 1.47 m. A continuación se observan las alturas y coberturas de cada una de los individuos (Figs. 38 y 39).

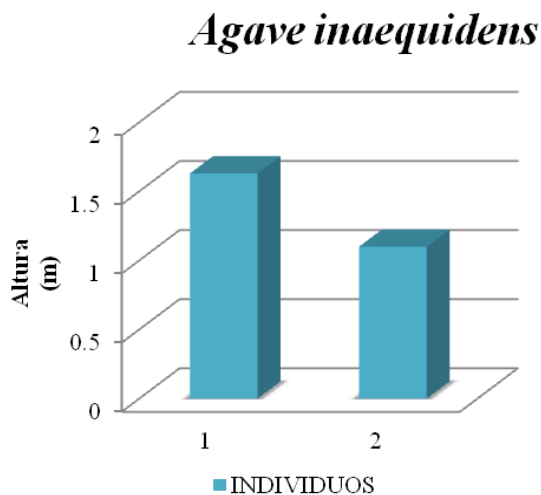


Fig. 38.- Alturas de los individuos de *A inaequidens*.

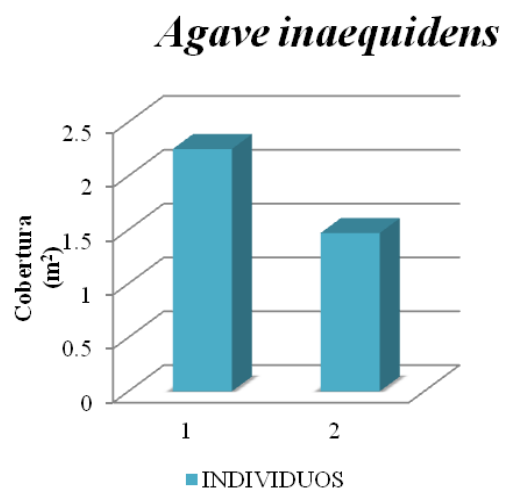


Fig. 39.- Coberturas de los individuos de *A inaequidens*.

9.6.4. *Agave mapisaga*.

La especie más abundante del lugar con 121 individuos, estas se ubican en los sitios 4, 5, 6, 7 y 8 del muestreo de suelo. El individuo de mayor altura 3.38 m y cobertura 6.55 m² en cuanto al de menor altura 1.30 m y cobertura 2.45 m². A continuación se observan las alturas y coberturas de cada una de los individuos (Figs. 40 y 41).

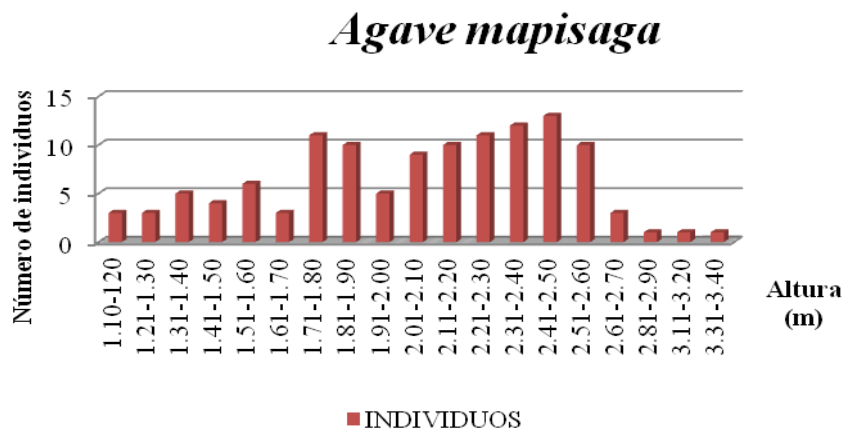


Fig. 40.- Alturas de los individuos de *A mapisaga*.

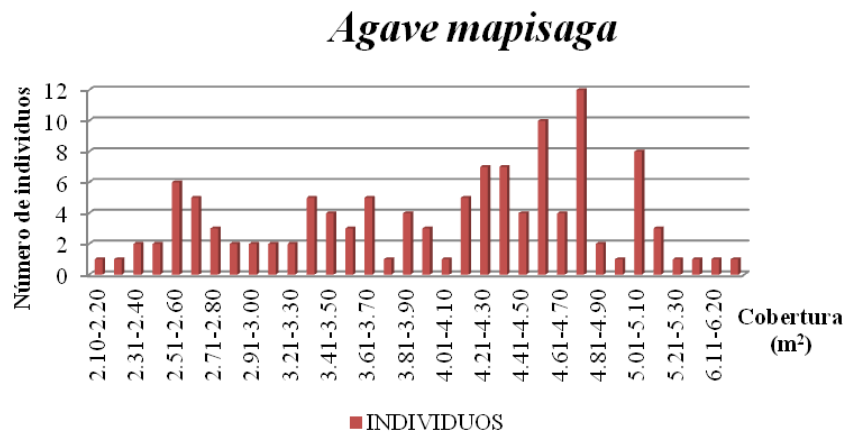


Fig. 41.- Coberturas de los individuos de *A mapisaga*.

9.6.5. *Agave salmiana*.

Esta especie es la segunda más representativa del lugar con 98 ejemplares, estos se ubican en los sitios 5, 6, 7, 8 y 9.

El individuo de mayor altura 2.96 m y cobertura 5.54 m² y el de menor altura 1.54 m y cobertura 3.08 m². A continuación se observan las alturas y coberturas de cada una de los individuos (Figs. 42 y 43).

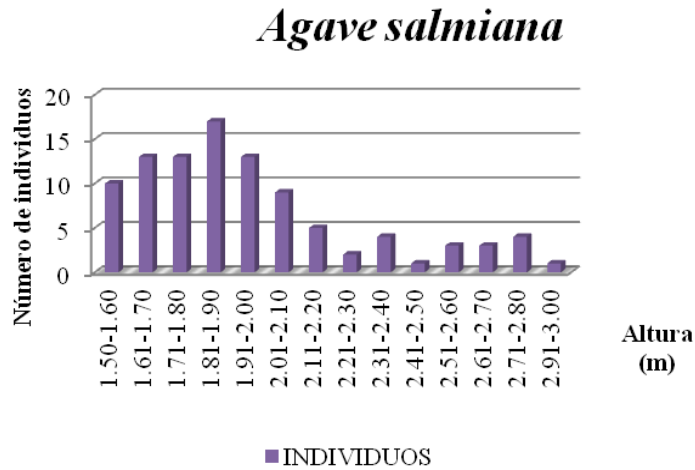


Fig. 42.- Alturas de los individuos de *A salmiana*.

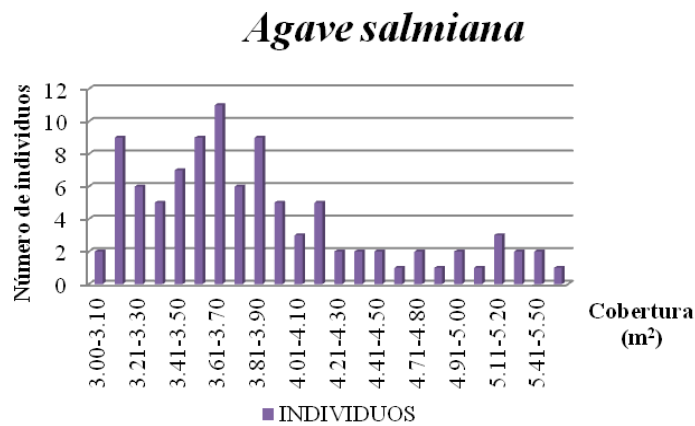


Fig. 43.- Coberturas de los individuos de *A salmiana*.

9.7. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Se tomaron en cuenta las variables de los parámetros físicos como conductividad eléctrica y textura; de los parámetros químicos se tomaron capacidad de intercambio catiónico, % de materia orgánica y pH con respecto a los 9 sitios de muestreo y los agaves presentes.

El primer grupo está conformado por los sitios 2 - 9 en los cuales se encuentran las especies *A. americana* y *A. salmiana*, el segundo grupo los sitios 6 - 7 se localizan *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* el tercer grupo los sitios 1 - 8 se sitúan *A. atrovirens*, *A. inaequidens* y *A. salmiana* (Fig. 44).

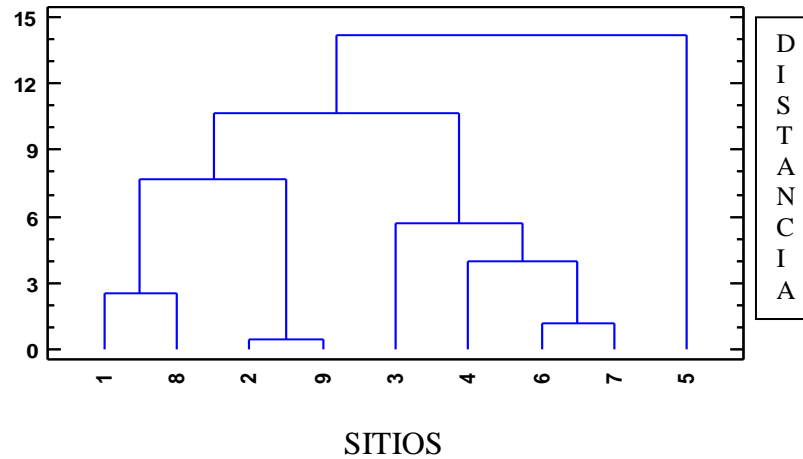


Fig. 44.- Parámetros físico-químicos y los sitios.

En este caso las variables utilizadas corresponden a los nutrimentos Ca, K, Mg y Na; contra los diferentes sitios de muestreo y los agaves presentes. El primer grupo similar los sitios 7 - 9 se encuentran *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*; en el segundo grupo los sitios 1 - 6 se localizan *A. atrovirens*, *A. inaequidens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (Fig. 45).

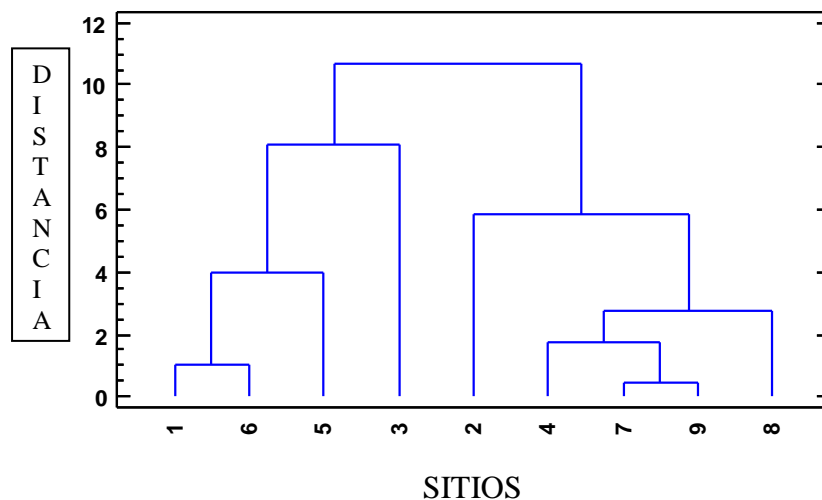


Fig. 45.- Nutrimentos y los sitios.

En el siguiente cluster se manejaron las variables que conciernen a metales pesados Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn; respecto a los diferentes sitios de muestreo y los agaves presentes. El primer grupo los sitios 3 - 4, se localizan *A. americana* y *A. mapisaga*, en el segundo grupo los sitios 5 - 9 se encuentran *A. mapisaga* y *A. salmiana*, por último en los sitios 7 - 8 se sitúan *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (Fig. 46).

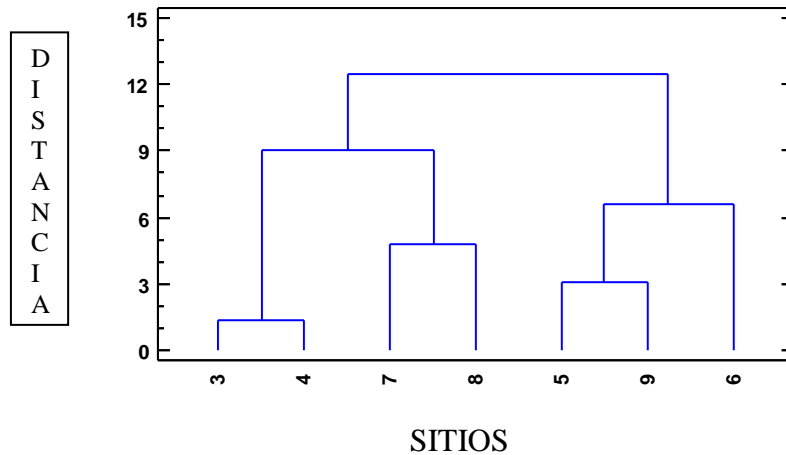


Fig. 46.- Metales pesados y los sitios.

En este Cluster, se relacionan todas las variables del análisis de suelo: conductividad eléctrica, textura, capacidad de intercambio catiónico, % de materia orgánica, pH, Ca, K, Mg, Na, Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Se y Zn con los diferentes sitios de muestreo y los agaves presentes. El primer grupo está conformado por los sitios 7 - 9 ahí se encuentran las siguientes especies *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*, en el segundo grupo lo integran los sitios 3 - 4 en el cual se localizan *A. americana* y *A. mapisaga* (Fig. 47).

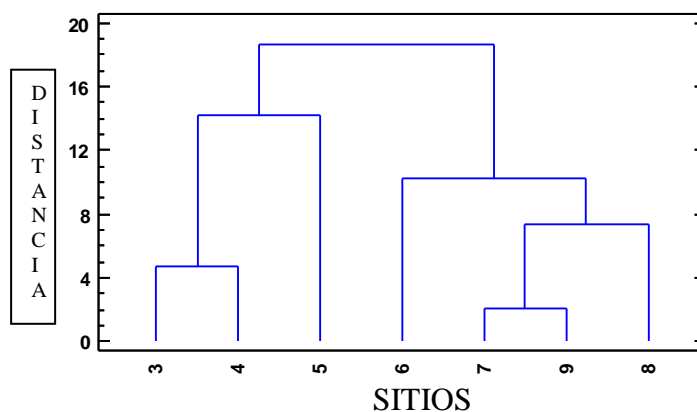


Fig. 47.- Físico-químicos, nutrientes, metales y los sitios.

IV. DISCUSIÓN.

10.1. Caracterización física y química del suelo.

10.1.2. Color del suelo.

El color del suelo predominante en el área de estudio es café grisáceo oscuro (10 YR 4/2) también se encuentra el café oscuro (10 YR 3/3) (Cuadro 1). Sin embargo Sánchez (1981) menciona que los agaves prosperan en suelos de color rojo. Dada la composición del suelo en algunas otras zonas del Parque Ecológico Cuitláhuac, el color del Tecnosol al compararlo con los diferentes autores es el siguiente: García y Munguía (2000) reportan colores de grises hasta marrones muy oscuros; para López y Pérez (2003) las tonalidades del suelo van de negro a café grisáceo muy oscuro y grises muy oscuros; Duarte (2005) obtiene grises a pardos predominando los grises oscuros y grises muy oscuros; por otra parte Gómez (2008) reporta que el color del suelo va de café claro hasta café oscuro; no obstante Ceja (2011) obtiene en su mayoría tonalidades café así como café grisáceo y café muy oscuro. Esto se debe generalmente a la cantidad de materia orgánica aportada por la vegetación que se desarrolla en el sitio, ya que esta imprime un color gris, gris oscuro o café oscuro a los suelos a menos que otros constituyentes como el óxido de hierro y la acumulación de sales modifiquen el color (Aguilera, 1989; Foth, 1980; Ortiz, 1990).

10.1.3. Conductividad eléctrica (CE).

El suelo en el cual se desarrollan las diferentes especies del género *Agave* de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, presenta un efecto despreciable de salinidad, muy ligeramente salino y moderadamente salino, sin embargo, Muñoz *et al.*, 2000 lo reporta como no salino y poco salino (Anexo 4). No obstante García y Munguía (2000); López y Pérez (2003); Duarte (2005) y Ceja (2011) han reportado para diversas áreas del Parque Ecológico Cuitláhuac que el suelo tiene muy bajas concentraciones de salinidad según la NOM-021-RECNAT-2000. Sánchez (1981) reporta que el género *Agave* son relativamente sensibles a la salinidad, sobre todo en estado juvenil.

Debido a la baja conductividad eléctrica presente en la zona de estudio esta no representa daño para el desarrollo y crecimiento de las especies del género *Agave* que se encuentran establecidas en el Parque Ecológico Cuitláhuac. Cuadro 1.

10.1.4. Textura.

En el lugar de estudio la clase textural predominante es franco este suelo contiene una mezcla relativamente equilibrada de arena, de limo y arcilla, también se encuentra la clase textural migajón arenosa que contiene arena con suficiente limo y arcilla para conferirle un poco de cohesión. (Aguilera, 1989), Sin embargo, se observa que las características texturales en el sitio de arena, limo y arcilla es heterogéneo debido al origen del Tecnosol Cuadro 1. En otras áreas del Parque Ecológico Cuitláhuac; Duarte (2005) reporta una clase textural migajón-arenosa; Gómez (2008), Criollo y Hernández (2011) la clase textural que reportan es migajón-arcillo-arenoso y arena migajonosa y Ceja (2011) la clase textural predominante que reporta es migajón-arcillo-arenoso. Loughry (1973) señala que la textura del suelo para esos sitios en los cuales fueron depositados residuos sólidos puede ser franco-arenoso, franco-arcillo-limoso, franco-arcilloso. No obstante Ballester (1977) indica a los suelos arcillosos para un buen desarrollo de los agaves. A su vez Sánchez (1993) reporta que las texturas predominantes en los lugares donde se desarrollan los agaves son: franco-arenoso, franco-arcilloso y areno-limoso. Sin embargo García (2007) menciona que los tipos de suelo que favorecen el crecimiento de los agaves son diversos y pueden ser tanto de origen ígneo como sedimentario principalmente calizas.

Los datos arrojados en cuanto a la clase textural del área donde fueron plantadas las especies del género *Agave* muestran que se desarrollan de manera adecuada aunque estas no sean las óptimas para las especies. Como se puede observar las diferencias entre las clases texturales es debida a la heterogeneidad del suelo, debido a su origen y composición. Debido al porcentaje de arena que presenta el Tecnosol se puede inferir que este suelo presenta buen drenaje y que no tiene problemas de aireación, sin embargo, el oxígeno es desplazado por el biogás, ocasionando condiciones anóxicas limitando el establecimiento de algunas especies vegetales.

10.1.5. Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La CIC del suelo donde se desarrollan los agaves de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 estos corresponden a valores altos, no obstante para Muñoz *et al.* (2000) los valores de CIC son medios. Cuadro 2. Por lo que respecta a la reserva nutrimental se considera que ésta es abundante. Así como lo menciona Sánchez (1993) que los agaves viven en suelos ricos en nutrientes; se considera que el suelo tiene una suficiente capacidad para intercambiar los cationes en la solución del suelo.

10.1.6. Porcentaje de materia orgánica (% MO).

El % de MO obtenido en el área de estudio de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000 lo señala de alto a muy alto, sin embargo Muñoz *et al.* (2000) lo menciona como moderadamente rico a rico (Anexo 4). Un alto contenido de MO tiene mayor retención de agua aprovechable para el desarrollo de las plantas (Ortiz y Ortiz, 1990). No obstante Sánchez (1993) sugiere que los suelos para el desarrollo de los agaves son pobres y someros con una capa arable de 30 a 90 cm. Pese a lo que citan Alfaro *et al.* (2007) que los agaves se desarrollan en suelos someros, infértiles y secos. Estas especies han crecido, desarrollado y establecido en este ex-tiradero a cielo abierto debido a su alta capacidad de adaptación a ambientes extremos como los que se presentan en el lugar de estudio.

10.1.7. pH.

El suelo se encuentra según la NOM-021-RECNAT-2000 como medianamente alcalino a neutro. Por otra parte Muñoz *et al.* (2000) lo cataloga en ligeramente alcalino a neutro. Cuadro 1. Otros valores de pH para el Parque Ecológico Cuitláhuac por García y Munguía (2000) van 7.49-9.13; López y Pérez (2003) de 6.73-7.97; Duarte (2005) son 6.83-8.02; Gómez (2008) de 7.18-8.4; Criollo y Hernández (2011) reportan de neutro hasta fuertemente alcalino y Ceja (2011) reporta medianamente básico.

Sánchez (1993) reporta que el pH encontrado en los sitios donde se desarrollan los magueyes se encuentra comúnmente entre 6.3-7.8.

Sin embargo, se ha encontrado de 4.9-9.4 mostrando síntomas de desarrollo anormal. De acuerdo con Sánchez (1993) los agaves presentes en el lugar de estudio ha crecido, desarrollado y establecido dentro del intervalo mencionado. Así mismo como en los anteriores parámetros las variaciones de pH han sido consecuencia de la composición del suelo debido a que es muy heterogéneo en todo el Parque Ecológico Cuitláhuac.

10.1.8. Nutrimientos extractables.

El calcio es un nutriente esencial para la vida en la planta y su contenido en el suelo varía en función del material original del que se ha formado, este se puede ver alterado por el origen del Tecnosol, la concentración de calcio en el suelo donde se desarrollan los agaves Reiman, 1998 reporta estos valores en una concentración media. Cuadro 3 (Anexo 5).

La alta concentración de calcio causa un pH alcalino que a su vez precipita algunos de los micronutrientes haciéndolos no disponibles para las plantas. El pH presente en el lugar de estudio es neutro a medianamente alcalino con lo cual se puede inferir que la disponibilidad de nutrientes es buena para los agaves ya que Sánchez (1993) menciona que los agaves no son muy sensibles a altas concentraciones de Ca.

Respecto a la concentración de potasio que se encuentra en el suelo del lugar de estudio, Reiman (1998) la reporta como mínima. Cuadro 3 (Anexo 5). Con base a lo anterior Sánchez (1993) menciona que el cultivo del maguey prospera en condiciones de temperatura que va desde los 13.6 °C hasta 17.8 °C temperaturas medias anuales en el valle de México.

Sin embargo, las temperaturas reportadas por Duarte (2005) para el Parque Ecológico Cuitláhuac varían entre 12°C y 18°C. Debido a la clase textural que presentan los sitios de muestreo se deduce que tienen una buena actividad respiratoria y una mayor absorción de nutrientes por parte de las raíces de las diferentes especies de agaves presentes en la zona de estudio. El potasio es esencial para el crecimiento de las plantas, concentraciones como la encontrada en el área de estudio no perjudican el desarrollo de las diferentes especies de agaves presentes en el sitio, ya que esto se ve reflejado en el crecimiento de estas.

La concentración de magnesio en el suelo donde crecen los agaves en el Parque Ecológico Cuitláhuac. Reiman (1998) menciona que son mínimas Cuadro 3 (Anexo 5) La deficiencia de magnesio puede ser inducida por las altas concentraciones de los cationes NH_4^+ , K^+ ó Ca^{2+} en el medio de la raíz. Puede ser debido a las condiciones que se presentan en el suelo ya que la concentración de gases producidos por los residuos orgánicos que ayudan a la formación de NH_4^+ en concentraciones que pueden favorecer a la deficiencia de magnesio. Los resultados de color de hoja por Tablas Munsell para vegetación (Cuadro 5) en las diferentes especies de agaves no muestran clorosis en sus hojas. La cual es una característica de deficiencia de magnesio en las plantas.

El sodio presenta alta movilidad en condiciones neutrales o alcalinas como las que están presentes en el lugar de estudio, el sodio se encuentra en concentraciones medias con una máxima en la muestra 3. Reiman (1998) menciona que son mínimas. Cuadro 3 (Anexo 5). De acuerdo a la conductividad eléctrica presentan un efecto despreciable de salinidad a moderadamente salino. Como se puede observar en los resultados obtenidos se ven reflejadas las condiciones heterogéneas del suelo. Sánchez (1993) menciona que el sodio es un elemento indispensable en el metabolismo ácido de crasuláceas reportando una concentración de 1000 ppm en agaves cultivados. La concentración del elemento sodio en la zona donde se encuentran plantados los agaves en el Parque Ecológico Cuitláhuac, ha sido la necesaria para llevar a cabo sus procesos metabólicos con lo cual se ha dado de manera exitosa en el crecimiento, desarrollo y establecimiento de las diferentes especies de agaves presentes en el lugar de estudio. Cabe mencionar que el comportamiento de estos elementos es heterogéneo debido al origen del Tecnosol.

10.1.9. Metales Pesados.

En el lugar de estudio la concentración de aluminio, hierro, plomo y zinc; se encuentran por debajo de los niveles mínimos señalados por la NOM-021-RECNAT-2000 y por Reiman (1998). Sin embargo Alloway (1990) señala que la concentración de plomo se encuentra dentro de los valores mínimos. Cuadro 4 (Anexo 6).

El aluminio no es esencial en altas concentraciones es tóxico para las plantas en la capacidad productiva de los suelos, sin embargo Alfaro *et al.*, 2007 mencionan que en ambientes limitantes como en el caso de suelos infértiles se pueden encontrar diferentes especies de agaves. En el caso de la deficiencia de hierro en el suelo donde se encuentran los agaves, este se asocia al pH alcalino que existe en el lugar de estudio. Pais y Benton (1997) señalan que los niveles extremadamente bajos (2 a $6\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$ de Pb), pero la absorción de este elemento por las plantas se ve limitado por las condiciones de pH del lugar de estudio

Las concentraciones de Cadmio, para la NOM-021-RECNAT-2000 se encuentra por debajo de los niveles normales, sin embargo Alloway (1990) y Reiman (1998) reportan esas concentraciones como mínimas no obstante Kabata-Pendias (2011) las señala como normales. Cuadro 4 (Anexo 6). Para Cromo la concentración se encuentra por debajo del nivel medio según Alloway (1990) para Reiman (1998) están dentro del nivel mínimo y Kabata-Pendias (2011) la señala como normales. Cuadro 4 (Anexo 6). El manganeso, cobre y selenio se encuentra dentro de los niveles peligrosos según la NOM-021-RECNAT-2000. Alloway (1990) los considera como mínimos para manganeso y cobre, para selenio como máximos. No obstante Kabata-Pendias (2011) reporta que estas concentraciones se encuentran por debajo de lo normal. Cuadro 4 (Anexo 6).

La solubilidad de los metales se lleva a cabo en un pH ácido y su movilidad se ve limitada por el aumento del pH en la solución del suelo. En el lugar de estudio el pH presenta un intervalo de 7.04-7.74 se infiere que la movilidad de los elementos como: Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb y Zn es baja dadas las condiciones de pH en la solución del suelo.

Los metales pesados tienen que estar en forma de cationes y aniones (solubles) para poder ser asimilados por las plantas, para lo cual es necesaria la presencia del recurso hídrico, por lo que de acuerdo con Duarte (2005), Gómez (2008), Criollo y Hernández (2011) y Ceja (2011); el sitio tiene carencia de riego asistido por lo tanto los metales pesados no se encuentran de manera disponible y por ende no pueden ser asimilados por las plantas, por lo que se tienen valores aceptables de metales pesados en el suelo, los cuales no han interferido en el establecimiento, crecimiento y desarrollo de las diferentes especies de agaves plantadas en el Parque Ecológico Cuitláhuac. Tanto Sánchez (1993) como Romero (2008) coinciden que este género no es muy sensible a altas concentraciones de Cu y Zn.

Sin embargo Méndez, 2010 señala que existen plantas con la capacidad de tolerar metales, llamadas hiperacumuladoras como es el caso *Agave lechiguilla*.

10.2. Identificación de las especies del género *Agave*.

Debido a que las diferentes especies de agaves no presentaron escapo floral al momento de la recolecta, solo se recolectaron las pencas y se tomaron fotografías que fueron de apoyo para su identificación. Con lo cual se lograron identificar cinco diferentes especies, a excepción de un ejemplar en específico el cual si ha presentado cambios en su morfología, tanto en la forma de la roseta, forma de las hojas y el color de las hojas lo cual limitó su identificación y solo quedó en género; por otra parte la identificación de algunos ejemplares no se pudo llevar a cabo debido a un mal mantenimiento de sus áreas verdes especialmente en la poda, retirando estructuras importantes para su identificación y otras se vieron afectadas por vandalismo aun existente en el área de estudio. Las condiciones físicas y químicas del suelo en particular donde se encuentran los agaves en el Parque Ecológico Cuitláhuac, así como la altitud que oscila entre los 2246-2250, en general son adecuadas dado que se han podido establecer, desarrollar y crecer de manera satisfactoria permitiendo, identificar

10.3. Evaluación de las características de los agaves presentes en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

Debido a que en el Ex Tiradero Santa Cruz Meyehualco no se aplicaron las Leyes y Normas para el manejo de sitios de disposición final, en este caso en el ex-tiradero a cielo abierto de Santa Cruz Meyehualco mejor conocido como Parque Ecológico Cuitláhuac, se ha tratado de mantener la cubierta vegetal con diversas especies vegetales que tengan resistencia a condiciones desfavorables como las que se encuentran en el ex-tiradero. En 2003 se lleva a cabo la introducción masiva de diferentes especies del género *Agave*, en la parte norte del Parque Ecológico Cuitláhuac, no se tiene registro alguno de que especies fueron plantas, que alturas tenían, su color y vigor. Sin embargo, Sánchez (1993) reporta algunas características

que el género *Agave* debe presentar al momento de ser plantadas como, altura de 15-100 cm, tronco de 7-10 cm, color de la hoja verde-oscuro, ser vigorosas y gruesas. Con base a lo anterior, durante algunos otros trabajos hechos en un periodo de 8 años en la zona, se puede rescatar información que por medio de la observación se puede decir que algunas especies contaban con alturas que oscilaban entre 30-80 cm.

***Agave americana* L.**, estas especies presentan un tamaño mediano en cuanto a altura y cobertura, así lo reportan Ballester (1997), Gentry (1982) y Vázquez (2007). El tamaño y color de la hoja no muestran deficiencia o toxicidad de macro o micronutrientes ya que las concentraciones de algunos elementos están por debajo de los niveles mínimos y otros rebasan los niveles máximos permisibles. En general esta especie es resistente a la sequía, heladas, tienen cierta resistencia a los climas templados, y presentan amplia tolerancia a diferentes tipos de suelo (Figs. 34 y 35). Cuadro 5.

***Agave atrovirens* Karw. ex Salm-Dyck.**, las dimensiones en cuanto a la altura y cobertura que presentan en el Parque Ecológico Cuitláhuac se encuentran dentro de lo normal Gentry (1982) reporta una altura que va de 1.5-3 m y cobertura de 2-4 m². Sus hojas no presentan deficiencia o toxicidad a las concentraciones de macro o micronutrientes así como a los metales presentes en el suelo. Estas especies se han podido establecer de manera exitosa en cuyo suelo la clase textural predominante es franco, sin embargo la Conafor (2009) señala que *A. atrovirens* requiere de suelos con textura arcillo-arenosa, arcillosa, de color oscuro tolera temperaturas muy bajas incluso nevadas, así como altitudes de 2200-2700msnm (Vázquez, 2007). Para Santiago (2006) la especie *A. atrovirens*, la señala como tolerante a la contaminación del medio urbano presentando un rápido crecimiento (Figs. 36 y 37).

Cuadro 5.

***Agave inaequidens* K. Koch.**, su altura se encuentra por debajo de lo reportado por Rzedowsky (2001), de 1.75 m, sin embargo la cobertura concuerda con lo señalado por Vázquez (2007) que va de 1.5 a 3.5 m²; esto se debe a mecanismos que adoptan las plantas en consecuencia de la contaminación presente como pueden ser el aumento de la talla pero poca cobertura o una mayor cobertura y escasa talla (Galván, 1995). El color de las hojas no presentan deficiencia o toxicidad tienen una coloración como lo mencionan Rzedowsky

(2001) y Vázquez (2007). Esta especie prospera en zonas altas y laderas rocosas en altitudes de 1910-3100 msnm (Vázquez, 2007). Las condiciones que presenta el suelo han favorecido a estas especies a su establecimiento, desarrollo y crecimiento (Figs. 38 y 39). Cuadro 5.

***Agave mapisaga* Trel.**, estas especies en general son plantas grandes como reportan Gentry (1982) y Vázquez (2007). El color de sus hojas no presenta deficiencia o toxicidad, esta es una especie que se cultiva en terrenos montañosos del centro de México. No obstante se han establecido exitosamente en el Parque Ecológico Cuitláhuac donde el ambiente edáfico resulta tener los requerimientos necesarios para estas especies y se ve reflejado en la reproducción sexual mostrando escape flora y asexual por medio de hijuelos. García (2007) reporta que la mayoría de los agaves se reproduce de manera asexual, produciendo clones en diferentes partes de la roseta, estos se desarrollan en la base de la planta mediante estolones que emergen a alguna distancia de la planta madre, producen raíces y con el tiempo crecen de manera independiente (Figs. 40 y 41) Cuadro 5.

***Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck.**, estas especies en el lugar de estudio y de acuerdo a su biología se presentan de gran tamaño Rzedowsky (2001) y Vázquez (2007). El color de sus hojas no presenta deficiencia o toxicidad, logra distribuirse desde los 1000 msnm hasta 2460 msnm, en climas subhúmedos, semisecos y secos (Vázquez, 2007). Sin embargo Duarte (2005) reporta que el clima predominante en el Parque Ecológico Cuitláhuac es templado subhúmedo. Dado que esta especie crece junto con *Acacia* y *Opuntia* en una comunidad que apropiadamente se le denomina *Acacia-Opuntia-Agave*, justamente estas son algunas de las especies que componen la vegetación de la zona de estudio *Acacia saligna* y *Opuntia ficus-indica* (Chavez y Ochoa, 2011). La reproducción de estas especies se ha dado de forma asexual (García, 2007) (Figs. 42 y 43) Cuadro 5.

En 2010 se realizó la evaluación de las características de las diferentes especies de agaves presenten en el lugar de estudio, se encuentra que el crecimiento se ha dado con forme a su biología tal y como lo señalan García (2007) y Vázquez (2007), que son plantas medianas y grandes, muestran una altura que va de 1 a 4 m y 2 a 3.7 m² de cobertura, alcanzando un máximo de 6 metros de diámetro. Las especies *A americana*, *A atrovirens* y *A inaequidens*; presentan un crecimiento normal a lo reportado por Gentry (1982); Rzedowsky (2001);

García (2007) y Vázquez (2007). Sin embargo el desarrollo de la altura máxima alcanzada por *A mapisaga* es 30% más con respecto a lo reportado a la altura máxima por Gentry (1982) y Vázquez (2007), en cuanto a la cobertura es 15% más con respecto a lo reportado por Gentry (1982) y Vázquez (2007).

A salmiana presenta una altura máxima que corresponde a un 37% más con respecto a lo señalado por Gentry (1982); Rzedowsky (2001) y Vázquez (2007), para la cobertura es 34% más con respecto a lo que señalan Rzedowsky (2001) y Vázquez (2007). Cabe mencionar que Romero (2008) y Ballester (1977) reportan que los agaves son plantas que requieren poco cuidados, aunque si se les cultiva generosamente la respuesta en su crecimiento se da con rapidez y de forma notoria. En cuanto a la coloración de sus hojas estas no muestran daño por deficiencia o toxicidad por las condiciones edáficas que se encuentran en el lugar de estudio, los colores de estas hojas van de un verde oscuro a un glauco pálido. García (2007) menciona que el color varía de acuerdo a cada especie y este puede ser desde un verde glauco claro a verde claro, verde claro amarillento, raramente glauco opaco, hojas de color verde oscuro a verde glauco. Independientemente que sean plantas suculentas, las hojas de las especies evaluadas presentan un vigor bueno a excelente. García *et al.* (2004) y Sánchez (1993) concuerdan que las hojas por lo general son suculentas, vigorosas y fibrosas con la base dilatada y carnosa.

10.4. Censo del género *Agave*.

En el lugar de estudio se registraron un total de 232 individuos ubicados en tres zonas la principal el camellón y las áreas paralelas a este de los cuales, la población más abundante es *A. mapisaga*, seguido de *A. salmiana*, y con un número menor se encuentra *A. atrovirens*, las especies menos abundantes son *A. americana* y *A. inaequidens*. Estas especies presentan una alta sobrevivencia a la plantación la cual corresponde a un 80%. Duarte (2005), reporta un total de 288 individuos del género *Agave* el cual fue introducido en 2003 en diferentes áreas del Parque Ecológico Cuitláhuac. Duarte (2005) ubica a los agaves en las siguientes áreas de distribución camellón, A-1 y A-4, D-1 (Figs. 12 y 33).

10.2. Comparación de las propiedades físicas y químicas del ambiente edáfico y su relación con el género *Agave* en el Parque Ecológico Cuitláhuac.

El análisis estadístico señala que el Cluster presenta un alto grado de homogeneidad interna, de acuerdo a los diferentes sitios respecto a los parámetros físicos y químicos; este conglomerado está compuesto por los sitios 2 - 9 respectivamente los cuales tiene buenas condiciones para *A. americana* (2) y *A. salmiana* (9) los cuales se encuentran en esos sitios y el grupo disimilar está integrada por los sitios 1 - 8 se localizan *A. inaequidens* (1), *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (9). En cuanto a los nutrimentos el conglomerado más similar se encuentra entre los sitios 7 - 9 se sitúan *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (7), *A. salmiana* (9), así como los sitios 1 - 6 se encuentra *A. inaequidens* (1), *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* (6). Con respecto a los metales pesados y los sitios de muestreo los lugares que resultan ser más similares entre si son 3 - 4 se localiza *A. americana* (3), *A. mapisaga* posteriormente se encontraron dos grupos disimilares 5 - 9 se sitúan *A. mapisaga* y *A. salmiana* (5), *A. salmiana* (9), así como 7 - 8 se encuentran *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana* para ambos sitios respectivamente. Los parámetros físico y químicos del suelo poseen las cualidades idóneas para las especies en particular de *A. atrovirens*, *A. mapisaga* y *A. salmiana*, además de ser las más representativas del lugar han presentado buena respuesta positiva al sitio como es el caso de *A. mapisaga*, sin embargo no lo es para *A. inaequidens* la cual no ha sido tan satisfactoria.

V. CONCLUSIONES.

El suelo del Parque Ecológico Cuitláhuac es un Tecnosol y tiene las condiciones de textura, $CE_{25^{\circ}C}$, % MO, CIC y pH que favorecen el desarrollo de las cinco especies del género *Agave*.

En la zona de estudio los nutrimentos K y Mg actúan como factores limitantes para el establecimiento y desarrollo vegetal.

Los elementos metálicos Al, Fe Pb y Zn tienen concentraciones por debajo del mínimo, sin embargo, Fe y Zn pueden causar síntomas de deficiencia.

Por su concentración el Mn, Se y Cu pueden causar toxicidad a las especies vegetales del sitio. Sin embargo las especies de agaves estudiadas no presentaron efectos negativos con la concentración de estos metales.

Las especies de agaves encontradas en el Parque Ecológico Cuitláhuac muestran una alta supervivencia y éxito a la plantación de 2003 y puede ser introducidas en el sitio en particular *A. mapisaga* y *A. salmiana* ya que presentan reproducción tanto sexual como asexual.

Las especies de agaves presentes en el lugar de estudio cubren sus necesidades nutrimentales en el Tecnosol ya que presentan un adecuado vigor.

VI. RECOMENDACIONES.

Las cinco especies identificadas pueden ser utilizadas para realizar una plantación dirigida en diversas áreas del Parque Ecológico Cuitláhuac desprovistas de vegetación asegurando un exitoso establecimiento lo cual resulta benéfico para que los residuos no quede expuesto a corto, mediano y largo plazo.

Hacer uso de los hijuelos de las diferentes especies de agaves en especial *A. mapisaga* y *A. salmiana*. Para introducirlas en diferentes áreas del Parque Ecológico Cuitláhuac desprovistas de vegetación y ocuparlos como barrera rompe vientos, cercos vivos y terrazas agrícolas. En compañía de otras especies ya empleadas anteriormente como *Opuntia*, *Schinus molle* y *Casuarina equisetifolia*.

Realizar el análisis de metales pesados en el tejido vegetal de las diferentes especies de agaves identificadas y en especial de la especie que no pudo ser identificada, para saber si hay translocación de metales del suelo hacia la planta, ya que estas especies son utilizadas para elaboración de alimentos de consumo humano.

Que las autoridades a cargo del “Parque Ecológico Cuitláhuac” tengan mayor control en cuanto al mantenimiento de sus áreas verdes en especial a los agaves ya que presentan una mala poda y síntomas de vandalismo lo cual puede contribuir al deceso del individuo ocasionando que los residuos queden expuestos nuevamente, atrayendo fauna nociva y por ende perjudicando a sí a los usuarios y estética del lugar.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Aguilera H. 1989. Tratado de edafología de México. Tomo I. Laboratorio de Investigación de Edafología. Departamento de Biología. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.

Alloway J. 1990. Heavy metals in soils. Blackie and Son Ltd.

Alfaro R, Legaria S, Rodríguez P. 2007. Diversidad genética en poblaciones de agaves pulqueros (*Agave spp.*) del nororiente del estado de México. Revista Fitotecnia Mexicana, enero-marzo, año/volumen. 30, número 001. Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 142pp.

Baltasar C. y Torres L. 2002. Pruebas de desempeño para la cuantificación de Cd, Co, Cr, Ni y Pb por Espectrofotometría de Absorción Atómica. Tesis de licenciatura. F. E. S. Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F. 127 pp.

Ballester O. 1997. Los Cactus y las otras plantas suculentas. Floraprint. Valencia, España.

Bautista Z. 1994. Contaminación del suelo por metales pesados. Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales tropicales. Coordinación de Biología, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. 50 pp.

Bloom A y Epstein E. 2005. Mineral nutrition of plants: principles and perspectives. 2^aed. Sinauer Associates, Inc. Publishers. University of California.

Briz J. 2004. Saturación Urbana, Cubiertas Ecológicas y Mejora Medioambiental. 2^aed. Ed. Mundi-Prensa. España. 183-223pp.

Bozkurt S, Sifvert M, Moreno L, y Neretnieks I. 2000. The long-term evolution of and transport processes in a self-sustained final cover on waste deposits. The Science of the Total Environment 271 (2000) 145-168pp.

Ceja E. 2011. Inserción de *Cupressus sempervirens* L., *Ficus benjamina* L., *Ficus retusa* L., *Juniperus chinensis* L., *Nerium oleander* L. y *Thuja orientalis* L. para el establecimiento de la cubierta vegetal en un sitio de disposición final post-clausura "Parque Ecológico Cuitláhuac". Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 84p.

Chavez F y Ochoa R. 2001. Determinación de metales en *Acacia saligna* H. L. Wendl, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill y *Tamarix gallica* L. establecidos en el sitio de disposición final de residuos sólidos municipales, post-clausura. “Parque Ecológico Cuitláhuac”. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 93p.

Christensen H, Cossu R y Stegmann R. 1989. Sanitary Landfill Process Technology and Environmental Impact. Academic Press. U.S.A.

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

Criollo D y Hernández S. 2011. Establecimiento del *Populus alba* L., *Kalanchoe blossfeldiana* P., *Nerium oleander* L., *Tamarix gallica* L., en un sitio de disposición final post-clausura “Parque Ecológico Cuitláhuac”. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 119p.

De Mei M y Di Mauro M. 2006. Study of some characteristic Mediterranean vegetation species best suited for renaturalization of terminal-phase municipal solid waste (MSW) landfills in Puglia (Southern Italy). ACTA OECOLOGICA 30 (2006) 78-87pp.

Dobson y Moffat. 1995. A re-evaluation of objections to tree planting on containment landfills. Waste Management & Research (1995) 13, 579-600pp

Donisa C., Mocanu R., Steinnes E. y Vasu A. 2000. Heavy metal pollution by atmospheric transport in natural soils from the northern part of eastern carpathians. Water, Air and Soil Pollution. 347-358pp.

Duarte Z. 2005. Establecimiento de la cubierta vegetal arbórea (con el género *Acacia*) en un sitio de disposición final post-clausura; Parque Recreativo Cuitláhuac. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. pp. 2-50

El- Fadel, Findikakis N y Leckie O. 1995. Environmental Impacts of Solid Waste Landfilling. Journal of Environmental Management (1997) 50, 1–25

Farago M. 1994. Plants and the chemical elements. Biochemistry, Uptake, tolerance and toxicity. Ed VCH/Verlagsgesellschaft, Germany. 292p.

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

Galván A., López. L, García M. López V. 1995. Caracterización del ex tiradero de Santa Cruz Meyehualco y su efecto en la vegetación utilizada en la forestación. BIEN Vol. 2 no 2 17-21p.

Galván V. 1995. Caracterización de los desechos sólidos del extiradero de santa cruz meyhualco y su impacto en el suelo. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 8-12pp.

Galván V. y Zapata C. 2004. Manual Básico de Absorción Atómica para el Manejo del Equipo Spectraa 200 Marca Varian. FES-Zaragoza (UNAM). Laboratorio de Servicios de la Carrera de Biología, Absorción Atómica. 52 pp.

García M. Murguía A. 2000. Evaluación del establecimiento de *Senna didymobotrya* para la recuperación de la cubierta vegetal para los sitios de disposición final post-clausura. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza; UNAM, México DF. 19-20pp.

García Mendoza, Abisai J. "Los agaves de México". Ciencias087 (2007): 14-23pp.

García M., Ordóñez D. y Briones S. 2004. Biodiversidad de Oaxaca. Universidad Nacional Autónoma de México. 159-166pp.

Gentry S. 1982. Agaves of Cotinental North America. The University of Arizona press. Tucson, Arizona. 670 p

Gómez N. 2008. Establecimiento de la cubierta vegetal con las especies de *Shinus molle L.*, *Populus alba L.*, *Ligustrum japonicum thumb.*, y *Fraxinus uhdei (Wenzi) Linglesh.*, en un extiradero a cielo abierto (Parque Recreativo Cuitlahuac) y modelación del establecimiento de plantas introducidas. Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D. F. 6-57p.

González M. 2003. Uso de *Larrea tridentata* Cav. Como bioindicador de Cd y Ni en la zona circundante a la planta de tratamiento de residuos de un cimari, en el municipio de mina, Nuevo León. Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza (UNAM). México. D. F

Hale, M. Y Orcutt, M. 1987. The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons Ed. U.S.A. p 10-87.

Hernández B y Wehenpohl G. 2002. Manual para la rehabilitación, clausura y saneamiento de tiraderos a Cielo Abierto en el Estado de México. Gobierno del Estado de México. 2ª edición. Secretaria de Ecología del Gobierno del Estado de México. México.

Irish M y Irish G. 2000. Agaves, Yucas and Related Plants GARDENER'S GUIDE. Timber press. Portland, Oregon. 311 p.

Jiménez C. 2002. La contaminación ambiental en México; causas efectos y tecnología apropiada. Ed. Limusa. México. 926p.

Jones J. 1998. Plant nutrition manual. Boca Raton CRC.

Kabata-pendias A. 2011. Trace elements in Soils and Plants. 4ta ed. Ed. CRC Press, USA. 365p.

Kiss K y Encarnación A. 2006. Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. Gaceta Ecológica, número 079. Instituto Nacional de Ecología. Distrito Federal, México. Pp 39-51.

LADF. 2003. Ley Ambiental del Distrito Federal.

Leal M., Valencia C. y Larrald L., 1995. Temas ambientales de la ciudad de México. UNAM Coordinación de Investigación Científica; UNAM. Programa Universitario de medio ambiente. México D.F. 123p.

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

LGEEPA. 2003. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.

LGPGIR. 2003. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

LRSDF. 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.

López S y Pérez M. 2003. "El género *Acacia* una alternativa para recuperar la cubierta vegetal arbórea, en el sitio post-clausura parque Cuitláhuac de Santa Cruz Meyehualco, D.F." Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 15-78 pp.

Loughry G. 1973. The use of soil science in sanitary landfill selection and management. *Geoderma*, 10: 131-139. Division of Community Environmental Services, Pennsylvania Department of Environmental Resources, Harrisburg, Penn. (U.S.A.)

Madhava R, Raghavendry y Reddy. 2006. Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Springer printed in the Netherlands. Departament of Botany, Osmania University, Hyderabad. India. 187-217pp.

Magallán H y Hernández S. 2000. La familia agavaceae en el estado de Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México, número 066. Sociedad Botánica de México, A.C. Distrito Federal, México 103-112 pp.

Maldonado T. 1995. “Evaluación del Potencial Contaminante de los Líquidos Percolados Producidos en un Enterramiento Controlado (Neza I) del Estado de México.” Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 3-4,14 pp.

Mcbean E, Rovers E. y Farguahar F. 1995. Soild waste landfill engineering and design. Prentice_Hall. 179-187pp.

Méndez H. 2010. Efecto de Cd disuelto en agua en la germinación de semillas y el crecimiento de plántulas de *Agave lechugilla* provenientes de zonas con diferente nivel de contaminación por metales. Tesis de Maestría. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C. San Luis Potosí, S.L.P.

Meter H. 1992. Biología de Las Plantas, Ed. Reverte, Barcelona. 517-540 pp.

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

Misgav A., Perl N., y Avnimelech Y. Selecting a compatible open space use for a closed landfill site. Landscape and Urban Planning 55 (2001) 95-111.

Money H., Winner W., Pell E. and Chu E. 1991. Response of plants to multiple stresses. Academia Press Inc. San Diego California. 415p.

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

Munsell. 1977. Color Charts for Plants Tissues.

Munsell. 1992. Soil colors charts. Macbeth Division of Kolmorgen Corporation Baltimore.

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

NADF-006-RNAT-2004. Norma Ambiental para el Distrito Federal. Que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de aéreas verdes públicas.

Nixon. J., Stephens W., Tyrrel F y Brierley R. 2001. The potential for short rotation energy forestry on restored landfill caps. *Bioresource Technology*. 77(2001) 237-245.

NMX-AA-61-1985. Protección al ambiente, contaminación del suelo, residuos sólidos municipales, determinación de la generación. Secretaria Desarrollo Urbano y Ecología. Dirección General de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Departamento del Distrito Federal dirección general de estudios prospectivos. Comisión de ecología. México D.F.

NMX-AA-91-1987. Calidad del suelo, terminología, objetivo y campo de aplicación. Secretaria Desarrollo Urbano y Ecología. Dirección General de prevención y Control de la Contaminación Ambiental. Departamento del Distrito Federal dirección general de estudios prospectivos. Comisión de ecología. México D.F.

NOM 021-RECNAT-2000. Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad, y Clasificación de los Suelos. Estudios, Muestreo y Análisis. México. D.F. 26-81p.

NOM-083-SEMARNAT-2003. Establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados al relleno sanitario para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Nover, L., D. Neumann y K.D. Scharf. 1989. Heat shock and other stress response systems of plants. Springer-Verlag Ed. Germany. 59-91pp.

Olaeta C., Espinace A., Szanto N. y Palma G. 1997. Experiencias de Reinserción de Vertederos Mediante la Implantación de una Cubierta Vegetal. Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica de Valparaíso. XII Congreso Chileno de ingeniería sanitaria y ambiental. Copiapó. Chile. 2-10pp.

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

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

Pais I y Benton J. 1997. The Handbook of Trace Elements, St. Lucie Press. USA. 97-116pp.

Palmer R. 1979. Manual de laboratorio. Libros y editoriales S.A. México D.F. 158p

Pastor J y Hernández J. 2002. Estudios de suelos de vertederos sellados y de sus especies vegetales espontáneas para la fitorrestauración de suelos degradados y contaminados del centro de España. Anales de Biología 24: 145-153, 2002.

Pérez L. 2000. Técnicas Estadísticas con spss. Universidad Complutense de Madrid. Instituto de Estudios Fiscales. Prentice Hall Pearson. España.

Pfeffer J. 1992. Solid waste management engineering. Prentice-Hall. U.S.A. 235-239pp.

Quadri De la T, Wehenpohl G, Sánchez G, López V y Nyssen O. 2003. La basura en el Limbo: Desempeño de Gobiernos Locales y Participación Privada en el Manejo de Residuos Urbanos. Comisión Mexicana de Infraestructura Ambiental., Agencia de Cooperación Técnica Alemana. México. 98p.

Rai U., Pandey K., Sinha S., Singh A., Saxena R y Gupta K. 2004. Revegetating fly ash landfills with *Prosopis Juliflora* L. impact of different amendments and *Rhizobium* inoculations. Environmental International 30 (2004) 293-300.

Ramírez O, y Salazar Z. 1998. “Evaluación de las características de las especies *Malva parviflora* y *Amarantus hybridus* para la recuperación de la cubierta vegetal en el enterramiento controlado Bordo Xochiaca.” Tesis de Licenciatura FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 1-4 pp.

Reiman C y Caritat P. 1998. Chemical Elements in the Environment Fact Sheets for the Geochemist and Environmental Scientist. Springer-Verlang. Alemania. 34-381.

Remon E., Bouchardon L., Cornier B., Guy B., Lecler C y Faure O. 2005. Soil characteristics, heavy metal availability and vegetation recovery at a former metallurgical landfill: Implications in risk assessment and site restoration. Environmental Pollution 137 (2005) 316-323.

Rending V. and Howard M. 1989. Principles of soil interrelationships, McGraw-Hill. USA. 287p.

Ríos G. 1985. Prácticas del Módulo de Edafología. Laboratorio Integral de Biología IV. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza (UNAM). México. DF. 93p.

Romero T. 2009. Evaluación de reguladores de crecimiento vegetal en semillas y plántulas de agave pulquero (*Agave atrovirens* karw ex salm-dyck) y su implicación en un sistema de propagación. Tesis de Maestría. CIBA-IPN. Tepetlía de Lardizábal, Tlaxcala. 13-15 pp.

Ross S. 1994. Toxic metals in soil-plant systems. Ed. John Wiley & Sons, USA. 469p.

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

Rzedowsky J y Calderón G. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. 2da ed. Instituto de Ecología, A.C., Centro Regional del Bajío. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, Michoacán.

Salas. M. 1992. La Ciudad de México un esbozo de sus problemas ambientales. Ediciones de la viga. México D.F. 92p.

Sánchez, G. 1993. Los agaves de México. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Santiago F. 2006. El Biólogo como Perito Valuador en la Procuraduría General de Justicia del Distrito Federal “Propuesta de Manual y Estudio de Caso” Tesis de Licenciatura. FES-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 139pp.

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

Senior E. 1995. Microbiology of landfill sites. 2da. Ed. Lewis Publishers. E.U.A

Taboada A. 1992. “Estudio florístico y edáfico del enterramiento controlado Bordo Xochiaca.” Tesis de Licenciatura ENEP-Zaragoza (UNAM). México. D.F. 1,6-7,10-15 pp.

Tosh E, Senior E, Smith E & Watson-Craik A. 1994. Landfill site restoration: the inimical challenges of ethylene and methane. "Department of Bioscience and Biotechnology, University of Strathclyde, 204 George Street, Glasgow, UK, G1 1XW. Environmental Pollution 83 (1994) 335-340.

Vázquez G, Cházaro B, Hernández V, Flores B, y Vargas R. 2007. Agaves del Occidente de México. Serie Fronteras de Biodiversidad, Análisis y Síntesis. Vol 3. Universidad de Guadalajara.

Volke S., Velasco T. y De la Rosa P. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología. México. 141p.

Wayne G y Ming H. 1999. Introduction to Environmental Toxicology Impacts of Chemicals Upon Ecological Systems 2ª edición. Lewis publishers USA. 177-180pp.

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

XIV. REFERENCIAS ELECTRÓNICAS.

www.conafor.gob.mx:8080 marzo 2010

<http://earth.google.es/> Google Earth 2009. Programa de visualización geográfica versión: 4.3
Windows. 24 abril 2010

www.elclima.com.mx/iztapalapa.htm_2010

www.ibiologia.unam.mx/gela/pp-1.gif 13 marzo 2010

www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do.

www.printthis.clickability.com 2010 Marton D. 1996. Landfill Revegetation: The Hidden
Assets.

www2.sag.gob.cl/Recursos.../6. 15 marzo 2010

XV. GLOSARIO.

Absorción: incorporación y fijación de una sustancia o forma de energía en el cuerpo de otra, cuando el fenómeno no se limita tan sólo a la superficie.

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

Disposición final: última fase del control de los residuos sólidos consiste en depositar permanentemente los residuos en sitios y condiciones adecuadas de los cuales no serán removidos para evitar daños a los ecosistemas.

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

Especie introducida: especie que ha sido transportada por seres humanos de una región a otra.

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

Estrés: cualquier condición que origine que la salud del árbol decline; puede ser agudo o crónico.

Fauna nociva: conjunto de especies animales potencialmente dañinas para la salud y los bienes, cuyo ciclo biológico se encuentra asociado de algún modo a los residuos orgánicos.

Generación: cantidad de residuos sólidos originados por una determinada fuente en una unidad de tiempo.

Lixiviado: líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción arrastre o percolación y que contiene disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.

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

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

Muestra: parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

Perenne: planta que vive muchos años; plantas leñosas o maderables.

Perennifolias: plantas leñosas que mantienen su follaje durante su ciclo vital.

Poda: eliminación selectiva de ramas u otras partes de las plantas, con un propósito definido y que se realiza con herramientas específicas.

Raíz: sistema de absorción y de anclaje del árbol al suelo, se considera una de las tres partes más importantes del árbol, junto con la copa y el tallo.

Raíz lateral: raíz que se ramifica hacia los lados y crece en dirección horizontal.

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

Reutilización: acción de usar un residuo sólido.

Reciclaje: proceso de reutilización de los residuos sólidos para fines productivos.

Recolección: acción de recoger los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

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

Vigor: aptitud o capacidad de un individuo para desarrollar en alto grado todas sus funciones vitales.

XVI. ANEXO.

Anexo 1.- Criterios para determinar el vigor en los Agaves.

Vigor	
Bueno	75-100%
Regular	75-50%
Malo	25-50%

Anexo 2.- Taza de sobrevivencia.

Tasa de sobrevivencia= $\frac{\text{Número de individuos vivos}}{\text{Número de individuos totales}} \times 100$

Anexo 3.- % de crecimiento.

Crecimiento altura en 2012 – Crecimiento altura en 2009 x 100.

Anexo 4.- Criterios utilizados para la clasificación del Tecsol, en cuanto a conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico y pH en base a NOM-021-RECNAT-2000 y Muñoz., *et al* 2000

PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

NORMA-021-RECNAT				Muñoz., <i>et al</i> 2000				
Sitio	CE25° dS m-1	CIC (Cmol(+))Kg ⁻¹	% MO	pH	CE25° dS m-1	CIC (Cmol(+))Kg ⁻¹	% MO	pH
1	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	No Salino	Medio	Rico	Ligeramente alcalino
2	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	NEUTRO	No Salino	Medio	Rico	Neutro
3	MODERADAMENTE SALINO	Alta	ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	Poco salino	Medio	Moderadamente rico	Ligeramente alcalino
4	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	No Salino	Medio	Moderadamente rico	Ligeramente alcalino
5	MUY LIGERAMENTE SALINO	Alta	MUY ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	No Salino	Medio	Rico	Neutro
6	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	No Salino	Medio	Rico	Ligeramente alcalino
7	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	NEUTRO	No Salino	Medio	Rico	Neutro
8	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	MEDIANAMENTE ALCALINO	No Salino	Medio	Rico	Ligeramente alcalino
9	EFFECTOS DESAPRECIABLES DESALINIDAD	Alta	MUY ALTO	NEUTRO	No Salino	Medio	Rico	Neutro

Anexo 5.- Nivel de concentración de nutrientes.

Elemento	Nom-021 RECNAT- 2000			REDDY, 2006	REIMANN, 1998 Capa Superficial			REIMANN, 1998 Suelos Urbanos		
	B	M	A		MN	MD	MX	MN	MD	MX
Ca	2-5	5-10	10	0.5%	50	3278	339,630	690	5425	106,000
K	0.2-0.3	0.3-.06	0.6	2.0%	60	4626	20,444	400	2300	11,100
	D	M	A							
Mg	0.5-1.3	1.3-3.0	3.0	0.05%	41	3005	62,690	1530	12,900	30,400
Na					31	242	25,152	700	2300	7000



Nom-021 RECNAT-2000.B= Baja, M=Media, A=Alta, D= Deficiente, M=Margial, A=Adecuado; Reimann, 1998. MN= Mínima, MD= Media, MX =Máxima.

Anexo 6.- Valores propuestos por varios autores en cuanto a las concentraciones de metales pesados en suelos.

Elemento	Nom-021 REC NAT-2000			ALLOWAY, 1990			KABAT A, 2011	REDDY, 2006	REIMANN, 1998 Capa Superficial			REIMANN, 1998 Suelos Urbanos			
	N	P		MN	C	MX			MN	MD	MX	MN	MD	MX	
Al										491	27,917	79,355	1770	18,650	44,700
Cd	0.35	3-5		0.01	0.2-1	2.4	0.04			<0.2	0.7	40.9	0.01	0.16	11.3
Cr				5	70-100	1500	0.43			0.2	39.3	838	7.9	69.3	199
Cu	<0.2	>0.2		2	20-30	250	0.62	5-50 ppm		1.2	18.1	1508	1.7	34.7	706
	D	M	A												
Fe	<2.5	2.5-4.5	>4.5					2,50,000 ppm		395	26,786	264,405	3360	31,050	84,900
Mn	<1.0	>1.0		20	1000	10000	0.51	200-300ppm		3	577	42,603	43	442	4410
Pb	35	100-300		2	10-30	300	0.82			3	40	16,338	9	35	976
Se				0.01	0.5	300	0.02						0.04	0.21	3.69
Zn	<0.5	0.5-1.0	>1.0	10	50	300	1.93	10-30 ppm		5	82	3648	7.4	99	3420

Nom-021 REC NAT-2000. N= Normal, P= Peligroso, D=Deficiente, B= Baja, M=Marginal, A=Adecuado; Reimann, 1998. MN= Mínima, MD= Media, MX =Máxima.

Anexo 7.- Oficio de identificación de especies.

	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO CARRERA DE BIOLOGÍA</p>	
<p>Biol. María de los Ángeles Galván Villanueva. Coordinadora del ciclo terminal de la carrera de Biología.</p>		
<p>Presente:</p>		
<p>Por medio de este conducto me dirijo a usted Dr. Abisai Josué García Mendoza, técnico académico titular "C" adscrito al Jardín Botánico del Instituto de Biología y curador de la colección nacional de Agaváceas y Nolináceas. Por su colaboración en la identificación de las siguientes especies: <i>Agave americana</i> L, <i>Agave atrovirens</i> Karw. ex Salm-Dyck, <i>Agave mapisaga</i> Trel y <i>Agave salmiana</i> Otto ex Salm-Dyck. Para la realización del trabajo de tesis cuyo título es Relación suelo-planta del género <i>Agave</i>, en un sitio de disposición final de residuos sólidos post-clausura Parque Ecológico Cuitláhuac.</p>		
<p>Sin más por el momento me despido de usted enviando un cordial saludo.</p>		
<p>ATENTAMENTE "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU" México D.F., a 23 de septiembre de 2013.</p>		
<p> Biol. María de los Ángeles Galván Villanueva. Coordinadora del ciclo terminal de la carrera de Biología y Directora de tesis.</p>		