



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

5
2ej

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

" ESTUDIO PARA EVALUAR UN SUELO DE
" RELLENO SANITARIO " PARA EL
ESTABLECIMIENTO DE UN VIVERO DE NOPAL
EN EL MUNICIPIO DE HUEHUETOCA, EDO,
DE MEX. "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA AGRICOLA
P R E S E N T A :
MARTHA ELENA AYALA BALTAZAR

ASESOR: DR. EDVINO JOSAFAT VEGA ROJAS

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEXICO

1988

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR FACULTAD DE ESTUDIOS
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLÁN
P R E S E N T E .

DEPARTAMENTO DE
EXÁMENES PROFESIONALES

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Estudio para evaluar un suelo de "Relleno Sanitario" Para el establecimiento de un vivero de nopal en el Municipio de Huehuetoca, Edo. de Méx."

que presenta la pasante: Martha Elena Aguila Baltazar
con número de cuenta: 7918975-1 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniera Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

A T E N T A M E N T E .
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 17 de enero de 1996.

PRESIDENTE Dr. Edvino Joaquin Vega Rojas

VOCAL M. en C. Laura Bertha Reyes Sánchez

SECRETARIO Biol. Elba Martínez Holguín

PRIMER SUPLENTE Ing. Gustavo Ramírez Ballesteros

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Raúl Espinoza Sánchez

Después dijo Dios "Produzca la tierra hierba verde, plantas que den semilla según su especie, árbol de fruto que de fruto según su género, cuya semilla esté en él, sobre la tierra" y fué así. La tierra produjo hierba, plantas que dan semilla según su especie, árboles frutales cuya semilla está en su fruto, según su especie, Y vió Dios que esto era bueno.

Génesis 1: 11-12

También decía: "Así es el reino de Dios, como cuando un hombre echa semilla en la tierra. El duerme de noche y se levanta de día, y la semilla brota y crece sin que él sepa como. Porque de por sí la tierra da fruto: primero el tallito, luego las espigas y después el grano lleno en la espiga. Y cuando el fruto se ha producido, enseguida él mete la hoz, porque la siega ha llegado".

Marcos 4: 26-27

DEDICATORIAS

A tí mamá, por tus desvelos, tu amor y por darme la vida.

A mi querido Jesusito, porque siempre estuviste a mi lado cuando te necesitaba y por ser mi papá.

A Yola e Irma, porque este logro es más suyo que mío y fué posible con su ayuda y cariño.

A mis queridos hermanos: Estela, Anita, Samuel, Lety, Jesús, José Luis y Arturo, por su amor y por una infancia feliz.

A mis sobrinos grandes y a mis sobrinitos: David, Juan, Alex, Luisito y Juan Ismael, por creer en mí.

A mis queridos cuñados: Javier, Juan, Mary y Martha, por su amistad, las porras y su afecto.

Para mis inolvidables "cuates" de la escuela: Bety, Andrea, Lalo, Toño, Chelo, Miguel, Olga, Martín, Alfredo, Dora y Fabricio, por tantas cosas vividas y recuerdos compartidos.

A la familia Balaón Romero, al Sr. Alfonso y la Sra. María por permitirme entrar a su familia y brindarme su confianza.

A tí José por diez años compartidos, por el recuerdo de los bellos momentos y por el gran amor que me une a tí.

A Pichi por sus aventuras.

A todos Ustedes

Con todo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme la vida y cruzar otra meta.

Al Profesor Dr. Edvino J. Vega, por la dirección de este trabajo y por su amistad.

A los miembros del jurado: M. en C. Laura Bertha Reyes Sánchez, Biól. Elba Martínez Holguín, Ingeniero Gustavo Ramírez Ballesteros e Ingeniero Raúl Espinoza Sánchez por su revisión y comentarios al trabajo.

A mi querida escuela: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán por todo lo que me permitió conocer y aprender.

A todos los profesores y compañeros que contribuyeron a mi formación profesional con sus valiosos conocimientos.

Al personal del Laboratorio de Contaminación en la F.E.S.-Zaragoza por permitirme realizar este trabajo, en especial a la Dra. Rocío López de Juambelz por sus acertados comentarios y a la Biól. Susana Taboada Aranza por compartir conmigo sus conocimientos.

A la Institución para la cual laboro: Dirección de Transferencia, Tratamiento y Disposición Final de Residuos Sólidos y a mis compañeros de quienes mucho he aprendido, al Director Ing. Rogelio López López por la confianza en mi trabajo y al Arq. Francisco de la Vega por permitirme concluir esta tesis.

A la Biól. Elizabeth Cruz Felipe y a la M.V.Z. Perla Gpe. Ramírez por su ayuda en el trabajo estadístico y por su apoyo moral.

Al Ing. José Baleón Romero por su apoyo en las traducciones y revisión del trabajo final.

A la Srta. Ma. Elena Morales por la mecanografía del presente escrito y por su valiosa ayuda.

A todos Ustedes

Mi sincero agradecimiento.

INDICE GENERAL

I.	Indice de cuadros	
II.	Resumen	
III.	Introducción	
	3.1 Sitios de disposición final de residuos sólidos	1
	a) Basurero a cielo abierto	1
	b) Enterramiento controlado	2
	c) Relleno sanitario	2
	3.2 Fertilidad del suelo	7
	3.2.1 Parámetros físicos	8
	3.2.2 Parámetros químicos	8
	3.3 Toxicidad por metales pesados	15
	3.4 Captación de metales pesados por las plantas	22
	3.4.1 Efecto de los metales pesados en las plantas	23
	3.5 Introducción de vegetación en rellenos	27
	3.6 Utilización de rellenos para agricultura	33
IV.	Antecedentes y objetivos	34
V.	Generalidades de la zona de estudio	36
VI.	Materiales y métodos	37
	6.1 Muestreo	37
	6.2 Análisis físicos	38
	6.3 Análisis químicos	39
	6.4 Cuantificación de metales pesados extractables	41
	6.5 Análisis de plantas de nopal	42

VII. Resultados	43
VIII. Discusión de resultados	56
IX. Conclusiones	62
X. Recomendaciones	64
XI. Bibliografía	66

I. Índice de Cuadros.

Tabla I.	Características Físicas y Químicas del suelo de "Relleno Sanitario" de Huehuetoca, Méx.	49
Tabla II.	Características Químicas del suelo de "Relleno Sanitario" de Huehuetoca, Méx.	50
Tabla III.	Cuantificación de Metales Pesados determinados por Espectroscopía de Absorción Atómica en el suelo de "Relleno Sanitario" de Huehuetoca, Méx.	51
Tabla IV.	Contenido de Nutrientes del Nopal silvestre <u>Opuntia lindheimeri</u> colectado en el suelo de "Relleno Sanitario" de Huehuetoca, Méx.	52
Tabla V.	Cuantificación de Metales Pesados determinados por Espectroscopía de Absorción Atómica del Nopal Silvestre <u>Opuntia lindheimeri</u> colectado en el suelo de "Relleno Sanitario" Huehuetoca, Méx.	53
Tabla VI.	Promedios de Valores encontrados en los suelos de otros rellenos y los valores comparativos reportados para suelos agrícolas.	54
Tabla VII.	Tabla comparativa de los promedios encontrados en plantas de Nopal y los reportados para plantas en bibliografía.	55

RESUMEN

Se realizó la evaluación de un suelo de relleno de basura en una parcela del Municipio de Huehuetoca, Méx., con la idea de conocer sus características físicas, químicas y de contenido de metales pesados, para determinar si es o no recomendable el establecimiento de un vivero de nopal verdulero.

Se encontró que una primera limitante para establecer cualquier cultivo es el bajo contenido de nutrimentos en el suelo y el extremadamente pobre contenido de materia orgánica.

Se determinó que los metales pesados Pb, Cd y Cu rebasan los rangos permisibles para suelos, por lo cual se consideran como tóxicos.

Se cuantificaron los metales Pb, Cd y Cu en plantas de nopal que crecían en el lugar de estudio y se observó que aunque sí están absorbiendo dichos metales, los niveles que alcanzaron no rebasan los rangos permisibles para plantas.

No se considera adecuada la utilización de esta parcela para producción de cultivos de consumo humano, se sugiere su uso como áreas verdes o canchas deportivas.

III. INTRODUCCION

En la actualidad, el problema de la generación de residuos sólidos y su disposición ha despertado un sinnúmero de polémicas, y un interés cada vez mayor por conocer los procesos de su manejo y disposición final así como el impacto que esto representa al medio.

El hombre, al verse inmerso en diferentes sistemas de producción e industrialización, en cualquier parte del mundo, ha generado como resultado una gran cantidad de residuos sólidos y muchos de ellos no reciclables o, en todo caso por su misma cantidad el posible proceso de reciclamiento no es atractivo económicamente, ya que requiere de una adecuada infraestructura que representa un alto costo.

Se han probado así varias formas de manejo de los residuos, como son el reciclaje, la incineración, el composteo y la acumulación, siendo esta última la más utilizada y la que se retoma en el presente trabajo.

En la búsqueda por deshacerse de los residuos sólidos se ha optado por acumularlos de diversas formas:

3.1 Sitios de disposición final de residuos sólidos

- a) Basurero a cielo abierto
- b) Entierro controlado
- c) Relleno sanitario

a) Basurero a cielo abierto

Es éste el sistema más antiguo, más rudimentario y más económico, al mismo tiempo más insalubre y no recomendado.

El basurero a cielo abierto es una forma de disposición final en la cual se lleva a cabo la acumulación incontrolada de desechos sólidos sin ninguna técnica de control sanitario, implica menores gastos de inversión pero produce mayor impacto al ambiente. (Rivas 1991).

El impacto ambiental generado por este método es determinante, ya que las basuras urbanas están conformadas por materiales muy heterogéneos que constituyen un medio ideal para el desarrollo de toda clase de microorganismos patógenos que en un momento dado pueden representar un gran daño a la salud pública.

Los problemas de contaminación que causa este tipo de basureros son: deterioro de la zona y desaparición de la capa vegetal, provocando erosión el terreno y modificación de algunos aspectos climatológicos. Otros aspectos del problema son los lixiviados que arrastran elementos orgánicos e inorgánicos que pueden alcanzar mantos freáticos y los polvos y partículas arrastradas por el viento. (López 1986 y López M. 1992).

b) Enterramiento controlado

Otra forma de disposición es el enterramiento controlado, donde primero se coloca una capa de basura y después una capa de tierra, cada una de las cuales se esparce y comprime, repitiéndose el procedimiento hasta el cierre definitivo donde se sella. (Taboada 1992).

En este procedimiento se hace una excavación o se utilizan depresiones naturales: cañadas, oquedades naturales, barrancas, etc; los desechos se compactan y se cubren con tierra para evitar la proliferación de fauna nociva, reducir la formación de bolsas de biogás y disminuir la dispersión de los materiales por viento (Rivas 1991).

Los enterramientos controlados van a representar un aumento en cuanto a los costos de mantenimiento, pero ciertamente el impacto causado al medio disminuye.

c) Relleno sanitario

La "American Society of Civil Engineers" (ASCE) citada por la Sedue (1984) da la siguiente definición: "Relleno sanitario es una técnica para disposición de la basura en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método éste que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área menor posible, reduciendo el volumen mínimo practicable y para cubrir la basura así depositada con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al fin de cada jornada".

Muchas veces se confunde con el "relleno sanitario empírico" que se encuentran en todas partes, distorsionando el concepto de relleno sanitario. Sin embargo existen características específicas para la construcción de un verdadero relleno sanitario:

Salvato (1982) comenta que el relleno sanitario no debe confundirse con el vertedero descubierto, ya que las características de éste como son humo, olor y plagas, no están presentes en una disposición apropiada y operada en relleno sanitario. Así un relleno sanitario es un proyecto de ingeniería de construcción y operación. Debe presentar ventilación y recuperación de gas, contar con un sistema colector de lixiviados y debe ser controlado y monitoreado.

Para construir un relleno sanitario, se tienen que llevar a cabo los siguientes pasos:

1. Selección del sitio
2. Diseño
3. Operación

Algunas de las consideraciones en la selección de un sitio son: sanidad, seguridad, accesibilidad, clima, drenaje, zona, costo del transporte y opinión pública.

Un sitio de relleno sanitario puede ser lo suficientemente grande, bien drenado, no expuesto a llegar a ser una molestia pública o peligroso a la salud y utilizable en cualquier momento.

Citando una publicación de la EPA. (Environmental Protection Agency 1992). Los sitios de disposición deben:

1. Ser fácilmente accesibles en cualquier momento a todos los vehículos de acuerdo al uso de éstos.
2. Presentar protección contra la contaminación de agua originada de la disposición de desechos sólidos.
3. Presentar protección contra el movimiento de gases descontrolados originados de la disposición de desechos sólidos.
4. Tener una adecuada cantidad de tierra de cobertura, material que sea fácilmente trabajable, compactable, libre de objetos grandes que pueden obstaculizar su compactación, que contenga materia orgánica en suficiente cantidad y distribución apropiada para la cobertura y formación de vectores.

5. De acuerdo con el suelo planear el uso del área.

En suma, el propósito del sitio se puede escoger de acuerdo a las consideraciones de opiniones de la comunidad y debe ser un sitio lo más económicamente acondicionado con los últimos requerimientos para la disposición de los desechos sólidos.

Un aspecto importante en la selección del sitio de disposición, junto con factores de ingeniería, es la evaluación de la reacción del público en el entendimiento y aceptación. Se hace necesario un programa de información pública; igualmente es importante un clima de cooperación política y comparación de costos y alternativas de solución (Salvato 1982).

Al planear un relleno sanitario también se debe elaborar un proyecto paisajístico para llevarlo a cabo una vez clausurado el relleno.

El relleno sanitario se debe integrar perfectamente al ambiente natural y adecuarse al uso futuro. No sólo la superficie final del relleno sino también la entrada y el contorno de la obra de ejecución deben merecer consideraciones paisajísticas.

Una cobertura final espesa y drenaje de gases son esenciales a la vida vegetal sobre un relleno que se restringe a algunas especies, mientras el relleno no se estabiliza. Las plantas deben tener raíces superficiales que no traspasen la cobertura. (Sedue 1984).

Por su parte, Salvato (1982) asegura que cuatro pies (1.20 m) o más de tierra de cobertura es necesaria en caso de que se vaya a establecer un paisaje, pero la cantidad de cobertura depende del crecimiento de las plantas.

Lo ideal entonces sería la utilización de rellenos sanitarios que cumplieran todos los requerimientos de calidad, para llevar a cabo una adecuada disposición de los residuos. Sin embargo, independientemente del tipo de acumulación que se lleva a cabo, el sitio donde se establezca sufrirá cambios muy drásticos que afectarán completamente sus características físicas, químicas y biológicas; además como comenta Restrepo (1982) el espacio disponible para Rellenos Sanitarios es muy limitado y la poca disponibilidad de sitios adecuados puede ocasionar que se disponga de sitios que podrían tener otro uso diferente a la acumulación de desechos sólidos, tal es el caso del terreno al que se refiere este trabajo donde se utilizó un terreno de la zona ejidal para acumular basura.

Así pues, sin importar la técnica empleada, se presentarán siempre grandes cambios a nivel suelo. Dichos cambios son debidos a la degradación de la materia orgánica ahí acumulada.

Así el suelo se va a modificar por presencia de gases producidos en condiciones anaeróbicas, a la humedad y disponibilidad de varios elementos (López 1990).

Según Flower (1978) el proceso de descomposición de la basura se va a ver afectado por: permeabilidad de la cubierta, profundidad de lluvia, contenido de humedad de desechos, compactación, pH y edad del basurero.

Por su parte Rivas (op. cit) comenta que en estos sitios se provoca una gran alteración al suelo ya que los residuos introducen concentraciones anormales de elementos que se comportan como contaminantes y materiales sintéticos de difícil descomposición, también se genera biogas que modifica la atmósfera del suelo y por si fuera poco, están los lixiviados que arrastran compuestos originados durante la descomposición.

Para Arteaga (1986) la introducción de desechos al suelo es catalogada como contaminación artificial, definida como aquellas sustancias que se hallan esparcidas en el medio ambiente debido a las actividades humanas y da como ejemplo: materiales de desechos domésticos, emanaciones producto de la combustión, compuestos químicos, aguas negras, compuestos radioactivos y derivados de metales pesados. También menciona que este tipo de contaminación actúa sobre los tres principales medios ambientales: agua, aire y suelo.

Para entender las afirmaciones anteriores se considera necesario explicar brevemente en qué consiste el proceso de degradación de los desechos:

La basura enterrada sufre cambios físicos y químicos derivados de una actividad biológica y de reducciones y cambios en el medio; todo esto genera sólidos, líquidos y gases por acción de microorganismos aeróbicos, anaeróbicos y facultativos que utilizan materiales tanto orgánicos como inorgánicos para la degradación y va a depender del tipo de carácter de los materiales, de la humedad del lugar, temperatura y pH el que el proceso sea lento o rápido.

El proceso de degradación puede dividirse en dos partes:

- 1) Fase aeróbica

2) Fase anaeróbica

a) No metanogénica

b) Metanogénica

1. Fase aeróbica

Esta se lleva a cabo con el oxígeno que ha quedado atrapado entre los desechos, en esta etapa van a actuar los microorganismos aeróbicos dando como resultado productos como el bióxido de carbono, agua, nitritos y nitratos de amoníaco.

Los microorganismos aeróbicos se desarrollan e inician el proceso de descomposición al encontrarse en condiciones favorables de humedad, temperatura y aereación, estos microorganismos utilizan rápidamente los carbohidratos fácilmente degradables y los líquidos presentes. El pH es ligeramente ácido (6), parecido al material celular de los vegetales, esto debido a la producción de ácidos orgánicos.

2. Fase anaeróbica

Esta empieza a medida que se consume el oxígeno, los microorganismos facultativos y anaeróbicos empiezan la descomposición de los productos orgánicos a una velocidad menor.

Durante la etapa no metanogénica se forman ácidos como el acético, azúcares simples y aminoácidos que al romperse producen hidrógeno, monóxido de carbono, amoníaco, agua y bióxido de carbono y disipa poco calor.

Posteriormente empieza la etapa metanogénica en la cual tiene una enorme importancia la producción de metano, gas de elevado poder energético.

El mal olor es una de las limitaciones en el proceso anaeróbico. Sobre los ácidos orgánicos formados actúan metano-bacterias que los descomponen en metano y dióxido de carbono. La disminución del contenido ácido se revela en la elevación del pH, indicador de esta importante e inestable etapa en la cual la acidez ambiental, temperatura y presencia de sustancias tóxicas (residuos químicos y oxígeno) afecta mucho la productividad metanogénica.

En general en esta etapa se produce bióxido de carbono, metano, agua, etano, propano, fosfina, ácido sulfhídrico, nitrógeno molecular y óxido nitroso (Flower et al, 1978; Salvato, 1982; López, 1988; Taboada, 1992; Sedue 1984).

Físicamente, la basura está constituida de agua en un 40 a 50% y durante la degradación de la materia orgánica se produce más agua que se incrementa con el agua de lluvia infiltrada a través de la basura, creando otro subproducto conocido como lixiviado, que arrastra a materiales sólidos y solubles y los productos de la descomposición bioquímica de la basura, resultando así un caldo con alta capacidad contaminante.

Las sustancias líquidas y disueltas, y aún las sustancias insolubles, tienden a percolar y escurrir por la masa de basura y enseguida por el suelo.

Debido a los movimientos de agua freática, una sustancia contaminante que se percola a través del suelo encuentra un vehículo y adquiere gran movilidad al alcanzar el nivel freático.

La cantidad de lixiviados puede depender de las prácticas de operación y manejo, entre ellas están: El manejo del material de cubierta, el riego anterior a la compactación, la variación diaria en la compactación y las celdas de construcción y la variación en la descomposición de los desechos y desperdicios. (Cruz et al, 1989; Sedue 1984; Taboada, 1992).

Lo anterior pone de manifiesto la importancia de que en la disposición de residuos sólidos exista un sistema de tratamiento de lixiviados lo más adecuado posible, que evite problemas no solo ambientales sino de salud pública.

3.2 Fertilidad del suelo:

Normalmente la bibliografía reporta una serie de parámetros para las propiedades físicas y químicas de un suelo bajo condiciones que podrían considerarse normales, en este punto se hablará de ellos, para posteriormente hacer una comparación con las características que se van a encontrar en un relleno de basura.

3.2.1. Parámetros físicos

Densidad aparente, densidad real y espacio poroso.

Estos parámetros están muy relacionados con la materia orgánica presente en el medio y la humedad. Ríos (1985) considera que para la densidad aparente es común valores de 0.85 a 1.9 g/ml mientras que para la densidad real se reporta un promedio aproximadamente de 2.65 g/ml. Con los dos parámetros anteriores se puede obtener el valor del espacio poroso, que se relaciona con la capacidad de los suelos para retener agua y oxígeno y está dado por la cantidad y tamaño de poros que tenga el suelo, se da un intervalo normal de 50% (Rivas 1992).

Conductividad eléctrica:

Esta es una medida de la salinidad y se basa en el contenido de sales solubles del extracto de saturación, Cajuste (1977) da la siguiente clasificación:

Suelos salinos: conductividad mayor a 4 mmhos/cm.

Suelos no salinos: conductividad menor de 4 mmhos/cm.

3.2.2. Parámetros químicos:

El pH es un parámetro de gran importancia ya que va a afectar la solubilidad de muchos de los nutrientes esenciales para las plantas y sustancias que pueden ser tóxicas, también puede influir en las propiedades de intercambio de cationes y aniones y en la actividad de microorganismos.

Con frecuencia se ha dicho que un pH de 6.5 es ideal para la mayoría de los cultivos, sin embargo, afirma Cajuste (op. cit) que el "mejor" pH para un cultivo depende de muchos factores.

Ríos (1985) considera normales valores de 7. Para Jackson (1982) hay evidencias considerables de que en la actividad del ión hidrógeno por sí mismo, en el intervalo normal de pH 4 a 9 no es perjudicial para las plantas, sino que los efectos del pH del suelo sobre el desarrollo son indirectos.

Materia orgánica

La formación de la materia orgánica del suelo es, básicamente, de origen biológico, interviniendo en esto toda la flora y fauna del suelo; así, los microorganismos utilizan el material orgánico del suelo, formado por residuos de plantas y animales como fuente de energía al descomponerlos, dando como resultado un material completamente distinto con el nombre de materia orgánica humificada o humus.

Dentro de la materia orgánica el nitrógeno es uno de los elementos básicos y el fósforo, azufre, además del carbono y el oxígeno son elementos muy comunes en ella. (Cajuste op. cit).

El Dr. Moreno Dahme (1977) da una clasificación tentativa para varios parámetros, entre ellos materia orgánica por método Walkley-Black:

Clasificación	% M.O.
Extremadamente pobre	Menor de 0.60
Pobre	0.60 - 1.20
Medianamente pobre	1.21 - 1.80
Mediano	1.81 - 2.40
Medianamente rico	2.41 - 3.0
Rico	3.01 - 4.20
Extremadamente rico	Mayor de 4.20

Nitrógeno

Es el constituyente esencial de todas las proteínas de las plantas y es muy probable que sea el elemento que limita frecuentemente el desarrollo de los cultivos agrícolas.

En los suelos casi todo el nitrógeno está en forma orgánica y como el nitrógeno forma parte de un 5% de la materia orgánica y el contenido de nitrógeno está estrechamente relacionado con la cantidad de materia orgánica, Cajuste (op. cit) da un promedio de 0.14 (2,800 Kg/ha.) de porcentaje de nitrógeno en la porción mineral del suelo.

Existen dos formas de incorporación de nitrógeno al medio, una es por residuos animales y vegetales y otra por fijación de nitrógeno atmosférico llevada a cabo por microorganismos, de ambos procesos se obtiene nitrógeno amoniacal que al llevarse a cabo la mineralización se convierte a nitratos que es la forma en que puede ser utilizado el nitrógeno por plantas.

El Dr. Moreno (1977) da la siguientes clasificación para nitrógeno.

Nitrógeno total. (Kjeldhal)

Clasificación	% N
Extremadamente pobre	Menor que 0.032
Pobre	0.032 - 0.063
Medianamente pobre	0.064 - 0.095
Mediano	0.096 - 0.126
Medianamente rico	0.127 - 0.158
Rico	0.159 - 0.221
Extremadamente rico	Mayor de 0.221

Fósforo

El fósforo forma parte de muchos compuestos esenciales en las plantas y una de las funciones más importantes está relacionada con los procesos energéticos dentro de las plantas.

Es común encontrar promedios de 0.06 (aproximadamente 600 ppm ó 1,200 Kg/ha) en la capa arable de los suelos agrícolas.

El fósforo proviene en un 95% de las rocas ígneas y es un elemento poco soluble y de baja movilidad.

Concentraciones de 2,000 ppm. son consideradas aceptables para la mayoría de las plantas y concentraciones de 200-2000 ppm. se reportan para suelos naturales (Cajuste 1977; Taboada 1992; Black 1975; Rivas 1991; Allen 1974).

El Dr. Moreno (1977) da un rango de concentración normal de 0.5-5000 ppm. de fósforo en suelo.

Potasio

Es otro macroelemento para las plantas, no en forma estructural pero si manteniendo el balance osmótico e interviniendo en la traslocación de azúcares. Se reportan concentraciones de 1,000 a 2,000 ppm. para los suelos naturales y 10,000 ppm. se consideran aceptables para la mayoría de las plantas (Allen 1974; Foch y Col. 1981).

El Dr. Moreno (1977) menciona que los rangos de concentración normal en suelos va de 50-4000 ppm. y da una clasificación tentativa de potasio.

Potasio asimilable	Kg/Ha	p.p.m.
Extremadamente pobre	menor de 70	menor de 25
Pobre	70-149	25-50
Mediano	140-210	50-75
Medianamente rico	210-280	75-100
Rico	280-350	100-125
Extremadamente rico	mayor de 350	mayor de 125

Calcio

El calcio es el catión intercambiable más abundante en la mayoría de los suelos ya que sufre menos el proceso de lixiviación en el suelo que los demás cationes y tiende a acumularse. La materia orgánica retiene el calcio más firmemente que el magnesio. Se puede encontrar una deficiencia de calcio en la mayoría de los suelos cuando el contenido de calcio intercambiable es menor de 250 ppm. aproximadamente, o cerca de 500 ppm. si la concentración de magnesio intercambiable del suelo excede a la del calcio intercambiable. (Schulte, 1969).

Para el Dr. Moreno, el calcio se puede clasificar de la siguiente forma:

Calcio asimilable	Kg/Ha	p.p.m.
Extremadamente pobre	menor de 500	menor de 175
Pobre	500-1000	175-350
Medianamente pobre	1000-1500	350-575
Mediano	1500-2000	575-700
Medianamente rico	2000-2500	700-900
Rico	2500-3000	900-1100
Extremadamente rico	mayor de 3000	mayor de 1100

Magnesio

El magnesio, después del calcio, es el catión intercambiable más abundante en la mayoría de los suelos. La disponibilidad de magnesio para la planta se mide en términos del contenido de magnesio intercambiable del suelo. Es probable que los suelos conteniendo menos de 150 ppm. de magnesio intercambiable o los suelos en donde el potasio intercambiable exceda al magnesio intercambiable puedan presentar deficiencias de magnesio. (Cajuste 1977).

Para el Dr. Moreno (1970) el magnesio puede ser clasificado:

Magnesio asimilable	Kg/Ha	p.p.m.
Extremadamente pobre	menor de 25	menor de 9
Pobre	25-50	9-18
Medianamente pobre	50-100	18-35
Mediano	100-150	35-55
Medianamente rico	150-250	55-90
Rico	250-350	90-125
Extremadamente rico	mayor de 350	mayor de 125

Ahora bien, una vez relacionadas brevemente las características que se pueden encontrar en el suelo, se comentarán los factores limitantes en suelos impactados por desechos sólidos.

Parámetros físicos

La atmósfera del suelo se va a ver afectada por contener altas concentraciones de dióxido de carbono y metano, producto de la descomposición, los cuales interfieren con el crecimiento de la raíz, debido a que ésta necesita oxígeno para llevar a cabo sus funciones, siendo dicho elemento desplazado por otros gases y agotado por bacterias aeróbicas. Es frecuente que a temperaturas altas sea necesario un incremento de oxígeno porque la actividad metabólica de la planta es mayor y si éste no es suficiente se presentan síntomas de deficiencia mineral (Salvato 1982; Flower 1978). Habrá que tomar en cuenta además que, por lo general, estos sitios son sometidos a muchas maniobras de compactación, lo cual va a dificultar aún más la entrada de oxígeno a las raíces.

Parámetros químicos

Macronutrientes. En la mayoría de los rellenos sanitarios, para la cubierta final se emplean subsuelos y suelos superficiales de otros lugares, generalmente con bajos contenidos de materia orgánica y minerales; otras veces son materiales de excavación los cuales se depositan sobre el relleno, obteniéndose así suelos superficiales y deficientes.

En el caso del nitrógeno el ion amonio se pierde si se incrementa la alcalinidad o la temperatura del suelo, ya que tiende a aumentar el ion oxhidrilo, lo que ocasiona la reducción del ion amonio provocando que el amoniaco resultante se volatilice y se pierda en la atmósfera. El nitrógeno es de especial importancia en el establecimiento de la vegetación, es más fácil de perder en los suelos y es el nutriente más caro a suplir.

A diferencia del nitrógeno el fósforo no es móvil en el suelo y por lo tanto es muy lentamente perdido por lixiviación. Una aplicación de fósforo puede servir para varias estaciones de crecimiento. Es el caso del potasio éste es moderadamente móvil en los suelos y es lentamente lixiviado, pero una fuerte aplicación puede ser adicionada para varias estaciones de crecimiento.

Gilman (1981) reporta que la acumulación de nutrientes en plantas resulta afectada en suelos de baja aereación ya que varios estudios han demostrado que un suelo con oxígeno escaso no permite los mecanismos normales de la raíz, por lo cual va a presentarse un decremento en concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y B en hojas.

Otros nutrientes y materiales tóxicos.

Los suelos con minerales tóxicos o altos niveles de sales presentan especial problema y su uso como material de cobertura final en rellenos sanitarios debe evitarse a menos que no estén disponibles otros suelos. Si esos suelos deben ser usados, la selección de especies tolerantes es la vía más efectiva para superar los problemas asociados. En general los suelos que soportan un adecuado o razonable nivel de vegetación en su estado nativo no deben presentar problemas de toxicidad cuando se use como cubierta de rellenos.

Son muchos los factores limitantes que se presentan una vez clausurados los rellenos además de los anteriormente mencionados, algunos más pueden ser:

Gilman (et. al 1981) comenta que la infiltración del agua al suelo disminuye al incrementarse la densidad, dando como resultado un suelo con bajo contenido de humedad. También menciona que en ambientes de relleno puede darse una restricción en el crecimiento de raíces por suelo con bajo suministro de oxígeno, alto suministro de dióxido de carbono, impedimento mecánico debido a alta compactación del suelo e interacción entre esos parámetros.

La compactación del suelo puede afectar drásticamente la respuesta de las plantas al ambiente del suelo por disminución del espacio poroso total y por reducción del tamaño de los poros.

Por su parte Flower et. al (1977) comentan que niveles altos de bioxido de carbono pueden afectar la zona radicular de los vegetales. Respecto a la generación de gas metano encontraron que al parecer no es tóxico directamente a la vegetación sino que al combinarse con el bioxido de carbono ambos pueden remover el oxígeno de la zona de raíces por desplazamiento directo y/o por utilización del oxígeno por las bacterias que consumen metano, lo que da como resultado una tensión muy baja de oxígeno, la cual es tóxica para la vegetación. Además, puede haber otros compuestos gaseosos como el amonio, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y etileno, entre otros; varios de estos gases exhiben toxicidad directa para la vegetación.

Otro problema lo representa el hecho de colocar cubiertas plásticas como barreras para evitar el escurrimiento de lixiviados a los mantos freáticos, que hacen la zona de raíces de las planta susceptibles al empantanamiento ya que en tiempos de lluvias no hay drenaje vertical y el suelo puede sobresaturarse en condiciones anaeróbicas, por lo que dependiendo de la duración de esta situación puede dañarse la vegetación (EPA 1979).

pH. Los suelos usados para cobertura de desechos sólidos estan compuestos frecuentemente por una mezcla de suelos y subsuelos, en algunos casos serán de más de una localidad; el pH del suelo es un factor importante a considerarse ya que será necesario tratar de mantenerlo en un punto neutro porque si el pH del suelo es elevado, la solubilidad del fósforo, fierro, zinc y magnesio es baja y la planta no puede tomar dichos nutrientes, aunque éstos estén presentes en cantidad suficiente.

Si el pH del suelo está por debajo de 5, las extracciones de magnesio y varios metales son altos pudiendo llegar a ser tóxicos y la disponibilidad de molibdeno y fósforo es limitada (EPA 1979).

Las altas temperaturas del suelo (sobre los 60°C) son adversas al crecimiento de la vegetación cuando están asociadas con los gases de relleno.

En casi todos los casos donde los basureros presentan altas concentraciones de gases se encuentran elevadas concentraciones de elementos traza.

Generación de altas cantidades de lixiviado que es un líquido con alto potencial de contaminación tanto para el suelo, el agua y las plantas (EPA 1979, Flower 1978; Taboada 1992).

Lo anterior permite conocer algunos de los obstáculos que se presentan para poder recuperar un suelo de relleno ya que son muchos los factores críticos que van a afectar al desarrollo de árboles y arbustos. Por otra parte, se presenta el riesgo de contaminación del suelo por niveles altos de metales pesados.

3.3 Toxicidad por metales pesados

Los elementos traza son la principal fuente de los problemas de toxicidad debido a los metales, ya que la mayoría de los organismos no se adaptan a ellos cuando se encuentran en el ambiente en altas concentraciones. Geológicamente los elementos traza se definen como aquellos con una concentración de 1,000 ppm. o inferior en la corteza de la tierra. Los metales traza pueden dividirse en "pesados" (con densidades superiores a 5 g/ml) y "ligeros" (con densidades inferiores a 5 g/ml.). Muchos metales traza se consideran esenciales para la vida normal en bajas concentraciones.

Niveles altos de metales traza pueden producirse por fenómenos geológicos normales. El ser humano puede liberar metales quemando combustibles fósiles, extrayendo minerales, descargando residuos industriales, agrícolas y domésticos, o mediante la aplicación de plaguicidas. Una vez presentes en el ambiente no cambian de lugar con rapidez ni experimentan desintoxicación rápida a través de actividades metabólicas.

La EPA de Estados Unidos ha definido como metales peligrosos al berilio y al mercurio y otros nueve metales como peligrosos potenciales, es decir, que deben mantenerse bajo control. Estos son bario, cadmio, cobre, plomo, manganeso, níquel, zinc, vanadio y estaño. Todos estos, excepto el manganeso son metales traza, y todos estos excepto el bario son metales pesados.

Taboada (1992) comenta que algunos metales pesados son microelementos, tal es el caso de cobre, fierro y zinc, pero otros son tóxicos y se acumulan e interfieren con el mecanismo enzimático de plantas y animales como es el caso del plomo y cadmio entre otros.

Por su parte Lagerwerff (En Morvedt 1983) reafirma lo anterior al mencionar que el reemplazo en una enzima de un metal pesado por otro puede llevar un mal funcionamiento y si el reemplazo se lleva a cabo en porciones masivas o, en el peor caso, si resulta en una incapacidad bioquímica para llevar a cabo la función requerida, la salud del hombre se ve en peligro. Lo mismo ocurre cuando los metales pesados están presentes en concentraciones tales como para precipitar el PO-3, o si catalizan la degradación de metabolitos esenciales o alteran la permeabilidad de las membranas celulares.

Los metales pesados capaces de alterar la calidad del ambiente se derivan de diferentes fuentes categorizadas como aerosoles urbano-industriales, desperdicios líquidos y sólidos de animales y del hombre, industria minera y otros tipos de industria y químicos agrícolas. Morvedt (1983).

Försther (1989) comenta que entre los mecanismos de toxicidad de los metales pesados el más relevante es la inactivación química de las enzimas y que reaccionan con el grupo amino, imino y grupos sulfhidrilos de proteínas; algunos de los metales pueden competir con los elementos esenciales tales como el zinc y desplazar a las metaloenzimas.

Los procesos bioquímicos en el suelo considerados especialmente sensitivos a los metales pesados son la mineralización del nitrógeno y fósforo, la degradación de la celulosa y posiblemente la fijación del nitrógeno.

En suma, el riesgo de toxicidad para los organismos es que los metales traza pueden modificar los tejidos del alimento y envenenar al hombre continuamente al consumir alimentos contaminados.

Wood (citado por Försther 1989) da la clasificación de elementos de acuerdo a su toxicidad y disponibilidad:

No críticos			Tóxicos pero muy insolubles o muy raros		Muy tóxicos y relativamente accesibles		
Na	C	F	Ti	Ca	<u>Be</u>	<u>As</u>	<u>Au</u>
K	P	Li	Hf	La	<u>Co</u>	<u>Se</u>	<u>Hg</u>
Mg	Fe	Rb	Zr	Os	<u>Ni</u>	<u>Te</u>	
Ca	S	Sr	W	Rb	<u>Cu</u>	<u>Pd</u>	<u>Tl</u>
H	Cl (Al)**		<u>Nb</u>	Ir	<u>Zn</u>	<u>Ag</u>	<u>Pb</u>
O	Br	Si	<u>Ta</u>	Rv	<u>Sn</u>	<u>Cd</u>	<u>Sb</u>
N			Re	Ba	<u>Cr</u>	<u>Fe</u>	<u>Bi</u>

* Principales contaminantes para plantas son subrayados.

** Aluminio es tóxico para biotas acuáticas y terrestres cuando es movillizado a valores de pH bajos.

Lagerwerff (en Morvedt et al. 1983) comenta que la capacidad de algunas bacterias para fijar nitrógeno está relacionada con la preferencia de ciertos metales pesados en las enzimas para formar compuestos de coordinación con N₂. En la presencia de una abundancia de otros metales pesados, puede cesar la fijación de N₂ y por tanto la síntesis de proteínas.

Ormrod (1985) menciona que cuando se presentan en concentraciones elevadas, los elementos traza pueden ser tóxicos a las plantas y dice también que el origen de estos elementos traza en suelos en cantidades suficientes para ser tóxicos son vertidos principalmente en áreas industriales en donde con el tiempo se van acumulando por el vertido de desechos industriales, el uso de lodos residuales en agricultura, fertilización intensiva con algunos estiércoles, la infiltración de aguas negras contaminadas y el empleo de algunos pesticidas.

Por su parte Barrios (1989) citando a Flower (1977) comenta que si los basureros reciben residuos industriales, se pueden entonces producir otros compuestos, en su mayoría inorgánicos, que si alcanzan niveles altos en el suelo pueden afectar a la vegetación.

Así pues, muchos de los desechos que forman parte de los basureros como son el vidrio, las latas, el fierro, el plástico, pinturas y materiales para la construcción, durante su descomposición física y química producen diversos compuestos, entre los cuales los metales pesados ocupan un lugar importante, tanto por las cantidades producidas como por su toxicidad.

Duffus (1983) afirma que una vez que los metales pesados están disponibles en el ambiente, éstos no cambian de lugar con rapidez ni experimentan detoxificación rápida por actividades metabólicas así que se acumulan. Por lo tanto, su paso al medio debe ser controlado cuidadosamente.

A continuación se mencionan las fuentes y daños que pueden ocasionar al hombre los metales pesados evaluados en el presente trabajo.

Plomo

Según Barrios(1989) y Heredia (1989) el plomo ha sido siempre un constituyente natural de la atmósfera y es el más abundante de los metales pesados que se encuentran en la naturaleza. El hombre lo ha utilizado de una u otra forma desde hace 4,000 años.

Pemex (1986) enlista los usos más importantes del plomo:

- Formación de aleaciones de bajo punto de fusión.
- En la fabricación de fusibles eléctricos.
- En la fabricación de acumuladores.
- En la manufactura de municiones.
- En la fabricación de tuberías y accesorios.
- En la fabricación de soldaduras.
- En la ilustración de revistas.
- En la obtención de antideetonantes.
- En los tintes de cosméticos.
- Como aislante de la corrosión.
- Como amortiguadores de ruido.
- En la fabricación de envases desechables.
- En la fabricación de caracteres de imprenta.
- En la acuñación de monedas.
- En la fabricación de pinturas.
- En la fabricación de fungicidas.
- En el barnizado y laqueado de vasijas.
- En la fabricación de vidrio.
- En la purificación de alcohol.
- En la fabricación de caucho especial.

López (1992) abunda sobre esto y menciona además otras.

Con la cantidad de usos que tiene el plomo es fácil imaginar por que es el elemento más abundante, por naturaleza y por fuentes antropogénicas.

La importancia de dicho metal radica en los efectos que ocasiona en el ambiente al transferirse al suelo, plantas y animales ya sea por precipitación, ingestión o inhalación.

Las vías principales de entrada del plomo al hombre son tracto-digestivo y el respiratorio. Daffus (op. cit) comenta que el plomo tiende a acumularse ya que si bien la absorción es lenta, la excreción lo es más. Dice además que el plomo es absorbido por los glóbulos rojos y circula a través del cuerpo, concentrándose inicialmente en hígado y riñones, para después pasar a huesos, dientes y cerebro.

Por su parte Heredia (1989) afirma que en condiciones normales más del 95% del plomo retenido se encuentra en el esqueleto, y que una exposición más prolongada constituye un gran peligro ya que el plomo es veneno acumulativo. El envenenamiento por Pb es el resultado de elevados niveles de concentración de dicho metal en el organismo, principalmente en tejidos blandos. En su forma soluble, el plomo es tanto móvil como tóxico y afecta con frecuencia a la sangre, los riñones y el sistema nervioso. Los casos agudos presentan síntomas fácilmente reconocibles y al tratarse a tiempo pueden evitar daños permanentes, pero en los casos crónicos los daños pueden reconocerse solo después de que el daño es irreversible.

La anemia es el primer síntoma de envenenamiento crónico por el plomo en animales, ya que interfiere en la síntesis del grupo hemo.

Cadmio

El cadmio se encuentra normalmente en el suelo y agua en concentraciones bajas, sin embargo se haya ampliamente distribuido y puede encontrarse en rocas, carbón, arena, caliza, sedimentos de lagos y océanos y suelo.

Mondragón (et. ál. 1989) cataloga al cadmio como uno de los metales peligrosos reconocido como un contaminante ambiental y no es elemento esencial ni benéfico.

El cadmio es un metal utilizado en la industria alimenticia, textil, química, electrolástica, termoeléctrica etc.

Sus usos principales son:

- Electroplateado
- Aleaciones y soldaduras
- Pigmentos para plásticos, pinturas, textiles, tintas, gomas y colores.
- Celdas fotovoltaicas: en convertidores de energía solar a electricidad.

Las principales fuentes antropogénicas de cadmio en la atmósfera están representadas por las emisiones de las fundidoras, plantas de reprocesamiento, quema de plásticos y estaciones generadoras que usan carbón, tuberías de agua, humo de tabaco, incineración de residuos, impurezas en aceites y aditivos, el empleo de rines en vehículos, el uso de pesticidas y fertilizantes de superfosfato en el cual el cadmio puede estar presente como una impureza (Heredia 1989; Ormrod 1978; Duffus 1983).

La importancia del cadmio en la atmósfera radica en que muchas plantas y algunos animales lo absorben eficazmente y lo concentran dentro de sus tejidos. Está además la contribución del cadmio al agua y suelo y vegetales que sirven como alimento al hombre. Comúnmente la retención de cadmio a partir de los alimentos, por parte de los mamíferos, es baja pero la absorción aumenta si los mamíferos están sujetos a una dieta baja en calcio. (Ormrod y Duffus op. cit.).

Una vez en el organismo el cadmio se asocia con las proteínas de bajo peso molecular y se acumula en riñones, el hígado y órganos reproductores. Una exposición continua causa hipertensión, agrandamiento del corazón y muerte prematura. Según algunos estudios del cadmio puede inducir anomalías cromosómicas y puede ejercer efectos carcinógenos en los pulmones (Duffus op cit.).

Por su parte Lagerweff (en Morvedt 1983) menciona que se ha reportado que "tal vez la asociación más cercana de los metales con las enfermedades vasculares es el cadmio".

Zinc

El zinc es un micronutriente esencial y es considerado como uno de los elementos menos peligrosos.

El zinc migra más lejos de su fuente original en el suelo, rocas y corrientes y debido a este comportamiento se le conoce como uno de los metales pesados de mayor movilidad (Morvedt 1983), es utilizado en:

- Recubrimiento de metales (hierro y acero galvanizado).
- Fabricación de recipientes o contenedores.

La toxicidad de este metal puede aumentar debido a la presencia de arsénico, plomo, cadmio y antimonio como impurezas. Humos procedentes de la galvanoplastia pueden causar efectos tóxicos y causar la llamada "fiebre del zinc" que provoca escalofríos, fiebre y náuseas. El riesgo de envenenamiento aumenta cuando el zinc está en contacto con medios ácidos ya que se libera.

El zinc, a diferencia de otros metales se pierde a lo largo de las cadenas tróficas, lo cual minimiza el riesgo de envenenamiento (Duffus op. cit.).

Heredia (1989) comenta que el zinc es utilizado para procesos de galvanización y electroplateado, también para proteger instalaciones subterráneas de tanques y tuberías. Como base para aleaciones utilizadas en la industria automotriz, aparatos eléctricos, materiales de construcción, herramientas y juguetes.

En la manufactura de láminas corrugadas, canalones, fabricación de pilas secas, preparación de caucho, cerillos, productos de cerámica, vidrio, jabón, color de tintas de imprenta, cosméticos, ungüentos y pigmentos.

Como zinc metálico es empleado en la industria textil, del papel y la metalúrgica. Por sus propiedades resistentes a la corrosión se utiliza también en la elaboración de pinturas y recubrimientos.

En términos generales los efectos del zinc no se consideran mortíferos, aunque su ingestión en cantidades excesivas puede ocasionar desordenes gastrointestinales. Su efecto no es acumulativo.

Cobre

El cobre es uno de los metales traza más abundantes, puede estar en muy altas concentraciones en el agua, sedimentos y biotas, sus fuentes son:

- Actividades mineras.
- Uso intensivo en zonas ganaderas.
- Aplicación de fungicidas de cobre (caldo bordelés).

En general es ampliamente usado en su estado metálico ya sea puro o en aleaciones.

Se considera como micronutriente esencial para la mayoría de los organismos, pero todos los organismos acusan daños en concentraciones excesivas, tal es el caso de las algas, la mayoría de los peces que mueren con pocas ppm. y el caso de animales superiores como el hombre, donde los envenenamientos por cobre se manifiestan principalmente en daños cerebrales (Duffus 1983).

Fierro

Es el cuarto elemento más abundante en la corteza terrestre y sus usos son:

- Hierro estructural
- Acero
- Fabricación de tintes
- Fabricación de abrasivos

También es un micronutriente esencial en cantidades pequeñas para la mayoría de los organismos, pero la ingestión de cantidades excesivas puede originar la inhibición de actividad de muchas enzimas (Duffus 1983).

3.4 Captación de metales pesados por las plantas.

Cuando se presentan en altas concentraciones, los elementos traza pueden ser tóxicos a las plantas.

Si la sustancia que causa la toxicidad es un contaminante ambiental debe haber sido absorbido por la planta, esta absorción depende mucho de la naturaleza de la solución existente en el suelo, los solutos y la actividad microbiana del suelo que metaboliza dichos solutos.

Las sustancias tóxicas absorbidas por raíces son frecuentemente retenidas en los órganos de almacenamiento radiculares y persisten allí mucho más tiempo que en los tallos o las hojas.

Las tasas de absorción de las sustancias tóxicas por las plantas dependen mucho de los factores ambientales como duración del día; calidad e intensidad de la luz; temperatura; contenido de humedad y la composición química del suelo.

Una vez absorbidas las sustancias tóxicas entran al tejido vascular y pueden ser transportadas con rapidez desde las raíces hasta las hojas (Duffus 1983; Taboada 1992 y Ormrod 1978).

3.4.1. Efecto de los metales pesados en las plantas.

Plomo.

Se han reportado varios estudios donde se ha podido determinar que la concentración de plomo en los suelos y en la vegetación está fuertemente relacionado con la distancia y tráfico de zonas cercanas a carreteras, la dirección del viento y período de tiempo de uso en la profundidad del perfil del suelo. Así vamos a encontrar que las capas superficiales de la mayoría de los suelos son considerablemente más altas en plomo que los horizontes más profundos, contribuyendo a esto las plantas, ya que remueven metales de las capas más profundas y los depositan sobre los desperdicios en la superficie del suelo.

Las plantas tendrán dos vías de entrada del plomo: una la captación por hojas y otra por raíces. Ya adentro, el plomo se acumulará en la membrana celular, mitocondrias y cloroplastos (Lagerwerff en Morvedt 1983).

Dentro de las plantas el plomo tiene poca traslocación y tiende a acumularse más en raíces y hojas y las bajas concentraciones de metal son en flores y frutos o en la porción comestible de vegetales como zanahoria, maíz, papa y tomate. Se puede generalizar al decir que el incremento en suelos de plomo disponible incrementa la absorción por plantas, pero la absorción decrece con incremento de fósforo en el suelo. Las plantas, sin embargo, no presentan efectos notables por acumulación de plomo, tal vez debido a que se inmoviliza en vesículas y se deposita en paredes celulares (Ormrod 1978).

El riesgo real del plomo deriva entonces en el consumo de vegetales contaminados con este elemento, que tal vez tenga poca concentración en partes comestibles, pero cuyo efecto es acumulativo.

Existen parámetros para los intervalos comunes de plomo en suelos, para Allaway (1986) va de 2 a 200 p.p.m. y para Allen (1974) es de 2 a 20 p.p.m. en suelos y de 0.05 - 3 p.p.m. en plantas, dichos intervalos podrían considerarse como permisibles o tolerables.

Cadmio

El cadmio puede estar presente en el suelo por precipitación o por deposición directa, alcanzando después la zona de enraizamiento de las plantas. El metal es fácilmente absorbido a través de las raíces de las plantas con importancia alimenticia, moviéndose después fácil y rápidamente hacia las hojas (Lagerwerff en Morvedt, 1972) porque aunque muchos consideran al cadmio inmóvil, se ha encontrado que es más móvil que otros metales pesados.

La importancia de la absorción de cadmio por las plantas radica en que compete con elementos como cromo, cobre, magnesio y calcio y por consiguiente puede afectar la inactivación de sistemas alimenticios enzimáticos de lo cual son responsables dichos elementos. Los efectos en las plantas por acumulación de cadmio pueden ser: reducción de la tasa fotosintética, déficit en el contenido interno de agua por conductividad débil en tallos; reducción general de biomasa; incremento en la concentración de cadmio en raíz y tallo. (Mondragón 1989).

Ormrod (1978) reporta diferentes trabajos que se han realizado con respecto a concentración de cadmio en plantas hortícolas, donde se ha encontrado lo siguiente:

Los resultados en las plantas por acumulación de cadmio es el retardo del crecimiento y daños en el desarrollo.

La sensibilidad de los cultivos y la concentración de cadmio en sus tejidos varía ampliamente entre especies.

El crecimiento de la planta se ve disminuido y aparecen síntomas de clorosis.

El cadmio afecta la fotosíntesis y transpiración en hojas de maíz. También encontraron que las concentraciones de cadmio tienden a ser menores en las partes comestibles, semillas, frutos, o tubérculos con respecto a las raíces u hojas de plantas que crecen en suelos con cadmio.

El rango de concentración común en suelos para Allaway (1968) va de 0.01 a 0.7 p.p.m., y para Allen (1974) es menor, ya que para suelos reporta un límite de 0.03 a 0.3 p.p.m. y para plantas varía de 0.01 a 0.3 p.p.m.

Zinc

Es un micronutriente esencial y por lo general se considera como un elemento poco peligroso, pero su toxicidad puede aumentar al combinarse con otros metales como plomo, cadmio y arsénico (Duffus 1983).

Murphy y Walsh (en Morvedt et. al 1983) afirman que el zinc en cantidades excesivas puede ser tóxico a las plantas ya que si está en cantidades disponibles excesivas puede afectar la captación y metabolismo de otros elementos; ya que se ha demostrado que niveles elevados de zinc en el medio de crecimiento puede disminuir materialmente la concentración de fósforo y hierro en los tejidos de las plantas.

Por su parte Mondragón (1989) comenta que el zinc es un micronutriente esencial para las plantas, ya que los rangos normales son elevados (25 a 150 p.p.m. Morvedt 1983) lo cual hace que sean raras las toxicidades provocadas en forma natural. También reporta la evaluación de plantas de fresno y eucalipto bajo condiciones de invernadero, a las cuales se aplicaron concentraciones de hasta 600 p.p.m. de zinc, los resultados fueron: en suelos se vieron afectados parámetros como materia orgánica N, P, K, Ca y Mg, y a nivel de planta se pudo observar marchitamiento, defoliación y necrosis total a concentraciones de 400 y 600 p.p.m.

Allen (1974) reporta como parámetros comunes para zinc los siguientes: 1 a 40 p.p.m. en extracto de suelo y en plantas de 15 a 100 p.p.m.

Por su parte Allaway (1968) amplía el rango para suelos de 10 hasta 300 p.p.m. los cuales son considerados normales.

Cobre

Este elemento es un micronutriente esencial para muchos organismos y su abundancia es alta, está directamente relacionado con la nutrición de las plantas, sin embargo también pueden presentarse problemas por altas concentraciones.

Murphy y Walsh (en Morvedt 1983) reportan que las toxicidades por cobre pueden estar relacionadas con los efectos en la captación y utilización de otros elementos por las plantas. Así, niveles elevados de cobre en el suelo reducen marcadamente la captación de fósforo y la concentración de fierro en hojas y raíces.

Rivas (1991) reporta que los síntomas que va a presentar la planta por toxicidad en cobre es un reducido desarrollo, clorosis, achaparramiento, reducción en la formación de ramas, engrosamiento y obscurecimiento anormal de la zona de raíces, debido todo esto tal vez a que el cobre inhibe las reacciones de la fotosíntesis, notándose esto en la clorosis de las hojas.

Allen (1974) reporta para suelos minerales un intervalo de 5 a 100 p.p.m., para extracto de suelo de 0.1 a 3 p.p.m. y en plantas un intervalo de 2.5 a 25 p.p.m.

Fierro

Este metal es otro de los considerados micronutrientes esenciales, su importancia radica en que es necesario para la síntesis de clorofila. El fierro es utilizado en las hojas para las necesidades fotosintéticas, una planta verde privada de fierro pronto se vuelve clorótica en las zonas de crecimiento nuevo. También se considera fisiológicamente importante para las etapas iniciales de la germinación (Tiffin en Morvedt 1983).

En cuanto a su toxicidad, se ha encontrado que algunos suelos contienen fierro con un exceso del 5% sin que ocurran problemas de toxicidad aparente en plantas. (Murphy y Walsh en Morvedt 1983).

Allen (1974) establece como intervalos comunes en extracto de suelos de 50 a 1000 p.p.m. y en plantas va de 40 a 500 p.p.m.

Ormrod (1978) reporta algunos trabajos donde se evaluaron los efectos de mezclas de metales pesados en las plantas, determinándose que los efectos de los elementos combinados son más peligrosos que los efectos causados por los elementos separados.

3.5 Introducción de vegetación

En los sitios donde se han depositado desechos, una vez que se dejan de trabajar se empieza a desarrollar una capa vegetal formada principalmente por plantas herbáceas, pudiéndose dar en dichos lugares una sucesión vegetal donde prosperan malezas pioneras nativas o introducidas. (López 1987; Taboada 1992).

Browret (en Morvedt 1983) comenta que la colonización de las plantas en áreas contaminadas es a menudo posible únicamente como resultado de cambios evolutivos, lo cual será un proceso lento y con presiones de selección muy fuertes cuanto más severo es el ambiente.

La vegetación puede ser pobre y el número de especies escaso pero algunas plantas se han adaptado a estas áreas a través de selección natural.

Bradshaw (1985) también apoya lo anterior, al reportar que incluso en zonas inhóspitas donde hay acumulación de desechos en zonas mineras es raro encontrarlos totalmente desprovistos de vegetación ya que se caracterizan por una escasa vegetación con desiertos muy extensos entre las plantas. Las plantas pueden llegar a crear tolerancias a condiciones tan adversas como el contenido alto de metales tóxicos, comprobando que la tolerancia es un fenómeno característico de poblaciones dentro de una especie, pero no de la especie total. Así, la aparición casi universal de poblaciones tolerantes hacia los metales en zonas mineras demuestra la gran fuerza de la selección natural en los cambios evolutivos que aparecen como respuesta a las variaciones ambientales.

El mismo Bradshaw realizó varios trabajos sobre tolerancia a metales tóxicos, encontrando que la tolerancia es específica a cada uno de los metales y que no existe un único mecanismo de tolerancia hacia los metales pesados, sino varios mecanismos diferentes, cada uno consiguiendo un cierto grado de tolerancia.

López y Col (1987) encontraron que en Bordo Kochiaca las concentraciones de metales rebasaron los límites permisibles en suelo y al realizar el análisis en tejidos de planta de jitomate que allí crecía se observó que la concentración de metales en fruto estuvieron siempre por debajo de los valores normales y nunca alcanzó niveles tóxicos, sin embargo en los otros tejidos vegetativos (tallo, hojas, raíz) se acumulan aún por encima de los niveles tóxicos, sin afectar la planta.

Ormrod (1978) también ha observado que las plantas se pueden adaptar a estrés mineral incluso el debido a toxicidad por elementos traza y ha desarrollado algunos métodos para determinar la adaptabilidad de especies.

Los rellenos sanitarios como receptores de desechos sólidos no son la excepción y no solo se empezará a establecer una capa de vegetación sino que se fomentará y más aún, se buscará una total cobertura vegetal.

Un proyecto para el establecimiento de un relleno sanitario deberá incluir las actividades de clausura y post-clausura que son muy importantes para completar los requerimientos ambientales de manejo de un relleno y así adecuarse al uso futuro, mejorando la apariencia de estos sitios que estén empezando a considerarse para varias opciones de rehuso (Sedue 1984; Díaz 1994 y EPA 1982).

El uso final que se dará al relleno va a depender de varios factores: tipos de desechos en el relleno, calidad de prácticas de operación seguidas, clima del lugar, etc.

Las propuestas de rehuso incluyen (Díaz 1994):

- Areas de recreación pasiva o espacios abiertos. Parques, cinturones verdes.
- Usos de recreación activa, canchas de atletismo, campos de golf.
- Desarrollo comerciales: Areas de almacenamiento, edificios metálicos de carga ligera.
- Desarrollos residenciales con departamentos pequeños, ya que debido a la inestabilidad de los desechos, los rellenos no soportan cargas pesadas.

Sin embargo, para determinar el uso que se le dará al relleno una vez clausurado habrá que tomar en cuenta varias cuestiones:

Para un buen modelo y propiamente la implantación de un plan de trabajo para las necesidades a lo largo y corto plazo podía ser efectiva la estabilización de la cobertura superficial del sitio, reduciendo erosión por viento y agua y pudiéndose preparar el sitio para un posible rehuso. (EPA 1982).

El papel de la vegetación sobre los desechos sólidos es de protección tan efectiva como sea posible; y es la cubierta final expuesta del suelo contra la erosión y destrucción. Por lo tanto, es de vital importancia que el suelo tenga y mantenga una vegetación sana que impida la percolación. La vegetación reduce el impacto de las gotas de lluvia y la velocidad del drenaje, fortaleciendo en suelo la masa de raíces (Lutton 1979).

A lo largo del tiempo la estabilización vegetativa generalmente involucra la plantación de pastos, herbáceas y matorrales.

En el establecimiento a corto tiempo, la cobertura vegetal estacional es limitada principalmente para especies de herbáceas.

Una buena mezcla de cobertura de herbáceas, arbustos y árboles podrían restaurar suelos económicos y de valor estético para el rehuso del sitio, que proveen de un habitat para poblaciones de humanos y vida silvestre (EPA 1982).

Una vez clausurados, los rellenos continúan produciendo gases y productos solubles de la descomposición orgánica por años y los arbustos y árboles pueden penetrar la cobertura con largas raíces y causar una vía de agua y gases dentro del relleno, por lo que es muy importante llevar a cabo una clausura adecuada, estableciendo coberturas que soporten una buena vegetación.

Cuando el relleno ha llegado al término de su vida útil, deberá colocarse una cubierta de suelo que servirá para confinar los desechos sólidos, reducir olores, promover el drenaje de agua superficial y como soporte de crecimiento de vegetación.

Así, la cobertura final proveerá a la superficie y taludes del relleno un sello, que deberá ser cuidadosamente colocado para minimizar problemas por largo tiempo y dar la máxima protección. La cubierta final debe ser colocada basándose en el clima, tamaño del relleno, uso de los alrededores del relleno, uso final de el sitio, etc. (Estrada 1994).

Una de las más importantes funciones de la cubierta final es proveer superficie de drenaje y disminuir la filtración de agua al interior de los desechos sólidos para producir lixiviado, así la cubierta final debe minimizar el descenso del agua de precipitación.

Según Estrada (op. cit). La cobertura final consta de dos partes:

- 1) La superficie o capa de soporte de vegetación.
- 2) La capa de barrera hidráulica.

En climas secos se recomiendan por lo menos 60 cm. para la capa superficial y 30 cm. para la barrera hidráulica. En climas húmedos se sugiere que la barrera hidráulica tenga por lo menos 60 cm. de grosor.

En el caso de la barrera o capa vegetativa el suelo utilizado puede ser mezclado con estiércol, composta, lodos etc. para mejorar las condiciones de esta capa que será la que soporte la vegetación.

La EPA (1982) sugiere que una reforestación sistemática planeada debe incluir:

- 1) Selección de especies vegetales adaptables.
- 2) Preparación de semillas.
- 3) Siembra y plantación.
- 4) Resistencia y/o estabilización química

O'Leary y Walsh (1992) abundan sobre los pasos que hay que seguir para la vegetación en rellenos:

1. Selección de uso final.
2. Determinación de la profundidad de la cubierta: ésta debe ser por lo menos de 60 cm., para el establecimiento de pastos y 90 cm. para árboles.
3. Establecer un programa de control de erosión: el suelo de un relleno recientemente cubierto debe ser estabilizado inmediatamente después de colocado para prevenir erosión.
4. Determinar el nivel de nutrientes del suelo: Antes o durante la pastización deben realizarse análisis para pH, macronutrientes (N, P, K), conductividad, densidad y materia orgánica.

5. Determinar la densidad del suelo: las coberturas del suelo son frecuentemente compactadas por las operaciones propias del relleno así como el extendido de la tierra por lo cual la densidad puede restringir severamente el desarrollo de raíces de las plantas.
6. Mejoramiento del suelo de cobertura: el suelo sobre el área de plantación entera debe de ser mejorada con limos, fertilizantes y/o materia orgánica de acuerdo a los análisis de suelos. Este material debe incorporarse en los 15 cm. superficiales del suelo.
7. Selección de especies tolerantes al relleno: pastos y otras especies para cobertura pueden ser seleccionadas en parcelas previamente establecidas para determinar la tolerancia de las plantas al relleno.
8. Plantas de pasto y cubiertas de tierra: es deseable que las semillas sean retenidas en el suelo, para lo cual pueden utilizarse los mulches.
9. Crecimiento de árboles y arbustos: éstos no deben ser plantados en uno o dos años después de plantado el pasto. Hay que tomar en cuenta que si los pastos no pueden desarrollarse debido a los gases provenientes del relleno, es poco probable que otras especies de raíces profundas prosperen.

Los puntos anteriores resumen muchos de los parámetros que hay que tomar en cuenta y que son reportados por la mayoría de los autores, y muchos de ellos (Lutton 1979; EPA 1982; Flower 1978; Gilman 1981 y O'Leary y Walsh 1992) coinciden en que la selección de especies tolerantes a los rellenos representa uno de los puntos determinantes para el buen establecimiento de la cobertura vegetal deseada al clausurar un relleno de desechos.

Se desea que las especies a establecer sean de bajo crecimiento, propagación por rizomas y estolones; rápida germinación y desarrollo, resistencia al fuego, a los insectos y enfermedades y resistentes a sequías. Se sugiere considerar la vegetación regional (Gilman 1981).

La EPA (1982) reporta una lista de especies de árboles resistentes a las condiciones de relleno, que de mayor a menor tolerancia son los siguientes: eucalipto, ginko, pino negro, laurel, alamo, pino blanco, roble, sycomoro, maple, eucalipto dulce (Alcanfor) y fresno.

Gilman (1981) encontró que pino japonés negro, abeto noruego, goma negra y laurel son más tolerantes a suelos de relleno con bajo pH (4.5) y que fresno, sycomoro y maple son tolerantes a ambientes de bajo oxígeno.

Para ayudar al rápido establecimiento de especies se puede aplicar mulches o estabilizantes químicos. El método más común y eficiente de siembra de grandes extensiones con pendientes escalonadas es con hidrosebradoras. Semilla, fertilizante y mulches pueden ser asperjados desde la hidrosebradora sobre todo en pendientes pronunciadas y afeas de difícil acceso (EPA 1982).

Además de lo anterior hay otros puntos a considerar como son:

Prevención de migración de gas en zona de raíces, esto se logra por medio de barreras, zanjas y elevaciones de suelo. Sobre este aspecto Gilman (op. cit) observó en un trabajo realizado con varias especies que el sistema radicular de especies más tolerantes fueron más someras que en especies no tolerantes. En rellenos con altas concentraciones de gas (22.8 % CO₂, 12 % CH₄) y bajo oxígeno (4.3 % O₂) las raíces de varios árboles no pudieron mantener buen crecimiento y murieron; sin embargo a concentraciones moderadas (8.1 % CO₂, 0.9 % CH₄ y 18.5 % O₂) las raíces presentaron la habilidad para crecer hacia la superficie del suelo y evitar el ambiente contaminado del suelo a una profundidad de 30 cm. Por lo tanto tienden a tolerar moderadamente la contaminación de gas del relleno, no tanto por crecimiento en suelos contaminados, pero si para evitar los gases por medio de producción de un sistema de raíces poco profundas.

El derribo de árboles puede volverse más común en sitios de relleno, debido a que carecen de anclaje de raíces profundo.

Una cobertura de suelo profunda puede promover un profundo sistema de raíces y, por lo tanto, ayudar a prevenir la volcadura.

Lo anterior también lleva a reconocer que la necesidad de riego en los rellenos es más frecuente e indispensable.

Finalmente cabe mencionar que una vez que la cubierta de vegetación es colocada y estabilizada, las fuerzas de erosión, el paso de personas y animales puede dañar la cubierta de suelo y la vegetación, por lo cual se hace necesario un mantenimiento periódico trasplantando pasto, plantando nuevas semillas o arbustos, podas, fertilizaciones y riegos,

3.6 Utilización de rellenos para agricultura.

Gilman (op. cit) comenta que en áreas rurales, la intensificación en el uso de terrenos para rellenos ha resultado en intentos para usar rellenos para desarrollo de cultivos comerciales.

Estrada (1994) ve los rellenos como una opción para terrenos improductivos si se combina disposición adecuada de desechos con buenas prácticas de rehabilitación, así podrían ser utilizadas canteras abandonadas, cañones, minas, terrenos agrícolas no trabajados por largo tiempo, suelos muy erosionados por explotación o fuerzas naturales. La profundidad de la cubierta final debe ser tal que las raíces de las plantas no penetren hasta los desechos antes de que éstos hayan sido suficientemente estabilizados. Aunque pueden variar de acuerdo al cultivo a establecer, la cubierta final debe tener una pendiente para drenaje apropiado y la capa de vegetación debe ser gruesa para soportar cultivos. Un grosor de 1.6 a 2 m. o más puede ser adecuada para este propósito.

IV. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El interés de los productores de los ejidos del Municipio de Huehuetoca por el cultivo del nopal de verdura, los motivó a solicitar material vegetativo para su propagación. Con tal fin se firmó un convenio con la Promotora del Maguey y del Nopal (Actualmente CONAZA), obteniéndose de esta forma una dotación inicial de planta de nopal verdulero Opuntia ficus indica para establecer viveros en cada uno de los ejidos.

En dos de los ejidos se establecieron los viveros, no así en el Ejido de Huehuetoca, ya que precisamente la característica de este terreno despertó el interés por el presente trabajo. El terreno que se proporcionó fué de $\frac{1}{2}$ de hectárea, ubicado en las orillas del lugar. Este suelo es en realidad un suelo artificial, originado de una zona de acumulación de desechos sólidos, es decir "basura" que se compactó y posteriormente se cubrió con tierra. Esta zona puede ser denominada como "tiradero a cielo abierto" que al término de su vida útil fue cubierto, es muy común su comparación con los "rellenos sanitarios", de hecho en este trabajo se le ha dado ese nombre por cuestiones prácticas, sin embargo existen diferencias que se marcarán más adelante.

Una característica importante de los sitios de acumulación de desechos sólidos es que debido a los procesos de descomposición que se llevan a cabo en su interior pueden dar origen a varios problemas, entre ellos la contaminación debido a la acumulación de metales pesados, alcanzando en ocasiones altos niveles de toxicidad, que afectarían no sólo a plantas que allí se desarrollan, sino también al ser humano y animales que llegaran a consumirlos.

Por otro lado, la entrada de materiales extraños puede alterar algunas propiedades del suelo, como fertilidad, contenido de materia orgánica y porosidad, entre otras.

Este trabajo plantea la determinación de las condiciones de este suelo, sus características de fertilidad, la posible acumulación de metales pesados y el riesgo de toxicidad que pueden adquirir las plantas que allí se desarrollan y finalmente proponer el uso adecuado.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar un suelo de "relleno sanitario" para determinar si es apto para el establecimiento de un vivero de nopal; detectando los riesgos de toxicidad que puede adquirir el cultivo.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar los análisis físico-químicos del suelo, para conocer sus características de fertilidad.
- Cuantificar la presencia de "metales pesados" en el suelo.
- Cuantificar la presencia de "metales pesados" en los nopales que crecen en forma silvestre en el suelo de la zona.

V. GENERALIDADES DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El municipio de Huehuetoca, perteneciente al Estado de México está integrado por los ejidos de Huehuetoca, San Miguel Jagueyes y Santiago Tlaltepoxco. Se encuentra ubicado al norte del Valle de México, entre las coordenadas 19°21'00" latitud norte y 99°12'15" de longitud oeste. La altura promedio es de 2375 msnm.

Sus límites son: al norte el Municipio colinda con Apaxco, al sur con el Municipio de Tepotzotlán, al este con los Municipios de Tequixquiac, Zumpango y Coyotepec y al oeste con el Estado de Hidalgo.

El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano (C(w)).

Se alcanza una precipitación anual de 615 mm y una temperatura promedio de 13°C.

Los suelos de la zona son originados de rocas ígneas, principalmente basalto y andesita, algunos son originarios de rocas sedimentarias, principalmente toba y arenisca. Basándose en la clasificación de unidades FAO para suelos, el 53% está clasificado como vertisol, el 10% como cambisol, el 6% con feozem y el 31% restante como litosol.

Respecto al uso actual del suelo se encontró que el 37% está enfocado hacia la agricultura de temporal, el 34% se encuentra destinado a zona de agostadero y solo el 12% son terrenos bajo riego, el 17% restante son áreas improductivas.

En cuanto a producción agrícola se refiere, se produce de temporal en 6150 Has. maíz, frijol, haba y hortalizas diversas. En tierras bajo riego, aproximadamente en 1250 Has. se produce maíz, trigo, avena y alfalfa, principalmente en el ciclo otoño-invierno:

Para uso pecuario se destinan cerca de 5753 Has. de las cuales 150 Has. son de uso intensivo, 5623 Has. de uso extensivo y de estas últimas sólo 1227 Has. son de forraje.

La porción de las tierras no trabajadas o improductivas es de 2863 Has., afectadas por niveles críticos de erosión.

Por lo general, en las partes planas se presentan suelos profundos y bastante fértiles, predominando los suelos de textura arcillosa.

El terreno a evaluar se encuentra localizado en el Km. 1 de la carretera Jorobas-Huehuetoca y pertenece al ejido de Huehuetoca.

Esta comprendido entre las coordenadas 19°49'00" de latitud norte y 99°14'15" de longitud oeste y una altura sobre el nivel del mar de 2346 m.

Al realizar un recorrido por el lugar, para conocer sus características se observó escasa vegetación, compuesta por una población predominante de nabo silvestre Eruca sativa Mill de la familia de las Crucíferas, nopales silvestres Opuntia lindheimeri y algunas gramíneas.

VI. MATERIALES Y METODOS

6.1 Muestreo

El terreno muestreado fué emparejado antes de iniciar el trabajo, ofreciendo una superficie más o menos homogénea. El diseño de muestreo sistemático (Black, 1965) que designa muestras localizadas regulares una de la otra, en una o dos direcciones, cubriéndose así toda la superficie de la población. Para realizar este muestreo se trazó una cuadrícula sobre la superficie de trabajo y los puntos de intersección definieron los puntos de muestreo.

En este caso, el propósito del muestreo fué determinar las características de fertilidad y toxicidad del suelo, por lo tanto los pozos de muestreo llegaron hasta una profundidad de 90 cm. recomendada para sitios arbolados y otros cultivos de raíces profundas (Grande, 1974) como es el caso del nopal.

El terreno mide 50 x 50 m; se trazaron dos líneas a lo largo y a lo ancho con 20 m. de separación, en los dos puntos de intersección se abrieron cuatro pozos para obtener muestras de tres niveles: 0-30, 30-60 y 60-90 cm., cabe mencionar que en el pozo No. 4 sólo se llegó a la profundidad 0-30 cm., debido a que allí empezaba el terreno natural.

Una vez obtenidas las muestras se llevaron al laboratorio de suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlan (FES-C) donde se secaron a temperatura ambiente sobre charolas, ya secas se rompieron los grumos con un mazo de madera y se pasaron por un tamiz de 2 mm. de criba. Finalmente se pesaron, se embolsaron y etiquetaron, trasladándose al laboratorio de contaminación de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Zaragoza (ENEPZ), para su análisis.

Para todos los análisis realizados se hicieron tres repeticiones para cada muestra, y en el caso de los análisis químicos se corrió un blanco (Grande, 1974; Allen, 1974).

6.2 Análisis Físicos

6.2.1 Textura

Determinación del porcentaje de limos, arcillas y arenas por el método de hidrómetro Bouyocos. (Ruiz y Ortega 1979).

$$X = \% \text{ Limo} + \text{Arcilla} = \frac{P_1 + (T_1 - T_0) 0.36 \times 100}{\text{gr muestra}}$$

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{P_2 + (T_2 - T_0) 0.36 \times 100}{\text{gr muestra}} = a$$

$$\% \text{ Limo} = X - a = b$$

$$\% \text{ Arena} = 100\% - X = c$$

Donde P = Lectura del densímetro

T = Temperatura

6.2.2 pH

Con potenciómetro de electrodos. Relación agua-suelo 1:1

6.2.3 Conductividad eléctrica

Por medio de puente de conductividad eléctrica de Wheaststone solu-Bridge, Soil Tester RD-26, con celda de pipeta. En extracto de suelo a punto de saturación.

6.2.4 Densidad aparente

Método de la probeta (Ruiz y Ortega, 1979).

Cálculo con formula: D.A. : $\frac{(\text{probeta+suelo})}{\text{volumen total}}$

6.2.5. Densidad real

Por el método del picnómetro (Ruiz y Ortega, 1979).

$$D.R. = \frac{C - A}{(C - A) + (B - A) - (D - A)}$$

- A = Peso de picnómetro
- B = Peso del picnómetro + agua
- C = Peso del picnómetro + suelo
- D = Peso del picnómetro + suelo + agua

6.2.6 Espacio poroso

De los resultados de densidad aparente y densidad real con la fórmula: % espacio poroso.

$$\% \text{ de espacio poroso} = \frac{\text{densidad aparente}}{\text{densidad real}} \times 100 \quad (\text{Ruiz y Ortega, 1979})$$

6.3 Análisis químicos

6.3.1. Contenido de la materia orgánica

Método indirecto para determinar materia orgánica, por medio de oxidación húmeda de Walkey Black (Rfos, 1985) y cálculo con la fórmula.

$$\% \text{ materia orgánica} = \frac{5 \text{ ml. (FeSO}_4 \times N) \times 0.69}{\text{Peso de muestra}}$$

6.3.2. Nitrógeno total

Digestión para nitrógeno total por el método semi-micro Kjeldhal y destilación con microdestilador Kjeldhal (Ruiz y Ortega, 1979) y cálculo con la fórmula:

$$\% \text{ nitrógeno total} = \frac{(T - B \times N \times 1.4)}{S}$$

Donde:

- T = ml. de H₂SO₄ gastados en la muestra
- B = ml. de H₂SO₄ gastados en el testigo
- N = Normalidad de H₂SO₄
- s = Peso de la muestra

6.3.3. Fósforo extractable

Extracción con el método de Olsen (Allen, 1974) y desarrollo de color con método del color amarillo del complejo vanadomolibdo fosfórico en un sistema acidificado con ácido nítrico. Método V (Jackson, 1982) y cuantificado por espectroscopía de absorción atómica (EAA) con espectrofotómetro PYE UNICAM SP6-500 UV a 400 nm y calculado con la fórmula:

(Allen, 1974)

$$\% \text{ fósforo} = \frac{C \text{ (mg)} \times \text{vol. (ml)}}{10 \times \text{alícuota (ml)}} \times \text{peso muestra (g)}$$

6.3.4. Potasio extractable

Extracción con acetato de amonio pH 9 cuantificación por emisión con fotoflamómetro Corning 400 a una longitud de onda de 589 nm, y calculado con la fórmula:

$$\% \text{ potasio} = \frac{C \text{ (ppm)} \times \text{vol. (ml)}}{10^4 \times \text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C= ppm. de P obtenido. (Allen, 1974)

6.3.5. Calcio extractable

Extracción con acetato de amonio pH y cuantificación por EAA con espectrofotómetro PYE UNICAM SP 192 a una longitud de onda de 422.4 nm, calculado con la fórmula:

$$\% \text{ calcio} = \frac{C \text{ (ppm)} \times \text{vol (mg)}}{10 \times \text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C= ppm. de Ca obtenido. (Allen, 1974)

6.3.6 Sodio extractable

Extracción con acetato de amonio pH y cuantificación por emisión con fotoflamómetro Corning 400 a una longitud de onda de 589 nm, calculado con la fórmula:

$$\% \text{ sodio} = \frac{C \times \text{vol. (ml)}}{10^4 \times \text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C = ppm. de Na obtenido. (Allen, 1974).

6.3.7. Magnesio extractable

Extracción con acetato de amonio pH 9 y cuantificación por EAA con espectrofotómetro PYE UNICAM SP 192 a una longitud de onda de 185.2 nm, calculado con la fórmula:

$$\% \text{ magnesio} = \frac{C \times \text{vol. (ml)}}{10^4 \times \text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C = ppm. de Mg obtenido. (Allen, 1974).

6.4 Cuantificación de metales pesados extractables.

Los metales cuantificados son: cadmio, cobre, plomo, hierro y zinc. Su extracción fue por medio de la solución extractadora de EDTA (ácido etilendimintetra acético) pH 6, adicionada al suelo y agitada por 7 días con agitador mecánico (Clayton y Tiller, 1979). La cuantificación se realizó con espectrofotómetro PYE UNICAM SP 192 a diferentes longitudes de onda (Cd 228.8, Cu 324.75, Fe 248.3, Pb 217.4 y Zn 213.86 nm) y se calcularon con la siguiente fórmula:

$$\text{Metal (g/ml)} = \frac{C \times \text{vol. total (ml)}}{\text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C = ppm. del metal obtenido. (Allen, 1974).

y para hierro:

$$\% \text{ hierro} = \frac{C \times \text{vol. (ml)}}{10^4 \times \text{peso muestra (g)}}$$

Donde:

C = ppm. de Fe obtenido. (Allen, 1974).

Una vez realizados los análisis físicos y químicos de los suelos a los datos obtenidos se les realizó un análisis estadístico utilizando las pruebas de análisis de varianza para dos factores (pozos y profundidad), considerando los valores de tres de los pozos muestreados con tres diferentes profundidades y sus repeticiones. Posteriormente se realizó el mismo análisis para los cuatro pozos a una sola profundidad (para concluir el pozo cuatro) con sus repeticiones. Para finalizar se aplicó la prueba de medias de Tukey para determinar que pozos eran diferentes entre sí, considerando un nivel de significancia mayor o igual al 5 %.

6.5 Análisis de plantas de nopal.

Para el análisis de plantas de nopal Opuntia lindheimieri que crece en el terreno en forma silvestre, se colectaron las más cercanas a los pozos del muestreo de suelos, para determinar si absorben metales pesados. Las plantas se colectaron, se llevaron al laboratorio, se lavaron con agua destilada, se pesaron y se secaron en una estufa a 50°C por 15 días, hasta peso constante. Una vez completamente secas se separaron en: raíz principal, raíz secundaria, panca madura y brote nuevo, se pulverizaron y pesaron para llevar a cabo la digestión. Se utilizó mezcla digestora de ácido sulfúrico-peróxido de hidrógeno para dejar en solución el contenido total de metales pesados. Su cuantificación fue por EAA con espectrofotómetro PYE UNICAM SP 192, con las mismas longitudes de onda y condiciones de trabajo mencionadas para suelos.

Finalmente y como complemento de los análisis se cuantificaron los nutrientes fósforo, sodio y potasio, utilizando la digestión hecha para metales pesados y se hizo la digestión-destilación Kjeldhal para nitrógeno total en las plantas de nopal.

VII. RESULTADOS.

7.1 Características físicas del suelo.

Textura: Como se puede observar en la tabla I predomina el migajón arcillo-arenoso muy relacionado esto con los parámetros de densidad aparente, cuyos valores fluctuaron entre 1.12 y 1.27 g/cm³ presentándose el menor valor en el pozo número 1 a la profundidad de 60-90 cms. y el valor más alto en el mismo pozo pero a una profundidad intermedia de 30-60 cms. quedando comprendida dentro del rango considerado como normal: 0.55-2.0 g/cm³ (Fitz 1985) y 0.85-1.9 g/cm (Ríos 1985) y con los valores de densidad real que van de 2.40 a 2.98 g/cm³ presentándose el menor valor en el pozo número 3 a una profundidad superficial de 0-30 cms. y el valor más alto en el pozo número 1 también en la parte superficial de 0-30 cms. al comparar estos valores con datos bibliográficos (2.65 g/cm³ Miramontes 1978 y Ríos 1985) se encontró que corresponden al promedio, resultando así un porcentaje de espacio que va de 41.5 a 51.6 % presentándose el menor valor en el pozo número 2 a una profundidad de 60-90 y el mayor valor en el pozo número 1 a una profundidad de 60-90 cms.

Dichos valores de espacio poroso corresponderían a los valores dados por Ortiz (1980) que marca un rango de 35 a 50% de espacio poroso en suelos arenosos superficiales.

7.2 Características químicas del suelo.

Para pH se encontraron valores de 6.7 a 7.6, presentándose el valor menor en el pozo 2 a una profundidad de 30-60 cms. y mayor valor en 3 diferentes pozos: 1 en profundidad 60-90 cms., 3 en la superficie 0-30 cms., y en el pozo 4 en la superficie, no encontrándose diferencia significativa entre profundidades pero sí entre pozos, ya que el pozo número 1 presentó diferencia significativa con respecto a los otros tres pozos, comparando los valores obtenidos y la bibliografía pueden considerarse dentro de los valores promedio normales. Muy relacionada con el parámetro de pH, se encontró que la conductividad eléctrica presentó valores de 0.35 a 1.01 mmhos/cms. el menor valor en el pozo 1 a la profundidad de 60-90 cms. y el mayor en el pozo 3 a la profundidad 30-60 y 60-90 cms, considerándose estos valores de suelos no salinos (Fitz 1985 y Cajuste 1977); La C.E. resultó ser significativamente diferente entre profundidades y entre pozos (Tabla I).

Según lo reportado en la tabla II el contenido de materia orgánica encontrado en este suelo fue de 0.1 a 0.4 % con el menor valor en el pozo 1 a la profundidad de 60-90 cms. y el mayor en el pozo 2 a la profundidad de 60-90 cms., comparando este valor con referencias bibliográficas se considera extremadamente pobre a pobre (Moreno 1977).

Se encontró además que este valor fué significativamente diferente entre profundidades y entre pozos.

En el caso del contenido de nitrógeno total (tabla II) se presentaron valores de 0.009 a 0.04 % el menor valor en el pozo 1 a la profundidad de 60-90 cms. y el pozo 3 a la misma profundidad y el mayor valor en el pozo 4 a la profundidad de 0-30 cms., comparando este valor con referencias bibliográficas tenemos que está por debajo de los valores dados por Allen (1974) que marca un rango de 0.1-0.5 % como normal y los de Cajuste (1977) que da un promedio de 0.14 %, para Moreno (1977) va de extremadamente pobre a pobre. Este valor presentó diferencia significativa entre profundidades pero no entre pozos.

Fósforo asimilable. Se determinaron valores de 0.09 a 2.93 ppm. el menor valor en el pozo 3 a la mayor profundidad 60-90 cms. y el mayor valor en el pozo 4 a la profundidad 0-30 cms., comparando estos resultados se ve que el menor valor está por debajo del rango dado por Moreno (1977) 0.5-5000 ppm. y el mayor valor entra en el rango pero es bajo. Este valor presentó una diferencia significativa entre pozos pero no entre profundidades.

Potasio asimilable. Los valores encontrados fluctuaron entre 48.9 y 73.2 ppm., encontrándose ambos valores en el pozo 1, el valor menor en la profundidad de 0-30 cms. y el valor más alto en la profundidad de 60-90 cms. De acuerdo a rangos reportados por bibliografía: 50-500 ppm. (Allen 1974) y extremadamente pobre (Moreno 1977), se encontró que a pesar de incluirse en el rango, está en el extremo del límite inferior y llega incluso a considerarse como extremadamente pobre, en cuanto a su análisis estadístico no se observó una diferencia significativa ni en pozos ni en profundidad.

Calcio asimilable. Los valores encontrados en las muestras de suelos van de 11.6 a 15.0 ppm. encontrándose el menor valor en el pozo 2 a una profundidad de 0-30 cms. y el mayor valor en el pozo 3 a una profundidad de 60-90 cms. Comparando el rango encontrado en el suelo con las referencias bibliográficas, según Moreno (1977) estaría catalogado como un suelo extremadamente pobre en calcio. Para este parámetro no se encontró diferencia significativa entre pozos ni a diferentes profundidades.

Sodio asimilable. Los valores encontrados en este trabajo para sodio van de 2.1 a 18.6 ppm. y el valor más bajo se encontró en el pozo 1 a una profundidad de 0-30 cms. y el valor se reportó para el pozo 3 a una profundidad de 60-90 cms. comparado se tiene que para Allen (1974) no entra en el rango normal de 50-500 ppm. y para Moreno (1977) que reporta como normal de 1-1000 ppm. está dentro del rango, pero en el límite más bajo. Para este parámetro sí se encontró diferencia significativamente tanto entre pozos como entre profundidades.

Magnesio asimilable. Para el magnesio se encontraron valores de 1.2 a 5.4 pp., estando el valor menor en el pozo 2 a una profundidad de 0-30 cms. y el valor mayor en el pozo 4 en la profundidad de 0-30 cms., al comparar con la bibliografía para Allen (1974) el rango normal va de 5-50 ppm. y para Moreno (1977) considera que menos de 25 ppm. es considerado como extremadamente pobre, por lo cual el rango dado por Allen y para Moreno está catalogado como extremadamente pobre en contenido de magnesio. En el análisis estadístico se observó que no existía diferencia significativa para esta determinación entre diferentes pozos ni entre diferentes profundidades.

7.3 Cuantificación de metales (ver tabla III)

Cadmio. Los valores encontrados en la determinación de cadmio en las muestras de suelo van de 0.42 a 1.26 ppm., el valor más bajo se presentó en el pozo 1 a una profundidad de 30-60 cms. y el valor más alto se presentó en el pozo 4 a una profundidad de 0-30 cms. Los valores aquí encontrados van a estar por arriba de los valores que reporta Allsaway (1968) de 0.01 a 0.70 ppm. y Allen (1979) de 0.03 a 0.3 ppm. como valores normales, aunque no son tan altos como los reportados por Galván (1995) para el tiradero de Santa Cruz Meyehualco que va de 1.0 a 4.8 ppm. o los reportados por Taboada (1992) para el tiradero de Bordo Xochiaca que van de 0.34 hasta 276.04 ppm.

En el análisis estadístico se pudo observar que sí hay diferencia significativa entre pozos, siendo el pozo 4 el que mayor variación tuvo con respecto a los otros tres pozos, y con respecto a las diferentes profundidades no se reportó diferencia significativa.

Plomo. Con respecto a esta determinación se pudo observar un rango que va de 7.89 a 59.51 presente en el suelo encontrándose el menor valor en el pozo 1 a una profundidad de 60 a 90 cms. y el valor mayor en el pozo 4 a una profundidad de 0-30 cms., con estos resultados se rebasa el rango dado como normal en suelos por Allen (1974) que es de 2.9 a 20.0 ppm. pero está dentro del rango que da Allaway (1968) de 2 a 200 ppm. y Morvedt (1983) que llega a 70 ppm., comparado con otros sitios de características similares al suelo en cuestión se encuentra que en sitios como Bordo Xochiaca el contenido de plomo es más elevado ya que va de 10.32 a 168.22 (Taboada 1992) y en Santa Cruz Meyehualco Galván (1995) encontró cifras tan elevadas como 37.6 a 884.2 ppm. (tabla VI). En el análisis estadístico se encontró que sí hay diferencia significativa entre profundidades y entre pozos, siendo el pozo 4 el que mayor variación reportó.

Zinc. Para el suelo del presente trabajo se encontró un rango de contenido de zinc que va de 0.44 a 9.1 ppm. encontrándose el menor valor en el pozo 1 a una profundidad de 60 a 90 cms. y el mayor valor en el pozo 4 a una profundidad de 0-30 cms. dicho valor queda dentro del rango dado por Allaway (1968) que van de 10-300 ppm. y dentro del rango que da Allen (1974) para suelos minerales que van de 20 a 300 ppm. y queda dentro del rango que da el mismo Allen para extractos de suelos y que es de 1 a 40 ppm., sin embargo está muy por debajo de los valores encontrados en el Tiradero de Santa Cruz Meyehualco donde se determinaron valores 22.5 hasta 1,688 ppm. y en Bordo Xochiaca que se encontraron de 25.99 a 303.06 ppm. (tabla VI). El análisis estadístico reportó diferencia significativa entre pozos pero no a diferentes profundidades.

Cobre. Por lo que respecta al cobre, se encontraron concentraciones de 0.68 a 9.98 ppm. estando el menor valor en el pozo 1 a una profundidad de 60-90 cms. y el mayor valor en el pozo 4 a una profundidad de 0-30 cms. dicho rango está comprendido dentro del que da Allaway (1963) como normal 2.0 a 100 ppm. pero rebasa el que da Allen (1974) 0.1 a 3 ppm., para el caso de Morvedt (1983) que da como normal hasta 80 ppm. también está dentro del rango. Los datos de este suelo con respecto al cobre son similares a los encontrados en el Bordo Xochiaca en donde se encontraron de 2.21 a 12.11 ppm. pero sale completamente de lo encontrado en Santa Cruz Meyehualco donde se eleva de 24.4 hasta 790.0 ppm (tabla VI). El análisis estadístico no reportó diferencias entre profundidades pero sí entre diferentes pozos, marcando la mayor variación nuevamente el pozo 4.

Fierro. Para la determinación del contenido de fierro asimilable en el suelo trabajado se encontraron valores de 31.6 a 300.2 pp.m, estando el menor valor en el pozo 1 a una profundidad de 60-90 cms. y el valor mayor en el pozo 2 a una profundidad de 30-60 cms. dicho valor queda comprendido dentro del rango que da Allen (1974) como normal que va de 50-1000 ppm. y del que da Morvedt (1983) que se eleva hasta 100,000 ppm. Comparado con resultados obtenidos en otros rellenos se ve que los encontrados son mucho menores ya que Galván (1995) encontró de 1,592.0 a 79,106.0 ppm, en Santa Cruz Meyehualco y Taboada (1992) encontró en Bordo Xochiaca de 125.09 a 1,333.45 ppm. (tabla VI). El análisis estadístico no reportó diferencias significativas a diferentes profundidades pero sí entre pozos, siendo el pozo 1 y el pozo 2 diferentes entre sí y con respecto a los otros dos pozos.

7.4 Análisis químico de plantas de nopal colectados en el terreno de estudio.

Las plantas colectadas fueron las más cercanas a los pozos de muestreo de suelos, una vez preparadas las plantas se les realizaron análisis de contenido de N, P, K, Na (tabla IV) y se evaluaron concentraciones de los metales que estaban por arriba de las concentraciones normales, es decir cadmio, plomo y cobre (tabla V), posteriormente estos datos se compararon con referencias bibliográficas (tabla VII).

En cuanto a la determinación de macronutrientes se encontró lo siguiente:

Nitrógeno. Los valores fluctuaron entre 0.051 a 0.64 %, encontrándose el menor valor en el tejido de raíz principal y el valor mayor en penca madura, comparado con la bibliografía según Allen (1974) el contenido normal de nitrógeno en una planta va de 1 al 3%, con lo cual los valores encontrados en el nopal estarían muy por debajo de lo considerado como normal.

Fósforo. Los valores encontrados van de 0.010 a 0.033 % el valor menor en raíz secundaria y el mayor en raíz principal, al comparar para Allen (1974) los valores normales van de 0.05 a 0.3% con lo cual los valores encontrados estarían muy por debajo de lo normal y lo mismo para Moreno (1974) que cataloga normal de 0.03 a 1.0 % aunque para este promedio el valor mayor encontrado en nopal estaría en el límite inferior.

Potasio. Los valores determinados en nopal van de 0.046 a 0.990% el menor valor en raíz principal y el mayor en raíz secundaria. Para Allen (1974) el rango normal va de 0.5 a 3% por lo que los valores de las plantas analizadas estarían en el límite inferior de lo considerado como normal.

Sodio. Los valores encontrados fueron de 0.001 a 0.003 % encontrándose el menor valor en raíz principal y el mayor valor en raíz secundaria. Para el contenido de sodio Allen (1974) da los valores normales de 0.02 a 0.3 % y Moreno (1977) de 0.01 a 5% con lo cual los valores obtenidos estarían completamente por debajo de estos promedios.

Para el contenido de metales en las plantas de nopal se encontró lo siguiente:

Contenido de plomo, va de 0.003 a 0.04 ppm, habiéndose encontrado tales concentraciones en raíz principal y raíz secundaria respectivamente. Para Allen las concentraciones consideradas normales para plantas va de 0.05 a 3 ppm., con lo cual los resultados obtenidos estarían por debajo del rango considerado.

Contenido de cadmio, va de 0.001 a 0.002 ppm, encontrándose el menor valor en brote nuevo y el mayor en raíz primaria de dos muestras. Para Allen (1974) los rangos encontrados como normales en plantas van de 0.01 a 0.3 % con lo cual los valores encontrados en el presente trabajo no están dentro del rango sino por debajo de éste.

Para el contenido de cobre, los valores encontrados fueron de 0.004 a 0.016 ppm, encontrándose el menor valor en raíz principal de la muestra 1 y el mayor en raíz principal de la muestra 4, los rangos considerados como normales por Allen (1974) van de 2.5 a 25 ppm. y para Moreno (1977) de 1 a 25 ppm, con lo cual los valores encontrados en los nopales están completamente fuera del rango considerado como normal para plantas.

**TABLA I CARACTERISTICAS FISICAS Y QUIMICAS DEL SUELO DE "RELLENO SANITARIO" DE HUEHUETOCA, MEX.
(LOS VALORES SON PROMEDIO DE 3 DETERMINACIONES)**

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	TEXTURA	PH	C.E. (mmhos/c2)	D.A. (g/cm3)	D.R. (g/cm3)	ESPACIO POROSO (%)
1	0-30	Arc. Arc	6.9	0.51	1.27	2.98	42.6
	30-60	Mig Arc Arc	6.9	0.51	1.27	2.72	45.7
	60-90	Mig Arc	7.6	0.35	1.27	2.46	51.6

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	TEXTURA	PH	C.E. (mmhos/c2)	D.A. (g/cm3)	D.R. (g/cm3)	ESPACIO POROSO (%)
2	0-30	Mig Arc Arc	7.4	0.51	1.24	2.6	47.7
	30-60	Arc Arc	6.7	0.61	1.22	2.47	49.3
	60-90	Mig Arc	7.4	0.78	1.13	2.72	41.5

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	TEXTURA	PH	C.E. (mmhos/c2)	D.A. (g/cm3)	D.R. (g/cm3)	ESPACIO POROSO (%)
3	0-30	Mig Arc	7.6	0.71	1.22	2.40	50.8
	30-60	Arc Arc	7.0	1.01	1.21	2.68	45.1
	60-90	Arc Arc	7.5	1.01	1.12	2.41	45.4

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	TEXTURA	PH	C.E. (mmhos/c2)	D.A. (g/cm3)	D.R. (g/cm3)	ESPACIO POROSO (%)
4	0-30	Mig Arc	7.6	0.58	1.16	2.45	47.3

C.E. = CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

D.R. = DENSIDAD REAL

D.A. = DENSIDAD APARENTE

TABLA II CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO DE "RELLENO SANITARIO" DE HUEHUETOCA, MEX.
(LOS VALORES SON PROMEDIO DE 3 DETERMINACIONES)

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	M.O. (%)	N. TOT. (%)	P	K	Ca (mg/100g)	Na	Mg
1	0-30	1.8	0.03	1.8	48.9	14.6	2.1	1.8
	30-60	0.7	0.02	0.29	85.0	14.2	4.3	2.3
	60-90	0.1	0.009	0.44	79.2	12.8	7.7	3.1

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	M.O. (%)	N. TOT. (%)	P	K	Ca (mg/100g)	Na	Mg
2	0-30	1.5	0.03	0.73	53.0	11.6	4.0	1.2
	30-60	1.7	0.02	1.15	53.6	14.5	4.0	2.4
	60-90	0.4	0.01	0.47	58.4	12.8	14.2	3.5

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	M.O. (%)	N. TOT. (%)	P	K	Ca (mg/100g)	Na	Mg
3	0-30	1.4	0.02	0.53	51.0	14.4	6.3	1.6
	30-60	1.1	0.02	0.28	67.5	14.3	16.9	1.5
	60-90	0.8	0.009	0.09	64.8	15.0	16.6	4.8

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	M.O. (%)	N. TOT. (%)	P	K	Ca (mg/100g)	Na	Mg
4	0-30	1.4	0.04	2.03	53.6	12.1	5.6	6.4

Nota: La cuantificación de P, K, Ca, Na y Mg fue en su forma extractable

TABLA III CUANTIFICACION DE METALES PESADOS (ppm) DETERMINADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA EN EL SUELO DEL "RELLENO SANITARIO" HUEHUETOCA, MEX. (LOS VALORES SON PROMEDIO DE 3 DETERMINACIONES)

POZO	PROFUNDIDAD (CM)	CADMIO	PLOMO	ZINC	COBRE	FIERRO
1	0-30	0.49	10.67	0.54	5.29	260.3
	30-60	0.42	10.84	0.66	2.91	130.9
	60-90	0.68	7.84	0.44	0.68	31.6
2	0-30	0.72	12.43	2.35	2.55	64.1
	30-60	0.54	12.43	0.48	6.92	300.2
	60-90	0.55	11.73	1.02	4.15	182.5
3	0-30	0.82	13.02	1.31	3.86	76.7
	30-60	0.47	13.31	2.28	6.37	252.8
	60-90	0.43	12.23	0.51	5.77	230.2
4	0-30	1.26	59.61	9.1	9.98	137.6

TABLA IV **CONTENIDO DE NUTRIENTES (%) DEL NOPAL SILVESTRE *Ocunila lindheimeri***
COLECTADO EN EL SUELO DEL RELLENO SANITARIO DE HUEHUETOCA, MEX.
(LOS VALORES SON PROMEDIO DE 3 DETERMINACIONES)

MUESTRA	N	K	Na	P
1r	0.108	0.083	0.002	0.011
1R	0.051	0.046	0.001	0.024
1T	0.120	0.099	0.002	0.012
1E	0.126	0.182	0.003	0.016
2r	0.150	0.090	0.003	0.024
2R	0.155	0.117	0.001	0.016
2T	0.640	0.185	0.001	0.032
3r	0.103	0.086	0.002	0.010
3R	0.143	0.124	0.001	0.033
3T	0.180	0.224	0.001	0.013
4R	0.173	0.122	0.001	0.024
4T	0.338	0.162	0.001	0.022

r=raíz secundaria R=raíz principal T=perca madura
 B=brote nuevo

TABLA V CUANTIFICACION DE METALES PESADOS (ppm) DETERMINADOS POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORCION ATOMICA DEL NOPAL SILVESTRE *Opuntia Monticola* COLECTADO EN EL SUELO DEL RELLENO SANITARIO DE HUEHUETOCA, MEX. (LOS VALORES SON PROMEDIO DE 3 DETERMINACIONES)

MUESTRA	PLOMO	CADMIO	COBRE
1r	0.007	0	0
1R	0.012	0.002	0
1T	0.012	0	0
1B	0.02	0.001	0
2r	0	0	0.008
2R	0	0	0.004
2T	0	0	0.006
3r	0.04	0.001	0.008
3R	0	0.002	0.014
3T	0.018	0	0.007
4R	0.003	0	0.018
4T	0	0.001	0.008

r= raíz secundaria R=raíz principal T= penca madura
B= biote nuevo

TABLA VI PROMEDIOS DE VALORES ENCONTRADOS EN LOS SUELOS DE OTROS RELLENOS Y LOS VALORES COMPARATIVOS REPORTADOS PARA SUELOS AGRICOLAS.

PARAMETROS	MUENUTUCA MEXICO	BORGIO DE IOCHUACA MEXICO	SANTA CRUZ MEYENHUALCO	NORMALES PARA SUELOS AGRICOLAS REPORTADOS POR YAMAGUCHI 1982	BIBLIOGRAFIA
PH	5.7 - 7.6	7.45 - 8.35	6.6 - 10.3	variable según su origen	7 (RICE 1965)
CONDUCTIVIDAD (mmhos/cm)	0.35 - 1.01	2.32 - 7.35	0.9 - 4.9	6.0 - 8.0 (moderadamente salino) (RIZ 1988)	> 4 salinos CALUSTE 1977 < 4 no salinos
DENSIDAD REAL (g/cm ³)	2.40 - 2.98	2.18 - 2.08	-----	2.35 (MIRAMONTES 1978)	2.65 (HOS 1965)
DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	1.12 - 1.27	0.81 - 1.15	-----	0.55 - 2.0 (RIZ 1988)	0.85 - 1.6 (RICE 1965)
ESPACIO POROSO (%)	41.5 - 91.6	50.84 - 62.84	-----	30.00 (FOYH 1981)	30% (RYAN 1968)
MO (%)	0.4 - 1.8	16.52 - 29.93	3.7 - 44.8	> 30 (MIRAMONTES 1978)	< 6 estratificación pobre (MORENO) > 6.2 estratificación rica (1977)
N TOTAL (%)	0.008 - 0.04	0.07 - 0.26	-----	0.1 - 0.5 (ALLEN 74)	0.14% (CALUSTE 1977) < 0.052 estratificación pobre (MORENO) > 0.221 estratificación rica (1977)
FOSFORO EXTRACTABLE (p.p.m)	0.09 - 2.83	-----	-----	-----	300 - 3000 (VARCIS) > 6 - 3000 (MORENO 1977)
POTASIO EXTRACTABLE (p.p.m)	48.8 - 73.2	3390.63 - 65387.31	-----	50 - 500 (ALLEN 74)	1000 - 3000 (ALLEN 1974) < 70 estratificación pobre (MORENO) > 300 estratificación rica (1977)
CALCIO EXTRACTABLE (p.p.m)	11.6 - 15.0	-----	-----	-----	< 175 estratificación pobre > 1100 estratificación rica (MORENO 1977)
SODIO EXTRACTABLE (p.p.m)	21 - 18.8	1303 - 88042	-----	50 - 500 (ALLEN 1974)	1 - 10000 (MORENO 1977)
MAGNESIO EXTRACTAB (p.p.m)	1.2 - 5.4	-----	-----	-----	< 25 estratificación pobre > 150 estratificación rica (MORENO 1974)
CADMIUM (p.p.m)	0.42 - 1.26	0.54 - 878.04	1.0 - 6.8	0.01 - 0.70 (ALLAWAY 1986)	0.03 - 0.31 (ALLEN 1974)
PLUMBO (p.p.m)	2.84 - 59.81	19.32 - 189.92	27.6 - 884.2	0.0 - 20 (ALLEN 1974)	0 - 200 (ALLAWAY 1964) 0 - 20 (ALLEN 1974)
ZINC (p.p.m)	6.68 - 8.1	28.99 - 303.06	22.8 - 1988.9	30.0 - 300 (ALLEN 1974)	1 - 40 (ALLEN 1974) 10 - 300 (ALLAWAY 1966)
COBRE (p.p.m)	0.88 - 3.88	0.21 - 13.11	24.9 - 780.0	0.0 - 100 (ALLAWAY 1986)	0.1 - 3 (ALLEN 1974)
FIERRO (p.p.m)	31.6 - 300.8	129.08 - 1333.49	1862 - 79108	50.0 - 1000 (ALLEN 1974)	50 - 1000 (ALLEN 1974)

TABLA VII **TABLA COMPARATIVA DE LOS PROMEDIOS ENCONTRADOS EN PLANTAS DE NOPAL Y LOS REPORTADOS PARA PLANTAS EN BIBLIOGRAFIA**

PARAMETROS	PROMEDIOS ENCONTRADOS PLANTAS DE NOPAL HUEHUETOCA MEXICO	CONCENTRACIONES NORMALES (ALLEN 1974)	RANGOS COMUNES EN PLANTAS (MORENO 1977)
NITROGENO %	0.051 - 0.64	1 - 0.0
FOSFORO %	0.010 - 0.033	0.05 - 0.3	0.03 - 1.0
POTASIO %	0.046 - 0.990	0.5 - 3.0
SODIO %	0.001 - 0.003	0.02 - 0.3	0.01 - 5.0
PLOMO (ppm)	0.003 - 0.04	0.05 - 3.0	
CADMIO (ppm)	0.001 - 0.002	0.01 - 0.3
COBRE (ppm)	0.004 - 0.018	2.5 - 25	1 - 25

VII. DISCUSION DE RESULTADOS.

Para llevar a cabo el análisis de resultados obtenidos del estudio de este suelo habría que partir de la premisa de que el suelo que aquí se analizó es realmente un suelo de cobertura, es decir que una vez depositados y compactados los desechos se coloca una capa de material que va a servir como sello final. Sin bien es cierto que en ningún momento se tuvo contacto con los residuos, al abrir los pozos sí se percibió el olor característico del biogas, lo cual lleva a pensar que dicho suelo sí está influenciado por las condiciones limitantes típicas en un suelo de relleno. También hay que tomar en cuenta que los suelos utilizados para cobertura de desechos son muchas veces suelos superficiales o subsuelos, producto de excavaciones con niveles muy bajos de fertilidad.

Con los resultados obtenidos, se puede abordar o comentar la problemática del suelo evaluado bajo varios aspectos, por principio de cuentas las condiciones físicas, de las cuales se desprende lo siguiente:

Las texturas predominantes son el migajón arenoso y migajón arcillo arenoso, que va a dar un carácter al suelo de alta porosidad y una mayor infiltración del agua, esta característica va a estar determinando muchas de las propiedades de este suelo, como por ejemplo cualquier cultivo que se establezca va a requerir de riego continuo en la época de sequía ya que por las características texturales del suelo no se conservaría la humedad.

En cuanto a densidad aparente y densidad real los valores son los que se esperarían en un suelo de tipo arenoso, ya que para la densidad aparente van de 1.12 a 1.27 y para la densidad real va de 2.40 a 2.98, aquí tal vez por las labores propias de manejo en un relleno de desechos podrían esperarse resultados un poco diferentes ya que se supone que las actividades de compactación durante la clausura podrían reducir el espacio poroso y aumentar la densidad aparente como menciona Ortiz (1988), sin embargo puede estar influyendo el hecho de que en este suelo predomina el material arenoso.

Los datos obtenidos para espacio poroso también corresponden con lo esperado para suelos arenosos ya que el valor va de 41.5 a 51.6 % de espacio poroso, correspondiendo al espacio dado por Ortiz (1988) para suelos arenosos superficiales, contando así con una alta porción del suelo ocupado por aire y agua. Aquí se presentaría la ventaja de que en este tipo de suelo no habría problema para la penetración de raíces de cualquier cultivo, sin embargo esta misma característica presentará ciertas desventajas ya que aunque en un suelo esten presentes cantidades suficientes de nutrientes aprovechables su utilización será deficiente si tiene condiciones físicas desfavorables.

Características químicas del suelo.

Relativo al pH encontrado en el suelo de todos los pozos no se observa una variación muy grande ya que va de 6.7 a 7.6, si se retoma el valor que dan Ríos (1985) y Jackson (1982) podemos determinar que el pH sería el último de los parámetros que se encuentran afectando este suelo, con un pH como éste, es decir neutro. Se tiene la ventaja de que muchos metales pesados que pudieran estar en el suelo no estarán disponibles. Según los valores de conductividad eléctrica encontrada, este suelo no tiene problemas de salinidad, lo cual es entendible con el pH que se presenta y las condiciones físicas del suelo ya que en un suelo muy arenoso realmente es difícil que se acumulen sales que pudieran presentar problemas para el establecimiento de vegetación. En el caso de fertilizantes no hay que olvidar los valores de pH, para evitar variaciones que pudieran afectar el desarrollo de las plantas.

Conforme se avanza en el conocimiento de las condiciones de este suelo se puede observar que son varios los factores que determinan la problemática, como es el caso del contenido de materia orgánica, donde según la bibliografía (Moreno 1977) los valores que se encontraron se consideran como un contenido extremadamente pobre a pobre. Desde el momento del muestreo se pudo observar que no existían muchos restos de vegetales o animales, y que de hecho las plantas escasas que crecían allí eran de pequeño tamaño y raquíticas. Si como comenta Cajuste (1977) muchos elementos importantes para las plantas son componentes de la materia orgánica, puede deducirse lo que pasará si como en el caso de este suelo, el contenido de materia orgánica es mínimo. Otro autor (Ortiz 1988) comenta que a la materia orgánica se le ha denominado la "sangre vital del suelo" y afirma que ésta tiene un gran impacto sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

Para determinar los problemas que va a presentar este suelo en relación a la escasa materia orgánica es cuestión de remitirse a las propiedades que ésta da a los suelos como mejorar la estructura del suelo, favorecer el desarrollo de las raíces así como la entrada de agua y aire al suelo, favorecer el intercambio catiónico, reducir la erosión, aumentar la disponibilidad de nutrientes, etc.

Se podría pensar que por el hecho de depositar residuos se va a crear un suelo con alto contenido de materia orgánica, confiriendo al suelo un carácter de fertilidad; sin embargo, por el hecho mismo de las reacciones que tienen lugar en la descomposición de la fracción orgánica de los desechos se van a generar factores que van a afectar el establecimiento y desarrollo de las plantas en forma directa por las altas temperaturas, producción de biogas y generación de lixiviados y en forma indirecta por lo que dichos factores afectan al suelo y la disposición de nutrientes.

Para el caso de contenido de nutrientes, para los elementos N-P-K se encontraron valores que se consideran deficientes, siendo pobres, extremadamente pobres e incluso estando por debajo de lo reportado en bibliografía, de lo cual se desprende que las deficiencias de nutrientes encontradas van a determinar en gran medida las limitantes para la explotación de la parcela analizada. Lógicamente se esperarían cultivos deficientes, raquíticos y pobres ya que la poca disposición de los macroelementos ocasionan factores limitantes en plantas.

En el caso del nitrógeno, aunque éste es muy abundante en la fracción orgánica de los desechos, las altas temperaturas que se presentan por las reacciones de descomposición de la materia orgánica van a provocar que el nitrógeno pueda perderse en forma de amoníaco y además podrían estar inhibiendo a las bacterias responsables de oxidar el amoníaco a nitrito, que no sobreviven a altas temperaturas y tampoco a medios con escasez de oxígeno (López 1988 y Taboada 1992). Por su parte Tisdale (1977) comenta que cuando el N es insuficiente los carbohidratos se depositan en las células vegetativas causando un adelgazamiento de las mismas, con lo cual presentan un aspecto raquítico y amarillo.

En el caso del fósforo, tan relacionado con los procesos energéticos dentro de las plantas, una insuficiencia va a redundar en una marcada reducción del crecimiento de la planta y semillas no viables.

Otro aspecto importante es la participación en el crecimiento de raíces en las plantas, factor determinante en un suelo de rellano ya que los fuertes vientos podrían derribar fácilmente los árboles allí establecidos.

En cuanto a potasio, se determina como extremadamente pobre, no presentando un promedio favorable para las necesidades de las plantas que de este elemento son altas y se requieren para su crecimiento.

Para los nutrientes calcio, sodio y magnesio sucede lo mismo, ya que sus valores son considerados como extremadamente pobre en los tres casos. Para el calcio una deficiencia puede manifestarse en la falta de desarrollo y en los brotes terminales de las plantas al igual que los tejidos apicales de las raíces, provocando así que se detenga el crecimiento de las plantas. Por su parte el sodio, aunque muchas veces no se le reconozca como un elemento mineral esencial en la nutrición de las plantas, se ha observado que en algunos cultivos tiene influencia sobre las relaciones del agua y puede incluso incrementar la resistencia a la sequía, de ser esto cierto podría beneficiar a plantas desarrolladas en rellenos, ya que por las raíces superficiales que presentan, sus requerimientos hídricos son abundantes.

Por último, la importancia del magnesio como único constituyente mineral de la molécula de clorofila es evidente, ya que la ausencia de clorofila impediría a las plantas llevar a cabo la fotosíntesis, además es necesario para la activación de muchas enzimas.

Así pues las deficiencias tan marcadas de nutrientes en el suelo van a estar determinando el principal problema de este suelo de relleno que, sumado a las otras características adversas de un relleno realmente hacen un lugar difícil para el establecimiento de especies vegetales y aún así las que logren establecerse tendrán serias limitaciones ya que plantas débiles serán presa fácil de plagas y enfermedades.

Cuantificación de metales pesados.

En cuanto a los metales pesados cuantificados se encontró que el cadmio y el plomo reportan niveles de toxicidad, rebasándose los valores permitidos dados por Allaway (1968) y Allen (1974), aunque para el plomo Allaway da un rango mayor; habría que recordar que los valores reportados para el presente trabajo son los metales extractables, es decir que es muy probable que la cantidad en suelo sea mayor y en caso de darse las condiciones necesarias pueden quedar en forma disponible. En términos generales estos dos metales tuvieron un comportamiento heterogéneo en la parcela, tanto en espacio como en profundidad ya que los valores más altos fueron en un solo pozo, sin embargo niveles que rebasan los límites permisibles ya representan una limitante muy fuerte para el establecimiento de cultivos para consumo humano, ya que pueden ser fácilmente asimilados por las plantas y reemplazar sitios metabólicos importantes o asociarse con proteínas de bajo peso molecular, suprimiendo así funciones vitales para los vegetales y por otra parte al consumir dichas plantas la salud del hombre puede verse seriamente dañada ya que precisamente estos dos metales afectan el mecanismo enzimático de plantas y animales, además de que su acumulación en tejido humano puede ocasionar daños al sistema nervioso y circulatorio. Con estas condiciones se debería evitar por completo el que esta parcela sea utilizada para establecer cultivos de consumo humano. Cabe mencionar que en cuanto a estos dos metales (Cd y Pb) los resultados encontrados en este suelo de relleno no son tan extremadamente elevados como en otros sitios de las mismas características como son el Ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco y el Tiradero Bordo Kochisca, tal vez esto sea debido a que mientras estos dos últimos reciben desechos sólidos completamente urbanos, en el de Huehuetoca son básicamente desechos de campo y una mínima fracción de desecho urbano, recordando además que cuando se hizo este relleno la zona aún no estaba muy poblada, aún así el riesgo por la toxicidad de dichos metales es un peligro latente para el lugar.

En cuanto a los metales zinc, fierro y cobre se tiene lo siguiente:

De los tres metales se observa un comportamiento heterogéneo en cuanto a espacio, pero no a diferentes profundidades, presentando concentraciones que quedan comprendidas dentro de los rangos dados como normales por varios autores, a excepción del cobre, que según Allen (1974) estaría en una concentración suficiente para ser considerada tóxica.

En el caso de zinc, se podría hablar incluso de una deficiencia ya que los valores encontrados en éste trabajo están en el límite inferior reportado en bibliografía.

Para algunos autores (Allaway 1968 y Morvedt 1983) el cobre también presentaría una marcada deficiencia.

Si se habla de una deficiencia de los dos metales anteriores, habría que recordar que éstos tienen funciones específicas en la activación de varios sistemas enzimáticos y que al estar en cantidades bajas podrían afectar el crecimiento de las plantas.

Para el caso del fierro a pesar de estar en concentraciones altas (hasta 300 ppm.) no están consideradas como tóxicas ya que el rango para este metal es muy amplio.

Comparando los valores de los tres metales con otros sitios de relleno se ve que no presentarían problemas por toxicidad, ya que son realmente bajos, al contrario hasta podría pensarse en una deficiencia de su contenido en el suelo.

Análisis de plantas de nopal.

Antes de la interpretación de los datos obtenidos en el análisis de las plantas de nopal colectadas en la parcela de estudio puede remitirse a lo comentado por Tisdala (1977) quien dice que el contenido mineral de las plantas está afectado por factores externos como el suelo, clima, variedad y factores de cultivo que tienen una gran influencia sobre la composición de la planta de elementos minerales; así, su composición porcentual en los cultivos varía considerablemente y esto hay que tenerlo en cuenta cuando se consultan tablas de referencia sobre la composición de las plantas.

En términos generales, las plantas desarrolladas en sitios impactados por residuos sólidos, van a presentar ciertas características como son poco follaje, crecimiento rápido y breve, enanización de la planta y fructificación precoz, (López 1987 y Taboada 1992).

Según Flower (1978) las plantas crecidas en rellenos de basura van a tener un gasto energético mayor que lo que se presentaría en suelos con condiciones naturales, aquí entraría la cuestión de las altas temperaturas en los procesos de degradación de basura y volatilización del nitrógeno, explicando así las condiciones que tienen las plantas colectadas en la parcela de estudio, que son escasas, pequeñas y con coloraciones extrañas.

Además, al presentarse concentraciones tan bajas de nutrientes esenciales en el suelo, que son requeridos por las plantas tanto estructuralmente como para la elaboración de compuestos necesarios para el metabolismo, es de esperarse un crecimiento pobre.

Teniendo lo anterior como referencia, se puede entender los resultados arrojados por el análisis de plantas de nopal colectados en el lugar de estudio.

En cuanto a los tres macronutrientes N-P-K se encontró que en los tres casos su concentración fue muy baja, para el caso del nitrógeno los valores están muy por debajo de los rangos reportados en bibliografía y considerándose así como una verdadera deficiencia. Para fósforo y potasio apenas alcanzan el límite inferior de los rangos considerados como normales, por lo cual también se consideran deficientes. Ahora bien, retomando la importancia que dichos nutrientes tienen en las plantas es lógico suponer que cualquier cultivo que se deseara establecer en el lugar tendría por fuerza que representar un gran desembolso económico en cuanto a altas aplicaciones de fertilizantes y mejoradores de suelo, con la idea de obtener un producto con un mediano valor nutritivo, considerando las condiciones en las cuales se desarrollará.

Otro nutriente evaluado fue el sodio, del cual también se determinaron valores muy por debajo de lo establecido en bibliografía.

Para los metales pesados evaluados en las plantas de nopal (plomo, cadmio y cobre) se encontró que ninguno rebasa los rangos considerados como normales por la bibliografía.

A pesar de que en este suelo estos tres metales están en concentraciones tóxicas, las plantas no los han absorbido en forma considerable, ya que sí se detectaron dentro de los vegetales, pero sus concentraciones son bajas. Lo que sí se pudo comprobar es que la parte donde más se acumulan los metales pesados es la raíz, donde siempre estuvieron presentes las concentraciones más altas de metales.

IX . CONCLUSIONES.

El suelo de relleno evaluado se caracteriza por: ser heterogéneo tanto en espacio como en profundidad, extremadamente pobre en materia orgánica y extremadamente pobre en nutrientes.

Los metales pesados evaluados son heterogéneos en su distribución en la parcela tanto en espacio como en profundidad.

Los metales pesados Pb, Cd y Cu están arriba de los niveles permisibles para suelo.

En plantas de nopal colectadas en la zona de estudio los nutrientes evaluados son pobres.

Los metales pesados Pb, Cd y Cu cuantificados en plantas de nopal no rebasan los niveles permisibles para plantas.

La parte de la planta donde más se acumularon los metales pesados Pb, Cd y Cu fue la raíz.

Los suelos utilizados como depósitos de residuos sólidos sufren severas alteraciones que limitan en gran medida su explotación con fines comerciales.

No se considera apto el suelo de Relleno de la parcela de Hueshuetoca para el establecimiento de cultivos de consumo humano debido a la presencia de metales pesados que rebasan los niveles permitidos y se consideran tóxicos.

La marcada deficiencia nutrimental que presenta este suelo requiere de grandes aplicaciones de fertilizantes y mejoradores de suelo que van a elevar los costos de producción de cualquier cultivo que se quiera establecer.

Una alternativa para el uso de este suelo sería una recuperación paulatina, por medio de especies herbáceas primero, pudiéndose incluso mezclar pastos con leguminosas, tratando de mejorar y formar suelo y permitiendo una estabilización de los desechos, para posteriormente, previos análisis de suelos, determinar el uso final de la parcela, considerándose más viable un uso como áreas verdes, zonas recreativas o canchas deportivas.

X. RECOMENDACIONES.

Al establecer un sitio de acumulación de residuos sólidos habrá que tomar en cuenta los aspectos ambientales, evitando la contaminación de mantos y suelos, para esto hay que establecer sistemas de recolección de lixiviados y de extracción de biogas.

El sistema de relleno con residuos sólidos puede ser muy útil en terrenos improductivos, oquedades y barrancas, siempre y cuando se lleve a cabo un buen procedimiento.

En la clausura del relleno habrá que darle mucha importancia a la capa de suelo que soportará la vegetación, ésta deberá ser de por lo menos 60 cms. de espesor para promover un buen crecimiento de las plantas.

En la medida de lo posible, utilizar para el soporte de vegetación una cobertura de tierra negra adicionada con abonos, residuos de corrales o material de composta.

Para la introducción de vegetación un aspecto muy importante es la selección de especies, las cuales deberán tener las siguientes características: lento crecimiento, fácil propagación por rizomas y estolones, rápida germinación, resistencia al fuego, insectos y enfermedades.

Considerar la vegetación regional para la plantación en el sitio de relleno.

Riesgo adecuado en temporada de sequía para prevenir daños a la vegetación.

Al introducir especies arbóreas, una vez estabilizados los residuos se deben utilizar especies con sistemas de raíces poco profundas que se desarrollen en la zona del suelo donde hay menor contenido de gas.

Plantar especies tolerantes a suelos con ambientes de bajo oxígeno.

Plantar especies de talla pequeña que tienen mayor probabilidad de adaptación.

El derribo de árboles puede ser muy común en sitios de relleno debido a que carecen de anclaje de raíces profundo. Una cobertura de suelo profundo puede promover un profundo sistema de raíces por lo tanto ayuda a prevenir la volcadura.

Para evitar la migración de gas a la zona de raíces pueden establecerse montones de suelo de una altura mínima de 90 cms. y sobre ellos plantar los árboles.

Esta investigación podría ampliarse probando especies de plantas que puedan adaptarse a las condiciones de relleno, comparándolas con parcelas testigo.

XI. BIBLIOGRAFIA

ALLAWAY W. H. 1968. Adv. Agron. 20: 235 - 271 p.p.

ALLEN, S. E., M. Grimshaw, J. A. Parkinson y C. Quaramby. 1974. Ecological materials. Jonh Willey & Sons. 565 p.

ARTEAGA, M. M. 1986. Determinación de la microflora del socioecosistema impactado por la acumulación de desechos urbanos en el Bordo Xochiaca Estado de México para la obtención de protefina microbiana. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo E.N.E.P. Zaragoza. 41 p.

BARRIOS, M. N. 1989. Evaluación del impacto ocasionado por el plomo en Ligustrum japonicum Thunb (Trueno) planta introducida en el ex-tiradero de basura de Santa Cruz Meyshualco, México, Distrito Federal. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo. E.N.E.P. Zaragoza U.N.A.M.

BLACK, C. A. 1965. Methods of Soil Analysis. American Society of Agronomy Inc.. E.U.A. 54 - 72 p.p.

BRADSHAW, A. D. y T. McNeilly. 1985. Evolución y Contaminación Serie cuadernos de Biología. Traducción Elena Torres. Ed. Omega S.A. Barcelona. 29 - 37 p.p.

CAJUSTE, L. J. 1977. Química de los suelos con un enfoque agrícola. Talleres Gráficos de la Nación México. 278 p.

CASTILLO, B. H. 1983. La sociedad de la basura; caciquismo en la Ciudad de México. U.N.A.M.

CASTILLO, B. M. 1984. La basura en México. U.N.A.M.

CASTILLO, B. M. 1986. Memorias del primer encuentro de Investigadores Universitarios sobre la Contaminación Ambiental. Facultad de Medicina U.N.A.M.

CHAPMAN, H. D. y P. P. Pratt. 1979. Métodos de análisis para suelos plantas y aguas. Editorial Trillas. 195 p.

CLAYTON, P. M. y K. G. Triller. 1979. A. Chemical method for the determination of the heavy metal content of soil in enviromental studies, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization , Australia.

CUANALO de la C. H. 1981. Manual para la descripción de perfiles de suelo en el campo. Centro de Edafología. Colegio de Postgraduados. Chapingo. México. 40 p.

CURSO sobre el Manejo y Disposición Final de Residuos Sólidos Municipales. SEDUE. Tomo II. 1984.

DUFFUS, J. H. 1983. Toxicología Ambiental. Editorial Omega. Barcelona, España.

DIAZ, F. L. 1994. Clausura del Relleno Sanitario y su cuidado a largo plazo. Curso Internacional sobre Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios AMCRESPAC, México, D.F.

DIX, H. M. 1981. Environmental Pollution (Atmosphere, Land, Water and Noise). Ed. John Wiley and Sons. E. U. 77-126 p.p.

EPA. 1982. Handbook: Remedial Action at waste disposal sites U.S. Department of Commerce National. Technical Information Service (NTIS).

ESTRADA, N. R. 1994. Interpreting site characteristics in landfill design. Curso Internacional sobre Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios AMCRESPAC. México, D.F.

FAO. 1983. El reciclaje de materias orgánicas en agricultura de América Latina. Roma. 255 p.

FLOWER, B. P., I. A. Leone, E. F. Gilman y J. J. A. Cook. 1978. A study vegetational problems associated with refuse landfills. United States Environmental Protection.

FÖSTHER, V. 1989. Contaminated Sediments: Lectures on Environmental Aspects of Particle - Associated Chemicals in Aquatic Systems. Ed. Springer - Verlag Berlin Heidelberg. Germany. 11 - 15 p.p.

FOTH, H. D. y L. N. Turk. 1981. Fundamentos de la ciencia del suelo. Editorial CECSA. 527 p.

FRANK, E. A., Jerome J. P. 1980. Introducción to Environmental Toxicology. Ed. Elsevier North Holland. 484 p.

GALVAN, V. A. 1995. Caracterización de los desechos sólidos del Ex-Tiradero de Santa Cruz Meyehualco y su impacto en el suelo. Tesis de licenciatura para obtener el título de Biólogo F.E.S. Zaragoza U.N.A.M. 62 p.

GALVAN, V. A. 1985. Comunicación personal. Datos no publicados. E.N.E.P. Zaragoza. U.N.A.M.

GALVAN, V. A. et al. 1986. Determinación de Metales Pesados X. Jornadas estudiantiles de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. I.P.N.

GAMA, C. K., Palacios M. S. 1992. Edafología. Evaluación del Edafocistema "Bordo Poniente". México.

GILMAN E. F., I. A. Leone and F. B. Flowers 1981. Critical Factors Controlling Vegetation Growth on Completed Sanitary Landfills. U. S. Environmental Protection Agency.

Gobierno del Estado de México. 1980. Atlas Municipal de Huehuetoca, México.

GRANDE, L. R. 1974. Métodos para análisis físicos y químicos en suelos agrícolas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. 35 - 38 p.p.

HADDAD, F. J. 1984. Curso sobre manejo y disposición final de Residuos Sólidos Municipales SEDUE Tomo II. 665 - 720 p.p.

HEREDIA D. 1989. Evaluación de los Niveles de contaminación por Plomo, Cadmio y Zinc, en el Valle de México. Tesis. Facultad de Ingeniería. U.N.A.M.

IPN., 1983. Contaminación de desechos sólidos en el Distrito Federal,. México. 132 p.

JARAMILLO, J. 1991. Guía para el diseño, construcción y operación de Rellenos Sanitarios Manuales. Programa de Salud Ambiental (Residuos Sólidos Municipales) OPS. E.U.A.

JACKSON, M. L. 1982. Análisis químicos de suelos. Ediciones Omega. 662 p.

LOPEZ, J. R. 1986. La basura en México. La Ciudad de México hoy y mañana. Facultad de Arquitectura U.N.A.M.

LOPEZ, J. R. et al. 1986. Memorias sobre Contaminación Ambiental. Facultad de Medicina. U.N.A.M.

LOPEZ, R. y M. T. 1987. Análisis de la Composte producida en la Industrializadora de Desechos Sólidos Aragón. ENEP Zaragoza. U.N.A.M.

LOPEZ, J. R. S. Taboada, A. Galván 1987. Desarrollo de Amaranthus en las zonas de acumulación de desechos sólidos. Coloquio Nacional del Amarantho. Querétaro, Querétaro.

LOPEZ, J. R. A. Galván, S. Taboada. 1987a. Desarrollo de la vegetación sobre las áreas de acumulación de desechos sólidos urbanos. Efecto del sustrato sobre el crecimiento de Licopersicum esculentum. X Congreso de Botánica. 1987. Guadalajara Jalisco.

LOPEZ, M. E. 1987. Monografía Municipal de Huehuetoca, Gobierno del Estado de México. 89 p.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

LOPEZ, J. R. 1988. Efecto de los basureros sobre los suelos. OMNIA. Año 5, número 13 - 14. Diciembre 88/marzo 89. 65 - 69 p.p.

LOPEZ, J. R. y L. López. 1991. Factores edafológicos extremos donde se desarrolla Amaranthus Hubridus L. Primer Congreso Internacional del Amaranto, Oaxtepec Morelos, México. 133 p.

LOPEZ, M. R. 1992. Estudio del Comportamiento del Plomo en un Ambiente alterado. Ex-tiradero de Santa Cruz Meyehualco. A través de la especie Ligustrum japonicum Trunb. México. 89 p.

LOERHE, C. Ford L. Kabrix M., Morton S., Rogers L. Rusell H., Ward H., Wertray M., 1992. The University of Texas at Austin College of Engineering presents Bioremediation of Contaminated Soils and Sludges. U.S.A.

LUTTON, R.S. et al. 1979. Desing and Construction of Covers for Solid Waste Landfills. Es tablishment and Support of vegetation. U.S. Enviromental Protection Agency.

MENSER, H. A., Winant W. M., Bennett O. C. & Lundberg P. E. 1979. The utilization of forage for descontamination of spray irrigated leachate from a Municipal Sanitary Landfill. Enviromental Pollution 19. Printed in Great Britain.

MORTVEDT, J. J., P. M. Giordano y W. L. Lindsay. 1983. Micronutrientes en la agricultura. ARGT Editor S.A. 742 p.

MONDRAGON, M. L. Morales S. R. y Sánchez R. 1989. Evaluación de los efectos provocados por los metales pesados (cadmio y zinc) en los generos Fraxinus sp. (fresno) y Eucalyptus sp. (eucalipto) Así como las propiedades del suelo, bajo condiciones de invernadero durante el período nov. 1985 - oct. 1986. México. 134 p. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M.

O'LEARY y Walsh (1992) Lesson 10. The Landfill course: Landfill Closure y Long - Term Care. Waste Age vol. 23 No. 8 87 - 94 p.p.

ORTIZ, V. B. y S.A. Ortiz. 1980. Edafología. Universidad Autónoma de Chapingo, Chapingo México. 331 p.

ORMROD, D. P. 1978. Pollution in Horticulture. Fundamental Aspects of pollution control and enviromental Science. Ed. By R. J. Wakeman Elsevier Scientific Publishing Company Canadá.

FARR, P. D. F. G. Taylor. 1976. Sensitivity of Tobacco chorium from mechanical draft Cooling Tower Drift. Atmospheric Environment Vol. 10. 421 - 423 p.p. Great Britain.

PEMEX, 1986. Aspectos generales del plomo y su comportamiento en el medio ambiente. PEMEX. México.

RESTREPO, I. y D. Philips. 1982. La basura: consumo y desperdicio en el D. F. México. Instituto Nacional del Consumidor. 193 p.

RIOS, G. R. 1985. Prácticas del módulo de suelo de séptimo semestre. Laboratorio Integral de Biología IV. E.N.E.P. Zaragoza. U.N.A.M. México.

RIVAS, O. J. 1991. Estudio de la vegetación y su interrelación con el sustrato en la zona de acumulación de desechos sólidos del Bordo Xochiaca, en el Municipio de Nezahualcoyotl. Estado de México. Tesis de Licenciatura para obtener el título de Biólogo. E.N.E.P. Zaragoza, U.N.A.M. 80 p.

RUIZ, B.A. y Ortega T. E. 1979. Química de suelos. Prácticas de Laboratorio. UACH. 56 - 65 p.p.

SANCHEZ, S. Oscar. 1984. La flora del Valle de México, Ed. Herrero. 3a. Reimpresión. México.

SALVATO, J. A. 1982. Environmental Engineering and Sanitation. Wilay Intercence Publication. 582 - 608 p.p.

SCHULTE, E. E. 1969. Notes on Soil Science an Plant Nutrition. Universidad of Wisconsin. U.S.A.

SIEGEL, S. M. 1977. The cytotoxic response of "nicotiana" proto-
plasto metal ions; Asurvey of the chemical elements. Water, Air,
Soil Pollution Vol. 8 No. 2 U.S.A.

TABOADA, A. S. 1992. Estudio Florístico y Edafológico del enterramiento controlado Bordo Xochiaca. México. 78 p.

TISDALE, S. L. y Nelson W. L. 1977. Fertilidad de los suelos y Fertilizantes. Ed. Montaner y Simón S.A. Barcelona. 78-482 p.p.

WATTY, M. 1982. Química Analítica. Editorial Alhambra Mexicana 399-475 p.p.