

20/1/80



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES "CUAUTITLAN"

DISTRIBUCION DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN UN  
PERFIL DE SUELO TRATADO CON DIFERENTES  
DOSIS DE COMPOSTA DE DESECHOS URBANOS

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO AGRICOLA  
P R E S E N T A  
RAFAEL MORALES JIMENEZ

Director de Tesis: Q. Celia Elena Valencia Islas

Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.

1987



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

## I N D I C E

	Pag.
INDICE DE CUADROS . . . . .	iv
INDICE DE FIGURAS . . . . .	vii
1. INTRODUCCION . . . . .	1
2. OBJETIVOS E HIPOTESIS . . . . .	4
2.1 Objetivos . . . . .	5
2.2 Hipótesis . . . . .	5
3. REVISION DE LITERATURA . . . . .	6
3.1 El perfil del suelo . . . . .	7
3.1.1 Generalidades . . . . .	7
3.1.2 Procesos que se verifican en el perfil del suelo . . . . .	8
3.2 Factores que influyen en la distribución de elementos en el perfil del suelo . . . . .	10
3.2.1 Características físicas y químicas del perfil del suelo . . . . .	12
3.2.1.1 Características físicas . . . . .	12
3.2.1.2 Características químicas . . . . .	16
3.2.2 Carga eléctrica . . . . .	19
3.2.3 Contenido de agua . . . . .	21
3.3 Formas solubles de los elementos nutritivos en el suelo . . . . .	25
3.3.1 Nitrógeno . . . . .	26

	Pag.
3.3.2 Fósforo. . . . .	26
3.3.3 Potasio. . . . .	28
3.3.4 Calcio y Magnesio. . . . .	29
3.3.5 Sodio. . . . .	29
3.4 Modelos de perfiles de suelo en columnas . .	30
3.5 Las compostas como fuente de nutrimentos para los cultivos. . . . .	32
3.5.1 Características generales de las com- postas. . . . .	34
3.5.2 Compostas de desechos urbanos. . . . .	36
4. MATERIALES Y METODOS. . . . .	39
4.1 Características del suelo utilizado en el - trabajo experimental. . . . .	39
4.2 Características generales de la composta de de desechos urbanos utilizada en el trabajo experimental. . . . .	46
4.3 Desarrollo del trabajo experimental. . . . .	48
4.3.1 Muestreo de suelos. . . . .	48
4.3.2 Formación de las columnas. . . . .	49
4.3.3 Tratamientos y diseño experimental . .	51
4.3.4 Aplicación de riegos. . . . .	53
4.3.5 Parámetros de evaluación. . . . .	54
4.3.6 Determinaciones en los lixiviados y análisis de suelos. . . . .	56
4.3.7 Análisis estadístico. . . . .	57

	Pag.
5. RESULTADOS. . . . .	58
6. ANALISIS DE RESULTADOS. . . . .	84
6.1 Análisis de los lixiviados. . . . .	85
6.1.1 Conductividad eléctrica de los lixiviados. . . . .	85
6.1.2 pH de los lixiviados. . . . .	88
6.2 Contenido de materia orgánica en el perfil del suelo. . . . .	90
6.3 Distribución de elementos en el perfil del suelo. . . . .	91
6.3.1 Nitrógeno. . . . .	91
6.3.2 Fósforo. . . . .	94
6.3.3 Potasio. . . . .	95
6.3.4 Calcio y magnesio. . . . .	96
6.3.5 Sodio. . . . .	98
6.4 Efecto de la composta de desechos urbanos en las características químicas del suelo en el trabajo experimental. . . . .	99
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. . . . .	103
8. BIBLIOGRAFIA. . . . .	107
APENDICE. . . . .	118

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Pag.
1	Análisis químico cuantitativo de diversas muestras de composta experimental, obtenidas de la basura de la ciudad de Monterrey N. L. . . . .	37
2	Análisis químico de la composta obtenida de la planta industrializadora de Guadalajara, Jal. . . . .	38
3	Composición de la composta obtenida en la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos de San Juan de Aragón, Mex. . . . .	38
4	Descripción del perfil de suelo en campo .	43
5	Caracterización en laboratorio del suelo - utilizado en el trabajo experimental. . .	44
6	Características generales de la composta - de desechos urbanos utilizada en el trabajo experimental. . . . .	46
7	Tratamientos evaluados en el experimento .	51
8	División de los tratamientos según la profundidad de muestreo en el perfil del suelo. . . . .	52

Cuadro		Pag.
9	Registro de los tratamientos. . . . .	53
10	Parámetros de evaluación. . . . .	55
11	Conductividad eléctrica y pH de los lixi-- viados obtenidos en las columnas de suelo durante el experimento. . . . .	59
12	Resultados de los análisis químicos de las columnas de suelo ( $\bar{x}$ de cuatro repeticio- nes). . . . .	60
13	Contenido de elementos nutritivos en los - primeros 20 cm de profundidad del suelo (capa arable). . . . .	63
14	Evaluación de la fertilidad de los prime- ros 20 cm del suelo (capa arable). . . . .	64
15	Cantidad de suelo y agua utilizados en el llenado de las columnas y aplicación de riegos. . . . .	121
16	Análisis de varianza para el contenido de materia orgánica del suelo (0-20 cm). . . .	122
17	Análisis de varianza para el contenido de nitrógeno del suelo (0-20 cm). . . . .	122

Cuadro		Pag.
18	Análisis de varianza para el contenido de fósforo del suelo (0-20 cm) . . . . .	123
19	Análisis de varianza para el contenido de potasio del suelo (0-20 cm) . . . . .	123
20	Análisis de varianza para el contenido de calcio del suelo (0-20 cm) . . . . .	124
21	Análisis de varianza para el contenido de magnesio del suelo (0-20 cm) . . . . .	124
22	Análisis de varianza para el contenido de sodio del suelo (0-20 cm) . . . . .	125
23	Análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico del suelo (0-20 cm)	125
24	Análisis de varianza para el pH real del suelo (0-20 cm) . . . . .	126
25	Análisis de varianza para el pH potencial del suelo (0-20 cm) . . . . .	126
26	Análisis de varianza para la conductividad eléctrica del suelo (0-20 cm) . . . .	127
27	Comparación de promedios por el método de Tukey . . . . .	128



## INDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
1	Representación esquemática de los procesos que se verifican en el perfil del suelo. . .	11
2	El proceso de composteo. . . . .	33
3	Perfil tipo de un vertisol pélico. . . . .	41
4	Distribución de elementos y características del perfil del suelo utilizado en el trabajo experimental. . . . .	45
5	Diagrama del bozo para la descripción del perfil y toma de muestras de suelo. . . . .	48
6	Columnas de suelo. . . . .	50
7	Conductividad eléctrica de los lixiviados. . . . .	65
8	pH de los lixiviados. . . . .	56
9	Distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo. . . . .	67
10	Distribución del nitrógeno en el perfil del suelo. . . . .	68
11	Distribución del fósforo en el perfil del suelo. . . . .	69

Figura		Pag.
12	Distribución del potasio en el perfil del suelo. . . . .	70
13	Distribución del calcio en el perfil del suelo. . . . .	71
14	Distribución del magnesio en el perfil del suelo. . . . .	72
15	Distribución del sodio en el perfil del suelo. . . . .	73
16	Capacidad de intercambio catiónico total del perfil del suelo. . . . .	74
17	pH real del perfil del suelo. . . . .	75
18	pH potencial del perfil del suelo. . . . .	76
19	Conductividad eléctrica del perfil del suelo. . . . .	77
20	Contenido de nitrógeno total en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	78
21	Contenido de fósforo aprovechable en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	79
22	Contenido de potasio intercambiable en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	80

Figura		Pag.
23	Contenido de calcio intercambiable en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	81
24	Contenido de magnesio intercambiable en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	82
25	Contenido de sodio intercambiable en la capa 0-20 cm del suelo. . . . .	83
26	Curva de correlación entre la dosis de - composta y contenido de materia orgánica de la capa superficial del suelo. . . . .	92

## 1. INTRODUCCION

## 1. INTRODUCCION

Los diferentes procesos que se verifican en el perfil del suelo, incluyen ganancias y pérdidas de materiales, tanto en solución como en suspensión, debido al movimiento del agua a través del suelo, lo cual determina en gran medida la distribución de elementos en el perfil. Estos procesos también se manifiestan en la dinámica de los elementos aplicados al suelo mediante fertilizantes o abonos, e influyen de la misma manera en su disponibilidad para las plantas.

Es importante que al realizar fertilizaciones o abonados, se considere la distribución en el perfil de los elementos nutritivos adicionados de esta manera, ya que de ello dependerá su disponibilidad para los cultivos, - sobre todo si se toma en cuenta que la zona de mayor desarrollo radicular de una gran variedad de cultivos, se encuentra en los primeros 30 cm de profundidad del suelo.

Es común que al realizar fertilizaciones, los elementos adicionados reaccionen con los demás iones del suelo y se vuelvan no asimilables, o bien, que los elementos más solubles sean lixiviados por el agua de riego o de lluvia a profundidades considerables, fuera de la zona de desarrollo radicular de los cultivos, en consecuencia, puede suceder que aún cuando se apliquen grandes cantidades de fertilizantes, se presenten deficiencias de estos nutrimentos en las plantas.

Un componente del suelo que desempeña un papel importante en la dinámica de los elementos nutritivos en el perfil, es la materia orgánica, la cual además de constituir una fuente natural de nutrientes y favorecer la solubilización de los elementos minerales del suelo, también contribuye a la retención de éstos en las capas superficiales del perfil, debido a sus características de intercambio conferidas por el humus. Esto justifica en parte la importancia de la utilización de los abonos orgánicos, en cualquiera de sus formas, como mejoradores de los suelos.

Una de las formas de abonos orgánicos la constituyen las compostas, las cuales se pueden elaborar mediante la fermentación de cualquier tipo de residuos orgánicos, incluyendo los desechos urbanos como son basuras y aguas residuales, lo que permite por una parte disminuir la contaminación ambiental y por otra generar un producto de uso agrícola.

Considerando la importancia de la distribución de los elementos nutritivos en el perfil del suelo, así como la influencia de la materia orgánica en la dinámica de estos elementos en el mismo, en el presente trabajo, se realizó el análisis de la distribución de los elementos nutritivos en un perfil de suelo al aplicar diferentes dosis de composta de desechos urbanos, como fuente de nutrimentos y materia orgánica, y después de aplicar

cinco riegos a saturación, para lo cual se utilizó un mo  
delo de perfiles de suelo en columnas.

De la misma manera, con la aplicación de diferentes dosis de composta, se evaluó su aporte inmediato en elementos asimilables así como su efecto en las características químicas de la capa superficial del suelo (capa arable), sin esperar a que su mineralización tuviera un efecto apreciable.

El desarrollo del trabajo experimental se llevó a cabo en el Laboratorio de Química de la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos (Planta procesadora de basu  
ra), del Departamento del Distrito Federal; en el labora  
torio de Química Experimental (Campo 1) y en el laboratg  
rio de Investigación de Suelos (Campo 4) de la Facultad de Estudios Superiores - Cuautitlán de la U.N.A.M.

## 2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS



## 2. OBJETIVOS E HIPOTESIS

### 2.1 Objetivos

2.1.1 Utilizando columnas de suelo y diferentes dosis de composta de desechos urbanos, observar la distribución de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sodio en un perfil de suelo.

2.1.2 Por medio del análisis de los lixiviados de las columnas, observar el proceso de lixiviación de elementos en el perfil del suelo.

2.1.3 Evaluar el efecto de la composta en el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico Total, Conductividad Eléctrica y en la concentración de elementos nutritivos en los primeros 20 cm del perfil del suelo.

### 2.2 Hipótesis

2.2.1 Al utilizar columnas de suelo y aplicar diferentes riegos, modificará la distribución de elementos de un perfil de suelo.

2.2.2 Al aplicar diferentes dosis de composta de desechos urbanos, habrá modificación en las características químicas y en la concentración de elementos nutritivos en los primeros 20 cm de un suelo (casa arable).

### 3. REVISION DE LITERATURA

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 El perfil del suelo

##### 3.1.1 Generalidades.

Los suelos, a diferencia de muchas plantas y animales, con frecuencia no muestran límites bien definidos, sino que en muchos casos muestran una variación continua y los límites son establecidos por una definición que resulta útil desde el punto de vista de su uso y manejo; de esta manera, la abstracción de dar límites claros y precisos a los suelos debe entenderse como un artificio para su estudio y clasificación. Para el estudio de los suelos en su espesor, se ha establecido el término Perfil de suelo, el cual nos muestra la variación vertical de un suelo en particular. Buol et al. (1981), definen el perfil de suelo como la exposición vertical de una porción superficial de la corteza terrestre, que incluye todas las capas que han sido alteradas edafogénicamente durante el periodo de formación del suelo y también las capas más profundas que influyeron en la edafogénesis.

Ortiz-Solorio y Cuanalo de la Cerda (1981), definen al perfil de suelo como una exposición vertical de la corteza terrestre hasta el límite de profundidad de las raíces de las plantas perennes, o hasta la profundidad de la capa que influye en su comportamiento.

Ortiz Villanueva y Ortiz-Solorio (1984), consideran al perfil de suelo una sucesión de capas llamadas horizontes, más o menos desarrolladas y con características propias y definidas.

Se puede observar el perfil del suelo en el talud - de una carretera, en los márgenes de ríos o cárcavas - formadas por la erosión, o bien, al cavar un pozo para tal efecto.

### 3.1.2 Procesos que se verifican en el perfil del suelo.

El suelo es una entidad que siempre se encuentra en medio de procesos complejos y dinámicos, que evolucionan en un flujo de materiales geológicos, biológicos, hidrológicos y meteorológicos. Los cuerpos de suelo individuales y sus correspondientes horizontes, juegan papeles - diferentes debido a la distribución desigual de materiales (Buol et al. 1981).

En el perfil del suelo se verifican procesos que en general pueden ser: adiciones, pérdidas, transformaciones y translocaciones (Foth, 1985); el agua que circula por los poros del suelo arrastra en ella ciertos elementos, ya sea en disolución o bien en suspensión, lo que da origen a las migraciones de materia, inclusive gran

parte de elementos así movilizados puede ser arretrada fuera del perfil (Duchaufour, 1964), en consecuencia algunos suelos y horizontes se enriquecen con ciertas subtancias mientras otros se empobrecen.

Existen emigraciones ascendentes que compensan en cierta medida los procesos de arretrate por el agua, sin embargo son menos comunes, además se produce un intercambio de material entre cuerpos de suelo por acción de los organismos que lo habitan y por los agentes climáticos -- como el viento y el agua. Todos estos procesos forman -- parte de la génesis del suelo y conducen a la diferenciación de horizontes del perfil.

En general, la mayoría de los suelos desarrollados involucran tres tipos de horizontes mayores o maestros: El horizonte A, el cual se encuentra en la parte superficial del suelo, en el que hay acumulación de materia -- orgánica, se produce la remoción de materiales disueltos o suspendidos y constituye la zona de mayor actividad -- biológica; el horizonte B, ubicado en el subsuelo, en el que comúnmente sucede la acumulación de los materiales acarreados del horizonte A; y el horizonte C que en general puede considerarse como la alteración del material -- parental.

También se puede encontrar el horizonte O u horizonte orgánico, el cual se forma del mantillo orgánico -

depositado en la superficie mineral, derivado de plantas y animales. Este horizonte está constituido por material orgánico fresco o parcialmente descompuesto.

Los horizontes mayores por lo general presentan subdivisiones, las cuales se indican con números arábigos. Por ejemplo, el horizonte O se sub-divide en O1 y O2 dependiendo del grado de descomposición de los residuos orgánicos; el horizonte A, se sub-divide en A1 en el cual persisten el color oscuro o los residuos orgánicos, A2 que es de color relativamente claro y muestra al máximo los efectos de la lixiviación o eluviación, y A3 que es una capa de transición entre A y B; el horizonte B se sub-divide en B1, B2 y B3 dependiendo del grado de acumulación de materiales provenientes del horizonte A (Poth, 1965).

A menudo es difícil distinguir uno u otro horizonte o subhorizonte en el perfil del suelo. En la figura 1 se hace una representación esquemática de los procesos que se verifican en el perfil del suelo y están implicados en la diferenciación de horizontes.

### 3.2 Factores que influyen en la distribución de elementos en el perfil del suelo

La distribución de elementos en el perfil del suelo está determinada por su movilidad en el mismo, y ésta a

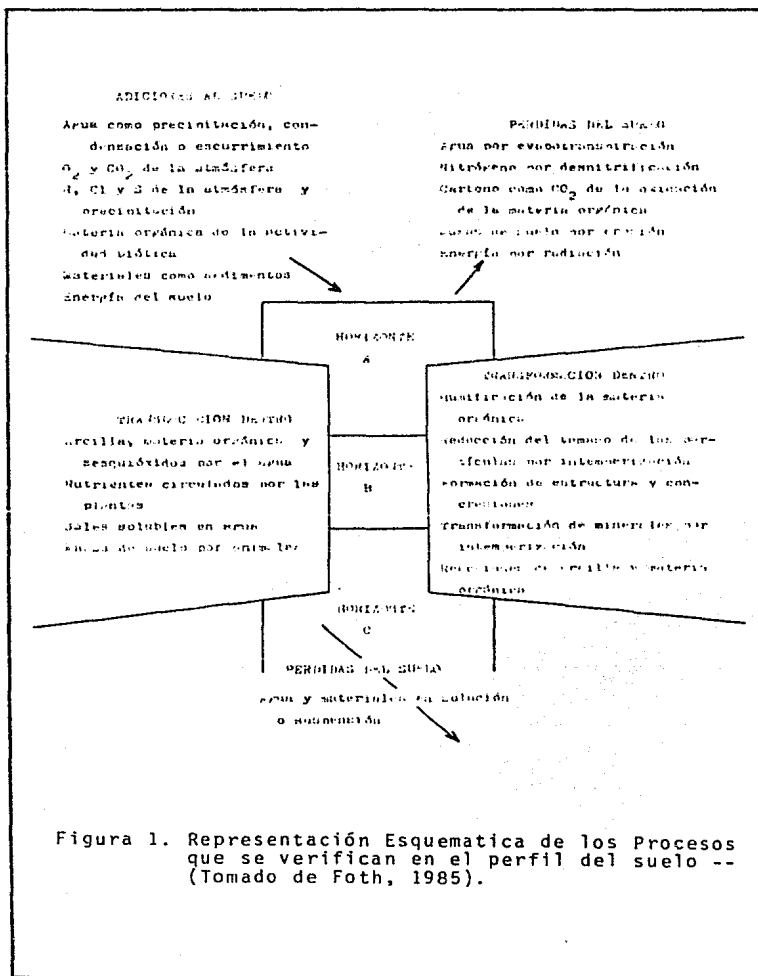


Figura 1. Representación Esquemática de los Procesos que se verifican en el perfil del suelo -- (Tomado de Foth, 1985).

su vez es influenciada por varios factores; principalmente por las características físicas y químicas del suelo como textura y estructura (Olsen y Watanabe, 1953), pH (Place et al. 1968) y Capacidad de Intercambio Catiónico (Black, 1975); por el tipo y concentración de ión (anión o catión) y por el contenido de agua en suelo (Hira, 1978).

Durante el proceso de recuperación de un suelo salino mediante lavado, la distribución de bases intercambiables en el espesor del suelo es variable dependiendo también de los factores antes mencionados y las concentraciones mayores de sales se observan en las capas superficiales, aún después de finalizado el proceso (Servantes, 1983).

En su mayoría, los elementos tienden a permanecer en las capas superiores y disminuyen su concentración con la profundidad del perfil del suelo.

### 3.2.1 Características físicas y químicas del perfil del suelo.

3.2.1.1 Características físicas. Uno de los factores que influyen en la movilidad y consecuentemente en la distribución de elementos en el perfil, es la textura. En los suelos de textura gruesa su movilidad es mayor que en los suelos de textura fina, por lo que una adecuada



evaluación de iones intercambiables en el perfil, solo puede hacerse con la debida consideración del análisis mecánico del suelo, sobre todo el contenido y composición mineralógica de las arcillas (Schroeder, 1974).

Una de las funciones de mayor importancia de las arcillas es la de retener los nutrientes del suelo con la fuerza suficiente para retardar su pérdida por lixiviación, pero también con la debilidad necesaria para que sean usados fácilmente por los cultivos (Foth, 1965), esto permite que la mayoría de los elementos permanezcan en las capas superiores.

En los suelos de textura gruesa y sin gran contenido de materia orgánica, los sitios de intercambio disminuyen y de esta manera, hay mayor cantidad de iones en estado difusible, los cuales se mueven libremente en solución hacia las capas inferiores del perfil, fuera del alcance de las raíces de las plantas.

Black (1975), establece que hay mayores pérdidas de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) en suelos de textura gruesa que en suelos de textura fina, debido a dos factores básicamente: a) los suelos de textura gruesa tienen menor capacidad de retención de agua y pierden en total más agua que los de textura fina y con ello se lixivia un mayor porcentaje de  $\text{NO}_3^-$  de la solución del suelo; y b) la proporción del espacio poroso total compuesto por microporos dentro de

los agregados es menor en los suelos de textura gruesa - que en los de textura fina, donde el agua fluye más lentamente.

Las pérdidas por lixiviación de fósforo y su movilidad a las capas inferiores del perfil, probablemente sólo son importantes en los suelos arenosos y turbosos que tienden a reaccionar poco con este elemento, el cual es poco móvil por lo que su mayor concentración se encuentra en las capas superficiales debido a que la mayoría de los suelos reaccionan con las diferentes fuentes de fósforo y forman compuestos poco solubles.

La baja movilidad del fósforo en los suelos está controlada por su precipitación con cationes como Hierro, Aluminio y Calcio, por su adsorción en coloides orgánicos y por los procesos combinados de difusión y transporte de masa, según el flujo de la solución del suelo (Camarago et al. 1979); estos procesos se presentan con mayor intensidad en los primeros 30 cm de profundidad, predominando la fracción fósforo-aluminio sobre las demás (Gamba y Blasco, 1976).

Olsen y Watanabe (1963) y Mahtab et al. (1971), establecen que se encuentran mayores concentraciones de fósforo soluble y lábil en suelos arenosos que en suelos arcillosos, al aplicar iguales cantidades de fertilizante fosforado, debido a que en estos últimos los materiales que reaccionan con el fertilizante aumentan.

Spencer, citado por Black (1975), establece que en suelos arenosos es considerable el movimiento descendente del fósforo; Azanne, citado por el mismo autor, observó en suelos arenosos del Oeste de Australia, desolazamientos de grandes cantidades de fertilizantes fosforados, que en una sola estación sobrepasaban los 75 cm de profundidad, y las pérdidas por lixiviación en los 10 cm superficiales de un suelo cultivado con trébol, superaban el fósforo absorbido por el cultivo.

Logan y Mclean (1973), observaron en columnas de suelo areno-limoso de Ohio, que las pérdidas de fósforo por lixiviación estaban relacionadas con la baja capacidad del suelo para retener el fósforo soluble y cantidades significativas de fósforo se recuperaron en los lixiviados obtenidos.

Los factores que determinan la distribución de fosfato orgánico en el perfil también están influenciados por la textura del suelo. El movimiento de fosfatos orgánicos en los suelos está limitado por la hidrólisis y la adsorción, ocurriendo lo primero en los suelos de textura gruesa y lo segundo en suelos de textura fina (Hoffman y Rolston, 1960).

Para el potasio, sus pérdidas de las capas superficiales del perfil por lixiviación no son consideradas un problema en suelos pesados, sin embargo, en suelos ligeros la lixiviación puede ser substancial. Por ejemplo, en

Oxisoles, alrededor del 50 % o más del nitrógeno aplicado se pierde por lixiviación debido a su bajo contenido de arcilla (Jensen, 1964).

3.2.1.2 Características químicas. El pH es probablemente el factor que más afecta la movilidad de los nutrientes; por ejemplo, en suelos con arcillas del tipo 2:1 el ión  $\text{NO}_3^-$  se mueve libremente con el agua, sin embargo, este ión puede ser adsorbido en cantidades que dependen fundamentalmente del pH del suelo, lo cual limita su movilidad en el perfil del mismo (Caino, *et al.* 1971).

Los suelos con pH bajo ( $\text{pH} < 6.5$ ), tienen grandes cantidades de hierro y aluminio en solución y estos elementos fácilmente se combinan con el fósforo para formar compuestos relativamente poco solubles; a pH de 6.5 a 7.5 la cantidad de hierro y aluminio decrece y por lo tanto hay más fósforo disponible; a pH superior a 7.5 muchos iones Calcio y Magnesio están presentes y se combinan con el fósforo para formar compuestos poco solubles; a pH de 8.5 a 10.0 los iones sodio están libres con los cuales los iones fosfato se combinan para formar fosfatos de sodio que son relativamente más solubles (Sauchelli, 1965).

El pH influye significativamente en la difusión de fósforo dependiendo también del tipo de arcilla predominante en el suelo. Place *et al.* (1968), establecen que

el orden decreciente de este efecto es el siguiente: Caolinita > Montmorillonita > Illita; esto significa que un suelo con alta composición de caolinita será más sensible a la influencia del pH en el movimiento de fósforo - que los suelos arcillosos que tienen predominantemente - illita.

Saw y Robinson, citados por Black (1975), al modificar el pH de un suelo de Tennessee, de 4.5 a 9.0 por medio de aplicación intensiva de caliza dolomítica, aumentaron la capacidad de retención de potasio y disminuyeron las pérdidas por lixiviación de 59 a 9 Kg/Ha, en el primer año posterior al tratamiento; esto se puede explicar por una parte a que al aplicar cal ( $\text{CaCO}_3$ ) en suelos ácidos, el calcio se intercambia por el aluminio y a medida que aumenta el pH el potasio puede desolazar parte del - calcio intercambiable con más facilidad; y por otra, a que el tratamiento con cal aumenta la capacidad de retención del potasio al dejar libres mayor cantidad de sitios de intercambio.

Otra característica del suelo que influye en gran medida en la distribución de elementos en el perfil, es su Capacidad de Intercambio Catiónico, la cual determina fundamentalmente la proporción de iones intercambiables y solubles en los suelos.

En gran parte, la movilidad de los elementos en el perfil de debe a la forma en que se encuentren éstos en

el suelo, sea en forma cambiabile o soluble; los iones so lubles pueden ser fácilmente eliminados por efecto del agua, debido a que se mueven libremente con la solución del suelo, no así los intercambiabiles, los cuales son di fíciles de remover por efecto del lavado a menos que la solución contenga una sal que suministre cationes de intercambio; de aquí que, según Nuñez (1981), una manera de proteger a los nutrientes de la lixiviación, es sumen tando la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo.

En los suelos arenosos, las pérdidas considerables de elementos por lixiviación se deben en gran parte a su baja Capacidad de Intercambio Catiónico.

Arnaud y Sephton (1972), observaron diferencias en las pérdidas de nitrógeno de fertilizantes nitrogenados, aplicados como amonio o urea, en suelos del Oeste de Canadá, y atribuyen tales diferencias a variaciones en su Capacidad de Intercambio Catiónico.

Por otra parte, la energía de absorción del complejo absorbente es variable dependiendo del tipo de ión, esta energía es mayor para las valencias altas y el orden decreciente para los cationes básicos en  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $K^+$  y  $Na^+$  (Duchaufour, 1984), los aniones son débilmente retenidos por lo tanto son bastante móviles (Ortega, 1981).

### 3.2.2 Carga eléctrica.

La distribución de los elementos en el perfil deben de también de su carga eléctrica (catión o anión), entre menor sea su valencia, la movilidad de los iones será - mayor en el perfil (Cervantes, 1983).

Benavides (1977), al evaluar pérdidas de nitrógeno por lixiviación, observó que a través de cinco riegos el 92.2 % del nitrógeno total lavado fué en forma de de nitratos; Orozco (1979), en condiciones similares observó una relación de  $\text{NO}_3^-:\text{NH}_4^+$  lixivados de 3.7:1, con un 79 % en forma de nitratos y un 21 % en forma de amonio. Además Collinson y Mensching, citados por Black (1975), observaron que más del 99 % del nitrógeno en los lixivados medidos en lisímetros en suelos de Nueva York se daba en forma de  $\text{NO}_3^-$ , mientras que el  $\text{NH}_4^+$  representaba menos del 1 %.

Lo anterior se debe fundamentalmente a las características químicas de ambos, el  $\text{NH}_4^+$  es un catión y el  $\text{NO}_3^-$  es un anión y en un medio donde predominan las cargas - negativas sobre las positivas, como es el caso del suelo, el  $\text{NH}_4^+$  es adsorbido y permanece en forma intercambiable, mientras el  $\text{NO}_3^-$  queda libre y móvil y consecuentemente - puede moverse libremente con la solución y ser fácilmente lixiviado (Black, 1975 y Hageman, 1984), de aquí que las mayores pérdidas de nitrógeno por lixiviación sean en forma de nitratos.

Los aniones son débilmente retenidos por lo tanto son bastante móviles, no obstante, algunos son retenidos fuertemente, como es el caso del ión fosfato, el cual -- prácticamente no se desplaza y puede considerarse inmóvil, aunque esto sucede en combinación con otros elementos.

Con respecto a los cationes, existen diferencias en el comportamiento de los monovalente y el de los divalentes. Los iones monovalentes  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  son arrastrados en forma de sales solubles tanto si provienen de la materia orgánica en descomposición como de los horizontes minerales, donde estos iones están mayoritariamente intercambiados; algo distinto sucede con los cationes divalentes  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  los cuales emigran en forma de complejos debido a que sus sales son casi insolubles (Duchaufour, 1984).

Los cationes monovalentes son más móviles, principalmente en clima húmedo y son arrastrados prioritariamente y eliminados fuera del perfil. El ion  $\text{K}^+$  no obstante, puede ser fijado por las arcillas del tipo 2:1 en su intercapa y disminuir así su concentración en la solución del suelo (Ortega, 1981), sin embargo generalmente es un elemento muy móvil en el perfil.

Smoylova, citado por Duchaufour (1984), demostró -- que en suelos forestales la hojarasca de las frondosas



verría en un año, del 50 al 90 % de su potasio en comparación al 20 % de su calcio y al decrecer la masa total de materia orgánica por mineralización, se producía un enriquecimiento en calcio mientras que por el contrario existía un rápido empobrecimiento en potasio.

El ión sodio es el más móvil de todos los cationes, inclusive en suelos sobre una roca madre rica en minerales cálcicos, es eliminado rápidamente del perfil y sólo en las regiones de clima árido, donde el drenaje climático es prácticamente nulo, el ión sodio constituye un elemento importante del complejo absorbente (Duchaufour, 1984).

Los iones divalentes por el contrario son menos móviles y su arrastre es más lento y parte de ellos son retenidos en profundidad, en los horizontes B, por el complejo absorbente. El ión  $Mg^{++}$  es más móvil que el ión  $Ca^{++}$  y por lo tanto es arrastrado con prioridad, además se reabsorbe menos y con menor rapidez que el calcio en los horizontes Bt de los suelos lavados (Durand y Dutil, citados por Duchaufour, 1975).

### 3.2.3 Contenido de agua.

La distribución y el movimiento de elementos, están vinculados al movimiento de agua en el perfil, el cual

depende de la conductividad hidráulica, textura y estructura del suelo (Hoorn, 1984).

Existe una acción recíproca entre la calidad (concentración electrolítica) y cantidad de agua con el tipo de suelo por lo que la conductividad hidráulica o permeabilidad no es constante; algunos suelos permanecen moderadamente permeables cuando son lixiviados con agua con alto contenido de sodio, mientras que el contenido de sal permanezca siendo bastante elevado, debido a que la presencia del sodio tiende a mantener floculado el suelo (Luthin, 1983).

Las diferencias en conductividad hidráulica y difusividad de los suelos, puede ser atribuida a diferencias en la agregación (estructura), de los suelos, así como a la estabilidad, tamaño y forma de esos agregados (Sharma y Uehara, 1968 y Camargo et al. 1979). La agregación de los pedos (macroestructura) y la agregación de las partículas primarias dentro de los pedos (microestructura), tienen influencia en la retención y movimiento de agua.

Debido al movimiento descendente de los iones por acción del agua, se pueden perder considerables cantidades de elementos por lixiviación. En los suelos de regiones áridas y semiáridas en los que hay poco aporte de agua, los elementos y materia orgánica se acumulan a poca profundidad (Black, 1975).

La cantidad de nitrógeno que se mueve por lixiviación en el perfil como ión  $\text{NO}_3^-$  depende de su concentración y de la cantidad de agua que se mueve a través del suelo (Black, 1975; Millar et al. 1975 y Pratt, 1984).

Al disminuir la eficiencia de aplicación de agua, aumenta el movimiento y lavado de los nitratos, al mismo tiempo la concentración de  $\text{NO}_3^-$  en el suelo disminuye (Uragueta, 1977). Benavides (1977), observó que con una eficiencia de riego del 75 %, la cantidad de nitrógeno lixiviado fué de 13.8 %, mientras que para una eficiencia del 50 % la cantidad lixiviada se incrementaba hasta el 26.2 % del total existente en el suelo.

Millar et al. (1975), observaron que al aplicar una dosis de 80 Kg/Ha de nitrato de sodio y una lámina de riego de 80 mm, en suelos volcánicos hubo poco movimiento de nitratos, los cuales permanecieron en los primeros 20 cm en el primer riego, sin embargo, después de 42 días, la cantidad de  $\text{NO}_3^-$  presente era aproximadamente el 6 % de la cantidad existente en el primer día después del riego.

El movimiento descendente del fósforo en el perfil del suelo, depende también en gran medida de la cantidad de agua aplicada y de su concentración en el suelo.

Sorensen y Wiese (1982), en un estudio en columnas observaron que al aplicar fosfato diamónico y agregar

grandes cantidades de agua, el fósforo nativo, al igual que el aplicado, tuvo un movimiento descendente en las columnas y la cantidad de fosfato lixiviado dependió de la cantidad de fósforo y agua aplicados.

Existe una relación lineal entre la concentración de fósforo en la solución del suelo y su difusión en el perfil (Phillips et al. 1968), este fenómeno a su vez es tá determinado por la cantidad de fósforo en solución y la proporción con la cual el fósforo adsorbido es liberado en la solución (Mahtab et al. 1971).

La concentración de fósforo en la solución del suelo es inferior a  $0.1 \text{ MG/ml}$ , en consecuencia, aunque haya mucho drenaje su movimiento descendente en el perfil por acción del agua es muy poco (Black, 1975), de la misma manera, las pérdidas por lixiviación son muy bajas, con un promedio alrededor de  $1 \text{ Kg/Ha/año}$  (Ortega, 1981).

El movimiento descendente y las pérdidas por lixiviación son mayores para los iones monovalentes con respecto a los iones divalentes en el suelo.

En clima húmedo, los iones monovalentes son lavados preferentemente, debido a que pasan a la solución del suelo durante los periodos en que el arrastre es intenso, por el contrario, en los periodos secos las soluciones se enriquecen mucho en cationes divalentes, pero no puede producirse el arrastre; de aquí se puede explicar que

en clima húmedo, los iones monovalentes sean minoritarios inclusive cuando son liberados en cantidades importantes por la alteración de los minerales. Por otra parte, en los periodos húmedos hay un efecto de dilución y en los periodos secos un efecto de concentración de los elementos contenidos en la solución del suelo. La dilución aumenta la actividad de los iones divalentes con relación al de los iones monovalentes, favorece la absorción de aquellos y el paso de éstos a la solución del suelo; en los periodos de fuerte evaporación se produce el resultado inverso, debido a la concentración de las disoluciones, por consiguiente, los iones divalentes son substituidos por los monovalentes y se liberan (Duchaufour, 1924).

### 3.3 Formas solubles de los elementos nutritivos en el suelo

Los elementos nutritivos se hallan en la solución del suelo en forma iónica, éstas se encuentran en equilibrio dinámico con los iones adsorbidos o intercambiables es decir, el intercambio entre iones adsorbidos y los iones en solución es continuo; si disminuye la actividad iónica en la solución, como puede suceder por lixiviación o eliminación por las plantas, los iones intercambiables restituyen el abastecimiento.

### 3.3.1 Nitrógeno.

El nitrógeno se halla en la solución del suelo fundamentalmente como ión amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). La forma predominante (y más soluble), es la de  $\text{NO}_3^-$  debido a que los microorganismos nitrificantes convierten la mayor parte del  $\text{NH}_4^+$  a  $\text{NO}_3^-$ , siendo ésta la forma en que principalmente lo absorben las plantas; sin embargo, bajo ciertas condiciones que inhiben la nitrificación, por ejemplo en suelos ácidos o en condiciones de bajas temperaturas (regiones frías), los fertilizantes que se aplican como  $\text{NH}_4^+$  pueden permanecer de esta manera durante un tiempo considerable (Barber, 1984).

Una pequeña fracción de nitrógeno en la solución del suelo se encuentra como nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), si bien, su concentración está relacionada con la población de microorganismos nitrificantes en el suelo (Ardakani et al. 1973).

### 3.3.2 Fósforo.

El fósforo es un elemento poco soluble y no presenta compuestos que puedan ser lixiviados, lo que le da una relativa estabilidad en los suelos; su baja solubilidad inclusive llega a causar deficiencias de disponibilidad de fósforo para las plantas.

En la solución del suelo, el fósforo se encuentra - como ión  $\text{HPO}_4^{=}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , dependiendo la concentración de ambos, fundamentalmente del pH de la solución y las plantas pueden absorberlo de una u otra forma (Barber, 1980).

El efecto del pH en la concentración de estos iones en la solución del suelo, es causado por el ión  $\text{OH}^-$ , debido a que éste tiene efecto en la descomposición de las formas más complejas de fosfatos en el suelo; en cada - reacción de descomposición el ión  $\text{OH}^-$  atrapa uno de los átomos  $\text{H}^+$  de los fosfatos para formar una molécula de  $\text{H}_2\text{O}$ ; por ejemplo, si es el ácido ortofosfórico el que está presente, el ión  $\text{OH}^-$  ganará sus átomos  $\text{H}^+$  progresivamente dejando  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{=}$  y finalmente simple ión  $\text{PO}_4^{=}$  (Sauchelli, 1965).

Como la concentración de  $\text{OH}^-$  en la solución del suelo depende del pH, el efecto de éste en la concentración de iones  $\text{HPO}_4^{=}$  y  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  en la solución se puede explicar de la siguiente forma: En suelos extremadamente ácidos (pH de 2 a 4), la concentración de iones  $\text{OH}^-$  es baja y el fósforo se encuentra en formas insolubles; en suelos ácidos (pH de 4.5 a 6.5), los  $\text{OH}^-$  son relativamente abundantes y el fósforo ya se presenta en formas solubles principalmente como ión  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y solo pequeñas cantidades de  $\text{HPO}_4^{=}$ ; en condiciones de pH neutro (pH = 7), ambos iones se encuentran en igual proporción; y en niveles de pH

alcalino (pH de 8 a 10), la concentración de iones OH se incrementa considerablemente y el fósforo se encuentra en la solución del suelo principalmente como  $\text{HPO}_4^-$  (Sauchelli, 1965 y Barber, 1980).

### 3.3.3 Potasio.

El potasio se encuentra en la solución del suelo como catión  $\text{K}^+$  y de esta manera lo asimilan las plantas, - sin embargo, su concentración es baja en relación al potasio intercambiable, a pesar de ser un catión monovalente.

El potasio en solución generalmente varía entre 0.1 y 100 g de K/litro de solución, de esta manera puede ser lixiviado y constituir pérdidas que van de 5 a 250Kg/Ha/año, dependiendo de las características del suelo, el contenido de potasio y la cobertura vegetal (Paschen, 1975).

En suelos de pH elevado, al añadir iones  $\text{Ca}^{++}$  a la solución del suelo, se favorece la liberación del potasio fijado, esto se debe a que el ión  $\text{Ca}^{++}$  es relativamente mas voluminoso que el ión  $\text{K}^+$  y al introducirse en los estratos de las arcillas motiva la liberación de iones  $\text{K}^+$  a la solución (Duchaufour, 1975).



### 3.3.4 Calcio y Magnesio.

El calcio y el magnesio presentan una dinámica muy semejante, ambos se encuentran en la solución del suelo en forma catiónica, como  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  respectivamente y de esta manera los absorben las plantas.

El calcio es el catión más abundante alrededor del complejo de intercambio del suelo, por lo que raramente ha constituido un factor limitante para el rendimiento de los cultivos. En la solución del suelo la cantidad de  $\text{Ca}^{++}$  es muy variable, por ejemplo, en suelos de clima templado el contenido de  $\text{Ca}^{++}$  se encuentra entre 20 y 1500 mg de  $\text{Ca}$ /litro de solución (Fassbender, 1975).

El magnesio, después del calcio, es uno de los cationes intercambiables más abundantes en la mayoría de los suelos, sin embargo, es retenido con menos energía en los sitios de intercambio por lo que existe mucho menos  $\text{Mg}^{++}$  intercambiable, en comparación con  $\text{Ca}^{++}$  en los suelos y las pérdidas por lixiviación son mayores.

### 3.3.5 Sodio.

El sodio es el catión más móvil y en general es rápidamente lixiviado del perfil, en la solución del suelo, se encuentra como ión  $\text{Na}^+$  y de esta manera lo pueden

absorber las plantas, sin embargo, no es un nutrimento esencial para los cultivos, aunque en algunas especies puede substituir al potasio.

En contraste con los anteriores elementos, altas concentraciones de sodio intercambiable (más del 15 %), constituyen un problema en el suelo, de aquí que sea importante considerarlo para la caracterización de los suelos.

#### 3.4 Modelos de perfiles de suelo en columnas

En general todos los estudios de fertilidad, así como de recuperación de suelos salinos, en campo, representan un costo considerable, por lo que es de gran utilidad realizar estudios preliminares en laboratorio o invernadero, los cuales ayudan a obtener respuestas satisfactorias de muestras de suelo. Una forma bastante útil y muy empleada en la actualidad, son los ensayos en columnas de suelo.

La forma más adecuada para estos ensayos, es utilizar columnas de suelo intacto, para ello numerosos investigadores han ideado diversos muestreadores que hacen posible tomar columnas de suelo inalterado a profundidades considerables.

Cervantes (1983), en un estudio del proceso de lixiviación de sales durante un proceso de lavado de un suelo salino, utilizó columnas de suelo inalterado, tipo monolito de 58 cm de diámetro y longitud variable, tomadas con un muestreador que consistió en un cilindro de bordes acerrados, lo cual permitió cortar la columna de suelo, y una grua para levantar y transportar las columnas.

Jury et al. (1979), utilizó lisímetros de suelo de 122 cm de diámetro y 150 cm de longitud en el estudio de recuperación de suelos salino-sódicos por lixiviación.

Cuando no se dispone de recursos para obtener columnas de suelo inalterado, éstas pueden formarse en tubos de material no poroso y de diámetro y longitud convenientes, en los cuales se colocan las muestras representativas de suelo en una disposición semejante al perfil del suelo en campo. Estas pruebas son menos costosas, menos laboriosas y en general, casi siempre dan una valiosa aproximación acerca del comportamiento de perfiles de suelo en campo.

Se han realizado diversos estudios de recuperación de suelos salinos utilizando este tipo de columnas (Araña, 1970; Llerena, 1970; Dahiya et al. 1980 y Díaz, 1986), al igual que análisis de retención y redistribución de

elementos en el perfil (Logan y Mclean, 1973; Urástegui, 1977), y determinación de coeficientes de difusión de iones en el perfil del suelo (Monjo et al. 1971; Sorensen y Wiese, 1982 y Jonsen, 1984).

Este último método para formar columnas, fué el que se utilizó en el presente trabajo de tesis.

### 3.5 La composta como fuente de nutrimentos para los cultivos

Es bien sabido que la materia orgánica en general - representa la base de la fertilidad de los suelos, ya que constituye una fuente fundamental de los nutrimentos para las plantas; estos nutrimentos son liberados de la materia orgánica mediante el proceso de mineralización.

En el medio ambiente natural, la mineralización de la materia orgánica puede ser un proceso lento, sin embargo éste se puede acelerar mediante el composteo.

El proceso de composteo consiste en la humificación artificial y acelerada de materia orgánica por acción de microorganismos, bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación; este proceso permite por lo tan to, el aprovechamiento de todo tipo de residuos orgánicos con fines agrícolas. En la figura 2 se presenta un esquema básico del proceso de composteo.

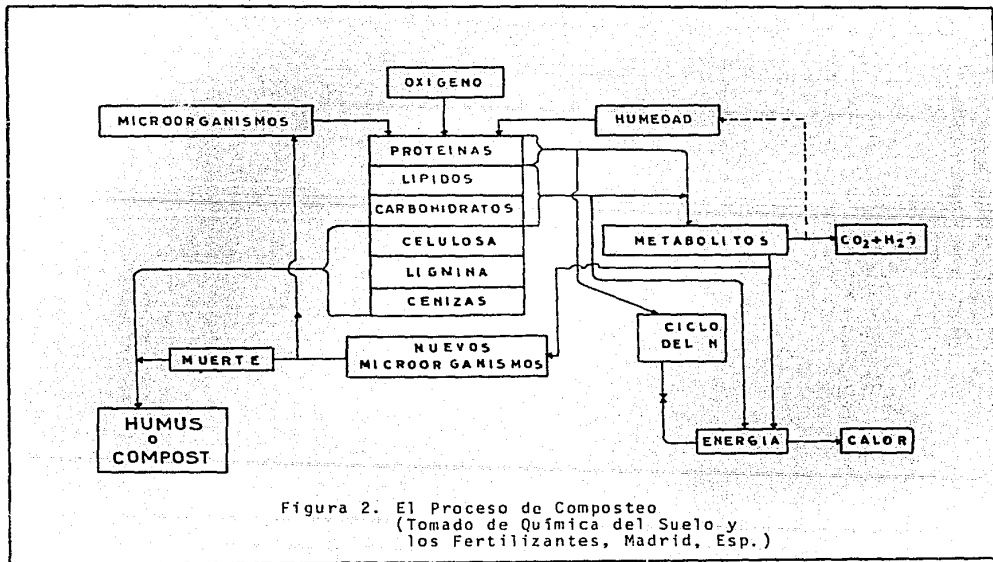


Figura 2. El Proceso de Composteo  
 (Tomado de Química del Suelo y  
 los Fertilizantes, Madrid, Esp.)

### 3.5.1 Características generales de las compostas.

La composta, como producto final del proceso de composteo, básicamente se emplea con fines agrícolas como - mejorador de los suelos, aunque también puede tener otra utilidad.

Con fines agrícolas, las compostas tienen un efecto fertilizante en los suelos, es decir, aporta dosis apreciables de los principales elementos nutritivos en formas de rápida asimilación por las plantas, por lo que -- constituyen una alternativa al empleo de fertilizantes; sin embargo, una gran ventaja que tiene sobre éstos es - su efecto residual debido a su contenido de materia orgánica. La materia orgánica, además de constituir una - fuente natural de nutrientes, influye en la retención de éstos en el suelo y por otro lado, aporta carbono orgánico como fuente de energía a la flora microbiana del - suelo, favoreciendo a su vez su mineralización.

Uno de los principales efectos de la materia orgánica en el suelo es que aumenta su Capacidad de Intercambio Catiónico debido a las propiedades de intercambio del - humus, por lo tanto, por una parte favorece la liberación de nutrientes del suelo y por otra, los protege de la lixiviación al aumentar la capacidad de intercambio catiónico ( Nuñez, 1981 y Gati, 1983).

Al respecto, múltiples investigadores establecen -- que la capacidad de intercambio catiónico del suelo está altamente correlacionada con su contenido de materia orgánica (Schuffelen, 1972; Curtin y Smillie, 1976; Martel y Levadiere, 1976; Calcinaí y Psequi, 1977 y Martel et al. 1978).

Arnaud y Septon (1972), atribuyen un incremento en la capacidad de intercambio catiónico de dos miliequivalentes por cada unidad de % de materia orgánica muy humificada en suelos de regiones templado-húmedas. Drake y Motto (1982), observaron en 49 series de suelos de Nueva Jersey, que la materia orgánica contribuye en más del 50 % de la capacidad de intercambio catiónico en el horizonte A y de la misma manera esta características disminuye en el perfil conforme ocurre un descenso en el contenido de materia orgánica.

Es importante señalar que la capacidad de intercambio catiónico del humus se debe a los grupos carboxilo (-COOH), grupos fenoles (-OH) y enoles, y además a compuestos nitrogenados imidas; la proporción de estos grupos funcionales en la materia orgánica, depende de su grado de descomposición y su contribución a la capacidad de intercambio catiónico total de la materia orgánica es del 55 % de los carboxilos, el 35 % de grupos fenoles y enoles y el 10 % de grupos imidas.

### 3.5.2 Composta de desechos urbanos.

La composta de desechos urbanos es el producto de la degradación aeróbica y termofílica de los materiales putrescibles de la basura, por acción de los microorganismos, de tal manera que estos residuos al humificarse mediante un proceso acelerado de descomposición bacteriana, dan como resultado un mejorador orgánico para los suelos y una fuente de nutrimentos para los cultivos.

Las compostas obtenidas de la basura de las ciudades varían mucho en cuanto a su contenido de nutrimentos sin embargo, una gran desventaja que en general presentan es que pueden contener ciertos elementos en cantidades tóxicas para los cultivos, como son metales pesados. Los metales pesados pueden acumularse en los suelos debido a que no se mueven con facilidad, por lo que resulta prácticamente imposible eliminarlos.

No obstante lo anterior, estas compostas tienen un efecto benéfico si se les proporciona un manejo adecuado; al respecto, Elizondo et al. (1979), al evaluar el uso agrícola de la composta de desechos urbanos de la ciudad de Monterrey, y su efecto en el suelo en condiciones de invernadero, observaron que los suelos pobres en materia orgánica mejoraron notablemente su fertilidad al adicionarles grandes cantidades de composta, además que la actividad microbiana se vio favorecida lo cual propició mayor liberación de nitrógeno nítrico.



De la misma manera, Ramos (1976), establece que la adición de compostas de desechos urbanos al suelo, tiene un efecto benéfico desde el punto de vista biológico, químico y físico.

En los cuadros 1, 2 y 3 se presentan las características de algunas compostas obtenidas a partir de desechos urbanos.

Cuadro 1. Análisis químico cuantitativo de diversas muestras de composta experimental, obtenidas de la basura de la ciudad de Monterrey, N. L.

---

	%
Materia orgánica	34.0
Carbono	19.8
Humus	5.3
Nitrógeno	1.61
Fósforo	1.02
Potasio	1.58
Calcio	8.1

pH=7.6

---

Fuente: Díaz y Rosales (1986)

Cuadro 2. Análisis químico de la composta obtenida de la planta industrializadora de Guadaluajara, Jal.

---

	%
Materia orgánica	36.38
Carbono	19.8
Humus	6.3
Nitrógeno	1.2
Fósforo	0.7
Potasio	1.2
Calcio	8.1
pH= 7.5	

---

Fuente: Díaz y Rosales (1986)

Cuadro 3. Composición de la composta obtenida en la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos de San Juan de Aragón, México D.F.

---

	%
Materia orgánica	26.0
Humus	10.0
Nitrógeno	1.3
Fósforo	0.3
Potasio	0.7
Relación C:N= 12.0	
Humedad al envasar	20 - 30

---

Fuente: Díaz y Rosales (1986)

#### 4. MATERIALES Y METODOS

#### 4. MATERIALES Y METODOS

##### 4.1 Característica del suelo utilizado en el trabajo experimental

El suelo utilizado en el presente trabajo fué un - Vertisol ólico, según la definición de suelos establecida por la FAO/UNESCO, y el cual se muestreo en el Municipio de Cuautitlán de Romero Rubio, en el estado de México. Es un suelo de origen aluvial con pendiente menor al 5 %, de uso agrícola con cultivos de temporal y de riego; no presenta pedregosidad ni afloramiento de rocas; debido a su poca pendiente no presenta problemas de erosión.

En general, los vertisoles se presentan en regiones con clima templado y cálido que poseen una estación seca y otra lluviosa; tienen generalmente 30 ó más de arcillas predominantemente del tipo 2:1; desarrollan grietas de por lo menos 1 cm de ancho y 50 cm de profundidad, a menos que estén sujetos a riego, en la época de sequía; son suelos mezclados, de ahí el nombre de invertidos -- (ert= invertido).

Las grietas se forman debido a la contracción de las arcillas dilatables 2:1, y a través de ellas cae el material de la superficie del suelo que puede ser desplazado por diversos mecanismos; en presencia de agua, las arcillas se hidratan y vuelven a dilatarse cuando se -

humedecen y las grietas se ciefran, sin embargo, debido al material caído de la superficie y que se encuentra en las partes inferiores del perfil, se requiere un volumen mayor y el material dilatante comprime y hace que se deslicen los agregados, desarrollando una estructura de bloques angular con lado deslizante, esta expansión riza el terreno, formando el microrrelieve que se conoce como gilgai (Buol et al. 1981).

Los vertisoles pélicos son suelos profundos y presentan un perfil bastante homogéneo, del tipo AC y sin una marcada diferenciación de horizontes: son suelos negros o gris oscuro, generalmente presentan estructura de bloques angulares y/o columnar de tamaño fino y desarrollo de moderado a fuerte, presentan textura franco-arcillosa y buen drenaje interno. En la figura 3 se presenta el esquema del perfil tipo de un vertisol pélico según la definición de unidades de suelo de la FAO/UNESCO.

En el cuadro 4 se presenta la descripción del perfil en campo del suelo utilizado en el trabajo experimental; es importante señalar que se utilizó este suelo, debido a sus características bastante homogéneas del perfil, lo cual facilitó su estratificación para formar las columnas.

En el cuadro 5 y en la figura 4, se presenta la caracterización del suelo en laboratorio.

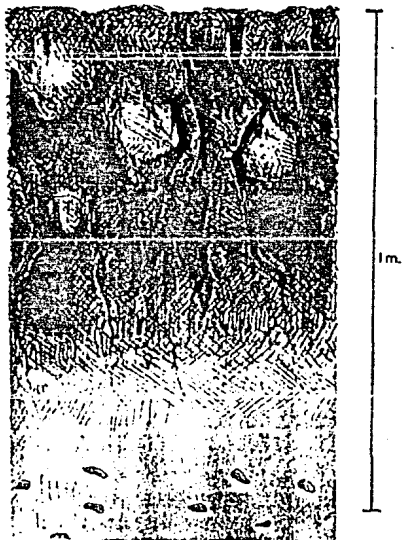


Figura 3. Perfil tipo de un Vertisol --  
Pélico (Tomado DETENAL/SPP,  
1979)

Cuadro 4. Descripción del perfil del suelo en campo

Espesor y profundidad de cada capa muestreada (cm)	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Límite entre capas	Tenué	Tenué	Tenué	Tenué
Humedad	Seco	Seco	Húmedo	Húmedo
Pedregosidad	Nula	Nula	Nula	Nula
Color	10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	10 YR 4/2 Pardo grisáceo oscuro	10 YR 5/2 Pardo grisáceo
Manchas o moteados	Nula	Nula	Nula	Nula
Estructura	Granular fina	Granular fina	Granular fina	Granular mediana
Grado de desarrollo	Moderada	Moderada	Moderada	Moderada
Consistencia en seco	Elando	Elando	Elando	Elando
Textura	Franco	Franco	Franco	Franco
Poros	Frecuentes	Frecuentes	Frecuentes	Frecuentes
Raíces	15 %	10 %	3 %	1 %
Fauna	Actividad de lombrices			

Cuadro 5. Caracterización en laboratorio del suelo utilizado en el trabajo experimental

Determinación	Profundidad (cm)			
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.11	1.12	1.16	1.19
Densidad real (g/cm <sup>3</sup> )	2.35	2.32	2.43	2.38
Espacio poroso (%)	52.78	51.98	52.43	49.68
Color				
Seco	10 YR 4/2	10 YR 4/2	10 YR 4/2	10 YR 5/2
	Pardo grisaseo oscuro	Pardo grisaseo oscuro	Pardo grisaseo oscuro	Pardo grisaseo
Húmedo	10 YR 3/1	10 YR 3/1	10 YR 3/1	10 YR 3/2
	Gris muy oscuro	Gris muy oscuro	Gris muy oscuro	Pardo grisaseo muy oscuro
Textura				
Arena (%)	36.4	36.4	48.4	49.4
Limo (%)	37.6	31.6	25.6	25.6
Arcilla (%)	32.9	31.9	24.9	24.9
Clasificación textural	Franco arcillosa	Franco arcillosa	Franco arcillo-arenosa	Franco arcillo-arenosa



Cuadro 5. ( Continuación )

Determinación	Profundidad (cm)			
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	60 - 80
Materia orgánica (%)	1.78	0.85	0.13	0.10
Nitrógeno total (%)	0.14	0.11	0.06	0.07
Fósforo aprovechable (ppm)	11.90	6.70	5.50	5.50
Potasio intercambiable (meq/100g)	0.59	0.40	0.10	0.11
Calcio intercambiable (meq/100g)	9.70	10.60	9.50	7.80
Magnesio intercambiable (meq/100g)	4.70	6.60	6.10	4.90
Sodio intercambiable (meq/100g)	0.38	0.16	0.00	0.09
Capacidad de Intercambio Catiónico Total. (meq/100g)	17.0	17.0	13.1	13.0
pH				
real (en agua:suelo 2.5:1)	7.1	7.2	7.3	7.3
potencial (en KCl:suelo 2.5:1)	7.0	7.1	7.2	7.2
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	0.31	0.22	0.20	0.20
Alófono	**	***	**	**

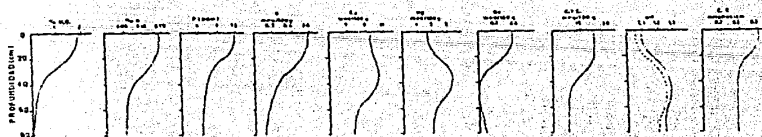


Fig. 4 Distribución de elementos y características del perfil del suelo utilizado en el trabajo experimental.

#### 4.2 Características generales de la composta de desechos urbanos utilizada en el trabajo Experimental

La composta que se utilizó en el presente trabajo, fué adquirida en la Planta Industrializadora de Desechos Sólidos (Planta procesadora de basura), del Departamento del Distrito Federal. En el cuadro 6 se presentan sus características generales.

Cuadro 6. Características generales de la composta de desechos urbanos utilizada en el trabajo experimental

Densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	0.41
Densidad real ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	1.54
Espacio poroso (%)	73.37
Textura	
Partículas > 0.02 mm (·)	50
partículas de 0.002 a 0.02 mm (%)	30
partículas < 0.002 mm (%)	10
Clasificación textural	Franco arenosa
*Materia orgánica (%)	28.65
*Nitrógeno total (%)	0.82
Fósforo aprovechable ( $\text{Kg}/100\text{Kg}$ )	0.14
Potasio aprovechable ( $\text{Kg}/100\text{Kg}$ )	7.56
Calcio aprovechable ( $\text{Kg}/100\text{Kg}$ )	8.86

Cuadro 6. (continuación)

Magnesio aprovechable (Kg/100Kg)	4.06
Sodio (Kg/100Kg)	6.74
Azufre (Kg/100Kg)	0.04
Manganeso (Kg/100Kg)	1.20
Zinc (Kg/100Kg)	0.70
Cobre (Kg/100Kg)	0.40
Fierro (Kg/100Kg)	0.93
Aluminio (Kg/100Kg)	0.94
Relación C:N	20.2
Capacidad de intercambio catiónico total (meq/100g)	14.66
* pH	
real (on agua en relación 2.5:1)	8.0
potencial (en KCl 1 N en 2.5:1)	8.0
* Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	26.8
Sólidos minerales (%)	50
PMP (15 atmósferas) (%)	29.36
C.C. (0.3 atmósferas) (%)	56.09

Fuente: Díaz y Rosales (1986).

\* Determinaciones realizadas en el laboratorio de investigación de suelos de la FES-C.

### 4.3 Desarrollo del trabajo experimental

#### 4.3.1 Muestreo de suelos.

Para el muestreo de suelos se excavó un pozo de 2 m de largo, 1 m de ancho y 0.8 m de profundidad, como lo muestra la figura 5. La profundidad de muestreo se determinó considerando que, para la mayoría de los cultivos, es en esta zona en donde presentan el mayor desarrollo radicular.

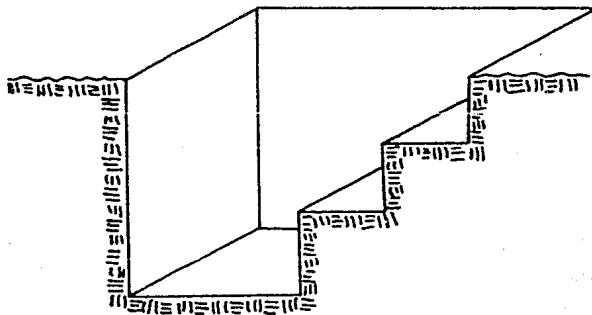


Figura 5

Se tomaron muestras a 0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm de profundidad en el perfil del suelo, se secaron al sol y finalmente se pasaron por un tamiz de 0.5 cm cada una.

por separado, con esto último se homogeneizó el tamaño - de agregados del suelo lo que permitió un llenado homogéneo de las columnas y al mismo tiempo, el agua percoló uniformemente a través de la columna de suelo.

#### 4.3.2 Formación de las columnas.

Para la formación de los perfiles de suelo, se utilizaron columnas de lámina galvanizada de 10 cm de diámetro y 1 m de longitud; en el fondo se les soldó una tapa con un orificio y un tubo, lo que permitió que el exceso de agua de riego drenara al exterior, de la misma se les colocó una malla de alambre galvanizado y un papel filtro para evitar el arrastre de suelo por el agua.

Para el llenado de las columnas, se colocó en ellas el suelo en capas de 20 cm de espesor, en la misma disposición que en el perfil en campo, es decir, se consideraron en las columnas las mismas profundidades de muestreo; la cantidad de suelo que se colocó en cada sección de las columnas, fué en función de su densidad aparente.

Se formaron 12 columnas de suelo y cada una de ellas constituyó una unidad experimental, las cuales se numeraron correlativamente (del 1 al 12), y se sujetaron verticalmente mediante estructuras de madera (figura 5)

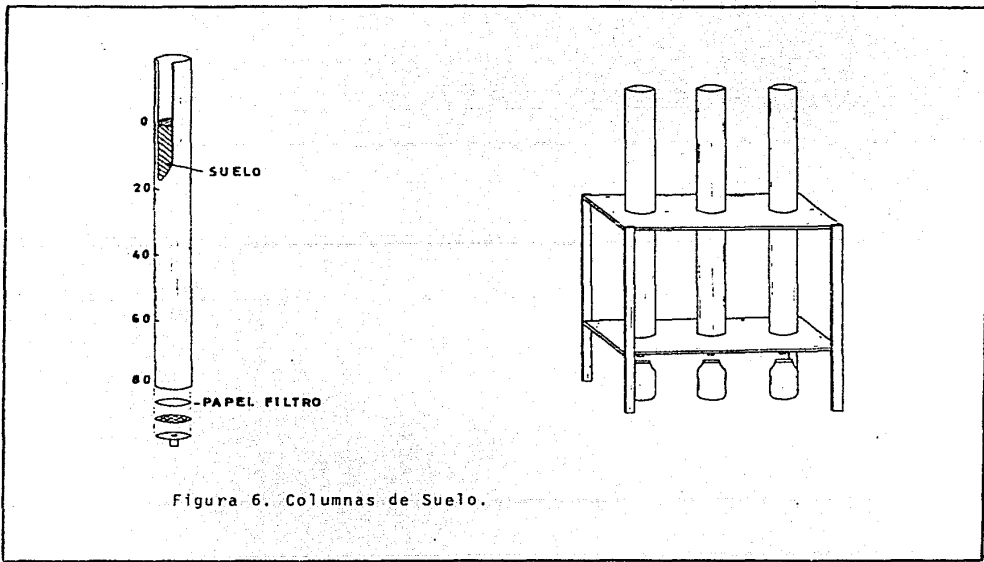


Figura 6. Columnas de Suelo.

#### 4.3.3 Tratamientos y diseño experimental.

Se evaluaron dos dosis de composta de desechos urbanos y un testigo (sin composta), de tal manera que se planfearon tres tratamientos, los cuales se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Tratamientos evaluados en el experimento

Número	Tratamiento
1	Testigo, sin composta
2	20 Tn/Ha de composta
3	60 Tn/Ha de composta

Las dosis de composta se aplicaron en los primeros 20 cm de suelo de la columna (0-20 cm), distribuyendolas en forma aleatoria; las cantidades de composta que se aplicaron, se mezclaron homogéneamente con los primeros 20 cm de suelo; esto se realizó bajo el criterio de que en campo, es en esta profundidad en que generalmente se aplican las fertilizaciones (cava arable del suelo).

Para la interpretación estadística de los resultados, se establecieron cuatro repeticiones por tratamiento y se les proporcionó un manejo conforme a un diseño -



experimental completamente al azar. Para el análisis de la información se consideraron las cuatro profundidades de muestreo en el perfil del suelo por separado, de tal manera que los tratamientos se dividieron como se indica en el cuadro 8, esto permitió observar la distribución de los elementos y las demás características en el perfil del suelo.

Cuadro 8. División de los tratamientos según la profundidad de muestreo en el perfil del suelo

Tratamiento	Profundidad (cm)
Testigo, sin composta	0 - 20
	20 - 40
	40 - 60
	60 - 80
20 Tn/Ha de composta	0 - 20
	20 - 40
	40 - 60
	60 - 80
60 Tn/Ha de composta	0 - 20
	20 - 40
	40 - 60
	60 - 80

Los tratamientos se distribuyeron al azar en las - columnas de suelo y finalmente se les aplicó agua. La distribución de los tratamientos se presenta en el siguiente cuadro.

Cuadro 9. Registro de los tratamientos

Tratamiento	R e p e t i c i o n e s			
	I	II	III	IV
Testigo, sin composta	1	5	9	11
20 Tn/Ha de composta	3	4	7	12
60 Tn/Ha de composta	2	6	8	10

1 a 12= Número de columna (unidad experimental)

#### 4.3.4 Aplicación de riegos.

Debido a que la finalidad del experimento es evaluar la distribución de los elementos disponibles de la composta, sin esperar a que por la mineralización de la materia orgánica ubiese un aporte mayor de éstos, se con-sideró conveniente aplicar cinco riegos a saturación con intervalos de 15 días cada uno.

Una vez establecidos los tratamientos se proporcionaron los riegos, colectando el agua que se lixivió de cada uno de ellos en recipientes que se colocaron en la base de las columnas (figura 6).

El volumen de agua que se aplicó en el primer riego, se determinó en función del espacio poroso del suelo y se consideró una eficiencia de aplicación de agua del 50 %; del segundo al quinto riego, el volumen aplicado fué igual al volumen lixiviado en el riego inmediato anterior, es decir, nuevamente se saturó de agua al suelo.

A los lixiviados que se obtuvieron en cada riego y tratamiento, se les midió el pH y conductividad eléctrica, para analizar su comportamiento a lo largo del experimento, así como para inferir el posible arrastre de elementos por lixiviación del agua de riego.

#### 4.3.5 Parámetros de evaluación.

Los parámetros de evaluación se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 10. Parámetros de evaluación

---

Lixiviados	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)
	pH
Suelo	Materia orgánica (%)
	Nitrógeno total (%)
	Fósforo aprovechable (ppm)
	Potasio intercambiable (meq/100g)
	Calcio intercambiable (meq/100g)
	Magnesio intercambiable (meq/100g)
	Sodio intercambiable (meq/100g)
	Capacidad de Intercambio Catiónico
	Total (meq/100g)
	pH
	real (en agua en relación 2.5:1)
	potencial (en KCl en relación
	2.5:1)
	Conductividad eléctrica (mmhos/cm)

---

#### 4.3.6 Determinaciones en los lixiviados y análisis de suelos.

Las determinaciones en los lixiviados y los análisis del suelo, se realizaron utilizando las siguientes técnicas.

##### 1. Determinaciones en los lixiviados.

Conductividad eléctrica; se midió con un puente de conductividad eléctrica, con constante de celda  $K = 0.1$  a  $25^{\circ}\text{C}$ .

pH; se midió con un potenciómetro.

##### 2. Análisis de suelo

Materia orgánica; se determinó por oxidación con dicromato de potasio 1 N, por el método de Walkley-Black.

Nitrógeno total; se determinó por digestión y destilación por el método de Micro-Kjeldahl.

Fósforo aprovechable; se determinó por colorimetría utilizando el método de Olsen.

Potasio intercambiable; se realizó la extracción con acetato de amonio 1 N pH=7 y se determinó por flourometría.

Calcio intercambiable; se realizó la extracción con acetato de amonio 1 N pH=7 y se determinó por volumetría con EDTA.

Magnesio intercambiable; se realizó la extracción con acetato de amonio 1 N pH=7 y se determinó por volumetría utilizando EDTA.

Sodio intercambiable; se realizó la extracción con acetato de amonio 1 N pH=7 y se determinó por flamometría.

Capacidad de Intercambio Catiónico Total; se determinó por saturación con cloruro de calcio 1 N pH=7 y volumetría utilizando EDTA.

pH real; se midió con potenciómetro en una relación agua:suelo de 2.5:1 .

pH potencial; se midió con potenciómetro en una solución de KCl 1 N pH=7 y en relación 2.5:1 .

Conductividad eléctrica; se midió con un puente de conductividad eléctrica, con constante de celda de  $K= 0.1$  a  $25^{\circ}\text{C}$ .

#### 4.3.7 Análisis estadístico.

El análisis estadístico se realizó conforme a un arreglo experimental completamente al azar, a un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  y  $0.01$ . La comparación de promedios se realizó según el método de Tukey a los mismos niveles de significancia.

## 5. RESULTADOS

## 5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el trabajo experimental, se presentan en los cuadros del 11 al 14 y en las figuras de la 7 a la 25.

Cuadro 11. Conductividad eléctrica y pH de los lixiviados obtenidos de las columnas de suelo durante el experimento

Tratamiento	No. de riego	Conductividad eléctrica ( $\bar{x}$ ) (mmhos/cm)	pH ( $\bar{x}$ )
1. Testigo, sin composta	1	1.76	7.35
	2	1.12	7.70
	3	1.09	7.68
	4	1.21	7.73
	5	1.04	7.79
2. 20 Tn/Ha de composta	1	2.12	7.45
	2	1.22	7.75
	3	1.21	7.59
	4	1.22	7.75
	5	1.06	7.80
3. 60 Tn/Ha de composta	1	3.03	7.30
	2	1.58	7.58
	3	1.37	7.55
	4	1.34	7.79
	5	1.08	8.08



Cuadro 12. Resultados de los análisis químicos de las columnas de suelo  
(  $\bar{X}$  de cuatro repeticiones )

Tratamiento	Profun- didad (cm)	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo aprovechable (ppm)	Potasio intercambiable (mg/100g)
1. Testigo, sin composta	0 - 20	1.74	0.13	10.1	0.79
	20 - 40	0.91	0.07	5.3	0.33
	40 - 60	0.17	0.05	5.3	0.14
	60 - 80	0.17	0.04	5.6	0.06
2. 20 Tn/Ha de composta	0 - 20	1.86	0.14	12.2	0.86
	20 - 40	0.91	0.08	5.0	0.24
	40 - 60	0.38	0.04	4.9	0.12
	60 - 80	0.21	0.04	5.7	0.03
3. 60 Tn/Ha de composta	0 - 20	2.16	0.15	14.8	1.13
	20 - 40	0.93	0.08	5.3	0.30
	40 - 60	0.61	0.05	5.5	0.18
	60 - 80	0.25	0.04	6.0	0.07

Cuadro 12. ( Continuación )

Tratamiento	Profundidad (cm)	Calcio intercambiable (meq/100g)	Magnesio intercambiable (meq/100g)	Sodio intercambiable (meq/100g)
1. Testigo; sin composta	0 - 20	9.6	5.2	2.23
	20 - 40	11.2	4.7	1.02
	40 - 60	9.3	3.8	0.30
	60 - 80	7.4	3.8	0.13
2. 20 Tn/Ha de composta	0 - 20	9.6	6.6	2.14
	20 - 40	10.0	7.6	0.97
	40 - 60	8.4	5.7	0.39
	60 - 80	7.1	4.7	0.16
3. 60 Tn/Ha de composta	0 - 20	11.9	7.12	2.39
	20 - 40	11.5	7.6	1.39
	40 - 60	10.0	6.1	0.97
	60 - 80	8.7	5.2	0.38

Cuadro 12. ( Continuación )

Tratamiento	Profundidad (cm)	Capacidad de Intercambio Catiónico Total (meq/100g)	pH		Conductividad Eléctrica (mmhos/cm)
			en agua (2.5:1)	en KCl (2.5:1)	
1. Testigo, sin composta	0 - 20	16.9	7.40	7.11	0.62
	20 - 40	16.2	7.39	7.19	0.59
	40 - 60	13.9	7.64	7.40	0.48
	60 - 80	12.5	7.26	7.24	0.54
2. 20 Tn/Ha de composta	0 - 20	17.0	7.63	7.46	0.76
	20 - 40	17.1	7.55	7.38	0.54
	40 - 60	13.3	7.61	7.46	0.51
	60 - 80	11.6	7.51	7.31	0.50
3. 60 Tn/Ha de composta	0 - 20	18.8	7.70	7.75	0.86
	20 - 40	17.3	7.54	7.51	0.58
	40 - 60	14.0	7.74	7.70	0.52
	60 - 80	12.7	7.41	7.30	0.51

Cuadro 13. Contenido de elementos nutritivos en los primeros 20 cm de profundidad del suelo (capa arable)

Tratamiento	*Nitrógeno (Kg/Ha)	**Fósforo (Kg/Ha)	'Potasio (Kg/Ha)	'Calcio (Kg/Ha)	'Magnesio (Kg/Ha)	'Sodio (Kg/Ha)
Testigo, sin composta	2 886	22.44	677.82	4 224	1 390.6	1 128.3
20 Tn/Ha de composta	3 108	26.89	737.88	4 224	1 765.0	1 082.8
60 Tn/Ha de composta	3 330	33.11	969.54	5 236	1 904.1	1 209.3

\*Nitrógeno total

\*\*Fósforo aprovechable

'Cationes asimilables

Cuadro 14. Evaluación de la fertilidad de los primeros 20 cm del suelo  
(capa arable)

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Sodio
Testigo, sin composta	M	M	EP	ER	EP	ER
20 Tn/Ha de composta	M	M	ER	ER	EP	ER
60 Tn/Ha de composta	M	MR	EP	EP	EP	EP

\*Según tablas del Departamento de suelos de INIA. SAH, 1970.

M = Mediano

MR= Medianamente rico

EP= Extremadamente rico

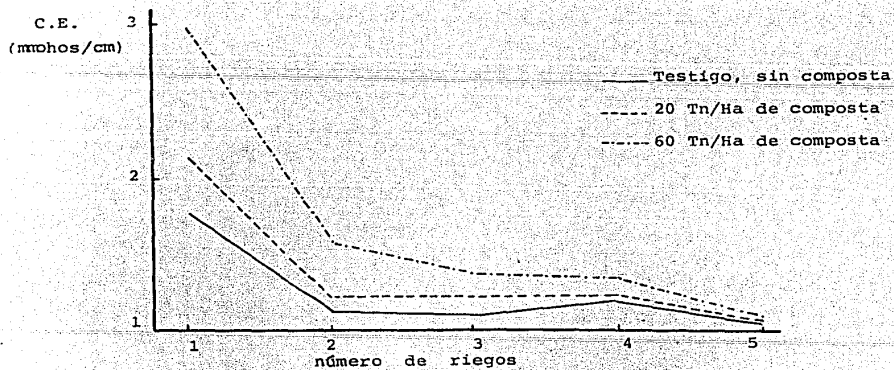


Figura 7. Conductividad eléctrica de los lixiviados

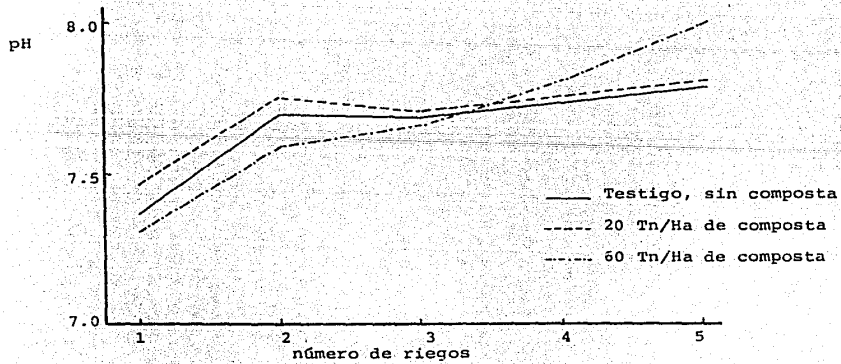


Figura 8. pH de los lixiviados

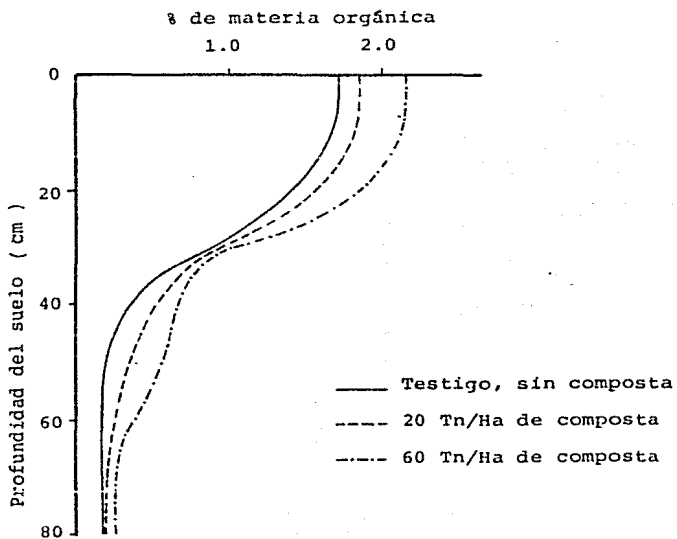
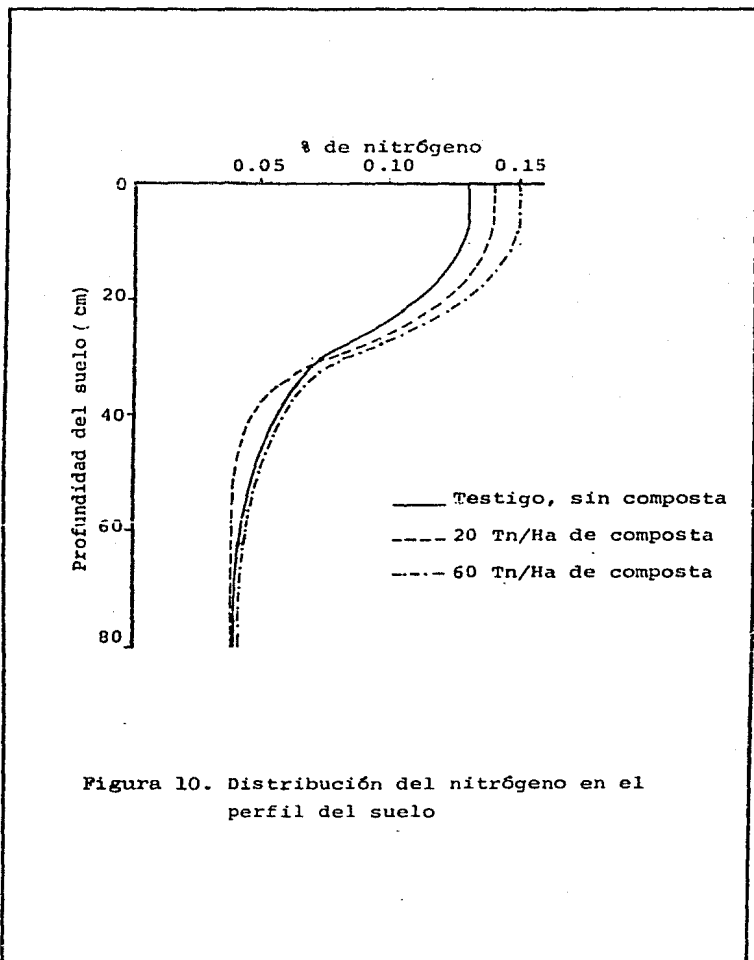


Figura 9. Distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo





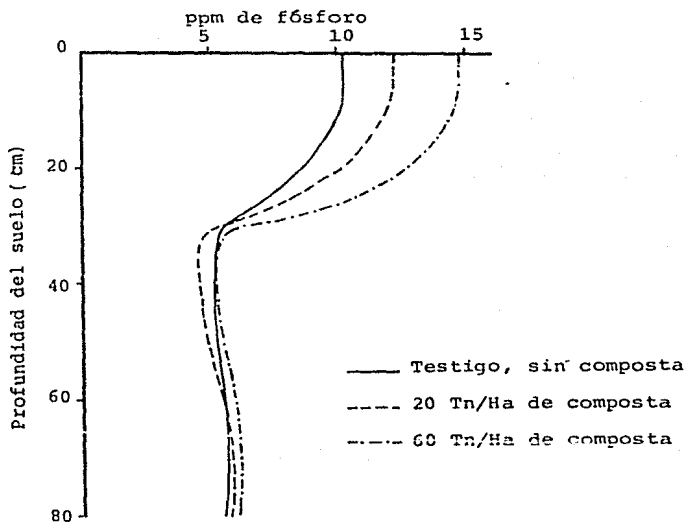


Figura 11. Distribución del fósforo en el perfil del suelo

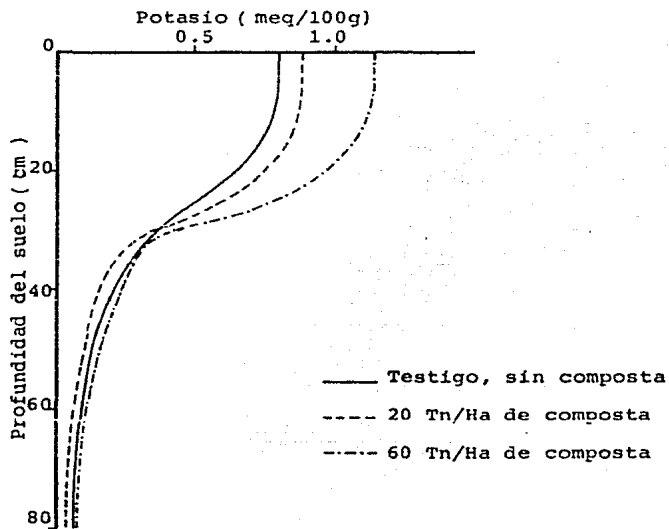


Figura 12. Distribución del potasio en el perfil del suelo

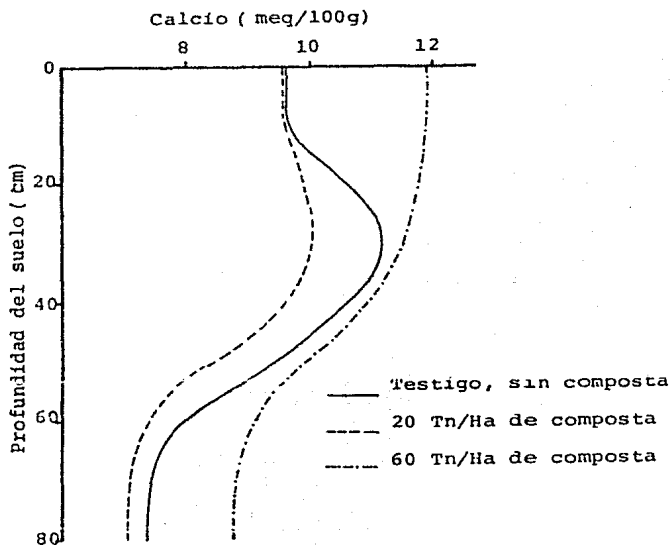


Figura 13. Distribución del calcio en el perfil del suelo

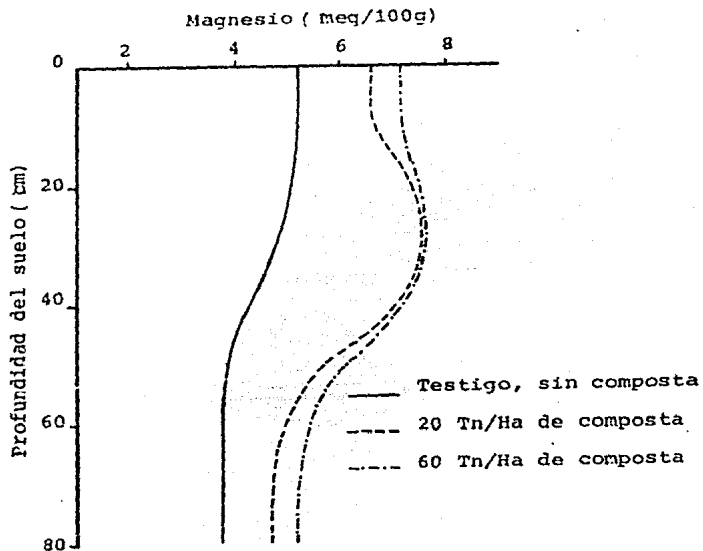


Figura 14 . Distribución del magnesio en el perfil del suelo

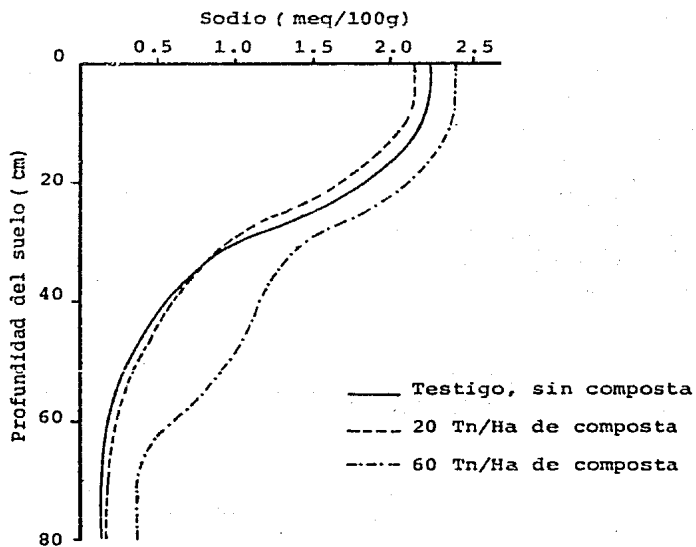


Figura 15. Distribución del sodio en el perfil del suelo

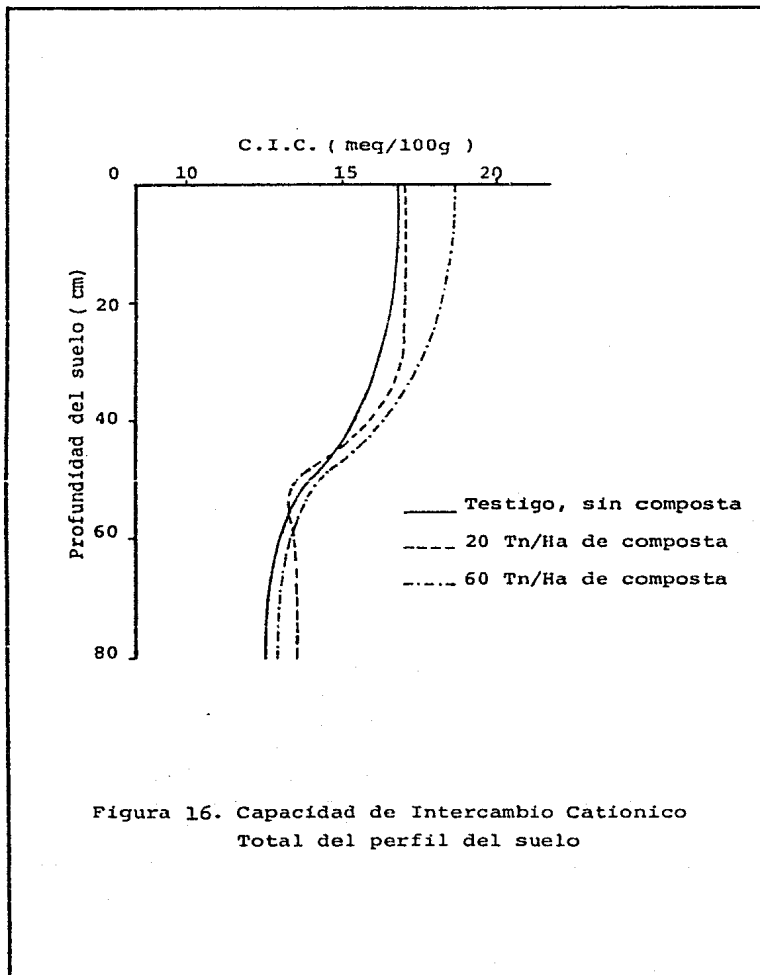
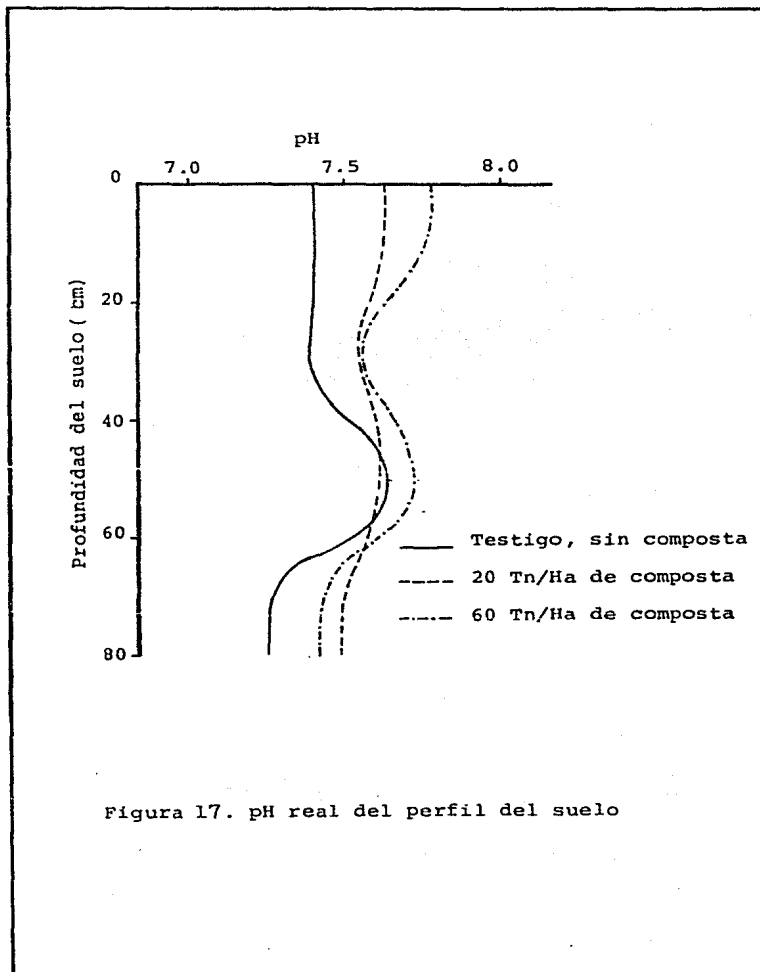


Figura 16. Capacidad de Intercambio Cationico Total del perfil del suelo





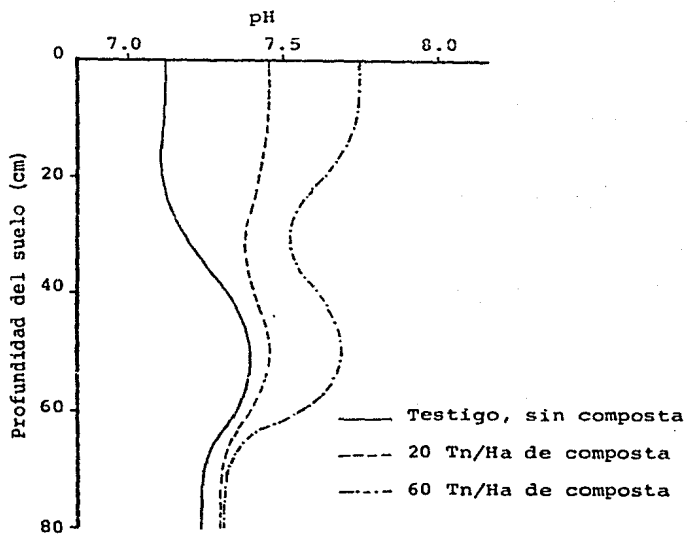
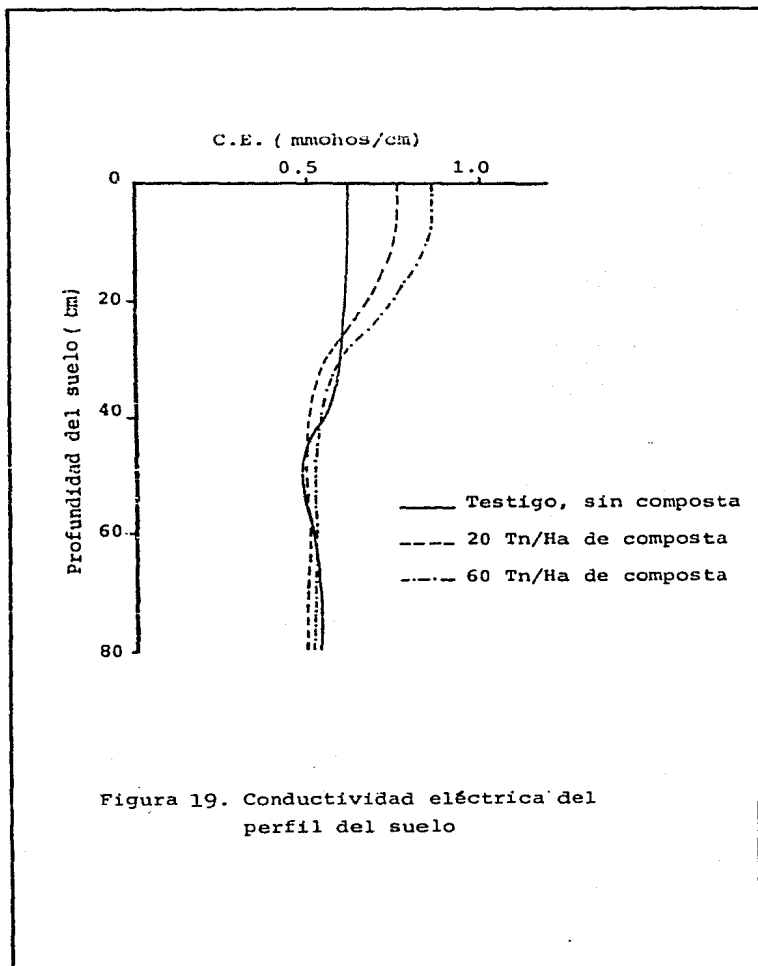
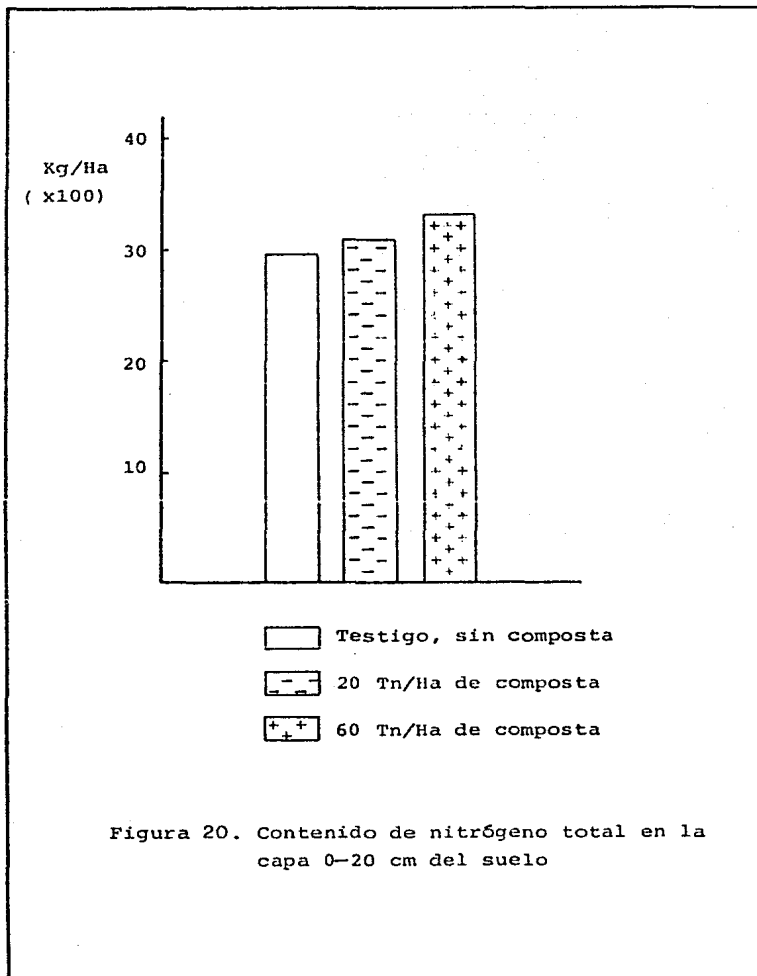
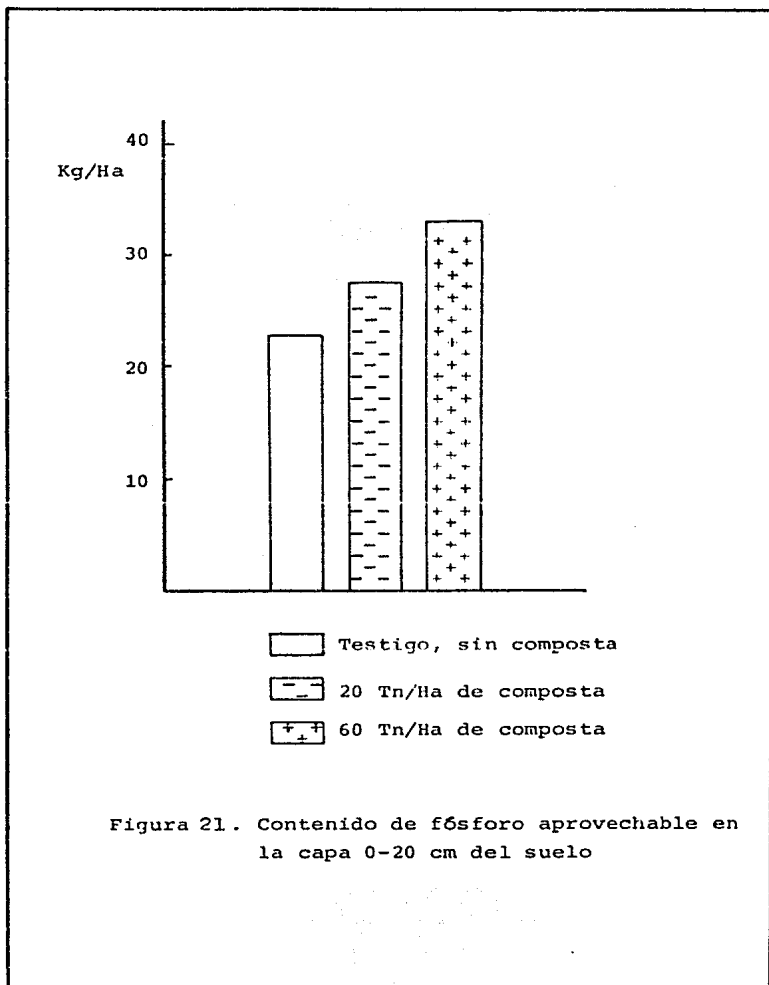
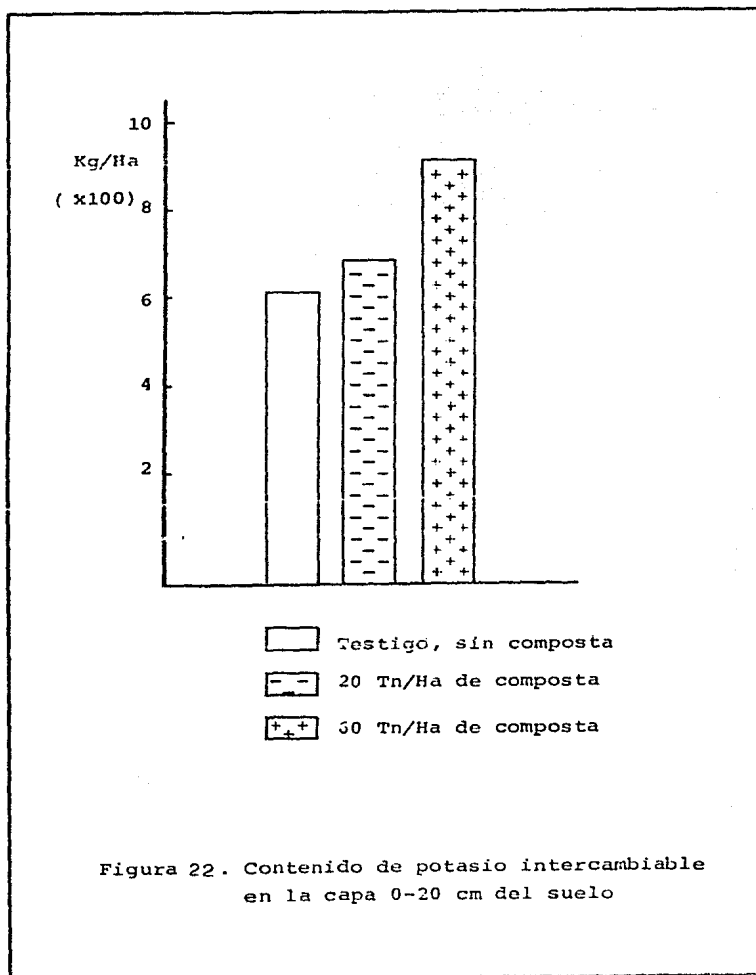


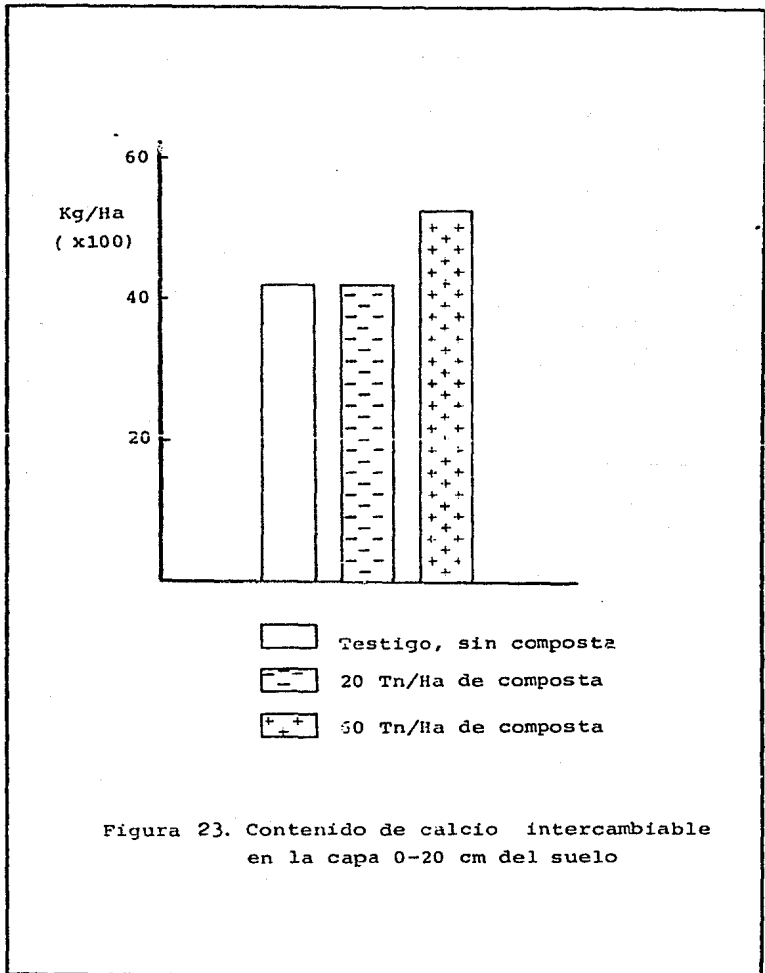
Figura 18. pH potencial del perfil del suelo

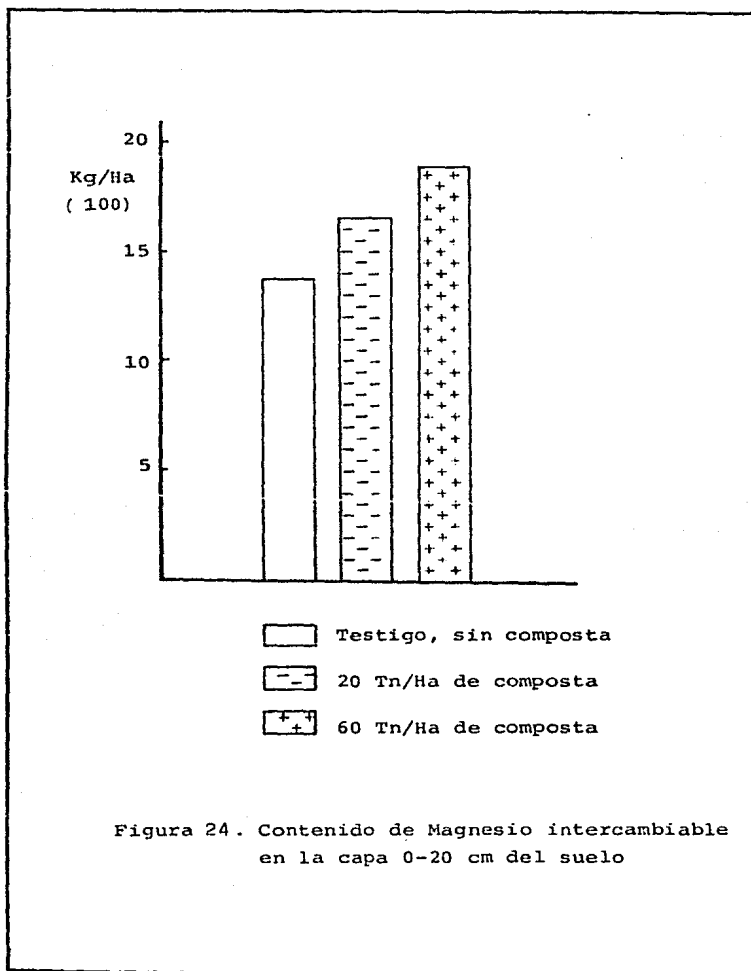


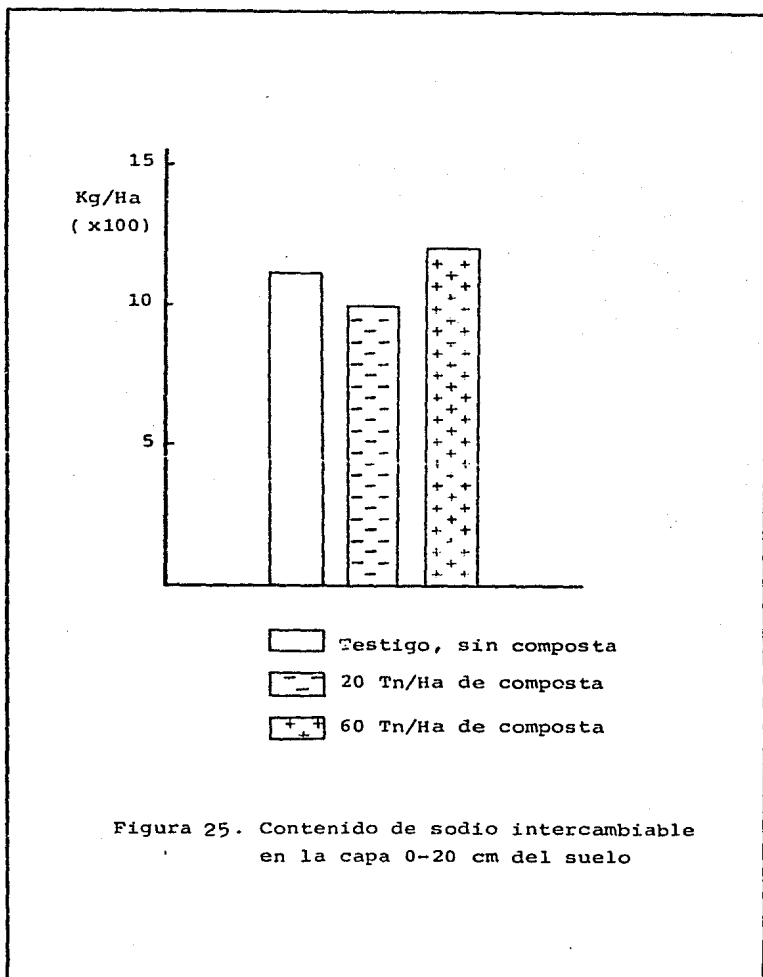














## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

## 6. ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.1 Análisis de los lixiviados

Uno de los factores que influyen en la distribución y origina las pérdidas de elementos del suelo, es el movimiento descendente del agua en el perfil, debido a que al lixiviar a través de los poros del suelo, arrastra en ella ciertos elementos ya sea en solución o en suspensión.

Estas pérdidas se pueden cuantificar analizando el agua que lixivia del perfil. De la misma manera, el arrastre de elementos por el agua, se refleja en la conductividad y pH de la misma.

#### 6.1.1 Conductividad eléctrica de los lixiviados.

Como se observa en la figura 7, la conductividad eléctrica de los lixiviados que se colectaron durante el experimento, fué disminuyendo conforme se fueron aumentando los riegos; este descenso fué abrupto del primero al segundo riego y en los sucesivos se presentó paulatinamente tendiendo a permanecer constante, de tal manera que la curva que describe este proceso, presenta un comportamiento asintótico. Esta tendencia se observó en los tres tratamientos, sin embargo, fué mas apreciable a medida que se incrementó la dosis de composta.

Este comportamiento se puede explicar si se considera la concentración y solubilidad de las diferentes sales

formadas por los elementos en el suelo, y su influencia en la conductividad eléctrica de las soluciones.

En general, de las sales presentes en un suelo, las primeras que se lixivian, ya sea en la aplicación de riego o durante un proceso de lavado, son las de mayor solubilidad como los cloruros u otras sales de sodio; posteriormente se lixivian las sales de menor solubilidad, - ocurriendo primero la de sales de mediana solubilidad como los sulfatos, y finalmente la de sales secundarias de difícil solubilidad, hasta alcanzar un equilibrio entre la concentración de sales del suelo y su concentración en el agua; de estas sales, en concentraciones equivalentes en las soluciones, las que presentan una mayor conductividad eléctrica son los cloruros, seguidas de las de mediana y difícil solubilidad.

Este efecto se observa en la conductividad eléctrica de los lixiviados, si se considera también que el suelo que se utilizó presentó (según una determinación cualitativa), un elevado contenido de cloruros.

Por otra parte, los valores de conductividad eléctrica de los lixiviados, indica también que la mayor lixiviación de elementos como sales solubles, ocurrió en el primer riego y en los siguientes fué comparativamente menor, disminuyendo paulatinamente en función de su concentración en el suelo.

Al respecto, Panin, citado por Cervantes (1983), después de numerosos trabajos experimentales, establece que la mayor cantidad de sales de un determinado espesor de suelo que se sujeta a un proceso de lavado, se extrae con los primeros volúmenes de agua que se filtra.

Este comportamiento en general de la curva de lixiviación de sales de un suelo, ha sido observado por varios investigadores. Benavides (1977) y Orozco (1979), al evaluar la redistribución y pérdidas de nitrógeno en el suelo en condiciones de invernadero, observaron que en los dos primeros riegos (de cinco aplicados), se lixiviaron las mayores cantidades de nitrógeno, alcanzando hasta más del 80 % del total lixiviado y en los riegos sucesivos las concentraciones fueron comparativamente menores.

De la misma manera, Cervantes (1983) y Díez (1986), al analizar la lixiviación de sales durante un proceso de lavado de un suelo con problemas de salinidad, trabajando en lisímetros y columnas de suelo respectivamente, observaron una mayor concentración de sales en los primeros efluentes obtenidos, predominando los cloruros, y en los volúmenes sucesivos la concentración de sales fué disminuyendo paulatinamente.

Con base en los resultados de conductividad eléctrica que se presentan en la figura 7, esta tendencia es

semejante en todos los tratamientos, sin embargo, los valores de conductividad eléctrica de los lixiviados, siempre son mayores en la dosis de 60 Tn/Ha de composta, seguidos por los de 20 Tn/Ha y finalmente el testigo; las causas que originan este comportamiento son atribuidas - al efecto de la composta, puesto que la calidad del agua de riego fué constante para los tres tratamientos, aunque este efecto es significativo sólo en el primer riego.

#### 6.1.2 pH de los lixiviados.

Según los resultados que se presentan en la figura 8 los valores de pH de los lixiviados presentan un comportamiento totalmente opuesto al de la conductividad eléctrica durante el experimento. Como se puede observar, en los tres tratamientos, los valores de pH en los lixiviados del primer riego son menores al pH de los siguientes riegos, los cuales fueron ascendiendo paulatinamente - hasta alcanzar los valores mayores en el último riego.

Este comportamiento se puede atribuir al efecto que tienen las sales solubles en la determinación del pH. - Según Sorensen, citado por Díaz (1986), este efecto consiste en la disminución del pH conforme se incrementa la concentración de las sales neutras, principalmente los cloruros (ejemplo: NaCl, CaCl, etc.).

En este trabajo, los lixiviados que se obtuvieron - en el primer riego en todos los tratamientos, presentaron un pH más cercano a la neutralidad que los posteriores, lo cual se atribuye a la mayor concentración de sales de fácil solubilidad y naturaleza neutra, mismas que se manifestaron en su conductividad eléctrica como se analizó anteriormente, además, de acuerdo con lo establecido por Díaz (1986), a la interacción de estas sales - con los coloides orgánicos que son arrastrados por el agua.

En los lixiviados del segundo riego, el pH ascendió en forma notable y permaneció sin variaciones apreciables hasta el cuarto riego, lo cual indica que la concentración de sales neutras disminuyó y en consecuencia también su efecto en el pH fué menor.

En los lixiviados del último riego, el pH ascendió apreciablemente y los lixiviados presentaron un pH alcalino principalmente en el tratamiento de 60 Tn/Ha de com poste; esto se debe, según Panin, citado por Díaz (1986), al efecto de la lixiviación de sales de mediana y difícil solubilidad cuya reacción es alcalina, tales como los carbonatos y bicarbonatos.

Esta tendencia se presentó en los tres tratamientos sin embargo, fué más notable para la mayor dosis de

composta ( 60 Tn/Ha). En los tratamientos 1 y 2, los --  
lixiviados presentaron valores de pH y un comportamiento  
semejantes debido a que el efecto de la composta no fué  
significativo.

### 6.2 Contenido de materia orgánica en el perfil del suelo

Al aplicar diferentes dosis de composta de desechos  
urbanos, uno de los parámetros de mayor importancia que  
se deseaba evaluar fué el aporte de materia orgánica al  
suelo, así como su distribución en el perfil, ya que es  
bien conocido el papel que ésta desempeña y su influen-  
cia en las características del suelo.

Según los resultados obtenidos, se observa que, como  
era de esperarse, las mayores cantidades de materia orgá-  
nica permanecen en las capas superficiales del suelo y  
disminuye su contenido con la profundidad del perfil (fi-  
gura 9), lo cual es congruente con lo observado por nu-  
merosos investigadores. Esto se explica si se considera  
que, en forma similar a las condiciones de campo, la --  
aplicación de composta como fuente de materia orgánica -  
se realizó en la capa superficial del suelo (0-20 cm de  
la columna), y su contenido en las capas inferiores se  
debe fundamentalmente al arrastre de compuestos orgáni-  
cos por percolación del agua.

Por otra parte, hay una correlación lineal (al 5 % de significancia) entre dosis de composta y el contenido de materia orgánica en los primeros 20 cm de suelo (figura 26), lo que indica que el contenido de materia orgánica en la capa arable del suelo se incrementa conforme aumenta la dosis de composta, sin embargo, este aumento sólo es significativo (a un valor de  $\alpha=0.05$ ) cuando se aplican 50 Tn/Ha de composta y no hay diferencia estadística entre los tratamientos 1 y 2 al 5 % de significancia.

### 6.3 Distribución de los elementos en el perfil del suelo

En general, los elementos presentan una tendencia semejante en su distribución en el perfil, excepto pequeñas variaciones para calcio y magnesio, independientemente de la dosis de composta aplicada; por otra parte, esta misma tendencia se observa en las demás características del perfil del suelo.

#### 6.3.1 Nitrógeno.

Independientemente de los tratamientos, las mayores concentraciones de nitrógeno se presentan en los primeros 20 cm del perfil del suelo, si bien su concentración se incrementa a medida que aumenta la dosis de composta;



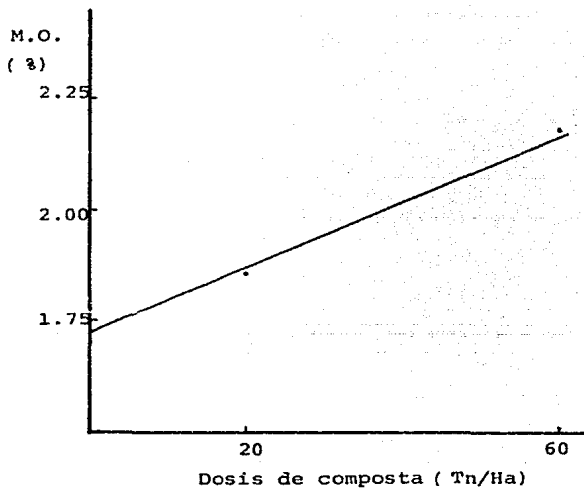


Figura 26. Curva de correlación entre la dosis de composta y contenido de materia orgánica en la capa superficial del suelo

en las capas inferiores, el contenido de nitrógeno disminuye rápidamente hasta permanecer casi constante (figura 10), y no se observó diferencia entre tratamientos, no obstante que la lixiviación de este elemento, según Prat (1964), también depende de la cantidad abastecida al suelo.

Lo anterior se explica si se considera que en general, el contenido de nitrógeno está estrechamente relacionado con el contenido de materia orgánica en el perfil. La materia orgánica libera el nitrógeno en formas inorgánicas por los procesos de la mineralización, en los cuales toman parte y desempeñan un papel fundamental los microorganismos del suelo; de esto se establece que el contenido de nitrógeno en las capas inferiores depende en gran medida de la disponibilidad de oxígeno y de la población de microorganismos nitrificantes, además del arrastre a de las diferentes formas de nitrógeno en la solución del suelo.

Al respecto, Ardakani et al. (1973), al evaluar la oxidación de nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) a nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ), en columnas de suelo, observaron que la concentración de  $\text{NO}_2^-$  decrece rápidamente en los primeros centímetros, posteriormente hay una disminución gradual hasta permanecer en valores constantes a mayores profundidades y atribuyen este comportamiento a la disponibilidad de oxígeno y mayor

actividad microbiana. Un comportamiento semejante ocurre en la mineralización de la materia orgánica con la profundidad del perfil del suelo.

Con base en investigaciones de los mismos autores, respecto al movimiento de los iones amonio y nitrato en el suelo en ausencia de nitrificación, éstos supieren - que el intercambio iónico en combinación con el flujo de iones en solución, pueden considerarse para explicar la fluctuación en la concentración de nitrógeno en el perfil.

De la misma manera, Kinjo et al. (1971), al evaluar el movimiento y distribución de nitratos en columnas de suelo, observaron que la profundidad máxima de concentración de  $\text{NO}_3^-$  era en los primeros centímetros y encontraron muy poco  $\text{NO}_3^-$  en las capas inferiores, a pesar de que este ión se mueve libremente con el agua, y atribuyen - tal comportamiento a la habilidad del suelo para adsorber este elemento.

### 6.3.2 Fósforo.

De la misma manera que el nitrógeno, las mayores - concentraciones de fósforo permanecen en los primeros 20 cm de profundidad y disminuye abruptamente; posteriormente

presenta un descenso paulatino y finalmente permanece -- sin variaciones apreciables a mayores profundidades (figura 11).

Esto se debe a que el fósforo es un elemento poco móvil y generalmente permanece cerca del lugar de aplicación, debido a que tiende a reaccionar en la mayoría de los suelos y forma compuestos poco solubles al combinarse con fierro, aluminio o calcio.

Otro factor que se debe considerar es la textura -- del suelo; en suelos de textura fina, como el que se utilizó en este trabajo, el movimiento descendente del fósforo es más restringido que en un suelo arenoso.

La concentración de fósforo en los primeros 20 cm -- del suelo es variable, dependiendo de la dosis de composta, sin embargo, en las capas inferiores su contenido es casi constante para todos los tratamientos.

### 6.3.3 Potasio.

Como se observa en la figura 12, las mayores cantidades de potasio se presentan en los primeros 20 cm -- de profundidad del suelo y en las capas inferiores disminuye paulatinamente hasta permanecer casi constante. Esto

se debe en parte, a que el potasio, pese a que es un ión monovalente, puede ser fijado por el complejo de intercambio y disminuir su lixiviación.

De la misma manera, en la misma figura se puede observar que aún cuando a una mayor dosis de composta la adición de potasio fué mayor, su lixiviación a las capas inferiores no presenta variaciones significativas entre los tres tratamientos, puesto que su concentración en estas capas es casi constante para todos los tratamientos. Este comportamiento se explica debido a la influencia de la materia orgánica pese a que el ión  $K^+$  es retenido con menor intensidad por el humus en comparación con otros iones como el  $Ca^{++}$  y el  $Mg^{++}$ .

#### 6.3.4 Calcio y Magnesio.

El calcio y el magnesio tienen un comportamiento semejante en el perfil del suelo, y presentan variaciones con respecto al comportamiento de los demás elementos.

Como se observa en la figura 13, las mayores concentraciones de calcio se presentan en la capa 20-40 cm de profundidad del suelo, sobre todo en los tratamientos 1 y 2. Esto se debe a que al lixivarse este catión, parte puede ser reabsorbido por el complejo adsorbente en -

alguna capa inferior del perfil como es el caso del horizonte B; en este caso el calcio es retenido en la sección 20-40 cm de la columna de suelo y a mayores profundidades la concentración de este elemento disminuye y permanece sin variaciones significativas entre estos tratamientos.

En el tratamiento 3, este comportamiento es compensado por la aplicación de composta en mayores cantidades puesto que también se incrementa la adición de calcio; aunado a esto, se debe considerar que este catión por ser divalente, es retenido con mayor energía en comparación con los cationes monovalentes por la fracción de intercambio de la materia orgánica, sin embargo, la lixiviación de este elemento también fué mayor que en los demás tratamientos.

En el caso del magnesio, como se observa en la figura 14, presenta una tendencia semejante en su distribución a la de calcio, debido en parte a que también es un catión divalente; sin embargo, sobre todo en el tratamiento 3, la influencia de la materia orgánica es menor que en calcio, es decir, aún cuando la mayor dosis de composta llevó implícito una mayor adición de magnesio en la capa superficial, la mayor concentración de este elemento se presenta en la capa 20-40 cm de la columna de suelo, esto se puede explicar si se considera que el ión  $Mg^{++}$  es retenido con menor intensidad por el humus en comparación con el ión  $Ca^{++}$ .

En los tratamientos 2 y 3, las concentraciones de magnesio en la columna de suelo, son semejantes y ambos son superiores al testigo.

### 6.3.5 Sodio

Este elemento presenta una distribución semejante a la de la mayoría de los nutrientes (figura 15), y de la misma manera, las mayores concentraciones de sodio se observan en la capa superficial del suelo.

Los tratamientos 1 y 2 presentaron un comportamiento y concentración de sodio en el perfil semejantes; en el tratamiento 3, el incremento en la dosis de composta también correspondió a una mayor concentración de sodio en el perfil, y de la misma manera presentó una tendencia semejante a la de los tratamientos anteriores.

Es importante señalar que el contenido de sodio en las columnas de suelo, sobre todo en la capa superficial en todos los tratamientos también se debe a la calidad del agua de riego que se utilizó, la cual aún cuando presentó una conductividad eléctrica baja (ver apéndice), posiblemente contenía una apreciable cantidad de sodio, puesto que el contenido inicial de sodio en el suelo fue más bien despreciable (figura 4).

#### 6.4 Efecto de la composta de desechos urbanos en las características químicas del suelo en el trabajo experimental

Según se observa en el cuadro 13 el contenido de elementos en los primeros 20 cm del suelo, se incrementó en función de la dosis de composta; de la misma manera, las demás características del suelo sufrieron modificaciones apreciables (Cuadro 12).

El efecto de la composta en la concentración de nitrógeno, fósforo y potasio fué altamente significativo ( $\alpha = 0.01$ ), sin embargo, para los dos primeros este efecto sólo se observó al adicionar 50 Tn/Ha de composta, según se observó al realizar la comparación de promedios.

En el contenido de potasio, ambos niveles de aplicación de composta son superiores al testigo y al mismo tiempo hay diferencia entre ellos al 1% de significancia. Para el caso de calcio, magnesio y sodio, no hubo efecto de tratamiento, aún cuando si hubo incremento en su concentración en esta capa del suelo.

Independientemente de las pruebas de significancia, en general se observa que la aplicación de composta de desechos urbanos incrementa la concentración de nutrientes en las capas superficiales del perfil del suelo; esto



se explica, si se considera que además de sus propiedades fertilizantes, su efecto se extiende debido a su aporte de materia orgánica al suelo, cuya influencia en la preservación de nutrimentos disponibles en el suelo, ha sido señalada por varios autores.

Con respecto a la capacidad de intercambio catiónico del suelo, ésta aumentó aunque no significativamente, sin embargo, se observó un incremento de más de 2 miliequivalentes por cada unidad de  $\mu$  de materia orgánica, lo cual coincide con lo señalado por Arnaud y Septon (1972), este efecto sólo se observó al aplicar 60 Tn/Ha de composta.

Con respecto al efecto de la adición de composta en el pH, al analizar su comportamiento en el perfil del suelo, se observa que en el tratamiento 1 el pH se ve influenciado por el arrastre de iones por lixiviación; al emigrar sobre todo los cationes alcalinos y alcalinoterreros, los cuales son substituidos por iones  $H^+$  o  $Al^{+++}$ , se provoca la acidificación de las capas superficiales, sin embargo estos pueden ser readsorbidos también en alguna capa inferior, como sucede en este tratamiento.

En los tratamientos 2 y 3 este efecto estuvo compensado por la adición de materia orgánica por la composta. Durante la mineralización de la materia orgánica, pueden

añadecer sales solubles ya sea de naturaleza neutra, ácida o básica y en general éstas, sobre todo las de naturaleza neutra, tienen un efecto acidificante debido a que el catión de la sal se intercambia con los protones adsorbidos en los coloides del suelo, por ejemplo: si tenemos arcilla- $H^+$  + KCl (acuoso)  $\rightleftharpoons$  arcilla- $K^+$  + HCl, y puede haber por tanto un descenso en el pH, sin embargo, las sales también aumentan la fuerza iónica, en consecuencia disminuyen el coeficiente de actividad de los iones y el producto iónico del agua, lo que lleva consigo un aumento del pH, es decir, hay una disminución de la actividad de los iones  $H^+$ ; del balance de estos dos efectos puede resultar que el pH sea menor, igual o mayor al que tuviera sin el efecto de las sales: esto último explica que el pH de estos tratamientos sea mayor con respecto al testigo en los primeros 20 cm del suelo.

Por otra parte, es importante señalar que el incremento en el pH del suelo también se debe en gran medida al pH de la composta, el cual es mayor que el del suelo según se puede observar en los cuadros 5 y 6, por lo tanto, un incremento en la cantidad de composta aplicada lleva implícito un aumento en el pH del suelo.

Con respecto a la Conductividad eléctrica del suelo como se observa en la figura 19, las dos dosis de composta

tuvieron un efecto altamente significativo en esta característica, esto se debe a su elevada conductividad eléctrica (cuadro 6), aunque si bien no llegan a causar problemas de salinidad en el suelo; sin embargo, es probable que aplicaciones continuas de este producto si repercutan en la salinidad de los suelos, sobre todo si no se les proporciona un manejo adecuado.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Al utilizar columnas de suelo y aplicar diferentes riegos, no se modificó la tendencia en la distribución de elementos nutritivos en el perfil del suelo; sin embargo, si hay variaciones en su concentración en las diferentes profundidades de muestreo, esto se observa al comparar el suelo antes y después del tratamiento (cuadro 5 y testigo cuadro 12), lo cual se atribuye a la influencia de la calidad y cantidad del agua de riego utilizada. Por otra parte, es importante realizar más investigaciones al respecto en condiciones de laboratorio o invernadero, puesto que constituyen una guía importante en relación a lo que se puede esperar de investigaciones en campo.

2. Durante el proceso de lixiviación de elementos del perfil del suelo por acción del agua, las mayores cantidades se lixiviaron con los primeros volúmenes que se aplicaron, lo cual se manifestó en la conductividad eléctrica y en el pH de los lixiviados obtenidos. La lixiviación de elementos fue proporcional a la cantidad de los mismos aplicados al suelo a través de la comosta; por lo que es recomendable realizar análisis más completos de los lixiviados, los cuales indicarán la concentración de los elementos que se pierden por este mecanismo.

3. La aplicación de composta de desechos urbanos, no modifica la distribución de elementos nutritivos en el perfil del suelo, la cual presenta la misma tendencia en todos los tratamientos, sin embargo, aumentó las concentraciones de elementos en los primeros 20 cm (capa arable) lo cual implica una mayor fertilidad del suelo; si bien este aumento sólo fué significativo al aplicar 60 Tn/Ha de composta.

4. El efecto de la composta de desechos urbanos en las características químicas del suelo, se manifestó al aumentar su capacidad de intercambio catiónico, el pH real y potencial y la conductividad eléctrica, si bien este aumento sólo fué significativo en estas dos últimas características, por lo que es probable que al realizar aplicaciones continuas y en dosis elevadas de composta, debido a su elevado contenido de sales, se presenten problemas de salinidad en el suelo.

5. Considerando este trabajo como un estudio preliminar, es necesario evaluar la calidad de la composta a utilizar en este tipo de investigaciones, debido a que su composición influye en forma determinante en las características del suelo en que se aplica, lo cual nos proporcionará un parámetro de referencia de los posibles resultados al hacer aplicaciones en campo.

6. Es necesario evaluar en campo y durante periodos más largos, el efecto de la composta de desechos urbanos, pues si bien modifica benéficamente las propiedades del suelo, la calidad de ésta también podría influir en forma negativa, ya que los desechos urbanos contienen altas concentraciones de contaminantes, los cuales no son eliminados durante el proceso de composteo y pueden acumularse - al hacer aplicaciones continuas, y ocasionar problemas de toxicidad para los cultivos.

## 8. BIBLIOGRAFIA



## 8. BIBLIOGRAFIA

- Arana Muñoz, Omar E. 1970. Recuperación de suelos salino-sódicos del Valle de Mexicali con mejoradores y aguas salinas. Experimento en columnas. Tesis profesional. ENA. Chapingo, Mex.
- Ardakani, M.S., J.T. Renbock, and A.D. McLaren. 1973. Oxidation of nitrite to nitrate in soil column. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:53-56.
- Arnaud, R.J., and G.A. Sechton. 1972. Contribution of clay and organic matter to cation exchange capacity of chernozemic soils. Can. J. Soil Sci. 52:124-126.
- Barber, Stanley A. 1980. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: The role of phosphorus in agriculture. Amer. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Amer., and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. U.S.A.
- \_\_\_\_\_. 1984. Nutrient balance and nitrogen use. In: Nitrogen in Crop Production. Amer. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Amer., and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. USA. 87-95.
- Benavides Arizpe, Roman. 1977. Evaluación de las pérdidas de nitrógeno por lixiviación utilizando diferentes requerimientos de lavado. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N. L., Mex.

- Black, C.A. 1975. Relaciones suelo-planta. tomo II. Ed. Hemisferio sur. Buenos Aires, Argentina.
- Buol, S.W., F.D. Hole y R.J. McCracken. 1981. Génesis y Clasificación de suelo. Ed. Trillas, S.A. Mex.
- Calcinai, M., and P. Segui. 1977. Contribution of organic matter to cation exchange capacity of soils. In: Soil Organic Matter Studies. Vol. 1. Intern. - Atomic Energy. Vienna Aust. 63-67.
- Camargo, O.A., J.W. Biggar, and D.R. Nielsen. 1979. Transport of inorganic phosphorus in an alfisol. Soil Sci. Soc. Am. J. 43:884-889.
- Cervantes Ramirez, Maximiliano. 1963. La lixiviación de sales en suelos salinos y salino-sódicos del Valle de Mexicali, durante un proceso de lavado. Tesis de maestría. C. P. Chapingo, Mex.
- Curtin, D., and G.W. Sallie. 1976. Estimation of components of soil cation exchange capacity from measurements of specific surface and organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:461-462.
- Dahiya, I.S., Mohinder Singh, Mahendra Singh, and S. Hajra Sultana. 1980. Simultaneous transport of surface applied salts and water through unsaturated soils as affected by infiltration, redistribution and evaporation. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:223-227.

- DETENAL, S<sup>OP</sup>. 1979. Descripción de la leyenda de la carta edafológica Detenal. México, D.F.
- Díaz Espino, Luis F. 1986. Descripción de las regularidades del proceso de lavado de los suelos salinos. Tesis de Maestría. C. P. Chapingo, Mex.
- Díaz Sánchez, Ma. Eugenia y R. G. Rosales Montes de Oca. 1986. Estudio de los efectos químicos y físicos de la compactación de desechos urbanos en el suelo de la PES-C. Tesis profesional. PES-C, UNAM.
- Drake, Elissa H., and Harry L. Motto. 1962. An analysis - of the effect of clay and organic matter content on the cation exchange capacity of New Jersey - Soils. Soil Sci. 131:281-288.
- Duchaufour, P. 1975. Manual de Edafología. Ed. Toray-Masson, S.A. Barcelona, España.
- \_\_\_\_\_. 1964. Edafología. Edafogénesis y Clasificación. Ed. Masson, S. A. Barcelona, España.
- Elizondo Solana, A.C. 1974. Evaluación de residuos orgánicos estabilizados (compost) obtenidos del baurero de Monterrey, N.L. desde el punto de vista de su utilización agrícola. En: Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Memoria VII, Tomo II. Guanajuato, Mex.

- Fassbender, Y.W. 1975. Química de suelos. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica.
- Foth, Henry D. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. 3a. Edición. Ed. CECOSA. México, D.F.
- Gamboa, J. Joaquín y Mario Blasco L. 1976. Dinámica del fósforo en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica.
- Gati, F. 1983. Mantención del contenido de materia orgánica en los suelos, en particular en suelos arenosos. En: FAO. Boletín de suelos No. 51 de la FAO.
- Hageman, R.H. 1964. Ammonium versus nitrate nutrition of higher plants. In: Nitrogen in Crop Production. Amer. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Amer., and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. USA. 87-95.
- Hira, G.S., and N.T. Singh. 1978. Prediction of phosphorus diffusion from fertilizer source. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:561-565.
- Hoffman, D.L., and D.E. Rolston. 1980. Transport of organic phosphate in soil as affected by soil types. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:46-52.

- Hoorn, J.W. 1984. Salt transport in heavy clay soil. In: Proceeding of the ISSS Symposium on water and solute movement in heavy clay soils. Internat. - Inst. for Land Reclam. and Improvement. USA.
- Jensen, J. Raunso. 1984. Potassium dynamics in soil during steady flow. Soil Sci. 138:285-292.
- Jury, W.A., W.M. Jarrel, and D. Devitt. 1979. Reclamation of saline-sodic soils by leaching. Soil Sci. - Soc. Am. J. 43:1100-1106.
- Kiehl, Edmar J. 1980. Preparo do composto na fazenda. Ministério da Agricultura, EMBRAPA & SNAP. Brasília, Brasil.
- Kinjo, T., R.F. Pratt and A.L. Page. 1971. Nitrate adsorption: III. Desorption movement and distribution in andepts. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35:728-732.
- Little, Thomas M. y F. Jackson Hills. 1984. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Ed. Trillas, México, D.F.
- Logan, T.J., and E.O. Mclean. 1973a. Nature of phosphorus retention and adsorption with depth in soil columns. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:351-355.

- Gogan, T.J., and E.O. Mclean. 1973b. Effects of phosphorus application rate, soil properties, and leaching mode on P movement in soil columns. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 37:371-374.
- Luthin, James N. 1963. Drenaje de tierras agrícolas. Ed. Limusa. México, D.F.
- Llerena Villalobando, F.A. 1970. Posibilidad de recuperación y necesidad de aplicar yeso de suelos salinos del ejido "El Cubilete" de Guasave, Sin. - Experimento en columnas. Tesis profesional. ENA. Chapingo, Mex.
- Mahtab, Samuel K., Curtis L. Godfrey, Allen R. Swoboda, and Grant W. Thomas. 1971. Phosphorus diffusion in Soils: I. The effect of applied P, clay content and Water Content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 35:393-397.
- Martel, Y.A., and M.R. Laverdiere. 1976. Facteurs qui influencent la teneur de la matière organique et les propriétés d'échange cationique des horizons Ap des sols de grade culture du Québec. Can. J. Soil Sci. 56:213-221.
- \_\_\_\_\_, G.R. De Kinkbe, and M.R. Laverdiere. 1978. Cation exchange capacity of clay rich soils in

relation to organic matter, mineral composition and surface area. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:764-767.

- Millar, Agustín A., Nelson Duarte y Eduardo Riquelme. 1975. Movimiento de nitratos en un suelo volcánico bajo diferentes regímenes de riego. Revista Interamericana de Ciencias Agrícolas. Turrialba, Costa Rica.
- Montero Sosa, R. 1978. Estudio del contenido de carbono y nitrógeno en algunos abonos orgánicos y sus efectos en la mineralización e inmovilización del nitrógeno en el suelo. Tesis profesional. U.A.Ch. Chapingo, Mex.
- Núñez E., Roberto. 1981. Principios de fertilización agrícola con abonos orgánicos. En: Monroy, O. y Vigniegra, G. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. Ed. A.G.T Editor, S.A. México, D.F.
- Olsen, S.R., and F.S. Watanabe. 1963. Diffusion of phosphorus as related to soil texture and plant uptake. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 27:648-652.
- Orozco Ruiz, J. Manuel. 1979. Evaluación de migraciones de nitrógeno en el suelo utilizando tres requecimientos de lavado, dos fuentes de nitrógeno y dos dosis. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N. L. Méx.

- Ortega Torres, E. 1981. Química de suelos. U. A. Ch. Chapingo, México.
- Ortiz Solorio, C.A. y Heriberto Cuanalo de la Cerda. 1981. Introducción a los levantamientos de suelos. - Colegio de Postgraduados. Chapingo, Mex.
- Ortiz Villanueva, B. y Ortiz Solorio, C.A. 1984. Edafología. 4a. Edición. U.A.Ch. Chapingo, Mex.
- Personal del laboratorio de salinidad de los Estados Unidos de América. 1982. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Ed. Limusa, S.A. México, D.F.
- Phillips, R.E., G.A. Place and D.A. Brown. 1966. Self-diffusion of phosphorus in clays and soils: I. The effect of phosphorus rate. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:41-44.
- Place, G.A., R.E. Phillips and D.A. Brown. 1965. Self-diffusion of phosphorus in clays and soils: I. The effect of pH. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:657-660.
- Pratt, P.F. 1984. Nitrogen use and nitrate leaching in irrigated agriculture. In: Nitrogen in Crop Production. Amer. Soc. of Agron., Crop Sci. Soc. of Amer., and Soil Sci. Soc. of Am. Inc. USA. 319-333.



Química del suelo y los fertilizantes. 1979. Cátedra XVI.  
Bioquímica y Química Agrícola. Madrid, España.  
Bimicrografado.

Ramos Rodriguez, L.M. 1979. Evaluación de los efectos de  
seis dosis de compost sobre cuatro constantes -  
físicas en cinco suelos diferentes. Tesis pro-  
fesional. ITESM. Monterrey, N.L. México.

Royes Castañeda, Pedro. 1981. Diseño de experimentos apli-  
cados. Ed. Trillas, S.A. México, D.F.

S. A. R. H. 1982. Leyenda del mapa de suelos del mundo -  
FAO/UNESCO. México, D. F.

Sauchelli, Vicent. 1965. Phosphates in agriculture. Ed.  
Reinhold Publishing Corporation. New York, USA.

Schroeder, D. 1974. Relationships between soil potassium  
and the potassium nutrition of the plant. In:  
Potassium Research and agricultural production.  
Intern. Potash. Inst. Bern.

Schuffelen, A.C. 1972. The cation exchange system of the  
soil. In: Potassium in soil. Intern. Potash.  
Inst. Bern.

- Sharma, M.L., and G. Uehara. 1968. Influence of soil structure on water relation in low humic latosols: - II. Water movement. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 32:770-773.
- Sorensen, R.C., and R.A. Wiese. 1982. Distribution of phosphorus in columns of very sandy soils after leaching with water or diammonium phosphate solution. Soil Sci. 134:97-104.
- Urástegui Avilés, Federico. 1977. Redistribución de nitrógeno nítrico en un perfil de suelo utilizando dos fuentes de nitrógeno y tres diferentes eficiencias de aplicación de agua. Tesis profesional. ITESM. Monterrey, N.L. Mex.

A P E N D I C E

LLENADO DE LAS COLUMNAS DE SUELO Y DETERMINACION  
DEL VOLUMEN DE AGUA APLICADO.

Para el llenado de las columnas de suelo y determinación del volumen de agua aplicado, con una eficiencia de aplicación de agua del 50 %, se utilizó la siguiente metodología:

1. Se determinó el volumen de la columna, considerando para ello secciones de una longitud igual a las profundidades de muestreo (0-20, 20-40, 40-60 y 60-80 cm).

- a) Diámetro de la columna: 10 cm
- b) Longitud de cada sección de muestreo: 20 cm
- c) Volumen de cada sección de muestreo: 1 570 cm<sup>3</sup>

2. Se determinó, en función de su densidad aparente (cuadro 5), el peso del suelo necesario para llenar el volumen de la columna, considerando de la misma manera las cuatro profundidades de muestreo por separado.

3. Se calculó el % de espacio poroso del suelo (cuadro 5).

Teóricamente, del total del % de espacio poroso de un suelo a capacidad de campo, el 50 % estaría ocupado por agua y el 50 % por aire. En este caso tendríamos:

Profundidad 0-20: % de espacio poroso = 52.78  
 % de espacio poroso ocupado por agua = 26.39  
 % de espacio poroso ocupado por aire = 26.39

Expresado en volumen tendríamos lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Profundidad 0-20: Volumen total} &= 1570.79 \text{ cm}^3 \\ \text{Volumen ocupado por suelo} &= 741.73 \text{ cm}^3 \\ \text{Volumen ocupado por agua} &= 414.53 \text{ cm}^3 \\ \text{Volumen ocupado por aire} &= 414.53 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Se considera una eficiencia de aplicación de agua -- del 100 % cuando se aplica el volumen necesario para mantener el suelo a capacidad de campo, sin que haya escurrimiento; y a medida que ésta disminuye, se incrementa el volumen aplicado, debido a que a menor eficiencia de aplicación hay mayores pérdidas de agua por escurrimiento.

En este caso, para una eficiencia de aplicación de agua del 100 %, se aplicarían  $414.53 \text{ cm}^3$  de agua. Para una eficiencia de aplicación de agua del 50 %, tenemos lo siguiente:

$$414.53 \text{ cm}^3 \text{ de agua} \text{ ----- } 100 \% \text{ de eficiencia de aplicación}$$

$$x \text{ ----- } 50 \% \text{ de eficiencia de aplicación}$$

$$x = 829.06 \text{ cm}^3$$

Los resultados se sintetizan en el siguiente cuadro.

Cuadro 15. Cantidad de suelo y agua utilizados en el llenado de las columnas y aplicación de riegos

Profundidad (cm)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Peso del suelo (g)	espacio poroso (%)	Volumen de agua aplicado (cm <sup>3</sup> )
0 - 20	1.11	1 745.15	52.78	829.06
20 - 40	1.12	1 979.20	51.58	810.21
40 - 60	1.16	1 827.13	52.43	823.56
60 - 80	1.19	1 881.81	49.68	780.37

Volumen total de agua aplicado por columna = 3 243.20 cm<sup>3</sup>

Conductividad eléctrica del agua de riego = 315.6  $\mu$ mhos/cm

pH del agua de riego = 7.6

Cuadro 16. Análisis de variación para el contenido de materia orgánica del suelo (0-20cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.169625	0.18461	7.53	4.26*	8.02ns
Error	9	0.220675	0.24519			
Total	11	0.5903				

\*Significativo

ns= No significativo

Cuadro 17. Análisis de variación para el contenido de Nitrógeno del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	$1.0167 \times 10^{-3}$	$5.08 \times 10^{-4}$	12.95	4.26*	8.02**
Error	9	$3.533 \times 10^{-4}$	$3.92 \times 10^{-5}$			
Total	11	$1.37 \times 10^{-3}$				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 18. Análisis de varianza para el contenido de fósforo del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	1.8196	0.9098	26.59	4.26*	8.02**
Error	9	0.3079	0.0342			
Total	11	2.1275				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 19. Análisis de varianza para el contenido de potasio del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.26622	0.13311	8.17	4.26*	8.02**
Error	9	0.14647	0.01627			
Total	11	0.4127				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo



Cuadro 20. Análisis de varianza para el contenido de calcio del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	13.545	6.7725	0.22	4.26*	8.02ns
Error	9	8.933	0.9926			
Total	11	22.478				

\*Significativo

ns=no significativo

Cuadro 21. Análisis de varianza para el contenido de magnesio del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	8.1597	4.0798	1.55	4.26ns	8.02ns
Error	9	23.659	2.6278			
Total	11	31.819				

ns= no significativo

Cuadro 22. Análisis de varianza para el contenido de sodio del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.1338	0.0659	4.05	4.26ns	8.02ns
Error	9	0.092	0.1064			
Total	11	1.0923				

ns= no significativo

Cuadro 23. Análisis de varianza para la Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	23.89	11.945	0.75	4.26ns	8.02ns
Error	9	141.50	15.722			
Total	11	165.30				

ns= no significativo

Cuadro 24. Análisis de varianza para el pH real  
del suelo (0-20 cm)

F.F.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	FT	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.3031	0.1515	13.77	4.26*	8.02**
Error	9	0.0093	0.0110			
Total	11	0.4025				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 25. Análisis de varianza para el pH potencial  
del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	FT	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.8154	0.4077	41.34	4.26*	8.02**
Error	9	0.0887	0.0098			
Total	11	0.9041				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 26. Análisis de varianza para la conductividad eléctrica del suelo (0-20 cm)

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	F <sub>T</sub>	
					0.05	0.01
Tratamientos	2	0.1188	0.0594	9.46	4.26*	8.02**
Error	9	0.0564	0.0062			
Total	11	0.1753				

\*Significativo

\*\*Altamente significativo

Cuadro 27. Comparación de promedios por el Método de Tukey\*

Tratamiento	Materia orgánica (%)	Nitrógeno total (%)	Fósforo aprovechable (ppm)	Potasio intercambiable (meq/100g)
60 Tn/Ha de composta	2.16 a	0.15 a	2.86 a	1.13 a
20 Tn/Ha de composta	1.86 ab	0.14 b	2.34 b	0.86 b
Centigo, sin composta	1.74 b	0.13 b	1.95 c	0.79 b

\* A un valor de  $\alpha = 0.05$