



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

IMPACTO DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL PRETRATADA EN LOS SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 100 DE ALFAJAYUCAN, HIDALGO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

ERNESTO JULIO HERNANDEZ MORENO

DIRECTOR DE TESIS: DRA. CHRISTINA DESIREE SIEBE GRABACH



MEXICO,



FACULTAD DE CIENCIAS SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

MAT. MARGARITA ELVIRA CHÁVEZ CANO
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:
IMPACTO DEL RIEGO CON AGUA RESIDUAL PRETRATADA EN LOS SUELOS DEL
DISTRITO DE RIEGO 100 DE ALFAJAYUCAN, HIDALGO.

realizado por ERNESTO JULIO HERNANDEZ MORENO.

con número de cuenta 8330303-8 , pasante de la carrera de BIOLOGIA

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis

Propietario DRA. CRISTINA DESIREE SIEBE GRAMM. *Cristina Siebe*

Propietario DR. JORGE ENRIQUE CARRA CASTRO. ~~Jorge Enrique Carra Castro~~

Propietario DR. SICHRIED SIERRA GALVAN. *Sichried Sierra Galvan*

Suplenté DRA. SILKE GRAM HEYDRICH. *Silke Gram*

Suplente M. EN C. IRENE SANCHEZ GALLEN. *Irene Sanchez Galen*

Consejo Departamental de BIOLOGIA

Edna Maria Suarez Diaz

DRA. EDNA MARIA SUAREZ DIAZ

289835

FACULTAD DE CIENCIAS
U. N. A. M.



DEPARTAMENTO
DE BIOLOGIA

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS

ARTÍCULO 3°.- La educación que imparta el Estado—Federación, Estados, Municipios—tenderá a desarrollar armónicamente todas las facultades del ser humano y fomentará en él, a la vez, el amor a la Patria y la conciencia de la solidaridad internacional, en la independencia y en la justicia.

I.- La educación será laica.

VII.- Toda la educación que el Estado imparta será gratuita.

“ LA PATRIA ES PRIMERO “

**A mis padres
Aurora y Javier**

**Mis hermanos (as)
y sus respectivas familias**

**Rosa
Juana
Andrés
Lugardo
Victor
Maria del Pilar**

Tía Leonor

Beatriz (musa)

A todos con cariño y respeto

A la **Universidad Nacional Autónoma de México**, y sus diferentes dependencias, en particular a la Escuela Nacional Preparatoria No. 4, Facultad de Ciencias e Instituto de Geología en las cuales obtuve mi formación.

A la **Dra. Christina D. Siebe Grabach**, por el tema de investigación real y práctico, que desarrolle.

A la **M. en C. Silvia Ma. de la Paz Sánchez Beltrán**, por su calidad humana, quien hizo mi estancia en el instituto agradable y con su apoyo lograr el triunfo. Igualmente agradecerle la invitación para participar en su equipo de investigación, que originalmente fue formado por las siguientes personas:

M en C. Kumiko Shimada M, M en C. Ma. Angélica del C. Arias H., Pedro Avilés J., Matilde Juárez y Química Irma Aguilera O., las cuales, también me dieron su apoyo.

A los miembros del jurado:

Dra. Christina D. Siebe Grabach.

Dr. Jorge Enrique Gama Castro.

Dr. Sigfrido Sierra Galván.

Dra. Silke Cram Heydrich

M en C. Irene Sánchez Gallen

Igualmente a las siguientes personas **Dr. David Flores, M en C. Lourdes Flores, Dr. Otilio Arturo Acevedo Sandoval, M en C, Sergio Palacios, M en C. Ernestina Vallejo y al M en C. Gerardo Cruz Flores** de la FES Zaragoza.

Al personal del área de computo del Instituto, **Rosario Flores, Francisco Montaña y Enrique Gomora.**

A las amistades **Alejandro Arévalo, Francisco García, Rutilio Ortiz, Claudia Hernández, Lourdes Salinas, Roberto Cabrera y Ramón Abreu** por su constante apoyo.

A mis sinceras amistades, pasadas y presentes que a lo largo de mi vida me dieron palabras de aliento para seguir ¡a d e l a n t e!

En general a todo el personal del Instituto de Geología.

PD. Claro que no olvido a las buenas amistades de **Lago Banguelo y Moras.**

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN	1
1- INTRODUCCIÓN	2
2- OBJETIVOS	3
2.1- Hipótesis	3
3- DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	4
3.1- Localización	4
3.2- Geología	4
3.3- Hidrología	5
3.4- Suelo	6
3.5- Uso del suelo	7
3.6- Clima	7
4- METODOLOGÍA	9
4.1- Observaciones en el sitio de muestreo	9
4.2- Procesamiento de las muestras en laboratorio	9
4.3- Análisis físicos	9
4.4- Análisis químicos	10
4.5- Comparación de resultados	11
4.6- Análisis estadísticos	11
5- RESULTADOS	12
5.1- Perfil Alfajayucan	12
5.2- Perfil Boxthó	15
5.3- Perfil San Agustín	18
5.4- Muestras compuestas de los suelos Fluvisol, Vertisol y Phaeozem	22
5.5- Comparación de algunas variables del suelo, en unidades de suelo similares de los Distritos de Riego de Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan	25

6- DISCUSIÓN	36
6.1- Perfiles	36
6.2- Muestras compuestas del Distrito de Alfajayucan	38
6.3- Comparación entre los tres Distritos de Riego, Alfajayucan, Tula y Tecozautla	39
7- CONCLUSIONES	42
8- LITERATURA CITADA	43
ANEXO	
I Descripción de los perfiles del Municipio de Alfajayucan Hidalgo	A
II Datos de muestras compuestas	F
III Datos del Distrito de Riego 03 de Tula	K
IV Datos del Distrito de Riego Tecozautla	N
V Datos de concentración de metales pesados Alloway, 1990	O
VI Datos de los análisis estadísticos	P
MAPAS	
Geológico	
Edafológico	
Uso del suelo	

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivos principales conocer las características físicas y químicas de las principales unidades de suelo presentes en el Distrito de Riego (DDR) 100, Alfajayucan; así como determinar el impacto del riego con agua residual pretratada utilizada en estos suelos. Los resultados obtenidos se comparan con datos de suelos del DDR 03 de Tula y del DDR de Tecozautla en donde se utiliza agua cruda y agua de pozo, respectivamente.

El DDR 100 de Alfajayucan se ubica en el valle del Mezquital, estado de Hidalgo, limitando al norte con el municipio de Ixmiquilpan, al sur con la localidad de Chapantongo, al este con Yonthé chico y al oeste con la localidad de Mayorazgo. Presenta las formaciones geológicas denominadas grupos Pachuca y Don Guinyo, formaciones Atotonilco el Grande y Tarango, presentando principalmente roca basáltica, caliza y conglomerado. Esta zona de estudio pertenece a la región hidrológica del río Pánuco teniendo como afluentes principales el río Tula y el río Moctezuma. Se presentan cuatro series de suelo que son Tepatepec, Alfajayucan, Progreso y Tobas. El valle del Mezquital se caracteriza por ser una zona árida de escasas lluvias, por lo cual es de suma importancia la introducción de agua residual, proveniente de la ciudad de México. Esta agua pasa por un tratamiento de tipo sedimentario durante su almacenamiento en las presas Endhó y Rojo Gómez. La producción agrícola, en esta zona, se incrementa por el aporte de este tipo de agua residual. Teniéndose como cultivos principales: alfalfa, maíz, frijol, jitomate, chile y tomate.

Como resultados se obtiene que las unidades de suelo en este distrito se clasifican como Fluvisol, Vertisol y Phaeozem. Los suelos no presentan problemas de salinidad o de sodicidad, en general la presencia de nutrimentos es suficiente, los niveles de los metales Pb, Cd, Cu, Co, Ni y Zn son normales. En cambio, en la comparación realizada con los otros dos distritos de Tula y Tecozautla, se observa que el distrito de Tula presenta mayor concentración de los metales Pb, Cd, Cu y Zn así como de sales y nutrimentos, como consecuencia de utilizar más tiempo agua cruda en este distrito. Pero en los suelos del DDR 03 de Tula que presentan un mismo tiempo de riego, que el distrito de Alfajayucan de 20 años aproximadamente, se observó que para los dos distritos el pH es alcalino, ligeramente mayor en el distrito de Tula, así como la conductividad eléctrica. El carbón orgánico y nitrógeno total son similares en ambos distritos. En cambio el fósforo y la relación carbono-nitrógeno es mayor en el distrito 03, así como las concentraciones de los cationes intercambiables de sodio y potasio. El magnesio intercambiable es mayor en el distrito 100 y el calcio es similar en ambos distritos. Finalmente las concentraciones de los metales Pb y Cd en ambos distritos son similares, no así las concentraciones de Cu y Zn, las cuales son mayores en el distrito 03 de Tula.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de aguas residuales, o "aguas negras", con fines agrícolas comenzó en Australia, la India, Francia, Alemania, el Reino Unido y los Estados Unidos de América a finales del siglo XIX y en México en 1904. Con el reuso de agua secundaria o agua negra se satisfacen no sólo fines agrícolas, sino también usos industriales, recreativos, lacustres y piscícolas (Carrasco, 1971; OMS, 1989). En los últimos 20 años se ha observado un incremento del interés por el uso y aprovechamiento de las aguas residuales para el riego de cultivos en regiones áridas y semiáridas, debido a la agudización de la escasez de agua y la necesidad de aumentar la producción de alimentos (OMS, 1989).

La práctica de esta actividad trae beneficios, como el aumento de agua disponible para riego, la liberación de agua de mejor calidad para uso como agua potable y el reciclado de nutrientes, como por ejemplo, nitrógeno y fósforo, entre otros. Desafortunadamente, la realización de esta actividad presenta problemas, como son: el aumento de enfermedades ocasionadas por organismos patógenos, entre los que destacan las bacterias como *Salmonella* spp, *Vibrio cholera* así como quistes de Protozoarios de *Entamoeba histolytica*, huevos de Helminetos de *Áscaris lumbricoides* y de *Taenia saginata*. También aumenta el contenido de sales y de metales pesados en el suelo y las plantas (Mejía *et al.*, 1990), provocando contaminación y alteraciones en las propiedades físicas y químicas del suelo, por ejemplo densidad aparente, infiltración, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. (Valenzuela y Uvalle, 1992).

Una solución a los problemas descritos es mejorar la calidad del agua residual por medio de tratamientos previos en los cuales se realiza una sedimentación y desinfección. Durante el tratamiento se remueven sólidos suspendidos y sólidos disueltos, así como metales pesados y compuestos orgánicos. Desafortunadamente, la construcción de plantas de tratamiento involucra un alto costo económico y se pierden nutrientes durante el proceso de tratamiento del agua (Flores, 1993). Otra posible solución es la de limitar el uso del agua residual a zonas agrícolas que producen cultivos que no requieren de un nivel alto de tratamiento del agua, por ejemplo, fibras y plantas de ornato.

Particularmente, las aguas negras producidas en la Ciudad de México son enviadas al Valle del Mezquital, zona localizada en el estado de Hidalgo. A principios del siglo XX las aguas negras eran conducidas por el Gran Canal del Desagüe, el cual tiene una longitud de 47.5 km y desemboca en el río El Salado, afluente del río Tula. En el año de 1967 se inició la construcción del Emisor Central, obra que fue terminada en 1975. Este ducto de 68 km de largo y una capacidad de 220 m³, colecta el agua excedente de distintas partes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) y la conduce cerca de la presa Requena en el estado de Hidalgo.

La Cuenca de México cuenta actualmente con cuatro salidas para las aguas residuales y todas son hacia el Valle del Mezquital (Maples, 1990). Al incrementar los volúmenes de agua disponibles para riego con los aportes de agua residual, el Valle del Mezquital se convierte en una de las regiones agrícolas más productivas del país.

En el Distrito de Riego (DDR) 100 Alfajayucan, perteneciente al Valle del Mezquital, se inició el riego con aguas residuales a principios de la década de los 70's, abarcando una superficie de 25,386 hectáreas, aproximadamente. El agua utilizada en esta zona, recibe un tratamiento previo de tipo sedimentario, es decir, el agua residual es almacenada durante un tiempo en las presas Endhó y Rojo Gómez (SARH, 1994). En el DDR 03 de Tula, donde se utiliza agua residual sin tratamiento desde 1912, se ha observado que, en algunas zonas los suelos presentan problemas de salinización, contaminación por metales pesados y de fertilidad (Méndez, 1982; Siebe, 1995). Estos problemas no se presentan en suelos de zonas agrícolas que son regados con aguas blancas de pozo, como por ejemplo, el DDR de Tecozautla (Hernández, 1998).

2. OBJETIVOS

Objetivo General:

Caracterizar las principales unidades de suelo presentes en el Distrito de Riego (DDR) 100 de Alfajayucan, Hidalgo, México, así como conocer el impacto del riego con agua pretratada, en esta zona, y compararlas con suelos del DDR 03, regados con agua residual cruda, y con suelos del DDR de Tecozautla, regados con agua de pozo.

Objetivos específicos:

- ♣ Determinar las características físicas y químicas de los suelos que son regados con aguas residuales pretratadas en el Distrito de Riego 100, Alfajayucan.
- ♣ Cuantificar la cantidad de metales pesados, sales y nutrimentos en los suelos pertenecientes al DDR 100 Alfajayucan.
- ♣ Comparar los resultados obtenidos en el DDR 100 Alfajayucan de metales pesados, sales y nutrimentos, con los reportados en investigaciones realizadas en el DDR 03 de Tula y el DDR de Tecozautla, regado con agua de pozo.
- ♣ Determinar el impacto del riego con agua pretratada sobre la calidad de los suelos del Distrito de Riego 100.

2.1 Hipótesis

- Si el uso continuo de aguas residuales crudas en el riego agrícola, provoca cambios en las características físicas y químicas en los suelos, entonces se espera observar un incremento en las concentraciones de metales pesados, sales y nutrimentos.

Si el uso de aguas pretratadas reduce considerablemente la entrada de metales pesados, entonces se espera obtener niveles normales de éstos pero no así la reducción de sales y nutrimentos.

3. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1 Localización

El municipio de Alfajayucan se encuentra localizado al noreste del estado de Hidalgo, entre los paralelos 20° 25' - 20° 23' de latitud norte y 99° 20' - 99° 22' de longitud oeste, a una altitud promedio de 1745 m. Al norte limita con el municipio de Ixmiquilpan, Progreso y Yonthé Grande, al sur con las localidades de San Pablo Oxtotipan y Chapantongo, al este con la localidad de Yonthé Chico y un conjunto de cerros denominados, Colorado, Grande Monte Cuadrado y de La Cruz, al Oeste con la localidad de Mayorazgo y el cerro de la Loma Rabona. Cerca del municipio de Alfajayucan se encuentran pequeños poblados como San Agustín, Xamaje, Boxthó y Zocea (Mapa No. 1 del anexo).

3.2 Geología

En la localidad de Alfajayucan se presentan los siguientes grupos y formaciones geológicas (Seegerstrom.1962) (Mapa No. 1 del anexo):

Grupo Pachuca: este grupo presenta roca volcánica de tipo basáltica y riolita. Las rocas de este grupo se subdividen en siete formaciones, compuestas principalmente por andesita y riolita.

En la Sierra de Juárez se presenta un espesor de 1000 m o más de riolita y andesita, en la Sierra de Actopan de 500 m de basalto y andesita, en la Sierra de Xinthé de 600-700 m de andesita. La edad del grupo se coloca en la era Terciaria del período Oligoceno.

Formación Tarango: está formada por depósitos clásticos dispersos, como es, roca caliza localizada en forma de capas o intercalada con basalto, cubriendo una parte amplia del área.

Esta formación se encuentra al norte, dividiendo el Valle del Mezquital a una altitud de 1950 m, ocupando zonas bajas de la cuenca. El Valle del Mezquital se encuentra seccionado por el río Tula y sus afluentes. El grado de excavación y remoción de la formación Tarango es más avanzada al norte (área Ixmiquilpan-Tasquillo), donde los depósitos clásticos presentan un máximo de espesor de 400 m (área Atocpan-Tula).

Formación Atotonilco el Grande: es semejante a la Tarango, teniendo un alto contenido de material clástico no consolidado, pero difiere de ésta porque presenta un alto contenido de roca basáltica.

La edad de ambas formaciones es del Plioceno, incluyendo depósitos del Plioceno temprano.

Grupo Don Guinyó: esta formación se observa en un área pequeña en la localidad de Alfajayucan; es de composición pumítica con alto contenido de plagioclasas, calculándose su edad a partir del Oligoceno.

3.3 Hidrología

La zona de estudio pertenece a la región hidrológica 26-Pánuco (RH26), de la cuenca D del río Moctezuma y la subcuenca -i- del río Alfajayucan, este último con un área de 856 km² pertenecientes a la vertiente del Golfo de México (SPP, 1983) .

La región hidrológica del río Pánuco comprende la mayor parte del área de estudio, perteneciendo a la cuenca el río Moctezuma que, al confluir con el río Tamuín, forma el río Pánuco. Las aportaciones de esta zona al río Moctezuma provienen de las subcuencas de los ríos Extoraz, San Juan, Prieto, Arroyozarco, Tecolutla, Alfajayucan, Tula, Rosas, El Salado, Actopan, Amojac, Tezontepec, Meztitlán, Calabozo y Hules.

El río Moctezuma capta el escurrimiento generado y lo conduce al río Pánuco del que es afluente directo. Las corrientes permanentes de esta región hidrológica son los ríos Tolimán, Moctezuma, San Francisco, Ñado, San Juan, Alfajayucan, Rosas, Tula, Amajac, Tulancingo-Venados, Santiago, El Águila, Huazalingo, Atlapexco, Contzintla, Tizapán, Mimiaguaco y Calabozo.

La dirección de estos escurrimientos es tanto rumbo noreste como noroeste, y en general tienden a encontrar al colector principal. La red de estaciones hidrométricas está constituida por 29 estaciones, de las cuales 21 están en ríos y 8 en canales. Asimismo 26 pertenecen a la región del Pánuco y 3 a la de Tuxpan-Nautla.

Las obras hidráulicas más relevantes en el área estudiada son las presas Endhó, Huapango y San Idelfonso cuyas capacidades de 208.0, 121.3 y 47.8 millones de metros cúbicos, respectivamente, son aprovechadas para el riego de importantes extensiones. Existe una gran cantidad de pequeñas obras de almacenamiento y derivación en el suroeste que, de manera conjunta, benefician a los distritos de riego de la zona. Entre éstas se puede mencionar las presas El Centenario, Francisco I. Madero, Vicente Aguirre, Javier Rojo Gómez, Nopala, El Márquez, El Molino, entre otras (SPP, 1983).

Una de las salidas del agua residual provenientes de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), es por el emisor central, el cual conduce estas aguas al Valle del Mezquital, cerca de la presa Requena el agua residual se almacena en las presas Endhó, la Rojo Gómez y Vicente Aguirre con una capacidad total de almacenamiento de 2,726 millones de m³ aproximadamente. Este conjunto de presas comunicadas entre sí, refuerza el almacenamiento y control del agua residual distribuyéndola por una red de canales a las áreas agrícolas (Flores *et al.*, 1992) Datos obtenidos (SARH, 1985 en Siebe, 1994). Las características de estas aguas, se pueden observar en los cuadros 1, 2 y 3.

Cuadro 1. Características de las aguas negras de la Ciudad de México (SARH, 1985 en Siebe, 1994)

Elementos	Unidades	Emisor	Canal	Presa	Presa	Dren
		Central	Tlamaco-Juandhó	Endhó	Requena	Tepa-Lagunilla
pH		7.2	7.4	7.15	7.2	7.5
C.E.	uS/cm	605	1483	760	445	1720
Ca ²⁺	meq/L	1.88	2.66	2.39	1.61	5.05
Mg ²⁺	meq/L	1.51	2.1	1.87	0.84	3.14
Na ⁺	meq/L	2.56	8.9	3.12	1.71	8.35
K ⁺	meq/L	0.4	1.09	0.53	0.2	0.66
CO ₃ ²⁻	meq/L	0.75	2.11	1.24	0	2.25
HCO ₃	meq/L	3.1	4.84	3.18	2.38	3.9
SO ₄ ²⁻	meq/L	0.42	0.45	0.48	0.33	0.81
Cl ⁻	meq/L	1.87	6.43	2.9	1.44	7.85
NO ₃	meq/L	0.01	0.01	0.01	0.01	1.84

Cuadro 2. Características de las aguas negras de la Ciudad de México (SARH, 1985 en Siebe, 1994)

Elementos	Unidades	Emisor	Canal	Presa	Presa	Canal
		Central	Tlamaco-Juandhó	Endhó	Requena	Tepa-Lagunilla
Sólidos						
disueltos	mg/l	408	1009	502	288	1114
suspendidos	mg/l	46	251	268	37	228
sedimentables	mg/l	44	128	78	66	80
total	mg/l	682	1488	608	372	1312
B	mg/l	0.25	0.78	0.25	0.28	0.33
Aceites y grasas	mg/l	7.06	14.1	7.6		5.27
C _{org}	mg/l	5.2	18.9			
ABS	mg/l	15.3	25.7	18.5	7.48	1.68
P _t	mg/l	3.7	2.48	7.04	11.5	
N _t	mg/l	18	29.3	15.6	17	10.9
N-NH ₃	mg/l	7.51	17.5	8.21	5.02	2.43
N-NO ₃	mg/l	0.03	0.015	0.015	0.015	10.11

Cuadro 3. Concentraciones promedio (\bar{x}) por canal y desviación estándar (SD) de metales pesados, valores de pH y conductividad eléctrica en el agua, de los canales (Siebe, 1994)

Canales	pH		C.E		Metales				Pesados			
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	Pb		Cd		Cu		Zn	
			mS/cm		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
					mg/l							
Endhó	7.94	(0.11)	1.17	(0.06)	0.03		<0.005		0.02	(0.01)	0.04	(0.01)
Del Centro	7.86	(0.07)	1.14	(0.06)	0.03		<0.005		0.01		0.02	
Requena	8.05	(0.16)	1.58	(0.19)	0.08	(0.03)	<0.005		0.13	(0.08)	0.31	(0.14)
Tlam.-Juandhó	8.37	(0.08)	1.57	(0.23)	0.09	(0.01)	<0.005		0.12	(0.03)	0.30	(0.04)

Como se puede observar las aguas del Emisor Central, Requena y Endhó son de tipo salino (Richards, 1954), y su uso puede provocar el desarrollo de condiciones de salinidad en los suelos, con consecuencias para el desarrollo de los cultivos, por ejemplo el crecimiento de las plantas.

3.4 Suelo

Según Carrasco (1971) los suelos de la región se originan a partir de rocas ígneas, principalmente tobas y basaltos (Mapa No. 2 del anexo) (CETENAL 1974 b).

Se reportan cuatro series de suelos y sus características son las siguientes:

Serie Tepatepec: se presenta en sitios de topografía casi plana, con pendiente media menor de 2%, no presentan problemas de salinidad, son de textura media en la que predomina la franca, el drenaje interno es bueno, mientras que el drenaje superficial varía de regular a deficiente, y tiene una profundidad media de un metro. Desde el punto de vista agrícola se les clasificó de clase 1a y 2a; teniendo como factores limitantes el espesor del suelo, topografía y susceptibilidad a la erosión.

Serie Alfajayucan: Se localizan en las vegas de arroyos y ríos de la zona, su topografía es casi plana con pendiente menor del 2%, sin problemas de salinidad, con drenaje interno bueno y profundidad media de 1.50 m. La textura varía de franca a franco arenoso. Desde el punto de vista de su potencial agrícola se clasifican como suelos de clase 1a y 2a. La principal limitante para su uso agrícola consiste en que esta área está sujeta a inundaciones (en épocas de lluvia).

Serie Progreso: son suelos que yacen sobre una capa caliza dura, que cubre a la toba. Se localizan en las partes altas, en lomas y cerros. Su topografía es ondulada e inclinada, en algunas partes accidentada, con pendientes que varían de 2 a 12%. El drenaje interno es regular y el desagüe superficial es eficiente. La textura que presentan estos suelos va de franco arenoso a arcillosa con una profundidad máxima de 0.60 m. Su clasificación agrícola es de clase 2a y 3a, debido a factores limitantes como espesor del suelo, topografía, pedregosidad y susceptibilidad a la erosión.

Serie Tobas: este tipo de suelo se localiza entre las poblaciones de Tlacotalpilco y Texcatepec. Son suelos muy delgados, de textura ligera, van de arena francosa a franco arenosa, tienen drenaje interno rápido y drenaje superficial excesivo, por localizarse en zona montañosa, con numerosas cañadas y pendientes. Presentan evidencias de erosión y en algunas partes aflora la toba.

Su clasificación agrícola es de clase 3a y 4a teniendo en cuenta como factores limitantes al espesor del suelo, la topografía y la susceptibilidad a la erosión.

3.5 Uso del suelo

En el municipio de Alfajayucan, el suelo es utilizado para la agricultura, (datos obtenidos de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos SARH, 1995 - Comisión Nacional del Agua, periodo Agrícola, primavera-verano 1994). Los principales cultivos de riego están indicados en los cuadros 4 y 5, en donde el cultivo de maíz presenta la mayor superficie de cultivo, aunque es el cultivo de tomate el que requiere mayor cantidad de agua y riegos. En los mismos cuadros (4 y 5) se describe como se distribuye el agua de riego en la superficie cultivada:

Cuadro 4. Principales cultivos en el ciclo agrícola primavera-verano en el Distrito de Riego (DDR) 100 Alfajayucan, Hgo. (Fuente: SARH, 1995)

CULTIVO	Superficie física (ha)	Láminas bruta (m ³)	de riego: neta (m ³)	No. de riegos Año 1994
Maíz	12371	137.1	79.3	4.26
Frijol	361	80.4	46.5	2.51
Jitomate	639	152.7	68.3	4.90
Tomate	593	159.3	92.1	5.12
Chile	329	142.6	82.4	4.59
Calabaza	177	152.5	88.2	4.92
Varios	97	103.1	59.6	3.39
Total	14567	927.7	516.4	

Cuadro 5. Cultivos perennes en el ciclo agrícola primavera-verano en el Distrito de Riego (DDR) 100 Alfajayucan (Fuente: SARH, 1995).

CULTIVO	Superficie física (ha)	Láminas de riego bruta (m ³)	de riego neta (m ³)	No. de riegos Año 1994
Alfalfa	5180	270.3	159.7	8.37
Frutales	105	161.6	93.4	5.49
Total	5285	431.9	253.1	

La vegetación natural es nopalera, matorral espinoso y matorral subinerme, entre otros. Existen algunas zonas de uso pecuario, entre el cual se encuentra el pastizal cultivado, el pastizal inducido y el pastizal natural. Cerca de la presa Gobernador Vicente Aguirre se encuentra una zona desprovista de vegetación (Mapa No. 3 del anexo) (CETENAL 1975).

3.6 Clima.

El clima es templado con verano fresco; la temperatura media de cualquier mes nunca es menor de 13 °C, ni mayor de 21 °C. El mes más caluroso es mayo con temperatura media de 21 °C y el más frío es enero con temperatura media de 4.9 °C. La temperatura máxima promedio en los meses calurosos sube a 28 °C y 29 °C. La precipitación media anual recibida en el municipio de Alfajayucan es de 515.8 mm. El periodo de lluvia comienza en abril y termina en octubre; en este lapso cae el 64% de la precipitación anual. El mes más lluvioso es junio con 92.7 mm y el mes más seco es febrero con 7 mm (Sierra, 1975).

En la localidad de Alfajayucan se encuentran dos estaciones meteorológicas, que son Presa Golondrinas y Alfajayucan - Rancho Chico (García, 1988), de las cuales se obtuvo la siguiente información (Figuras 1 y 2).

Estación Meteorológica Alfajayucan - Rancho Chico -

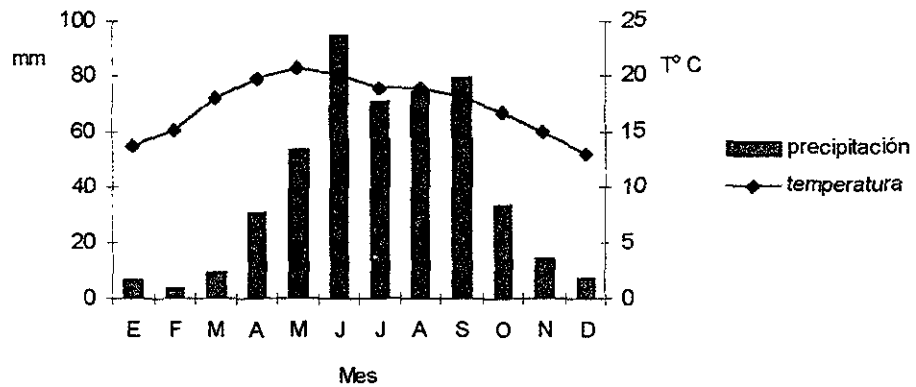


Figura 1: Climograma de la estación meteorológica Alfajayucan -Rancho Chico- (García, 1988).

Estación Meteorológica - Presa Golondrinas -

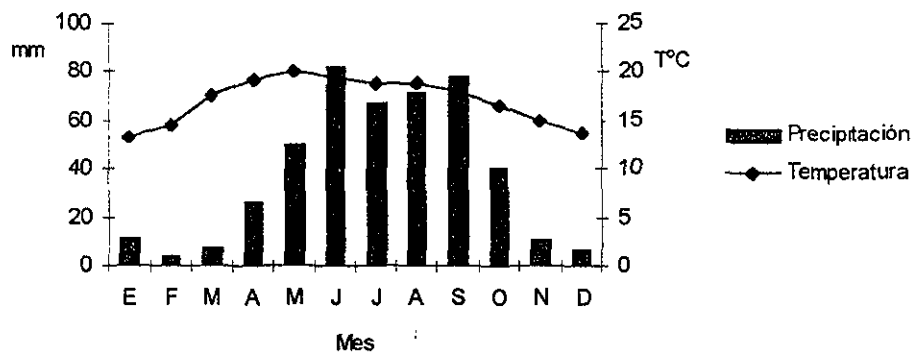


Figura 2: Climograma de la estación meteorológica -Presa Golondrinas- (García, 1988).

4. METODOLOGÍA

Se seleccionaron tres unidades de suelo representativas de la zona de estudio, tomando como base, el mapa edafológico (CETENAL, 1974 b) los cuales son:

- a) Fluvisol, se muestreó en la localidad de Alfajayucan, localizado a 20°25' lat. N y 90° 21' 40" long. Oeste.
- b) Vertisol, se muestreó en la localidad de Boxthó, localizado a 20° 23'23" lat. N y 99° 23'36" long, Oeste.
- c) Phaeozem, se muestreó en la localidad de San Agustín, ubicado en las coordenadas 20° 22' lat. N y 99° 20' long. Oeste.

En cada lugar se describió un perfil, siguiendo las indicaciones dadas por Siebe y col. (1996), de cada uno se tomaron muestras de suelo por cada horizonte identificado, de aproximadamente 1 kg por muestra, excepto en el perfil San Agustín, donde no se tomó muestra del horizonte C.

Cada muestra de suelo (guardada en una bolsa de plástico), se etiquetó con los siguientes datos: localidad, fecha, autor, perfil, profundidad y horizonte.

También de cada horizonte de los 3 perfiles, se tomaron 4 muestras inalteradas con cilindros de capacidad de 100 cm³. Los cilindros se cubrieron con papel aluminio para su traslado.

Además se tomaron muestras compuestas de suelo (Mapa No. 2 del anexo) de la capa superficial (0-20 cm), en las siguientes localidades Alfajayucan, Boxthó, Baxté, Mayorazgo, San Agustín y Zozea, midiendo las parcelas 480 m² aproximadamente.

El procedimiento fue el siguiente: de cada parcela se fueron tomando núcleos de suelo con un nucleador en los puntos de intersección de una malla regular imaginaria (mínimo 12 núcleos componen una muestra compuesta).

4. 1. Observaciones en el sitio de muestreo

La parcela en la que se realizó el perfil Alfajayucan se encontraba cultivada con alfalfa. La parcela estaba limitada por árboles. Esta parcela se encuentra cerca de la presa Golondrinas, y en ocasiones el agua de la presa llega a inundar la parcela. Se observaron eflorescencias de sales en algunas zonas de la parcela, al igual que evidencias de erosión.

La parcela del perfil Boxthó estaba recién sembrada y regada, limitada escasamente por árboles, no se observó evidencia de erosión.

La parcela del perfil San Agustín estaba sembrada con maíz; no se observó evidencia de erosión.

4.2. Procesamiento de las muestras en laboratorio.

En el laboratorio las muestras de suelo se secaron a temperatura ambiente, después se pasaron por un tamiz de abertura de malla de 2 mm. Después todas las muestras se homogeneizaron y una alícuota de 50 g de cada muestra se molió con un molino de rocas usando el envase de carburo de tungsteno.

4.3 Análisis físicos

-Identificación del color en seco y húmedo por comparación con las tablas de colores (Munsell, 1990).

-Determinación de la textura por el método de Bouyoucos, destruyendo primero la materia orgánica con H₂O₂ y dispersando la muestra con hexametáfosfato de sodio (Bouyoucos, 1963)

-Determinación por gravimetría de la densidad real por el método de los picnómetros (Black, 1965).

-Determinación por gravimetría de la densidad aparente por el método del cilindro (promedio de 4 repeticiones) (Schlichting *et al.*, 1995).

-Capacidad de Campo.

Determinación por gravimetría en muestras de suelo inalteradas (cilindros de 100 cm³), saturadas con agua destilada y sometidas a una presión de 0.3 bar (Schlichting y Blume, 1966)

Punto de Marchitez Permanente.

Determinación gravimétrica en muestras de suelo inalteradas, saturadas con agua destilada y sometidas a una presión de 15 bar (Schlichting y Blume, 1966)

-Agua aprovechable.

Se obtuvo por diferencia entre la Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente (Schlichting y Blume, 1966)

4.4 Análisis químicos

-Determinación de pH en el sobrenadante de una solución de cloruro de calcio 0.01M (relación suelo: solución, 1:2.5) con un potenciómetro (Schlichting *et al.*, 1995).

-Determinación de la conductividad eléctrica en extractos de saturación con un puente de conductividad de Wheatstone (Richards, 1982).

-Determinación de cationes y aniones solubles (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻ y SO₄²⁻) en extractos de pastas de saturación:

Ca y Mg por espectrofotometría de absorción atómica (EAA). Na y K por flamometría. CO₃²⁻ y HCO₃⁻ por titulación con H₂SO₄. Cl⁻ por titulación con AgNO₃. SO₄²⁻ gravimétricamente tras haberlo precipitado con BaCl₂ (Bouwer y Fireman, R, 1952)

-Determinación del carbón orgánico por oxidación húmeda con dicromato de potasio y determinación fotométrica de la extinción de los iones Cr³⁺, cálculo del contenido de carbón orgánico a través de una curva patrón elaborada con glucosa. (Método Lichterfelder reportado en Schlichting y Blume, 1966).

-Determinación de cationes intercambiables: extracción por medio de acetato de amonio 1N a pH 7.0. Determinación de Ca y Mg por EAA adicionando LaCl₂ y de K y Na por flamometría adicionando CsCl₂ (Bouwer y Fireman, R, 1952).

-Determinación de Al, Fe, Si y Mn contenido en óxidos e hidróxidos amorfos, así como en alófono e imogolita: extracción con oxalato de amonio a pH 3.25 a temperatura ambiente y en la oscuridad. Determinación de Fe, Al, Mn y Si por EAA (Schwertmann, 1964 en Schlichting y Blume, 1966)

-Determinación de Fe, Al y Mn contenido en óxidos e hidróxidos cristalinos del suelo: extracción con ditionito de Na a pH 7. Determinación de Fe, Al, Mn y Si por EAA (Schlichting y Blume, 1966).

-Determinación de nitrógeno total por el método de Kjeldahl (Black, 1965).

-Determinación de fósforo disponible por el método de Olsen: extracción con NaHCO_3 0.5 M y determinación colorimétrica de complejos de P con molibdato de amonio (Black, 1965).

-Extracción de los metales pesados Cd, Pb, Cu, Ni, Co, Zn con agua regia (HCl: HNO_3 conc., relación 3:1). Determinación con EAA (Schlichting *et al.*, 1995).

4.5 Comparación de resultados

Se comparan los resultados obtenidos del Distrito de Riego (DDR) 100 Alfajayucan con suelos presentes en los DDR 03 de Tula (agua sin tratamiento Siebe, 1994) y el DDR Tecozautla (agua de pozo Hernández, 1998) y aquellos que presentan diferente tiempo de riego (de temporal, 80 y 20 años). (Cuadros 41, 42, 43 y 44 del anexo)

4.6 Análisis estadísticos

Se calcularon los estadísticos descriptivos por variable y se graficaron los histogramas. Aquellas variables que mostraron una distribución sesgada fueron transformadas a logaritmo base diez con el fin de homogeneizar la varianza.

Se realizó un análisis de varianza de una vía para identificar si existen diferencias entre los tipos de suelo Vertisol, Phaeozem y Leptosol del Distrito de Riego 100, el 03 de Tula (solamente los que presentan 20 años de riego y de temporal-lluvia) y el distrito de Tecozautla con el paquete estadístico SYSTAT (Ato y López 1994).

Los parámetros comparados son pH, conductividad eléctrica, carbón orgánico, nitrógeno, relación C/N, cationes intercambiables (Ca, Mg, Na, K) y los metales pesados (Pb, Cd, Cu y Zn).

También se realizó un análisis de varianza de una vía para identificar si existen diferencias entre los suelos regados con las diferentes clases de agua: cruda, pretratada, de pozo y temporal.

La hipótesis nula a probar en todos los casos fue la de igualdad entre tratamientos y el criterio de decisión fue de $P < 0.05$ para el rechazo de la hipótesis nula.

El análisis de varianza consideró un modelo general con la siguiente estructura:

Variable dependiente = constante + efecto por tipo de suelo o agua + error.

Posteriormente y en aquellos casos en que se rechazó la hipótesis nula, se elaboró un análisis de Fisher de comparaciones pareadas para identificar aquellos pares de tratamientos que fueran significativamente distintos entre sí.

5. RESULTADOS

5.1 Perfil Alfajayucan

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada unidad de suelo, considerando las determinaciones analíticas y la descripción de los perfiles.

El suelo descrito en la localidad de Alfajayucan se clasifica como Fluvisol mólico (Flm) (WRB, 1999), dado que presenta un horizonte A mólico con un porcentaje de saturación de bases mayor al 50% dentro de los primeros 50 cm. Presenta un horizonte A y un horizonte C subdividido. El perfil se encuentra en una planicie y en todos los horizontes, el color del suelo en húmedo es café grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) y en seco es café grisáceo (10 YR 5/2). Presenta una clase textural franco arcillo arenosa (CRA) en el horizonte Ap y en el C₁, en los dos últimos horizontes su clase textural es franco arenosa (CA) observándose una disminución del contenido de arcilla y un aumento de limos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Texturas en el perfil de Alfajayucan .

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	No Muestra	Textura			Clasificación
				Arena	Limo g k g ⁻¹	Arcilla	
Alfajayucan	0-30	Ap	1	583	194	222	Franco-arcillo-arenosa (CRA)
	30-43	C ₁	2	606	193	202	Franco-arcillo-arenosa (CRA)
	43-58	C ₂	3	546	273	182	Franco-arenosa (CA)
	58-100	C ₃	4	606	227	169	Franco-arenosa (CA)

El volumen de porosidad total (VTP) es clasificado como alto para todo el perfil, de 58-64 % respectivamente, con una capacidad de aireación muy alta de 36.7-43.4 vol %, respectivamente. La capacidad de campo (cc) de 27 - 88 l/m² es baja en el perfil y el intervalo de humedad aprovechable (dcc) de 13 - 42 l/m² es muy bajo (Siebe et al. 1996) (Figura 3) (Cuadro 7).

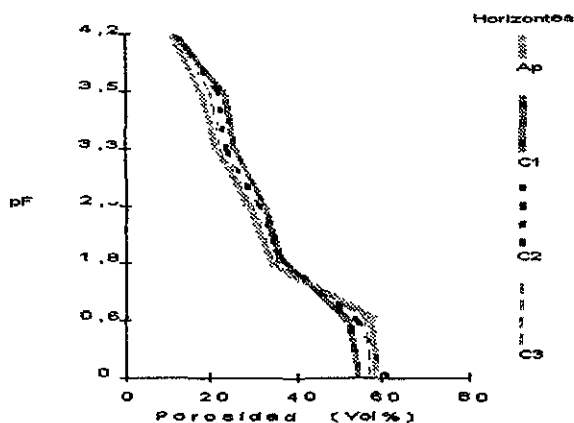


Figura. 3: Curvas de retención de humedad del perfil Alfajayucan.

Cuadro 7. Resultados de la distribución de poros.

Localidad	Tipo de horizonte	VPT (vol%)	CA (vol%)	CC (lm ⁻²)	dCC (lm ⁻²)	CF (vol%)
Alfajayucan	Ap	63	41.1	64	33	24.5
	C ₁	58	36.7	27	13	22.6
	C ₂	63	39.4	35	18	25.2
	C ₃	64	43.4	88	42	24.4

VPT: Volumen de porosidad total.

CA: Capacidad de aireación.

CC: Capacidad de campo.

dCC: Intervalo de humedad aprovechable.

CF: Capacidad de filtrar (dCC+¹/₃ CA)

El pH (Cuadro 8) se clasifica de neutro a alcalino (Jones y Wolf, 1984), los cationes intercambiables se encuentran en intervalos altos (Etchevers *et al.*, 1971) y también la capacidad de intercambio catiónico es alta (suma de cationes intercambiables) (Cottenie, 1980) (Vázquez y Bautista, 1993)

Cuadro 8. Contenido de iones intercambiables en el perfil de Alfajayucan.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de Horizonte	pH CaCl ₂ (1:2.5)	Ca	Mg	Na	K	CIC cmol kg ⁻¹	CIC cmol kg ⁻¹	Saturación de bases %			
										Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Alfajayucan	0-30	Ap	7.1	12	10.2	0.88	0.82	23.9	87.03	50.2	42.5	3.6	3.4
	30-43	C ₁	7.3	12	11.7	0.8	0.78	25.2	111.7	47.6	47.6	3.1	2.7
	43-58	C ₂	7.4	15.5	8.5	0.84	0.68	25.6	126.2	60.5	60.5	3.2	2.6
	58-100	C ₃	7.4	15.2	5	0.8	0.6	21.6	113.3	70.3	70.3	3.7	2.7

CIC: Capacidad de intercambio catiónico.

La cantidad de iones solubles es variada (Cuadro 9) siendo el catión dominante el Na⁺ y el anión dominante el HCO₃⁻, la conductividad eléctrica es menor de 2 mScm⁻¹ (CE) lo que indica que no hay problema de salinidad (Richards, 1954).

Cuadro 9. Iones solubles en el perfil de Alfajayucan.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	pH	C.E.	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma cationes	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Suma aniones
Alfajayucan	0-30	Ap	8.87	1.08	2.5	1.5	4.9	0.5	9.4	1	3.4	1.7	2	8.1
	30-43	C ₁	8.52	0.91	2.4	1.1	4.6	0.4	8.5	1	2.7	1.7	1.8	7.2
	43-58	C ₂	8.5	0.87	2.2	1.0	4.4	0.3	7.9	1	2.2	1.7	1.3	6.2
	58-100	C ₃	8.44	1.09	2.3	0.9	4.0	0.1	7.3	1	1.9	1.5	1.1	5.5

Los resultados de la densidad real y aparente se observan en el cuadro 10.

Cuadro 10. Densidad aparente (D.A), densidad real (D.R.) y porcentaje de porosidad del perfil Alfajayucan.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	D.A.	D.R.	Porcentaje de
			(g cm ⁻³)	(g cm ⁻³)	Porosidad
Alfajayucan	0-30	Ap	1.21	2.3	52.6
	30-43	C ₁	1.35	2.29	58.9
	43-58	C ₂	1.2	2.31	51.9
	58-100	C ₃	1.19	2.4	49.5

D.A: Densidad aparente

D.R: Densidad real

La materia orgánica se encuentra de pobre a medianamente pobre (Velasco-Molina, 1983), el nitrógeno total presenta valores medios (Moreno, 1978) y el fósforo disponible va de intervalos bajos a altos (Landon, 1984) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Contenido de fósforo, carbón orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno y su acumulación en el perfil de Alfajayucan.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	P mg kg ⁻¹	C org. g kg ⁻¹	M. o. gkg ⁻¹	N gkg ⁻¹	C/N	Acc. de M.o. kg m ⁻²	Acc. de N. kg m ⁻²
Alfajayucan	0-30	Ap	11	8.8	15	0.8	11	5.44	0.29
	30-43	C ₁	10	5.2	8.9	0.9	5.7	1.54	0.15
	43-58	C ₂	7	5.2	8.9	0.8	6.5	1.6	0.14
	58-100	C ₃	5	4.8	8.2	1	4.8	2.39	0.49

P : Fósforo
disponible

N: Nitrógeno
total

C. Org. : Carbón orgánico.

M. o. : Materia orgánica.

Con respecto a los valores de los óxidos pedogénicos, amorfos y cristalinos, se observa una clara dominancia de los óxidos amorfos sobre los cristalinos en todos los casos (Cuadro 12).

Cuadro 12. Contenido de óxidos amorfos y cristalinos e índice de evolución de suelos, perfil Alfajayucan.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	Si _o	Al _o	Fe _o	Mn _o	Al _d	Fe _d	Mn _d	Al _o /Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o /Mn _d
			mg g ⁻¹				mg g ⁻¹					
Alfajayucan	0-30	Ap	1.15	2.68	1.95	0.47	0.58	1.56	0.12	4.62	1.25	3.92
	30-43	C ₁	1.73	3.12	2.08	0.48	0.74	0.99	0.09	4.21	2.1	5.33
	43-58	C ₂	1.51	3.27	3.25	0.47	0.6	0.59	0.09	5.45	5.5	5.22
	58-100	C ₃	1.51	3.23	1.81	0.46	0.58	1.12	0.06	5.57	1.62	7.66

Óxidos amorfos extraídos con oxalato. Si_o, Al_o, Fe_o

Óxidos cristalinos extraídos con ditionito Al_d, Fe_d y Mn_d

Las concentraciones de los metales pesados son más o menos constantes en todos los horizontes para los metales Cd, Zn, Ni, Cu, y Co; solamente el Pb muestra un aumento en el segundo horizonte. En todos los horizontes los valores encontrados están en intervalos considerados como normales (Alloway, 1990) (Figura 4).

Concentración (mg kg⁻¹)

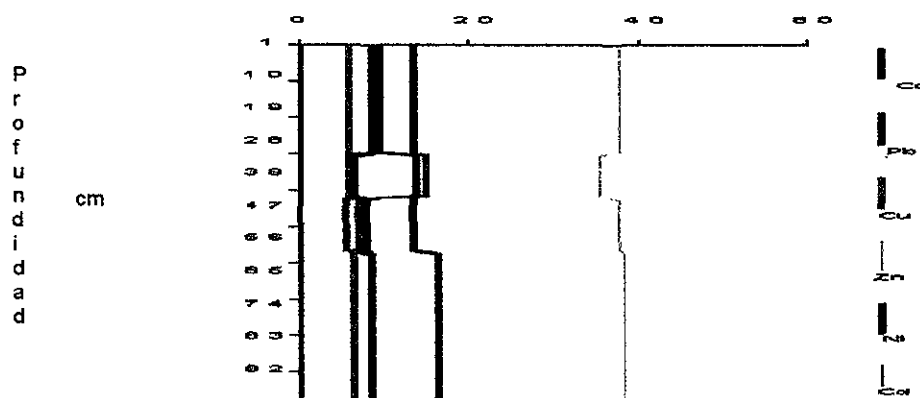


Figura 4. Distribución de metales totales en función de la profundidad del suelo en el perfil Alfajayucan, Distrito de Riego 100, Hidalgo.

5.2 Perfil Boxthó

El suelo muestreado en la localidad de Boxthó, se clasifica como Vertisol éútrico (VRe)(WRB, 1999) ya que presenta un 30% o más de arcilla en todos los horizontes hasta una profundidad de 50 cm por lo menos; desarrolla fisuras profundas, muestra facetas de fricción-presión, y tiene un grado de saturación de bases mayor al 50%, por lo menos en una profundidad comprendida entre 20 y 50 cm.

El color del suelo en húmedo es gris oscuro (10 YR 3/1) y en seco es gris (YR 5/1), presenta una clase textural arcillosa (R) para todo el perfil, con contenidos de 535 a 555 g kg⁻¹ de arcilla (Cuadro 13).

Cuadro 13. Texturas encontradas en el perfil realizado en la localidad de Boxthó.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	No Muestra	Textura			Clasificación
				Arena	Limo g kg ⁻¹	Arcilla	
Boxthó	0-30	Ap	6	253	206	542	Arcilloso (R)
	30-48	A ₁	7	183	263	555	Arcilloso (R)
	48-80	A ₂	8	203	263	535	Arcilloso (R)

El volumen de porosidad total (VPT) es clasificado como muy alto, con una capacidad de aireación (CA) muy alta y capacidad de campo (cc) e intervalo de humedad aprovechable (dCC) bajos (Siebe *et al.*, 1996) (Figura 5) (Cuadro 14).

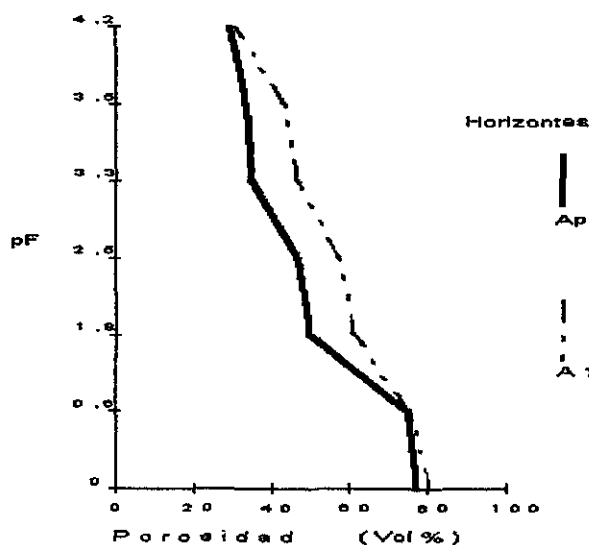


Figura 5: Curvas de retención de humedad del perfil Boxthó.

Cuadro 14. Resultados de la distribución de poros.

Localidad	Tipo de horizonte	VPT (Vol%)	CA (Vol%)	CC (lm ⁻²)	dCC (lm ⁻²)	CF (Vol%)
Boxthó	Ap	80	22.62	169	82	35.2
	A ₁	84	24.52	106	51	36.8
	A ₂					

VPT : Volumen de porosidad total.

CA : Capacidad de aireación.

CC : Capacidad de campo.

dCC : Intervalo de humedad aprovechable.

CF : Capacidad de filtración (dCC+¹/₃ CA)

Los resultados de la densidad real y aparente se observan en el cuadro 15.

Cuadro 15. Densidad aparente (D.A), densidad real (D.R.) y porcentaje de porosidad en el perfil Boxthó.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	D.A. (g cm ⁻³)	D.R. (g cm ⁻³)	Porcentaje de Porosidad
Boxthó	0-30	Ap	0.94	1.88	50
	30-48	A ₁	1.17	1.92	60.9
	48-80	A ₂		1.9	

Los valores de pH son homogéneos en el perfil, clasificándose como alcalino (Jones y Wolf, 1984). El contenido de cationes intercambiables va de mediano a alto (Etchevers *et al.*, 1971) y la suma de éstos es muy alta (Cottenie, 1980) (Cuadro 16)

Cuadro 16. Contenido de iones intercambiables en el perfil Boxthó.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	pH	Cationes intercambiables (CaCl ₂ 1:2.5)				CIC		Saturación de bases %			
				Ca ⁺⁺ cmol kg ⁻¹	Mg ⁺⁺ cmol kg ⁻¹	Na ⁺ cmol kg ⁻¹	K ⁺ cmol kg ⁻¹	suelo cmol kg ⁻¹	arcilla cmol kg ⁻¹	Ca ⁺⁺ %	Mg ⁺⁺ %	Na ⁺ %	K ⁺ %
				Boxthó	0-30	Ap	7.8	32.2	18	3.41	0.69	54.3	86.9
	30-48	A ₁	7.8	31.7	17.2	5.1	0.31	54.3	85.1	58.3	31.6	9.3	0.5
	48-80	A ₂	7.6	42.7	3	5.1	0.32	51.1	85.1	83.5	5.8	9.9	0.6

La conductividad eléctrica en el extracto de saturación es menor a 2 mScm⁻¹, lo que indica que no hay problema de salinidad (Richards, 1954). Se observa que el catión soluble con mayor valor es Na⁺ y los aniones más abundantes son HCO₃⁻ y SO₄⁻² (Cuadro 17)

Cuadro 17. Valores obtenidos de iones solubles en el perfil Boxthó.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	pH	C.E. mScm ⁻¹	Cationes				Suma de cationes	Aniones				Suma de aniones
					Ca ⁺⁺ meq l ⁻¹	Mg ⁺⁺ meq l ⁻¹	Na ⁺ meq l ⁻¹	K ⁺ meq l ⁻¹		CO ₃ ⁻² meq l ⁻¹	HCO ₃ ⁻ meq l ⁻¹	Cl ⁻ meq l ⁻¹	SO ₄ ⁻² meq l ⁻¹	
Boxthó	0-30	Ap	8.9	1.51	3.3	1.2	7.9	1.9	14.3	1	4.4	3.0	4.7	13.1
	30-48	A ₁												
	48-80	A ₂												

La materia orgánica se encuentra en intervalos medianos (Velasco-Molina, 1983), el nitrógeno total se clasifica como mediano y su distribución a profundidad en el perfil es homogénea. La relación carbono/nitrógeno se clasifica como baja (Moreno, 1978). El fósforo aprovechable muestra valores bajos en todo el perfil (Landon, 1984) (Cuadro 18)

Cuadro 18. Contenido de fósforo, carbón orgánico, materia orgánica, nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno en el perfil Boxthó y su acumulación (kg m^{-2})

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	P mg kg^{-1}	C org. g kg^{-1}	M. o. g kg^{-1}	N g kg^{-1}	C/N	M.o. kg m^{-2}	N. kg m^{-2}
Boxthó	0-30	Ap	8.5	14	24	1.5	9.3	6.7	0.41
	30-48	A ₁	4	13.8	23.7	1.5	9.2	4.94	0.31
	48-80	A ₂	4.5	10.8	18.6	1.2	9		

P: Fósforo. C. org. : Carbón orgánico. M. o.: Materia orgánica. N: Nitrógeno

En el cuadro 19, se observan los valores de los óxidos amorfos y cristalinos, observándose una dominancia de los óxidos amorfos sobre los cristalinos.

Cuadro 19. Contenido de óxidos amorfos y cristalinos e índice de evolución de suelos en el perfil Boxthó.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	Si _o	Al _o	Fe _o	Mn _o	Al _d	Fe _d	Mn _d	Al _o / Al _d	Fe _o / Fe _d	Mn _o / Mn _d
			mg g ⁻¹						mg g ⁻¹			
Boxthó	0-30	Ap	1.6	3.5	1.4	0.6	1	1.1	0.3	3.5	1.27	2
	30-48	A ₁	1.7	3.8	1.9	0.7	1.2	1.1	0.3	3.16	1.72	2.33
	48-80	A ₂	2	4	2	0.7	1	0.5	0.3	4	4	2.33

Óxidos amorfos por oxalato: Si_o, Al_o, Fe_o y Mn_o. Óxidos cristalinos por ditionito Al_d, Fe_d y Mn_d.

Los contenidos de metales pesados muestran una distribución homogénea de concentración en todo el perfil (Figura 6), encontrándose en intervalos considerados como normales (Alloway, 1990).

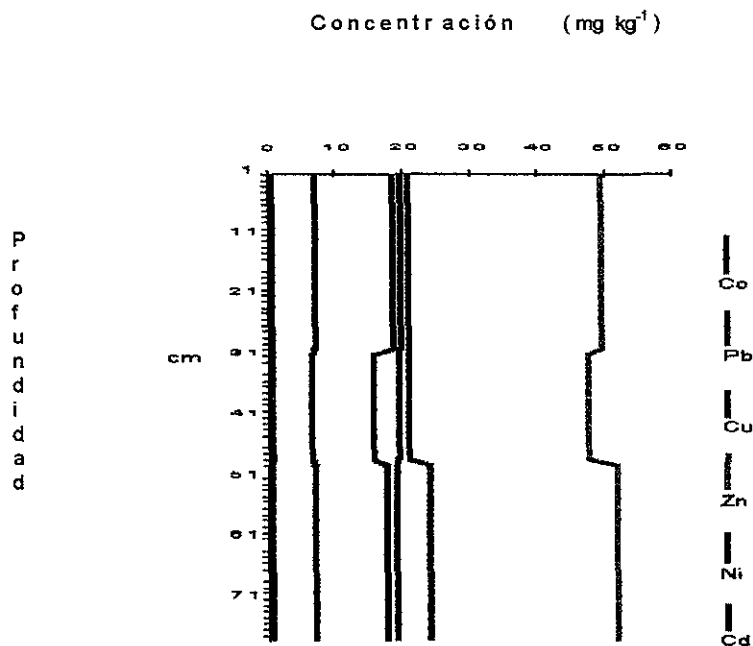


Figura 6. Distribución de metales pesados en relación con la profundidad del suelo en el perfil Boxthó.

5.3 Perfil San Agustín

El suelo muestreado en la localidad de San Agustín, por sus horizontes y propiedades diagnósticas que presenta, se clasifica como Phaeozem verti-háplico (WRB, 1999). El término vértico que se le da a este suelo es por la presencia de fisuras provocadas por las fuerzas de expansión-contracción que pueden ser por la presencia de gran cantidad de arcilla del tipo esmectita.

El color que presenta el suelo en húmedo es 10 YR 3/2 café grisáceo oscuro, en seco es 10 YR 4/1 gris oscuro con una clase textural de tipo arcillosa (R) en todo el perfil (Cuadro 20).

Cuadro 20. Valores de texturas en el perfil San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	No Muestra	Textura			Clasificación
				Arena	Limo g kg ⁻¹	Arcilla	
San Agustín	0-11	Ap ₁	9	313	267	422	Arcilloso (R)
	11-28	Ap ₂	10	273	289	438	Arcilloso (R)
	28-57	Ah	11	313	286	402	Arcilloso (R)
	57-63	2AC	12				
	63-87	3Ah	13	220	263	517	Arcilloso (R)
	87-105	3AC	14	253	286	462	Arcilloso (R)

El volumen de porosidad total (VPT) y la capacidad de aireación (CA) es muy alta, los valores de capacidad de campo (cc) y rango de humedad aprovechable se encuentran bajos (Siebe *et al.*, 1996) (Figura.7) (Cuadro 21).

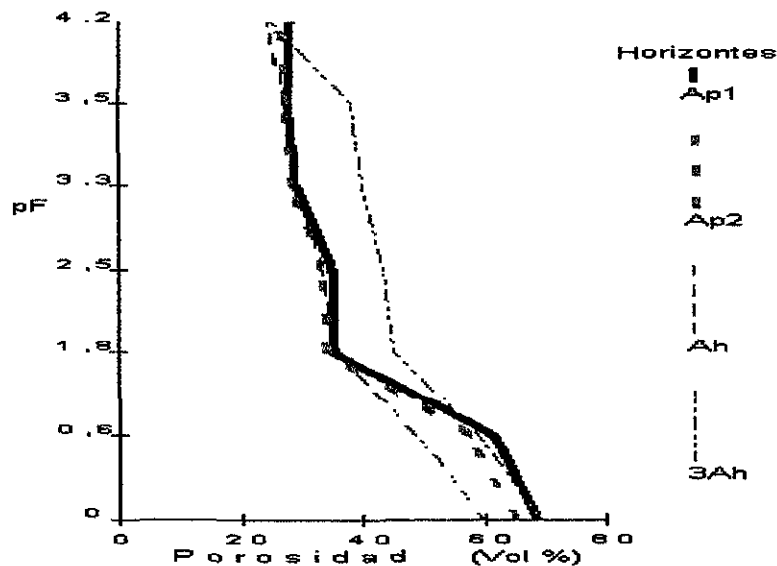


Figura 7. Curvas de retención de humedad del perfil San Agustín.

Cuadro 21. Resultados del balance hídrico y de la distribución de poros del perfil San Agustín.

Localidad	Tipo de horizonte	VPT (VOL%)	CA (VOL%)	CC (l/m ²)	dCC (l/m ²)	CF (VOL%)
San Agustín	Ap ₁	73	31.7	46	16	24.8
	Ap ₂	69	25.1	75	28	25.2
	Ah	67	26.4	112	43	24
	2AC					
	3Ah	76	34.4	98	38	27.7
	3AC					

VPT : Volumen de porosidad total.

CA : Capacidad de aireación.

CC : Capacidad de campo.

dCC : Rango de humedad aprovechable.

CF : Capacidad de filtrar (dCC+¹/₃ CA)

Los valores de densidad se observan en el siguiente cuadro 22.

Cuadro 22. Densidad aparente (D.A), densidad real (D.R.) y porcentaje de porosidad en el perfil San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	D.A. (g cm ⁻³)	D.R. (g cm ⁻³)	Porcentaje de Porosidad
San Agustín	0-11	Ap ₁	1.01	2.07	46.7
	11-28	Ap ₂	0.93	1.98	46.9
	28-57	Ah	0.81	1.93	41.9
	57-63	2AC			
	63-87	3Ah	0.95	2.13	44.6
	87-105	3AC		2.06	

El valor del pH, obtenido es considerado alcalino (Jones y Wolf, 1984). En lo referente a los cationes intercambiables, se observa que el Ca⁺⁺ presenta valores altos, a diferencia de Mg⁺⁺, Na⁺ y K⁺ que presenta valores de bajos a medianos (Etchevers *et al.*, 1971), el porcentaje de saturación de bases se encuentra en intervalos de bajos a medianos (Cottenie, 1980) y la suma de estos es considerada alta (Cuadro 23).

Cuadro 23. Contenido de iones intercambiables en el perfil San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	pH CaCl ₂ (1:2.5)	Ca ⁺⁺ cmol kg ⁻¹	Mg ⁺⁺ cmol kg ⁻¹	Na ⁺ cmol kg ⁻¹	K ⁺ cmol kg ⁻¹	CIC		Saturación de bases %			
								suelo	arcilla	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
San Agustín	0-11	Ap ₁	7.7	39.7	19	1.13	1.4	61.3	120.4	64.7	30.9	1.8	2.3
	11-28	Ap ₂	7.6	36	24	1.6	1.8	63.8	121.8	56.6	37.7	2.6	2.8
	28-57	Ah	7.7	37.5	15.7	1.4	1	55.6	119.5	67.3	28.2	2.6	1.7
	57-63	2AC											
	63-87	3Ah	7.4	31.5	7.2	1.7	0.6	41.3	64.48	76.5	17.5	4.2	1.4
	87-105	3AC	7.4	25.7	5.7	1.4	0.7	33.6	62.2	76.4	16.9	4.3	2

El valor de la conductividad eléctrica (CE), indica que no hay problema de salinidad (Richards, 1954) y se observa que los cationes Ca⁺⁺ y Na⁺ tienen más presencia en los dos primeros horizontes y el anión más abundante es HCO₃ (Cuadro 24)

Cuadro 24: Iones solubles en el perfil de San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	pH	C.E. mScm ⁻¹	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma de cationes	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Suma de aniones
San Agustín	0-11	Ap ₁	8.9	1.22	5.1	2.4	5.2	0.4	13.1	1	3.7	0.3	4.2	9.2
	11 28	Ap ₂	8.85	0.79	2.5	1.8	4.3	0.4	9	1	4.2	0.4	1.6	7.2
	28-57	Ah	8.6	0.66	0.2	1.5	3.7	0.1	5.5	1	3.7	0.4	0.8	5.9
	57-63	2AC												
	63-87	3Ah												
	87-105	3AC												

Los valores obtenidos de materia orgánica y de nitrógeno total se observan en límites de pobre a medianamente rico (Velasco-Molina, 1983; Moreno, 1978), en cambio la relación carbono-nitrógeno se encuentran en intervalos de bajos a medianos (Moreno, 1978) y para el fósforo disponible los valores están de moderados a altos (Landon, 1984) (Cuadro 25)

Cuadro 25. Contenido de fósforo, carbón orgánico, materia orgánica, nitrógeno y relación carbono-nitrógeno y su acumulación en el perfil San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	P mg kg ⁻¹	C org. g kg ⁻¹	M. o. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N	Acc. de M.o. kg m ⁻²	Acc. de N.
San Agustín	0-11	Ap ₁	31.5	20.8	35	2.2	9.4	3.84	0.24
	11 28	Ap ₂	22.5	20.1	34	1.5	13.4	5.32	0.23
	28-57	Ah	13.5	14.7	25	1.5	9.8	5.76	0.34
	57-63	2AC							
	63-87	3Ah	14	15.4	26	1.8	8.5	5.92	0.4
	87-105	3AC	15.5	9.4	16	1.6	5.8		

Se observa la dominancia de los óxidos amorfos sobre los cristalinos (Cuadro 26).

Cuadro 26. Contenido de óxidos amorfos y cristalinos e índice de evolución de suelos en el perfil de San Agustín.

Localidad	Profundidad cm	Tipo de horizonte	Si _o	Al _o	Fe _o	Mn _o	Al _d	Fe _d	Mn _d	Al _o /Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o /Mn _d
San Agustín	0-11	Ap ₁	2.3	5.1	1.8	0.5	1.4	1.5	0.2	3.64	1.2	2.5
	11 28	Ap ₂	2.1	5	1.6	0.5	1.2	0.9	0.1	4.16	1.77	5
	28-57	Ah	2	6	2.5	0.6	1.5	1.9	0.2	4	1.31	3
	57-63	2AC										
	63-87	3Ah	2	5.8	2.7	0.6	1.5	0.3	0.1	3.86	9	3
	87-105	3AC	0.8	4.6	2.2	0.6	1.1	0.6	0.2	4.18	3.6	3

Oxidos amorfos por oxalato: Si_o, Al_o, Fe_o y Al_o. Oxidos cristalinos por ditionito: Al_d, Fe_d y Mn_d.

Para los valores obtenidos de Co, Pb, Ni y Cd no se observa una discontinuidad de concentración con respecto a la profundidad, para el Cu, se presenta un aumento a partir de los 63 cm de profundidad. El zinc también muestra concentraciones relativamente más elevadas en los primeros 11 cm del suelo. Pero ningún metal rebasa los límites establecidos como normales (Figura 8).

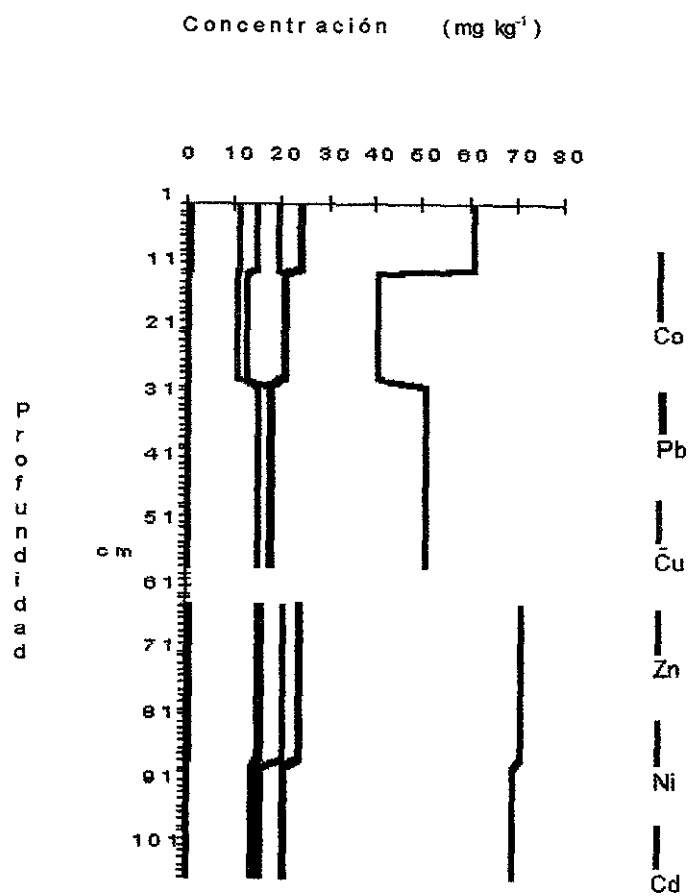


Figura. 8. Distribución de metales totales en relación con la profundidad del suelo en el perfil San Agustín.

Cuadro 29. Valores promedio de iones intercambiables de las muestras compuestas en cada unidad de suelo del DDR 100 Alfajayucan. Hgo.

Tipo de Suelo	pH CaCl ₂ (1:2.5)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	CIC	CIC	Saturación de bases %			
		cmol kg ⁻¹				cmol kg ⁻¹	arcilla	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Fluvisol	7.6	21.2	10.65	0.87	1.17	33.87	117.42	62.27	31.97	2.6	3.2
E.E.(+/-)	0.04	3.03	1.41	0.10	0.23	3.63	7.42	4.92	4.63	0.27	0.35
Vertisol	7.52	31.57	12.97	2.55	1.12	48.15	82.41	66.12	26.35	5.12	2.25
E.E.(+/-)	0.08	1.85	2.13	0.50	0.24	4.26	8.52	2.41	2.16	0.70	0.55
Phaeozem	7.72	33.8	20.42	1.27	1.7	57.1	207.6	59.75	35.12	2	2.85
E.E.(+/-)	0.06	1.52	3.41	0.28	0.05	3.78	46.08	3.93	3.72	0.31	0.19

CIC. Capacidad de intercambio catiónico.

E.E. Error estándar

En lo referente a la conductividad eléctrica los tres tipos de suelo no presentan problemas de salinidad (Richards, 1984). Se puede observar que el catión dominante es el Ca⁺⁺ en el Fluvisol y Phaeozem, en cambio en el Vertisol, es el Na⁺. Para los tres tipos de suelo el anión dominante es el HCO₃⁻; el Cl⁻ también domina en el vertisol. (Cuadro 30).

Cuadro 30. Valores promedio de iones solubles de las muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100 Alfajayucan. Hgo.

Tipo de Suelo	pH	C.E. mScm ⁻¹	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Suma de Cationes	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Suma de Aniones
			meq l ⁻¹									
Fluvisol	8.88	1.39	8.6	3.32	5.4	0.65	17.97	1.75	5.02	2.94	2.62	12.37
E.E.(+/-)	0.07	0.06	1.42	0.25	0.45	0.05	1.55	0.32	0.65	0.63	0.34	0.6
Vertisol	8.8	1.58	5.4	1.92	7.35	0.27	14.97	1.0	3.72	3.95	3.0	11.67
E.E.(+/-)	0.02	0.24	1.97	0.21	1.17	0.08	2.61	0	0.34	1.00	1.12	1.85
Phaeozem	8.7	1.68	8.85	2.45	6.82	1.0	19.12	1.75	6.12	4.05	3.57	15.5
E.E.(+/-)	0.04	0.25	1.42	0.81	0.94	0.37	3.02	0.43	1.30	1.33	0.83	2.68

E. SD. = Error estándar.

Los valores obtenidos de materia orgánica y de nitrógeno se encuentran en intervalos medianos (Velasco-Molina, 1983) y la relación de ambos es baja (Moreno, 1978), en el caso del fósforo se observan valores moderados (Landon, 1984)(Cuadro 31).

Cuadro 31. Valores promedio de fósforo, carbón orgánico, materia orgánica y nitrógeno en muestras compuestas.

Tipo de Suelo	P mg kg ⁻¹	C org. g kg ⁻¹	M. o. g kg ⁻¹	N g kg ⁻¹	C/N
Fluvisol	20.87	10.8	18.6	1.3	7.72
E.E.(+/-)	4.5	1.68	2.92	0.04	0.92
Vertisol	11.12	12.15	20.95	1.42	8.6
E.E.(+/-)	5.18	0.96	1.64	0.15	0.34
Phaeozem	17.65	18.52	35	1.52	12.45
E.E.(+/-)	8.18	0.77	1.32	0.17	1.05

E.E. Error estándar

En el cuadro 32, se observa una clara dominancia de los óxidos amorfos sobre los cristalinos en los tres tipos de suelo.

Cuadro 32. Contenido de óxidos amorfos y cristalinos en muestras del DDR 100, Alfajayucan, Hgo.

Tipo de Suelo	Si _o	Al _o	Fe _o	Mn _o	Al _d	Fe _d	Mn _d	Al _o /Al _d	Fe _o /Fe _d	Mn _o /Mn _d
	mg g ⁻¹				mg g ⁻¹					
Fluvisol	1.8	3.37	2.16	0.43	0.7	0.85	0.08	4.89	4.04	6.54
E. E. (+/-)	0.07	0.17	0.21	0.03	0.04	0.31	0.03	0.42	1.33	1.88
Vertisol	2.01	3.65	1.81	0.62	0.98	0.72	0.19	3.8	4.26	3.69
E. E. (+/-)	0.18	0.18	0.19	0.02	0.11	0.32	0.04	0.26	1.47	0.8
Phaeozem	1.82	3.67	1.37	0.39	0.68	0.43	0.05	5.64	3.03	8.0
E. E. (+/-)	0.19	0.3	0.15	0.05	0.08	0.11	0.04	0.95	0.69	2.98

Óxidos amorfos por oxalato: Si_o, Al_o, Fe_o y Al_o

E.E. Error estándar.

Óxidos cristalinos por ditionito. Al_d, Fe_d y Mn_d

Los valores promedio obtenidos de metales pesados no muestran diferencias en los tres tipos de suelo en los casos de Co, Pb, Cu, y Cd, en cambio, los contenidos de Zn y Ni son mayores en la unidad de suelo Vertisol (Cuadro 33). Todos los valores se encuentran en intervalos considerados como normales (Alloway, 1990).

Cuadro 33. Valores promedio de metales pesados en muestras compuestas de suelo más representativas del DDR 100, Alfajayucan, Hgo.

Tipo de Suelo	Co (L.d. ⁺ /-0.8)	Pb (L.d. ⁺ /-0.03)	Cu (L.d. ⁺ /-0.04)	Zn (L.d. ⁺ /-0.05)	Ni (L.d. ⁺ /-0.07)	Cd (L.d. ⁺ /-0.2)
	mg kg ⁻¹					
Fluvisol	15.7	17.2	7.07	42.02	14.65	0.42
E. E. (+/-)	0.53	2.69	0.66	2.46	2.13	0.02
Vertisol	18.47	21.1	10.02	54.12	19.87	0.55
E. E. (+/-)	0.81	3.38	0.88	0.94	1.01	0.02
Phaeozem	14.2	21.12	8.47	44.45	13.27	0.45
E. E. (+/-)	0.4	4.6	1.29	3.8	0.7	0.02

L.d.⁺ Límite de detección.

E.S.D. = Error Estándar.

5.5 Comparación de algunas variables del suelo, en unidades de suelo similares de los distritos de riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Se realizó una comparación de algunas variables de suelo en unidades de suelo similares entre el Distrito de Riego (DDR) 03 de Tula (Siebe, 1994) regado con agua residual durante 80 años, (ver cuadros 41 y 42 del anexo), el DDR de Tecozautla (Hernández, 1998) regado con agua de pozo (ver cuadros 43 y 44 del anexo) y los datos obtenidos en este trabajo del DDR 100 de Alfajayucan regado con agua pretratada.

Cuadro 34. Unidades de suelo presentes en los diferentes Distritos de Riego que fueron comparadas.

Distrito de Riego	Tiempo	Unidades de suelo		
03 agua sin tratamiento	80 años	Vre	LPm	
	20 años	Vre	PHh	
03 agua de Temporal	siempre	Vre	LPm	
100 agua pretratada	20 años	Vre	Fim	PHvh
Tecozautla agua de pozo	siempre	PHh	PHvh	

Vre-Vertisol éútrico. LPm-Leptosol mólico. PHh-Phaeozem háplico. PHvh-Phaeozem verti-háplico. Fim-Fluvisol mólico.

Las variables analizadas son: pH, conductividad eléctrica, cationes intercambiables, carbono orgánico, nitrógeno total, relación carbono-nitrógeno, fósforo y metales totales (Pb, Cd, Cu y Zn).

Los valores de pH son ligeramente ácidos en los suelos del DDR de Tecozautla al igual que en el suelo Vertisol éútrico, bajo cultivo de temporal en el DDR 03, en cambio los valores en los suelos del DDR 100 y DDR 03 sin tratamiento con un tiempo de riego de 80 y 20 años son alcalinos, con valores de 7.5 a 7.8 (Jones y Wolf, 1984)(Figura 9).

El análisis estadístico para el pH no demuestra diferencias significativas entre las unidades de suelo. En cambio en el tipo de agua sí se observan diferencias significativas para el caso del agua de pozo con respecto del agua cruda, pretratada y de temporal (ver datos en el anexo).

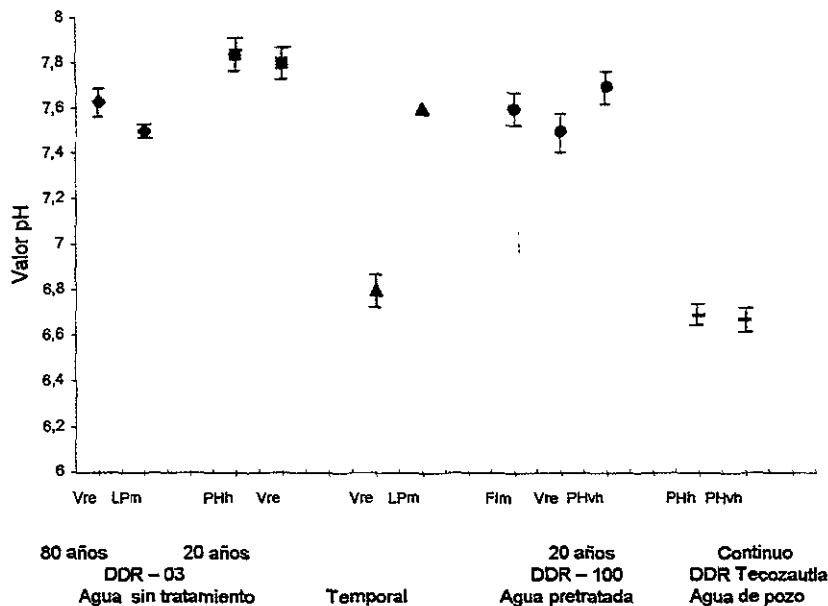


Figura 9. Comparación de los valores promedio y su error estándar de pH en la capa arable de los suelos de los Distritos de Riego 03 de Tula, 100 de Alfajayucan y Tecozautla.

Los valores de la conductividad eléctrica (C.E.) (Figura 10) se encuentran entre 0.44 y 1.68 mS cm^{-1} , sobresaliendo el suelo Leptosol mólico del DDR 03 (de 80 años) con un valor de 3.13 mS cm^{-1} . En los tres DDR, no se presentan problemas generalizados de salinidad (Richards, 1954); únicamente en el DDR 03 existen sitios localizados con una salinización ligera.

El resultado estadístico muestra que el suelo Vertisol, regado durante 80 años con agua cruda presenta diferencias solamente con el Leptosol. El agua cruda es diferente significativamente del agua pretratada de pozo y de temporal.

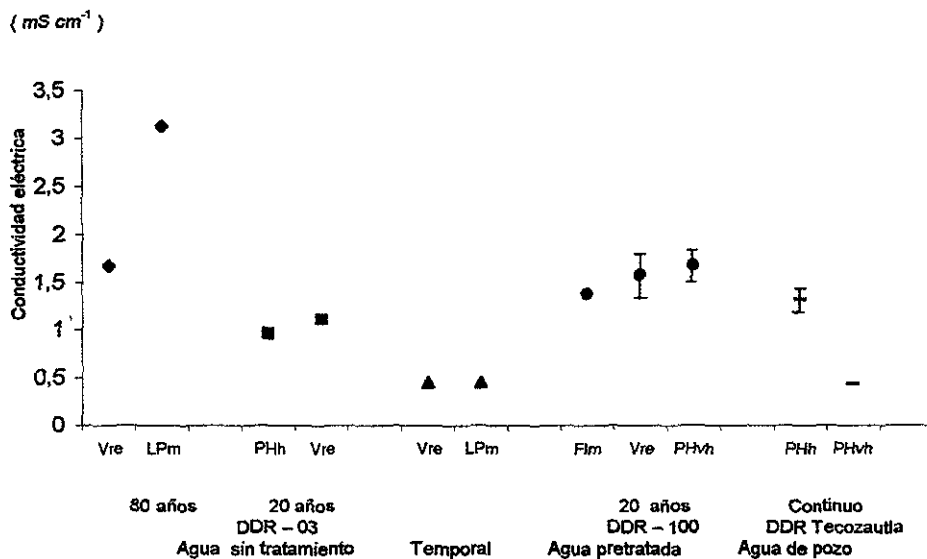


Figura 10. Valores promedio y su error estándar de conductividad eléctrica (C.E.) en la capa arable de los suelos de los Distritos de Riego, 03 de Tula, 100 de Alfajayucan y Tecozautla.

Para el caso de los cationes intercambiables se observa que el calcio intercambiable se encuentra entre 21.2 y 38.5 cmol kg^{-1} en los tres DDR, solamente el suelo Phaeozem háplico del DDR-03 presenta un valor menor de 16.5 cmol kg^{-1} , considerándose todos los valores como altos (Etchevers *et al.*, 1971) (Figura 11).

Y el análisis estadístico no muestra diferencias significativas entre los suelos, pero sí se observan diferencias del agua de temporal con respecto del agua cruda, pretratada y de pozo.

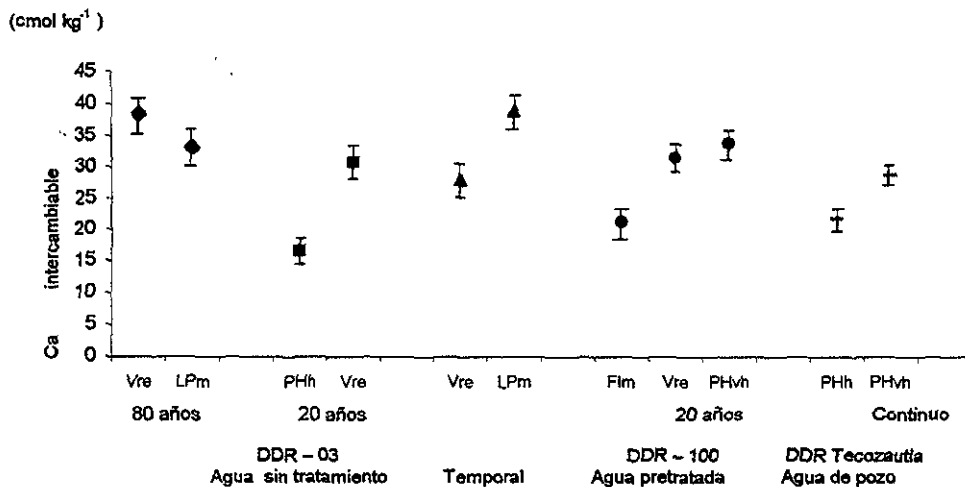


Figura 11. Valores promedio y error estándar de calcio intercambiable en la capa arable de los suelos de los Distritos de Riego, Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores de magnesio intercambiable se encuentran entre 5.7 y 13.1 cmol kg^{-1} en los tres DDR, observándose dos valores extremos, 2.6 cmol kg^{-1} en el suelo Leptosol mólico del DDR 03 bajo

cultivo de temporal y $20.4 \text{ cmol kg}^{-1}$ en el suelo Phaeozem verti-háplico del DDR 100. Todos los valores son considerados como altos, a excepción del valor 2.6 que es considerado como medio (Etchevers *et al.*; 1971) (Figura 12).

Como resultado del análisis estadístico obtenemos que el suelo Vertisol presenta diferencias con respecto del suelo Phaeozem y Leptosol. En cambio el Phaeozem difiere del Leptosol. Para el agua, el análisis muestra diferencias del agua cruda con respecto del agua pretratada de pozo y de temporal.

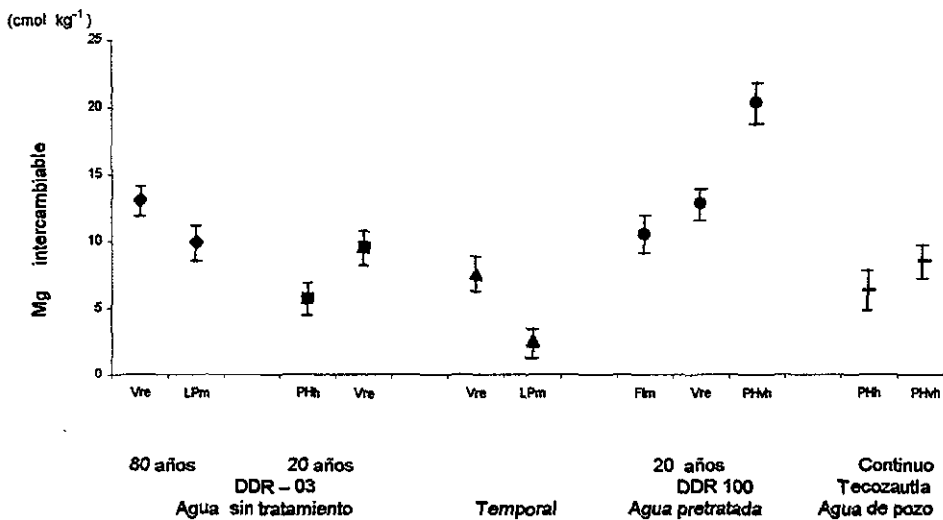


Figura 12. Valores promedio y su error estándar de magnesio intercambiable en la capa arable de los suelos de los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores de potasio intercambiable obtenidos en los diferentes DDR son altos (Etchevers *et al.*, 1971). Los valores más altos los presentan los suelos Leptosol mólico y Vertisol éutrico con 2.5 cmol kg^{-1} , 2.7 y 3.7 cmol kg^{-1} de los DDR 03 (80 y 20 años bajo riego) y DDR 100, los valores más bajos los presenta el suelo Fluvisol mólico y Phaeozem verti-háplico con 0.87 y $0.75 \text{ cmol kg}^{-1}$ de los DDR 100 y Tecozautla, respectivamente (Figura 13). En general, los suelos de tipo Vertisol muestran mayores cantidades de K intercambiable que los demás tipos de suelo.

El análisis estadístico no muestra diferencias significativas entre los suelos, pero en el caso del agua cruda sí presenta diferencias con respecto al agua pretratada y de pozo. Y el agua pretratada con respecto del agua de temporal.

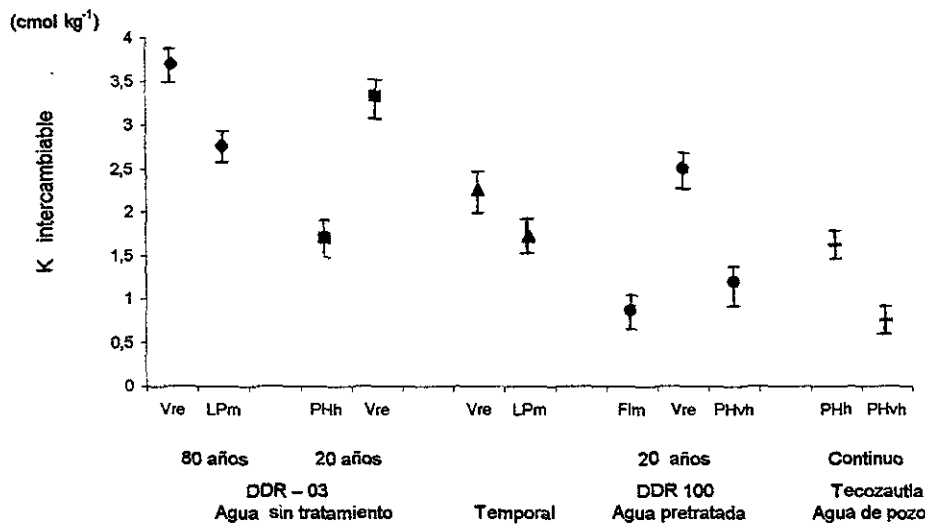


Figura 13. Valores promedio y su error estándar de potasio intercambiable en los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores más altos de sodio (Figura 14.) los presentan los suelos del DDR 03 Tula, que tienen 80 y 20 años de riego, con 3.6 y 5.8 cmol kg^{-1} , en cambio los DDR 100 y de Tecozautla presentan valores similares de 1.12 y 1.7 cmol kg^{-1} respectivamente.

El análisis estadístico muestra diferencias significativas para las tres unidades de suelo. En cambio el agua cruda es la que presenta diferencias con respecto de las demás unidades de agua.

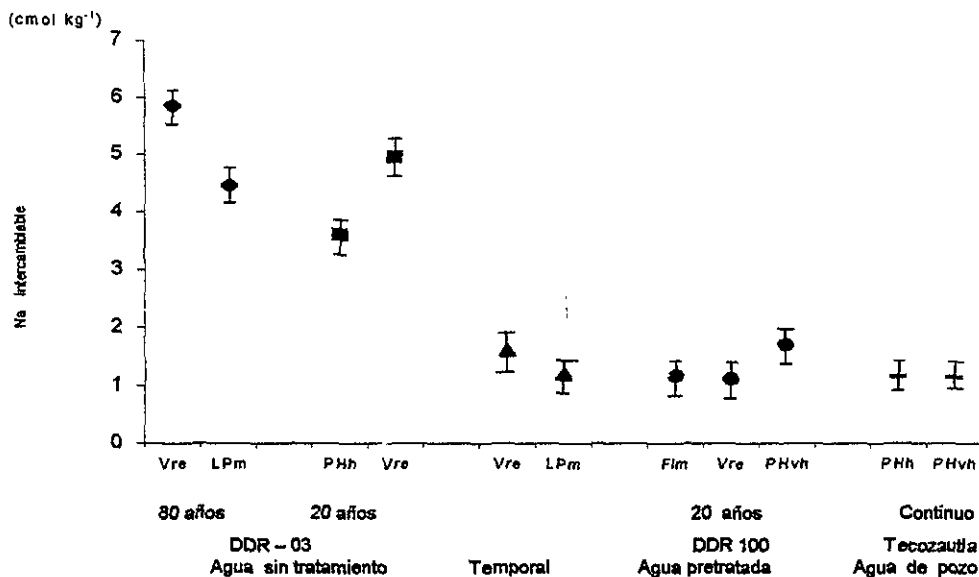


Figura 14. Valores promedio y su error estándar de sodio Intercambiable de los suelos de los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores de carbón orgánico son bajos de 17.2 y 12.5 g kg⁻¹ (Landon, 1984), en los distritos de Tecozautla, el distrito 100 y los valores del DDR 03 con 20 años de riego que van de 11.7 a 25.7 g kg⁻¹ (Figura 15)

Los resultados estadísticos no muestran diferencias en los tres tipos de suelo, pero sí se observan diferencias del agua de temporal con respecto de los otros tres tipos de agua.

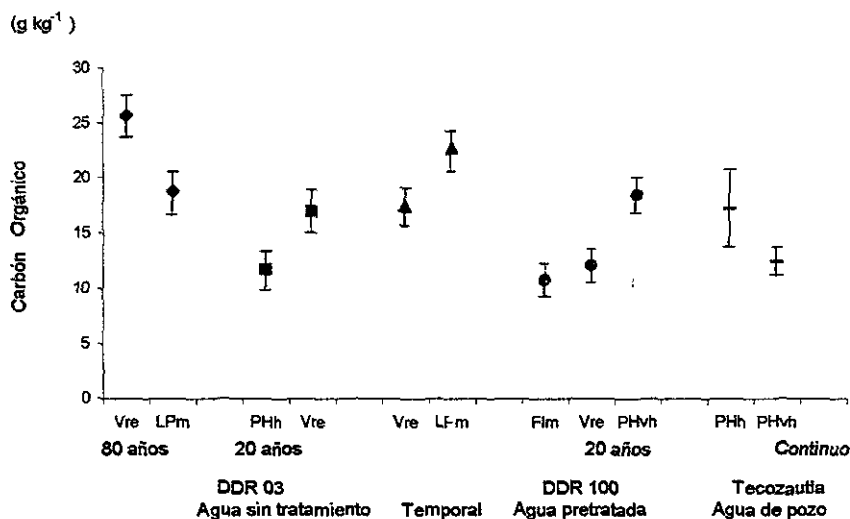


Figura 15. Valores promedio y su error estándar de carbón orgánico de los suelos de los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores de nitrógeno se clasifican en el DDR de Tecozautla como medianamente pobres a medianos (0.32 a 1.58 g kg⁻¹), en los suelos del DDR 100 son medianos y para el DDR 03 están en medianos a medianamente ricos (1.26 a 2.2 g kg⁻¹), a excepción del valor 0.92 g kg⁻¹ del suelo Phaeozem verti-haplico que es medianamente pobre (Moreno, 1978)(Figura 16).

En el caso del suelo Vertisol el análisis estadístico muestra diferencias con respecto al Phaeozem y Leptosol. En cambio para el agua se presentan diferencias del agua cruda con el agua pretratada y de lluvia.

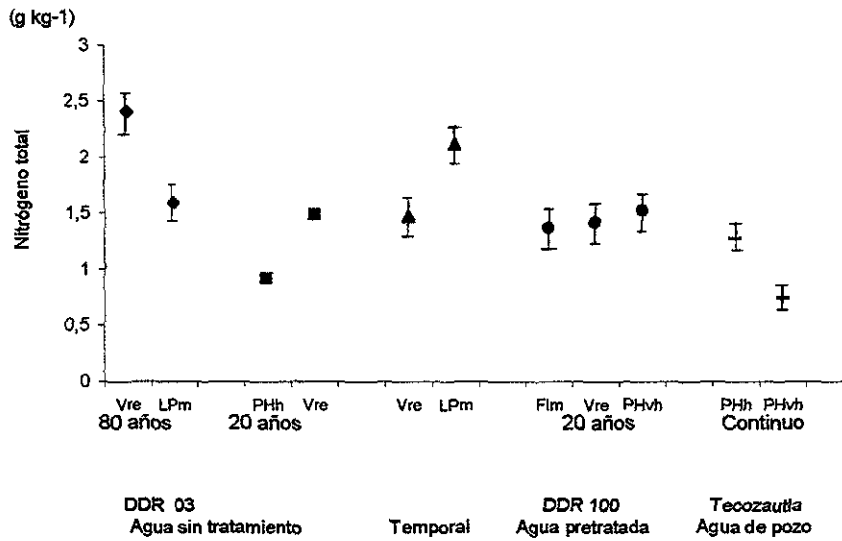


Figura 16. Valores promedio y su error estándar de nitrógeno total en los suelos de Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

La relación C/N (Figura 17) se clasifica en los suelos del DDR 03 y de Tecozautla como mediana (10-15) y en el DDR 100 como baja 7.2 para el suelo Fluvisol mólico y de 8.6 para el suelo Vertisol éútrico, y para el suelo Phaeozem verti-háplico como mediana.

El análisis estadístico muestra que el suelo Vertisol presenta diferencias con respecto al Phaeozem y el Phaeozem con el Leptosol. Para el agua, el agua cruda presenta diferencias con respecto al agua pretratada de lluvia y de pozo. Y el agua pretratada con el agua de pozo.

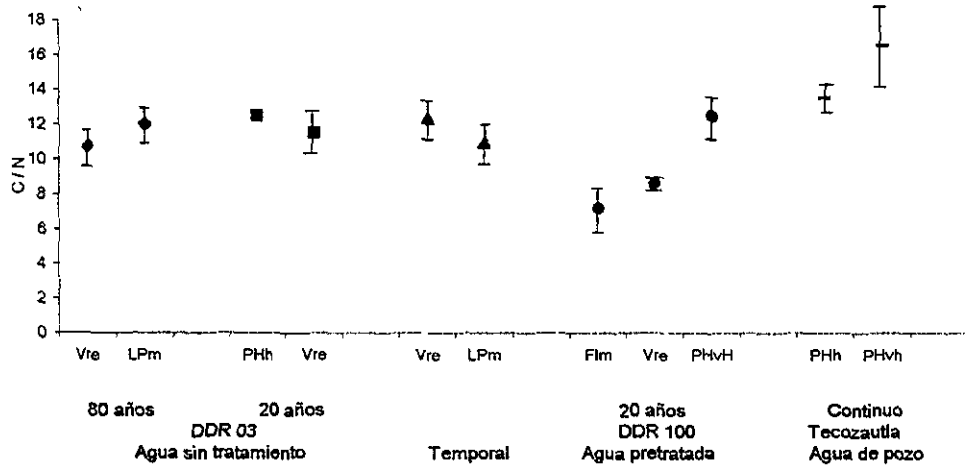


Figura 17. Valores promedio y su error estándar de la relación C/N en los suelos de los Distritos de Riego, Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los valores de fósforo que presentan el DDR 100 y el DDR 03 (en los suelos que presentan un tipo de riego temporal) son moderados (11.1 a 19.0 mg kg^{-1}). En cambio, estos valores de los suelos del DDR 03 que presentan 80 y 20 años de riego con agua sin tratamiento son altos (Figura 18).

El análisis estadístico muestra que no hay diferencias significativas entre los tres tipos de suelo. Pero sí hay diferencias significativas entre el agua cruda, el agua de lluvia y pretratada.

(mg kg^{-1})

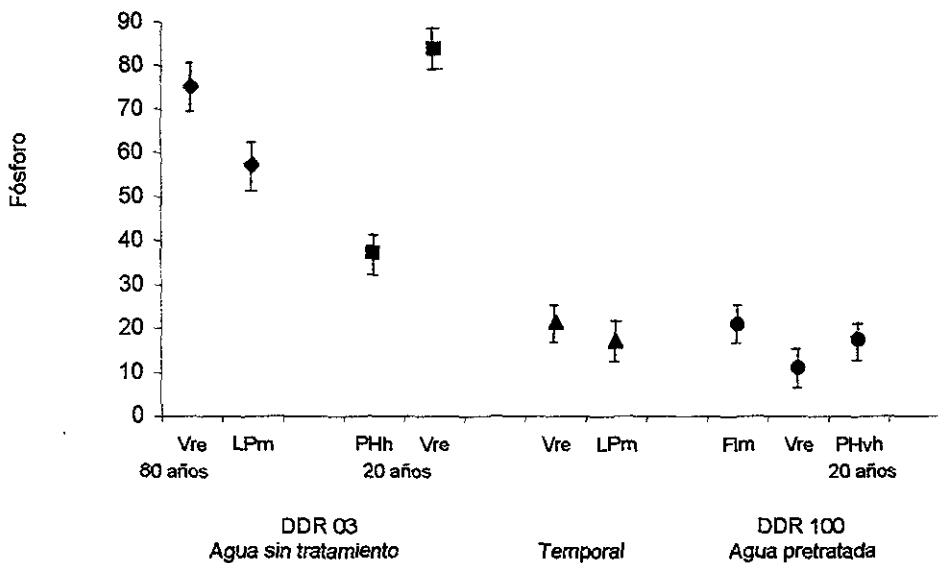


Figura 18. Valores promedio y error estándar de fósforo en los suelos de los Distritos de Riego, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Para los metales pesados, la mayor concentración del metal plomo (Pb) la presentan los suelos Vertisol éutrico y Leptosol mólico con 80 años de riego con agua residual del DDR 03, con 42 y 34.7 mg kg^{-1} respectivamente. Le siguen los suelos del DDR de Tecozautla con valores de 23.8 y 27.5 mg kg^{-1} y los del DDR 03 con 20 años de riego y del DDR 100, de 17.2 a 21.5 en los suelos Leptosol mólico, Vertisol éutrico y Phaeozem verti-háplico. Los contenidos más bajos los presentan los suelos de temporal con 12.7 y 11.7 mg kg^{-1} . Todos los valores se encuentran dentro de límites normales (Alloway, 1990) (Figura 19).

Y las tres unidades de suelo presentan diferencias significativas entre ellas mismas. En cambio el agua cruda, es la que presenta claras diferencias con respecto del agua de pozo, temporal y pretratada.

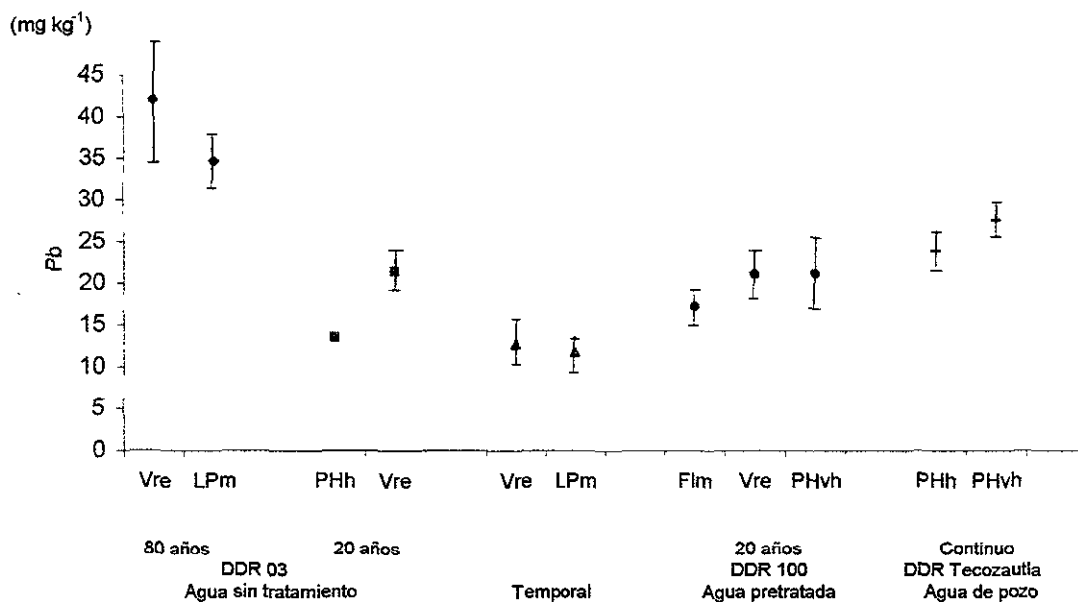


Figura 19. Valores promedio y su error estándar de los contenidos de plomo en los suelos de los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Para el metal cadmio las concentraciones más altas corresponden también a los suelos Vertisol éutrico y Leptosol mólico del DDR 03, con un tiempo de riego de 80 años (1.38 y 1.13 mg kg^{-1}), en seguida los valores de los suelos del DDR 100 con los del DDR de Tecozautla con valores de 0.42 a 0.55 mg kg^{-1} , sumándose a estos valores el del suelo Vertisol éutrico del DDR 03 con un tiempo de riego de 20 años. Los valores más bajos los presentan los suelos de temporal del DDR 03, los cuales son 0.14 y 0.13 mg kg^{-1} . Todos los valores están dentro de límites normales (Alloway, 1990) (Figura 20)

El análisis estadístico muestra diferencias del suelo Leptosol, con respecto del Phaeozem y Vertisol. Y para el agua, las diferencias se presentan del agua cruda con respecto de los otros tres tipos de agua.

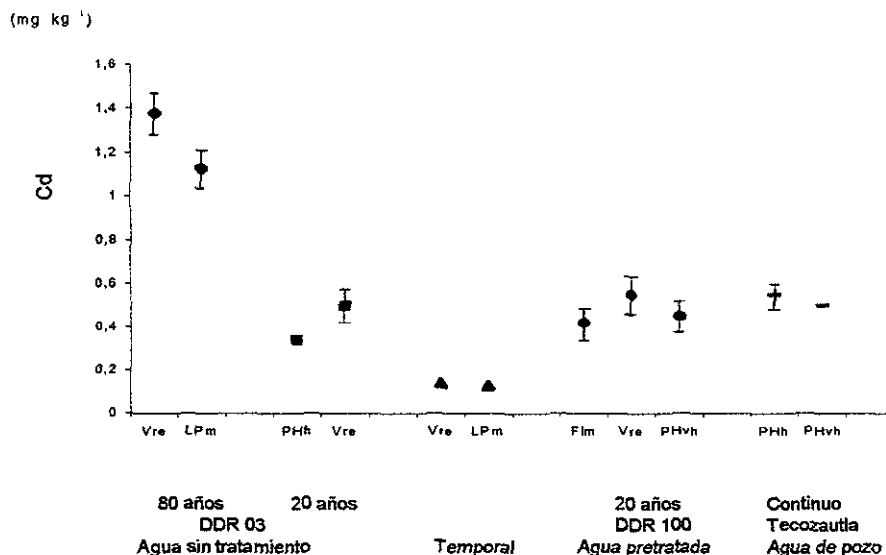


Figura 20. Valores promedio y error estándar de los contenidos de cadmio en los suelos de los Distritos de Riego, Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

Los contenidos del metal cobre, en los suelos del DDR 100, Tecozautla y los suelos Vertisol éútrico y Leptosol mólico de temporal del DDR 03 son similares de 8.4 a 12.3 mg kg⁻¹. En cambio los valores de los suelos Vertisol éútrico y Leptosol mólico del DDR 03 que presentan un tiempo de riego de 80 y 20 años, muestran los valores más altos de 16.7 a 44.5 mg kg⁻¹. Los valores se encuentran dentro de límites normales (Alloway, 1990) (Figura 21).

El análisis estadístico muestra diferencias significativas entre los tres tipos de suelo Vertisol, Phaeozem y Leptosol. Y para el agua el análisis muestra que el agua cruda, es diferente con respecto de las otras tres clases de agua.

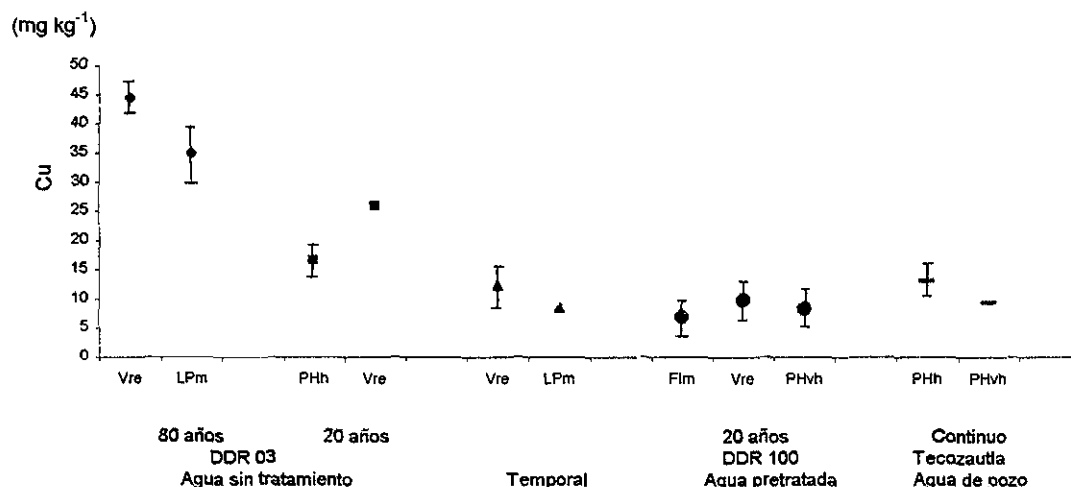


Figura 21. Valores promedio y su error estándar de los contenidos de cobre en los suelos de los Distritos de Riego, Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

En lo que corresponde al metal zinc, los suelos del DDR 03, Vertisol éútrico y Leptosol mólico, con un tiempo de riego de 80 años y el suelo Vertisol éútrico con 20 años de riego, presentan contenidos en los intervalos críticos de toxicidad, según Alloway (1990). En cambio los valores de los suelos del DDR 100, Tecozautla y los suelos de temporal DDR 03 se encuentran en límites normales (Figura 22).

Existen diferencias significativas entre los tres tipos de suelo y en el caso del agua, es el agua cruda la que presenta diferencias con respecto al agua de pozo, pretratada y de temporal.

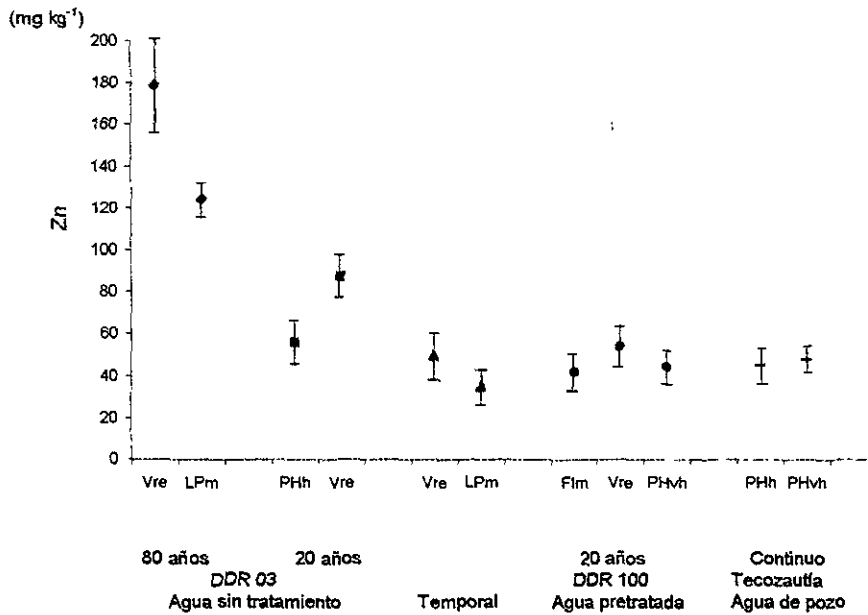


Figura 22. Valores promedio y su error estándar de los contenidos de zinc en los suelos de los Distritos de Riego Tecozautla, 03 de Tula y 100 de Alfajayucan.

6. DISCUSIÓN

6.1 Perfiles

Las tres unidades de suelo Fluvisol, Vertisol y Phaeozem son aprovechadas para la producción de cultivos. En cuanto a sus características físicas, los tres suelos presentan un volumen de porosidad total y una capacidad de aireación muy altos (Siebe *et al.*, 1996), pero la capacidad de campo y el intervalo de humedad aprovechable se encuentran bajos. Esta deficiencia se compensa en el DDR 100 mediante la aplicación de riegos, especialmente durante la época de estiaje.

Los tres perfiles se clasificaron como alcalinos, presentando valores pH de 7.1 a 7.8. Estos intervalos de pH son óptimos para la mayoría de los cultivos (Cajuste, 1977). En los tres suelos no existen problemas de salinidad, aunque se observa que el catión dominante es el Na^+ en los tres perfiles. Esta dominancia es favorecida por el agua residual que contiene mayor cantidad de este elemento (ver cuadro 1) y puede ser causa del desplazamiento del Ca^{++} en el suelo. Siebe (1994) detectó que este fenómeno ya afecta a suelos del DDR 03 regados durante más de 80 años con aguas del canal Tlamaco – Juandhó, cuya relación Ca/Na es de 2.66/8.9. En estos suelos los contenidos de Ca intercambiable se encuentran ya en niveles deficientes.

El agua de la presa Endhó, que es la fuente de agua del DDR 100 muestra relaciones Ca/Na más estrechas (2.39/3.12) y los suelos sólo llevan 20 años regándose con ella. Es por ello que en el DDR 100 no se espera aún un efecto negativo, y de darse, tardaría más tiempo en manifestarse. Los resultados con respecto a los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, son variados en los tres perfiles analizados. En el perfil Alfajayucan el contenido de la materia orgánica en el suelo es pobre, el nitrógeno está en contenidos medios y el fósforo es de bajo a alto. En cambio, para el perfil de Boxthó y San Agustín el contenido de materia orgánica y nitrógeno se encuentra en rangos medianos y el fósforo presenta valores bajos. Según Ortega (1963), en suelos con pH alcalino son frecuentes las deficiencias de fósforo y micronutrientes, debido a una reducción en su solubilidad. La mayor presencia de materia orgánica en los perfiles San Agustín y Boxthó se debe a que tienen mayor cantidad de arcilla en sus horizontes, logrando formar complejos estables con la materia orgánica a diferencia del perfil Alfajayucan, que presenta más arena en sus horizontes, perdiendo la capacidad de retener materia orgánica. Asimismo, la mineralización potencial de la materia orgánica está indicada por la relación C/N, que entre más baja es, más rápida es la descomposición del material; en cambio si es más alta la relación, la materia orgánica tiende a ser más resistente a la descomposición y aparecen las deficiencias de nitrógeno (Cuanalo, 1995). Para los perfiles Alfajayucan y Boxthó la relación C/N se encuentra en límites bajos y para el perfil San Agustín se encuentra entre los intervalos de bajos a medios sobresaliendo el valor de 13.4 del segundo horizonte (Moreno, 1978).

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad de los minerales de arcilla y de la materia orgánica de adsorber cationes de la fase líquida del suelo, desorbiendo al mismo tiempo otros cationes. Entre las mayores repercusiones de dicha propiedad está la de determinar el papel del suelo como depurador natural, al permitir la retención de elementos contaminantes incorporados al mismo (Porta *et al.*, 1994). En el perfil Alfajayucan, se observan valores medios de los cationes, y se puede observar que hay mayor presencia de arcilla para los dos primeros horizontes, disminuyendo en los dos últimos horizontes. Los perfiles Boxthó y San Agustín presentan una capacidad de intercambio catiónico de mediana a alta; en ambos perfiles la presencia de arcilla es dominante y puede ser una característica para distinguir estas unidades de suelos.

Todos los suelos presentan óxidos de hierro, aluminio y manganeso, debido al tipo de material parental que presentan como es el basalto caliza y conglomerado. Estos óxidos pueden indicar el

cambio de los óxidos amorfos a formas más cristalinas y ordenadas; el coeficiente oxalato-ditionito (o/d) indica la antigüedad del suelo (Schlichting y Blume, 1966). También realizan la adsorción de iones de la solución del suelo y especialmente tienen capacidad de oclusionar metales pesados.

Los coeficientes Al_o/Al_d , Fe_o/Fe_d y Mn_o/Mn_d se observan en los rangos de 3.5 a 5.5, 1.2 a 9 y de 2 a 7.6 respectivamente. Los valores más bajos se observan en la relación del elemento Fe, sobresaliendo el valor de 9 en el horizonte 3Ah del perfil San Agustín. Esto indica la constante alternancia de las reacciones oxido-reducción, como es el desplazamiento del Fe por el Al y viceversa que en el caso del Al, cuando es desplazado por el H^+ , que es altamente activo, en la estructura de la arcilla y con el paso del tiempo provoca inestabilidad estructural de la arcilla. El valor 9 en el horizonte 3Ah del perfil San Agustín puede ser sobrestimado ya que al realizarse la descripción en el campo se observa un horizonte, introducido posiblemente por el labrado del suelo, que rompe con el ordenamiento de los horizontes.

Los metales pesados en los suelos pueden ser tóxicos para los animales, plantas y el hombre en concentraciones altas, independientemente de que sean esenciales o no (Cajuste y Carrillo, 1991). Para el cobalto se observa una distribución relativamente homogénea en los tres suelos. Según Kabata-Pendías y Pendías (1992), el cobalto se presenta en abundancia en rocas sedimentarias, en intervalos de 0.1 a 20 $mg\ kg^{-1}$, encontrándose muy asociado con minerales arcillosos y materia orgánica. Los valores están entre 13 y 16 $mg\ kg^{-1}$ por lo que están en límites normales.

En el caso del plomo, los valores del perfil Boxthó son similares, aumenta ligeramente en el último horizonte, en cambio para el perfil Alfajayucan en el horizonte C_1 se observa un aumento de valor de 14.8 y en el perfil San Agustín el horizonte Ah presenta 18 $mg\ kg^{-1}$ observándose un ligero aumento 21-24 $mg\ kg^{-1}$. Para Kabata-Pendías y Pendías (1992), el contenido natural del plomo está relacionado fuertemente con la composición del material parental, reportándose como el metal menos móvil en comparación con otros metales pesados. El plomo se acumula, principalmente en horizontes superficiales del suelo en un intervalo de 3 a 189 $mg\ kg^{-1}$.

A diferencia del plomo, el cobre es considerado como uno de los metales pesados más móviles en el ambiente. El cobre es esencial, para plantas y animales, pero si se exceden los límites establecidos, es tóxico, por esta razón se llega a utilizar como fungicida (Chapman y Pratt, 1973). Los valores obtenidos de cobre para el perfil Alfajayucan están entre 5.6 y 6.7 $mg\ kg^{-1}$ y en el perfil Boxthó los valores son 6.3 a 7.1 $mg\ kg^{-1}$. Se aprecia que hay una similitud de valores en ambos perfiles, en cambio los valores del perfil San Agustín son mayores (de 10.5 a 15.4 $mg\ kg^{-1}$).

Los valores obtenidos de zinc en los horizontes de los perfiles Alfajayucan y Boxthó son similares, en cambio para el perfil San Agustín se observan valores alternados, valores que van de 40.7 a 71.2 $mg\ kg^{-1}$. Los valores encontrados, según Alloway (1990), están en intervalos normales.

El níquel, aunque es considerado un metal traza esencial, en concentraciones elevadas puede ser carcinogénico y teratogénico. Las concentraciones de níquel que se encuentran en el suelo van a estar dadas por la roca madre, procesos de formación del suelo y fuentes antropogénicas. Este metal se asocia con carbonatos, fosfatos y silicatos, además de interactuar con elementos tales como el Cu, Zn y Fe, pues puede haber traslocaciones con óxidos de Fe y Mn que son aprovechados por la planta. En presencia de materia orgánica hay mayor estabilidad y adsorción, su solubilidad es inversamente proporcional al pH del suelo, por lo tanto, su biodisponibilidad decrece al aumentar el pH del suelo.

Los valores de níquel obtenidos en los tres perfiles, se encuentran normales (Alloway, 1990); es posible que los valores de los perfiles Boxthó y San Agustín sean mayores por la presencia de la arcilla y por la alta capacidad de intercambio catiónico, pues conforme se incrementa la concentración de cationes en la solución del suelo, aumenta la posibilidad que sean intercambiados (Foth, 1990).

En lo que respecta a la amplia utilización del cadmio en la industria, se presenta como uno de los más frecuentes contaminantes del ambiente. Como el cadmio es altamente resistente a la corrosión, se utiliza en las industrias de partes para automóviles y aviones, electrónica y maquinaria industrial. Es importante mencionarlo ya que este tipo de industrias, que se encuentran al norte de la Ciudad de México y área metropolitana, vierten al sistema de drenaje sus aguas utilizadas.

En áreas no contaminadas, el cadmio se encuentra en el suelo en alrededor de 1 mg kg^{-1} (1 ppm). La solubilidad del cadmio está en función de pH del suelo, es más móvil en suelos ácidos (pH 4.5-5.5) que en suelos alcalinos donde es más bien inmóvil (López *et al.*, 1993). Por consiguiente la solubilidad de CdCO_3 y $\text{Cd}_3(\text{PO}_4)_2$, controlan su movilidad en el suelo. Pero la naturaleza de la superficie de adsorción y las uniones orgánicas son también de importancia. En los perfiles analizados los valores de cadmio son muy bajos de 0.4 a 0.7 mg kg^{-1} , no existiendo problema de contaminación por este elemento (Alloway, 1990) y la estabilidad que presentan las concentraciones de cadmio en los tres perfiles está dada por el pH alcalino que presentan.

En lo referente a los metales pesados, las aguas residuales que se vierten a esta zona agrícola no rebasan los límites máximos permisibles para aguas residuales, mencionados en la Norma Oficial Mexicana (Diario Oficial de la Nación, 1996).

6.2 Muestras compuestas del distrito de Alfajayucan.

En lo referente a las muestras compuestas que se recolectaron de la capa arable de los tres tipos de suelo, Fluvisol, Vertisol y Phaeozem, se observa que presentan un pH de 7.5 a 7.7 siendo ligeramente alcalinos. Este intervalo de pH fue también reportado por Velásquez (1966) en un trabajo realizado en la zona húmeda del Valle del Mezquital, este tipo de pH es reportado como óptimo para la mayoría de los cultivos por Cajuste (1977).

Las texturas obtenidas son francas arcillo arenosas (cuadro 27) y son adecuadas para los tipos de cultivos que se realizan en ese distrito, coincidiendo con lo descrito por Vázquez (1985) en las localidades de Tetuixquiac, Tlahuelilpan y Apasco. Con relación a los suelos arcillosos de tipo Vertisol, se consideran también como aceptables para los cultivos, pero estudios realizados sobre el movimiento del agua en Vertisoles señalan que la infiltración del agua probablemente está relacionada con el tiempo de permanencia de la lámina hídrica en la superficie del suelo que provoca, en gran medida, la dilatación de las arcillas y el cierre de sistemas de grietas, por las cuales continuaría el acceso del agua a horizontes más profundos. (Orellana *et al.*, 1991). Este estudio es apoyado por Cazares y E. Martínez, (1992), al realizar un experimento de infiltración con aguas residuales en suelos agrícolas de la comarca lagunera en Torreón, observando que la infiltración de los suelos se ve afectada por la irrigación con agua residual no tratada, ya que las partículas suspendidas que contienen pueden taponar los poros obstruyendo el flujo vertical del líquido en el perfil. Y en el caso de los suelos del distrito de Alfajayucan que presentan arcilla puede suceder la dilatación de arcillas pero al utilizar agua pretratada en estos suelos, se eliminan partículas que pueden obstruir los poros de los suelos.

Los resultados obtenidos de materia orgánica y de nitrógeno se encuentran en rangos medianos, apoyados sobre parámetros realizados por Velasco-Molina (1983). En el caso del fósforo los valores son moderados, (cuadro 31), los cuales se esperaban bajos por la presencia de pH alcalinos en los tres tipos de suelo; según Ortega (1963) en suelos con pH alcalinos son frecuentes las deficiencias de fósforo. En trabajos realizados por Valenzuela y Uvalle (1992) en suelos regados con aguas residuales, provenientes de la ciudad de Hermosillo, Sonora, el nitrógeno y el fósforo incrementan sus valores.

Este comportamiento fue también reportado por Siebe (1995) realizando investigaciones en el DDR. 03 de Tula Hidalgo, quien determinó que los contenidos de materia orgánica, nitrógeno y fósforo tienden a incrementarse, conforme aumenta el tiempo de riego con este tipo de agua.

Las mayores concentraciones de materia orgánica y nitrógeno total, las presentan el Vertisol y Phaeozem; la diferencia puede ser la presencia de arcilla en estos suelos que en unión con la materia orgánica forma complejos estables, a diferencia del Fluvisol que no presenta gran cantidad de arcilla. Esta observación es apoyada con los resultados de la relación C/N. Si se analizan particularmente los resultados obtenidos de las muestras, se aprecia que no presentan valores homogéneos. En este caso se necesitaría realizar un muestreo mayor, para obtener una mejor representación.

Los contenidos de cationes intercambiables son altos, (valores de 33.8 a 57.1 $\text{cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) dominando el calcio en los tres tipos de suelo (cuadro 30). Los valores más altos se muestran en suelos de textura arcillosa. Estos datos son similares a los reportados por Valenzuela y Uvalle (1992) en suelos agrícolas, regados con agua residual del estado de Sonora.

En los tres tipos de suelo representativos del DDR 100, se obtiene que el calcio se encuentra en mayor abundancia, a diferencia de lo reportado por Siebe (1995) en suelos del DDR. 03 de Tula. Donde se observa un desplazamiento de Ca por el Na que puede traer como consecuencia una alteración en la estabilidad de la estructura. Este efecto se ve en Tula amortiguado por el incremento de los contenidos de materia orgánica. En este caso, el error estándar para este análisis se observa menor en cada tipo de suelo y solamente se obtienen valores altos en los siguientes ejemplos: en el Fluvisol en calcio y el suelo Vertisol y Phaeozem en el magnesio.

Los valores obtenidos de metales pesados no presentan diferencias en las concentraciones de Co, Pb, Cu, y Cd entre los suelos de tipo Fluvisol y Phaeozem existiendo mayor concentración en los suelos de tipo Vertisol de Zn y Ni (Cuadro 33) con los valores de 54.12 y 19.87 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente. Estas concentraciones se encuentran en intervalos normales según lo propuesto por Alloway (1990).

6.3 Comparación entre los tres distritos de riego, Alfajayucan, Tula y Tecozautla.

En la comparación de los Distritos de Riego 100 de Alfajayucan, 03 de Tula y el de Tecozautla, se observa que los valores altos de pH los presentan los suelos regados con aguas residuales (DDR 03 y 100) y los valores menores el DDR de Tecozautla, en donde los suelos son regados con agua de pozo, agregándose a estos valores el suelo Vertisol éutrico del DDR 03 de Tula, que es de temporal, es decir, que no está bajo riego.

Lo anterior se observa lógico por la característica alcalina que presenta el agua residual que se utiliza en estas zonas. El análisis estadístico no muestra diferencias significativas entre las unidades de suelo. En cambio, para las clases de agua sí se observan diferencias significativas, en el caso del agua de pozo con respecto del agua cruda, de temporal y pretratada. Dado que el pH es alcalino, es probable que esta agua residual no sea portadora de cantidades apreciables de metales pesados en solución.

Para la conductividad eléctrica el análisis estadístico muestra que hay diferencias significativas entre el suelo Vertisol con el Leptosol. Y con respecto al tipo de agua de riego, los sitios regados con agua cruda son los que presentan diferencias con respecto a aquellos regados con agua de pozo, pretratada y de temporal. El uso continuo de aguas crudas provoca en los suelos condiciones favorables para la presencia de sodicidad y salinidad.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

En lo referente a los valores de los cationes intercambiables se observa que para el calcio en los tres distritos de riego, los valores son altos y distribuidos en todos los tipos de suelo.

En el análisis estadístico se observa que no hay diferencias significativas para el Ca y el K, en cambio para el Na sí hay diferencias significativas entre los tres tipos de suelo Vertisol, Phaeozem, y Leptosol. Y para el Mg se obtiene que hay diferencias entre el Vertisol con respecto del Phaeozem y Leptosol. Para el tipo de agua usada para riego, en sitios regados con agua cruda los cationes Mg, Na y K presentan diferencias significativas en comparación con las otras tres clases de agua. No así para el Ca, donde presenta diferencias con respecto del sitio de temporal y los sitios regados con agua pretratada y de pozo. Para el caso del suelo Fluvisol, una posible explicación es que éste presenta una mayor cantidad de arena y que ésta no permite la retención del calcio. Y la diferencia, con el suelo del distrito de Tecozautla es el tipo de agua que se utiliza en esta zona.

En lo referente al carbón orgánico, que nos indica el grado de acumulación de la materia orgánica, se observa una alternancia de concentraciones en los diferentes suelos de los tres distritos de riego. Esto puede ser por el factor tiempo bajo riego y el tipo de agua con la cual son irrigados estos suelos, ya que las aguas residuales contienen y aportan, materia orgánica, apoyando esta deducción con el análisis estadístico del agua donde se presentan diferencias significativas del agua de pozo con respecto del agua cruda y residual. Como se puede observar, el suelo Vertisol éútrico con un tiempo de irrigación de 80 años perteneciente al distrito de Tula, presenta el valor más alto, seguido por el suelo Leptosol mólico de este mismo distrito de Tula.

Por lo que respecta al nitrógeno, en los suelos de los tres distritos de riego se encuentra en valores moderados. Raramente es un elemento limitante para los microorganismos del suelo. Sin embargo, la activa incorporación de este elemento dentro de la biomasa microbiana, puede causar que el nitrógeno se convierta en una limitante del crecimiento de las plantas en los edafocistemas. Esto ocurre cuando la materia orgánica adicionada al suelo tiene una relación C/N alta, favoreciendo la inmovilización del nitrógeno. Lo contrario ocurre cuando la materia orgánica tiene una relación C/N baja, en este caso, se incrementa la mineralización de este elemento (la transformación microbiana del N-orgánico en N-mineral).

En lo referente a los metales pesados Pb, Cd, Cu y Zn presentes en los tres distritos de riego y que fueron comparados, se observa como el tiempo bajo riego y el tipo de agua son los factores principales para obtener diferencias entre las concentraciones en los suelos de los diferentes distritos. Los suelos, Vertisol éútrico y Leptosol mólico del distrito de riego 03 de Tula, que han sido irrigados por 80 años con agua residual sin tratamiento, presentan los valores más altos para los cuatro metales. Y en cuanto a los suelos Phaeozem háplico y Vertisol éútrico que presentan 20 años de irrigación, en los casos de los metales Pb y Cd, los valores son similares en los suelos del distrito 100 de Alfajayucan. Y finalmente, en los metales Cu y Zn los valores son similares en los suelos de Temporal (DDR 03), los de Alfajayucan y Tecozautla.

El análisis estadístico muestra que para los metales Pb, Cu y Zn las diferencias se presentan entre los tres tipos de suelo. Solamente para el Cd, se presentan diferencias del suelo Leptosol con respecto del Phaeozem y Vertisol. En lo que respecta al agua de riego, los sitios regados con agua cruda son los que presentan diferencias en los metales Pb, Cu y Zn con los sitios regados con las otras tres clases de agua (pretratada, temporal y de pozo). En cambio, para el metal Cd los sitios regados con agua cruda y pretratada son diferentes a aquellos regados con agua de pozo y los de temporal. Las características que presentan los suelos nos permiten inferir el posible comportamiento de los metales pesados en el suelo. Dado que los suelos tienen pH alcalinos, se reduce la solubilidad y se incrementa la adsorción de los metales en el suelo, pero esta facultad se pierde si se suministra mayor cantidad de metales de los que puede retener.

Los suelos que presentan un mismo tiempo de riego (20 años) de los DDR 03 y el DDR 100 tienen, el pH alcalino, presentándose ligeramente mayor para los suelos del DDR 03, en cambio la conductividad eléctrica es mayor para los suelos del DDR 100, cuando se esperaba que fuera menor o igual al DDR 03, por los diferentes tipos de agua que en cada distrito se utilizan, agua cruda y pretratada. En lo referente al carbón orgánico y el nitrógeno son similares para ambos distritos, no así la relación C/N y los valores del fósforo, presentándose estos parámetros mayores en el distrito 03. Los valores de los cationes intercambiables se presentan así: el Mg es mayor en el DDR 100, el Ca es similar en ambos distritos y el Na y K los valores son mayores en el DDR 03. Para los metales el Cu y Zn los valores son mayores en el DDR 03, en cambio el Pb y Cd los valores de éstos son similares para los dos distritos.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los análisis físicos y químicos realizados en los suelos, éstos se clasifican según la WRB (1999) como Fluvisol mólico (Flm) (localidad Alfajayucan), Vertisol eútrico (Vre) (localidad Boxthó) y Phaeozem vertí-háplico (PHvh) (Ejido San Agustín).

Los contenidos de materia orgánica, nitrógeno, capacidad de intercambio catiónico y el pH alcalino son favorables para un buen crecimiento de los cultivos que se producen en este Distrito de Riego 100.

En este distrito de riego las concentraciones totales obtenidas de los metales Pb, Cd, Co, Cu, Ni y Zn se encuentran en niveles normales.

El uso de agua residual pretratada en estos suelos, no ha contribuido al aumento de metales pesados, ayuda a tener nutrimentos en cantidades suficientes y no ha provocado problemas de salinidad ni de sodicidad.

Al comparar el DDR 100 Alfajayucan, el DDR 03 de Tula y el DDR de Tecozautla, se muestra que la mayor concentración de todos los metales comparados Pb, Cd, Cu y Zn, así como de nutrimentos y sales, está en el DDR 03 de Tula, en donde se utiliza constantemente agua residual sin tratamiento.

La comparación entre los suelos regados por 20 años con agua pretratada (DDR 100) con aquellos regados por 20 años con aguas residuales crudas (DDR 03) mostró lo siguiente:

- a. Un pH alcalino para los dos distritos, ligeramente mayor en los suelos del DDR 03.
- b. Una conductividad eléctrica mayor en los suelos del DDR 03.
- c. El carbón orgánico y nitrógeno total son similares en ambos distritos.
- d. La relación C/N y fósforo se presentan en mayor concentración en el DDR 03.
- e. Se observan valores mayores de Na y K intercambiable en el DDR 03, el Mg intercambiable es mayor en el DDR 100 y el Ca intercambiable es similar en ambos distritos.
- f. Para los metales Pb y Cd las concentraciones de éstos son similares para los dos distritos, no así para el Cu y Zn donde la concentración de éstos es mayor en el DDR 03.

8. LITERATURA CITADA

- ♣ Alloway, B. J., 1990. **Heavy metals in soils**. Ed. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- ♣ Ato, G. M. y López, G. J., 1994. **Fundamentos de Estadística con SYSTAT**. Ed. Addison Wesley Iberoamerica. México.
- ♣ Black, C.A., 1965. **Methods of soil analysis**. Part 1 and part 2. Agronomy No. 9. American Society of Agronomy, Inc. Publisher Madison, Wisconsin.
- ♣ Bouyoucos, G.J., 1963. Directions for making mechanical analyses of soil by hydrometer method. **Soil Science 42: 25-30**
- ♣ Bouwer, C.A. y R. Fireman, 1952. Exchangeable cation analysis of by hydrometer method, **Soil Science 42: 25-30**.
- ♣ Cajuste, J.L., 1977. **Química de suelos con un enfoque agrícola**. Colegio de Postgraduados Chapingo. México.
- ♣ Cajuste, L.J., G.R. Carrillo, 1991. **La contaminación por metales pesados en suelos agrícolas y aguas residuales**. Primer Simposio Nacional de Agricultura Sostenible. Colegio de Postgraduados. México 237-296 p.
- ♣ Carrasco, C.M.R. 1971. **Proyecto de riesgo con aguas negras en el Valle de Alfajayucan Hgo.** Tesis de Licenciatura. Fac. Ingeniería UNAM. México.
- ♣ Cazares, M. R. y E. Martínez. 1992. **Determinación del efecto en la infiltración de un suelo potencialmente agrícola por la irrigación con tres fuentes de aguas residuales en la Comarca Lagunera**. Memorias XXV. Congreso Nacional. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Acapulco Guerrero.
- ♣ CETENAL, 1974 a (Hoja) Huichapan (F-14-C-78) Hidalgo. México D.F. Dirección de Estadística Económica. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta Geológica, escala 1:50 000.
- ♣ CETENAL, 1974 b (Hoja) Huichapan (F-14-C-78) Hidalgo. México D.F. Dirección de Estadística Económica. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta Edafológica, escala 1:50 000.
- ♣ CETENAL, 1975 (Hoja) Huichapan (F-14-C-78) Hidalgo. México D.F. Dirección de Estadística Económica. Comisión de Estudios del Territorio Nacional. Carta de Uso del Suelo, escala 1:50 000.
- ♣ Cottenie, A., 1980. **Los análisis de suelos y plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes**. Boletín de suelos de la FAO 38/2. Food and Agriculture Organization, Roma.
- ♣ Cuanalo, C.H., 1995. **La materia orgánica en la génesis de los suelos tropicales**. Memorias del Simposio Universitario de Edafología. UNAM. México.
- ♣ Chapman, D.H. y F.P Pratt., 1973. **Métodos de análisis para suelos, plantas y aguas**. Ed. Trillas. México.
- ♣ Diario Oficial de la Nación 1996. NOM-001-ECOL-1996. Normas Oficiales Mexicanas para la Protección Ambiental. México. D.F. México.
- ♣ Etchevers J.D., G.Espinosa., E. Riquelme, 1971. **Manual de fertilidad y fertilizantes**, 2da. Edición, corregida. Universidad de Concepción, Facultad de Agronomía. Chillan,

- * Flores, D.L. 1992. Total contents of cadmium, copper, manganese and zinc in agricultural soils irrigated with wastewater from Hidalgo. México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 8(1), 37-46 p.
- * Flores, S.J.G., 1993. **Diseño de una planta de tratamiento de aguas negras y su utilización en áreas verdes en los talleres del metro férreo de La Paz, Estado de México.** Tesis de Licenciatura. Ing. Agrícola. Fac. Estudios Superiores. Cuautitlán. UNAM. México.
- * Foth, H.D. 1990. **Fundamentals of soil science.** John Wiley and Sons Inc. New York.
- * García, E., 1988. **Modificaciones al sistema de Clasificación Climática de Köppen, para adaptarlo, a las condiciones Climáticas de la República Mexicana.** UNAM. México.
- * Hernández, M., 1998. **Caracterización físico-química de los suelos del Distrito de Riego de Tecozautla, Hidalgo.** Tesis de Licenciatura. Biología. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- * Jones, B.J. y B. Wolf., 1984. **Manual Soil Testing Procedure using modified (Wolf).** Morgan Extracting Reagent. Benton Laboratories INC, Athens Georgia.
- * Kabata-Pendías, A. y H. Pendías, 1992. **Trace elements in soils and plants.** C.R.C. Press, 2^{da}. Edición. Florida.
- * Landon, J.R., 1984. **Booker Tropical Soil Manual.** Booker Agriculture International Limited, Londres.
- * López, C.J., R.R. Martínez., M. G. E. Rojo., 1993. **Estudios del grado de contaminación por sustancias nocivas y tóxicas en aguas residuales usadas con fines de riego agrícola en el municipio de Teoloyucan, Estado de México.** Tesis de Licenciatura. Ing. Agrícola. Fac. Estudios Superiores Cuautitlán. UNAM.
- * Maples, V. M. 1990. **Antecedentes físicos, históricos y socio-económicos del Distrito de Desarrollo Rural 063. Estado de Hidalgo.** Memorias. 1er. Simposio. Nacional. Degradación del Suelo. UNAM. México. 38-39 p.
- * Mejía, B. M., S. Sánchez, G. Hernández, L. Flores, G. Villarreal y V. Guajardo. 1990. **Metales pesados en maíz (*Zea mays.*) y alfalfa (*Medicago sativa L*) y su correlación con los extractables en suelos del D.D.R. 063, Hgo.** Mem. 1er. Simp. Nal. Degradación del Suelo. UNAM. Méx 42-43 p.
- * Méndez, G.T. 1982. **Estudio sobre contaminación de suelos agrícolas del Valle del Mezquital, Hgo. por A.B.S. Boro y metales pesados por el uso de aguas negras de la Ciudad de México.** Tesis de Lic. Biología. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- * Moreno, D.R., 1978. **Clasificación de pH del suelo, contenido de sales y nutrimentos asimilables.** INIA-SARH, México.
- * Munsell soil color charts, 1990. Munsell Color Macbeth Division of Kollmorgen Instruments Corporation, Baltimore, Maryland.
- * Núñez, C.H. 1991. **Diagnosis y evaluación de los suelos salinos-sódicos de una zona templada en Chalco, Estado de México.** Tesis de Lic. Fac. Ciencias. UNAM. México.
- * OMS., 1989. **Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en la agricultura y acuicultura. Informe de un grupo Científico.** Serie de Informes Técnicos 778. Ginebra.
- * Orellana, R., F. Ortega, C. Ortiz y T. Forbes. 1992. **La infiltración del agua en vertisoles de Cuba.** Memorias XXV. Congreso Nacional. Sociedad Mexicana. Ciencia del Suelo. Acapulco Guerrero.
- * Ortega, T.E., 1963 **Correlación entre los métodos de análisis químicos de fósforo aprovechable para las plantas y los rendimientos relativos del maíz.** *Agricultura Técnica de México.* 2 (4): 148-151.

- * Porta, J., López-Acevedo M y Raquero C., 1994. **Edafología para la agricultura y el medio ambiente**. Mundi-Prensa, España.
- * Richards, L.A., 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soil**. USA. Agricultural Handbook N. 60 U.S. Department of Agriculture, Washington D.C.
- * Richards, L.A. 1984, **Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos**, Limusa, México.
- * SARH., 1994. **Características de los Distritos de Desarrollo Rural de México**. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Coordinación General de Delegaciones. México.
- * SARH., 1995. **Características de los Distritos de Desarrollo Rural de México**. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Coordinación General de Delegaciones. México
- * Schlichting E., Blume H.P., 1966, **Bodenkundliches Praktikum**, Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlín.
- * Schlichting E., H.P. Blume. y K. Stahr, 1995, **Bodenkundliches Praktikum (2ª ed)**, Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlin.
- * Segerstrom, K., 1962. Geology of South-Central Hidalgo and north-eastern México. U.S. Geol. Survey Bull. 1104. 87-162 p.
- * Siebe, C. 1994. **Akkumulation, Mobilität und Verfügbarkeit von Schwermetallen in langjährig mit städtischen Abwässern bewässerten Böden in Zentralmexiko**, Institut für Bodenkunde und Standorts lehre, Universität Hohenheim.
- * Siebe C. 1995. **Efecto del riego agrícola con aguas residuales sobre la fertilidad de los suelos en el Distrito de Riego 03, Hidalgo**. Simp. Universitario de Edafología. UNAM. México. 128-128p.
- * Siebe C, Jahn R, y Stahr K. 1996. **Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo**. Publicación Especial No.4 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. A.C. Chapingo México.
- * Sierra M.R. 1975. **Análisis climatológico y su relación con la vegetación y agricultura en el área de influencia de la cuenca del río Alfajayucan Hgo**. Tesis de Maestría-Geografía. Fac. de Filosofía y Letras. UNAM. México.
- * SPP., 1983, (Hoja) Pachuca (F14 11), Hidalgo, Secretaria de Programación y Presupuesto, Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía E Informática. Carta Hidrológica de Aguas Superficiales, escala 1:250,000.
- * Valenzuela, V.L. y X. Uvalle. 1992. **Características físico-químicas de suelos regados con aguas residuales de Hermosillo Sonora**. Mem. XXV. Congreso Nacional. Sociedad Mexicana. Ciencia del Suelo. Acapulco Guerrero.
- * Vázquez, A. A. y Bautista. 1993. **Guía para interpretar el análisis químico de suelo y agua**. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo México.
- * Velásquez, H. A., 1966. **Análisis Físico químico de los suelos del Valle del Mezquital (zona húmeda)**. Tesis de Licenciatura. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México.
- * Velasco-Molina, H.A., 1983. **Problemario: uso del suelo y manejo del suelo, teoría y laboratorio**. Limusa, México.
- * Walsh, M. L., 1972. **Instrumental methods for analysis of soil and plant tissue**. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.
- * WRB, 1999., **World reference base for soil resurce**. FAO, ISRIC; IUSS-UISS-IBU, www.fao.org/waicent/faoinfo/agricult/agl/agls/wrb/wrbmaps/htm/domsoi.htm.

ANEXO

- I Descripción de los perfiles del
Municipio de Alfajayucan Hidalgo
- II Datos de muestras compuestas
- III Datos del Distrito de Riego 03 de Tula
- IV Datos del Distrito de Riego Tecozautla
- V Datos de concentración de metales
pesados Alloway, 1990
- VI Datos de los análisis estadísticos

MAPAS

Geológico

Edafológico

Uso del Suelo

DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES DEL MUNICIPIO DE ALFAJAYUCAN HIDALGO

Primer perfil Alfajayucan.

I- Información acerca de la localidad.

- a. Número de perfil -1-
- b. Nombre del sitio: Alfajayucan
- c. Clasificación del suelo: WRB, 1999 Fluvisol mólico (FLm).
- d. Fecha de la descripción: 21 de Marzo de 1995.
- e. Autor: E. Julio Hernández Moreno.
- f. Localización: Al N W del poblado de Alfajayucan por el camino de terracería principal que comunica al poblado, con la presa Golondrinas.
Lat. 20° 24' N
Long. 90° 21' 30" O
- g. Altitud. 1860 m.
- h. Forma del terreno: Posición fisiográfica. Planicie de inundación de la presa Golondrinas. Micro relieve: ninguno.
- i. Pendiente: casi plano 0-2%, exposición N E.
- j. Uso del suelo: Agrícola de riego.
- k. Clima: Según Köppen modificado por García (1988) el clima es BS₁ kw(w)(e)gw", semi-seco templado, lluvias en verano, % de precipitación invernal es de 7, verano cálido (datos de la estación meteorológica Alfajayucan -Rancho Chico localizada a 2.5 km).

II. Información general acerca del suelo.

- a. Material parental: Toba.
- b. Drenaje Natural: Moderado.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo.
- d. Profundidad al manto freático: Desconocida.
- e. Presencia de rocas superficiales: No.
- f. Evidencia de erosión: No.
- g. Presencia de sales o soda: Ligera.
- h. Influencia humana: Terreno agrícola bajo riego.

III. Descripción breve del perfil.

Perfil profundo, de drenaje moderado, color oscuro, uniforme si se observa en húmedo, no pedregoso, presenta una costra de 2 cm en la parte superficial. La densidad de raíces es alta en la parte superficial y mediana en las partes intermedias.

IV. Descripción del perfil.

Ap	0-30 cm.	Color oscuro en húmedo 10 YR 3/2, textura franco arcillosa, contenido de materia orgánica 1.5%, ligeramente alcalino (pH 7.3, en CaCl ₂). Estructura subangular en bloques fina. Pedregosidad nula, poros finos intersticiales, densidad de raíces alta, límite gradual y uniforme.
----	----------	---

- C1 30-43 cm. Color oscuro en húmedo 10 YR 3/2, textura franca, contenido de materia orgánica 0.89%, ligeramente alcalino (pH 7.3 en CaCl_2). Estructura subangular en bloques, pedregosidad nula, poros finos e intersticiales, densidad de raíces mediana, límite gradual y uniforme.
- C2 43-58 cm. Color oscuro en húmedo 10 YR 3/2, textura franca, contenido de materia orgánica 0.89%, ligeramente alcalino (pH 7.4 en CaCl_2), estructura subangular en bloques, poros finos e intersticiales, densidad de raíces mediana, límite difuso.
- C3 58-100 cm. Color oscuro en húmedo 10 YR 3/2, textura franca, contenido de materia orgánica 0.82%, ligeramente alcalino (pH 7.4 en CaCl_2), estructura subangular en bloques, densidad de raíces nula.

Segundo perfil Boxthó.

I.-Información acerca de la localidad.

- a. Número del perfil: 2.
- b. Nombre del sitio: Boxthó.
- c. Clasificación del suelo:
WRB, 1999. Vertisol eútrico (VRe).
- d. Fecha de la descripción: 22 de Marzo de 1995.
- e. Autor: E. Julio Hernández Moreno.
- f. Localización: Al SW del poblado de Alfajayucan, por la terrecería hacia Boxthó-Xathé.
Lat. 20° 23' 22" N
Long. 90° 23' 36" O
- g. Altitud: 1940 m.
- h. Forma del terreno:
Terreno terraceado en una ladera suave, ligeramente inclinado.
- i. Pendiente: moderadamente inclinado, exposición: N W.
- j. Uso del suelo: Agrícola de riego.
- k. Clima: Según Köppen modificado por García (1988) el clima es $\text{BS}_1 \text{ kw(w)(e)gw}$, semiseco templado, lluvias en verano, % de precipitación invernal es de 7, verano cálido (datos de la estación meteorológica Alfajayucan -Rancho Chico localizada a 2.5 km).

II. Información general acerca del suelo.

- a. Material parental: Toba volcánica.
- b. Drenaje natural: Bueno, clase 2.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Húmedo, estaba recién regado.
- d. Profundidad al manto freático: Desconocida.
- h. Presencia de rocas superficiales: No
- f. Evidencia de erosión: No.
- g. Presencia de sales o soda: Ligera.
- h. Influencia humana: Terreno agrícola bajo riego.

III.- Descripción breve del perfil.

Perfil medianamente profundo, bien drenado, color gris oscuro uniforme, si está húmedo, sin pedregosidad, desarrollo de estructura angular en bloques medianos, con agregados de estabilidad baja a mediana. El perfil presenta poros medianos a finos, intersticiales, la distribución de raíces es alta en todo el perfil.

IV.- Descripción del perfil.

Ap	0-30 cm.	Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura arcillo limosa, contenido de materia orgánica 2.4%, ligeramente alcalino (pH 7.8 en CaCl_2), estructura angular en bloques, mediana, fina, pedregosidad nula; poros pocos, finos, intersticiales, densidad de raíces alta, límite difuso.
A1	30-48 cm.	Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura arcillo limosa, contenido de materia orgánica 2.3%, ligeramente alcalina (pH 7.8 en CaCl_2), estructura angular en bloques mediana fina, presenta facetas de presión-fricción, pedregosidad nula; presencia de poros pocos, intersticiales, densidad de raíces alta con un límite difuso.
A2	48-50 cm.	Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura arcillo limosa, neutro (pH 7.6 en CaCl_2) contenido de materia orgánica 1.8%, estructura angular en bloques mediana fina, presenta facetas de presión-fricción, pedregosidad nula, presencia mínima de poros finos intersticiales, densidad de raíces alta, límite claro.

Tercer perfil San Agustín.

I.-Información acerca de la localidad.

- a. Número de perfil: 3.
- b. Nombre del sitio: Ejido San Agustín.
- c. Clasificación del suelo:
WRB, 1999. Feozem verti-háplico.
- d. Fecha de la descripción: 22 de Marzo de 1995.
- e. Autor: E. Julio Hernández M.
- f. Localización: Al SE del poblado de Alfajayucan, salida hacia Chapantongo tomando la desviación hacia Xamage.
Lat. 20° 22' 42" N
Long. 99° 20' 6" O
- g. Altitud: 1940 m.
- h. Forma del terreno: Posición fisiográfica, parte alta del Valle de Alfajayucan.
- i.-Pendiente: Inclinado de 2° a 3°, exposición N-NW.
- j. Uso del suelo: Agrícola de riego, rotación de cultivos como maíz, alfalfa.
- k. Clima: Según Köppen modificado por García (1988) el clima es BS₁ kw(w)(e)gw", semi-seco templado, lluvias en verano, el porcentaje de precipitación invernal es de 7, verano cálido (datos de la estación meteorológica Alfajayucan -Rancho Chico-localizada a 2.5 km).

II.-Información general acerca del suelo.

- a. Material parental. Toba volcánica.
- b. Drenaje natural: De bueno a moderado, clase 2.
- c. Condiciones de humedad en el perfil: Seco en la parte superior y fresco en las partes inferiores.
- d. Profundidad al manto freático: Desconocida.
- e. Presencia de rocas superficiales: Mínima.
- f. Evidencia de erosión: No se nota.
- g. Presencia de sales ó soda: No es evidente.
- h. Influencia humana: Zona agrícola de riego.

III.-Descripción breve del perfil.

Perfil profundo, bien drenado de color gris oscuro, uniforme en apariencia, conformado por tres estratos de origen distinto, pedregosidad mínima, desarrollo de estructura moderada, estructura subangular en bloques, presencia mínima de poros intersticiales, la distribución de raíces es mediana en los dos primeros horizontes y baja en los horizontes inferiores.

IV.-Descripción del perfil.

Ap ₁	0-11 cm.	Color gris oscuro 10 YR 3/2, textura franco arcillo-limosa, contenido de materia orgánica 3.5%, ligeramente alcalina (pH 7.7 en CaCl ₂), estructura subangular en bloques moderada, mínima pedregosidad, poros pocos, intersticiales, densidad de raíces mediana, límite claro a gradual.
-----------------	----------	---

- Ap₂ 11-28 cm. Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura franco arcillo limosa, contenido de materia orgánica 3.4%, ligeramente alcalina (pH 7.6 en CaCl₂), estructura subangular en bloques moderada, mínima pedregosidad, presencia de poros intersticiales, densidad de raíces baja, límite difuso.
- Ah 28-57 cm. Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura franco limosa, contenido de materia orgánica 2.5%, ligeramente alcalina (pH 7.7 en CaCl₂), estructura subangular en bloques moderada, mínima pedregosidad, poros pocos intersticiales finos, densidad de raíces mediana, límite abrupto.
- 2AC 57-63 cm. Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura franca, ligeramente ácido, (pH 6 en CaCl₂), sin estructura (grano simple), mínima pedregosidad, presencia mínima de poros, densidad de raíces baja, límite abrupto.
- 3Ah 63-87 cm. Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura franco arcillo limosa, contenido de materia orgánica 2.6%, ligeramente alcalina (pH 7.4 en CaCl₂), estructura subangular en bloques mínima pedregosidad, pocos poros, intersticiales, baja densidad de raíces, límite difuso.
- 3AC 87-105 cm Color gris oscuro 10 YR 3/1, textura franco arcillo limosa, contenido de materia orgánica 1.46%, ligeramente alcalina (pH 7.3 en CaCl₂), estructura subangular en bloques mediana, mínima pedregosidad, presencia de poros finos intersticiales, baja densidad de raíces.

Cuadro 35. Resultados de Densidad Real (D.R.) de la capa arable (0-30 cm), promedio y error estándar (E.E) en muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100, Alfajayucan, Hgo.

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	D.R. (g cm ⁻³)
Alfajayucan	Fluvisol	1	2.28
Alfajayucan	Fluvisol	8	2.28
Alfajayucan	Fluvisol	10	2.3
P.B. Juárez	Fluvisol	12	2.24
Promedio			2.27
E.E			0.01
Boxthó	Vertisol	2	2.26
Boxthó	Vertisol	3	2
Baxthé	Vertisol	4	1.96
Mayorazgo	Vertisol	5	2.03
Promedio			2.06
E.E			0.06
San Agustín	Phaeozem	6	2.08
Zoea	Phaeozem	7	2.14
Alfajayucan	Phaeozem	9	2.31
Alfajayucan	Phaeozem	11	2.23
Promedio			2.19
E.E			0.05

Cuadro 36. Contenido de fósforo, carbón orgánico, materia orgánica, nitrógeno, relación carbono nitrógeno, promedio y su error estándar (E.E) en muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100 Alfajayucan, Hgo

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	P mg kg ⁻¹	C org. gkg ⁻¹	M. o. gkg ⁻¹	N gkg ⁻¹	C/N
Alfajayucan	Fluvisol	1	15	8.7	15	1.3	6.6
Alfajayucan	Fluvisol	8	27	9.8	16.9	1.4	7
Alfajayucan	Fluvisol	10	30	15.8	27.3	1.5	10.5
P.B. Juárez	Fluvisol	12	11.5	8.9	15.3	1.3	6.8
Promedio			20.9	10.8	18.6	1.4	7.7
E.E			4.50	1.68	2.92	0.05	0.93
Boxthó	Vertisol	2	10	9.6	16.6	1	9.6
Boxthó	Vertisol	3	6	11.9	20.5	1.4	8.5
Baxthé	Vertisol	4	2.5	14.1	24.3	1.7	8.2
Mayorazgo	Vertisol	5	26	13	22.4	1.6	8.1
Promedio			11.1	12.2	21.0	1.4	8.6
E.E			5.19	0.96	1.64	0.15	0.34
San Agustín	Phaeozem	6	1.6	19	32.8	2	9.5
Zoea	Phaeozem	7	13.5	17.2	29.7	1.2	14.3
Alfajayucan	Phaeozem	9	40.5	17.4	30.1	1.4	12.4
Alfajayucan	Phaeozem	11	15	20.5	35.4	1.5	13.6
Promedio			17.7	18.5	32	1.5	12
E.E			8.19	0.77	1.33	0.17	1.06

Cuadro 37. Valores de Iones Intercambiables de muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100, Alfajayucan Hgo.

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	pH CaCl ₂ (1:2.5)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ cmol kg ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	CIC cmol kg ⁻¹ suelo	CIC cmol kg ⁻¹ arcilla	Saturación de bases %			
										Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
Alfajayucan	Fluvisol	1	7.5	13.2	12	0.9	1.0	27	98.3	48.8	44.4	3.2	3.6
Alfajayucan	Fluvisol	8	7.6	23.7	7.2	0.9	0.9	32.7	117.8	72.4	22	2.8	2.7
Alfajayucan	Fluvisol	10	7.6	27.5	13.7	1.1	1.9	44.1	119.1	63.3	31	2.5	4
P.B. Juárez	Fluvisol	12	7.7	20.5	9.7	0.6	0.9	31.7	134.5	64.6	30.5	1.9	2.5
	Promedio		7.6	21.23	10.65	0.89	1.16	33.88	117.43	62.28	31.98	2.6	3.2
	E.E.		0.04	3.03	1.41	0.11	0.23	3.63	7.42	4.92	4.63	0.27	0.36
Boxthó	Vertisol	2	7.6	35.7	16	2.3	1.6	55.5	98.2	64.3	28.8	4.1	2.8
Boxthó	Vertisol	3	7.7	33.7	17.2	4.0	0.7	55.5	88.44	60.7	30.9	7.2	1
Baxthé	Vertisol	4	7.4	28.7	8.5	1.9	0.7	39.8	58.3	72.1	21.3	4.7	1.7
Mayorazgo	Vertisol	5	7.4	28.2	10.2	2.0	1.5	41.8	84.7	67.4	24.4	4.5	3.5
	Promedio		7.53	31.58	12.98	2.55	1.11	48.15	82.40	66.13	26.35	5.13	2.25
	E.E.		0.07	1.85	2.14	0.50	0.24	4.26	8.52	2.42	2.16	0.70	0.56
San Agustín	Phaeozem	6	7.7	37.5	20.5	1.5	1.8	61.2	121.8	61.2	33.4	2.2	2.7
Zozea	Phaeozem	7	7.9	32	30	2.0	1.7	65.6	194.9	48.7	45.7	2.8	2.5
Alfajayucan	Phaeozem	9	7.7	35	14.7	0.8	1.6	52	337.8	67.3	28.2	1.5	2.8
Alfajayucan	Phaeozem	11	7.6	30.7	16.5	0.8	1.7	49.6	175.9	61.8	33.2	1.5	3.4
	Promedio		7.73	33.8	20.43	1.27	1.68	57.1	207.6	59.75	35.13	2	2.85
	E.E.		0.06	1.53	3.41	0.28	0.05	3.78	46.08	3.93	3.72	0.31	0.19

CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico. **E.E:** Error Estándar.

Cuadro 38. Valores de iones solubles de muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100, Alfajayucan Hgo.

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	pH	C.E. mScm ⁻¹	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺ meq l ⁻¹	Na ⁺	K ⁺	Suma de Cationes	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻ meq l ⁻¹	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	Suma de Aniones
Alfajayucan	Fluvisol	1	8.8	1.17	5.3	2.8	5.2	0.5	13.8	1.5	3.9	2	3.5	10.9
Alfajayucan	Fluvisol	8	9.01	1.39	11.5	3	6.0	0.7	21.2	2.5	6.4	1.8	2.5	13.2
Alfajayucan	Fluvisol	10	9.01	1.59	7.2	3.8	6.2	0.7	17.9	2	5.9	3.8	1.8	13.5
P. B. Juárez	Fluvisol	12	8.7	1.42	10.4	3.7	4.2	0.7	19	1	3.9	4.3	2.7	11.9
	Promedio		8.88	1.39	8.6	3.33	5.8	0.65	17.98	1.75	5.03	2.98	2.63	12.38
	E.E.		0.08	0.09	1.43	0.25	0.26	0.05	1.55	0.32	0.66	0.63	0.35	0.60
Boxthó	Vertisol	2	8.9	1.46	6.6	2.1	6.6	0.4	15.7	1	4.2	3.7	2.3	11.2
Boxthó	Vertisol	3	8.9	2.01	5	1.3	10.3	0.1	16.7	1	4.4	5.5	2.2	13.1
Baxthé	Vertisol	4	8.8	1.93	9.8	2.1	7.8	0.2	19.9	1	2.9	5.4	6.3	15.6
Mayorazgo	Vertisol	5	8.9	0.94	0.3	2.2	4.7	0.4	7.6	1	3.4	1.2	1.2	6.8
	Promedio		8.88	1.59	5.43	1.92	7.35	0.28	15	1	3.73	3.95	3	11.68
	E.E.		0.03	0.25	1.98	0.21	1.17	0.08	2.62	0	0.35	1.01	1.13	1.86
San Agustín	Phaeozem	6	8.7	0.97	4.1	1.1	4.9	0.3	10.4	1	3.2	1.5	2	7.7
Zozea	Phaeozem	7	8.8	2.09	8.8	1.1	9.3	0.5	19.7	1.5	4.7	7.8	5.9	19.9
Alfajayucan	Phaeozem	9	8.7	2.05	10.3	4.3	7.1	1.3	23	1.5	8.7	3.5	2.9	16.6
Alfajayucan	Phaeozem	11	8.9	1.64	12.2	3.3	6.0	1.9	23.4	3	7.9	3.4	3.5	17.8
	Promedio		8.78	1.69	8.85	2.45	6.83	1	19.13	1.75	6.13	4.05	3.58	15.5
	E.E.		0.05	0.26	1.73	0.81	0.94	0.37	3.02	0.43	1.30	1.33	0.83	2.69

Cuadro 39. Contenido de óxidos amorfos y cristalinos, promedio y su error estándar (E.E) en muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100 Alfajayucan, Hgo.

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	Si _o	Al _o mg g ⁻¹	Fe _o	Mn _o	Al _d	Fe _d mg g ⁻¹	Mn _d	Al _o / Al _d	Fe _o / Fe _d	Mn _o / Mn _d
Alfajayucan	Fluvisol	1	1.66	2.92	2.15	0.48	0.76	1.45	0.14	3.84	1.48	3.42
Alfajayucan	Fluvisol	8	1.69	3.31	1.65	0.35	0.59	0.25	0.03	5.91	6.6	11.66
Alfajayucan	Fluvisol	10	1.94	3.73	2.13	0.48	0.77	0.35	0.12	4.84	6.08	4
P.B. Juárez	Fluvisol	12	1.94	3.55	2.71	0.43	0.71	1.35	0.06	5	2	7.1
	E.E.		0.08	0.18	0.22	0.03	0.04	0.32	0.03	0.42	1.34	1.89
	Promedio		1.81	3.38	2.16	0.44	0.71	0.85	0.09	4.90	4.04	6.55
Boxthó	Vertisol	2	1.78	3.3	1.35	0.6	0.75	0.22	0.1	4.4	6.13	6
Boxthó	Vertisol	3	1.72	3.37	1.78	0.63	0.82	0.24	0.2	4.1	7.41	3.15
Baxthé	Vertisol	4	2	3.89	2.29	0.67	1.19	1.58	0.3	3.26	1.44	2.23
Mayorazgo	Vertisol	5	2.55	4.05	1.82	0.58	1.17	0.87	0.17	3.46	2.09	3.41
	E.E.		0.19	0.19	0.19	0.02	0.11	0.32	0.04	0.27	1.47	0.81
	Promedio		2.01	3.65	1.81	0.62	0.98	0.73	0.19	3.81	4.27	3.70
San Agustín	Phaeozem	6	2.15	3.66	1.06	0.54	0.91	0.45	0.16	4.02	2.35	3.37
Zozea	Phaeozem	7	2.04	4.14	1.42	0.38	0.68	0.36	0.15	6.08	3.9	2.53
Alfajayucan	Phaeozem	9	1.27	4.08	1.23	0.29	0.5	0.86	0.02	8.16	1.43	14.5
Alfajayucan	Phaeozem	11	1.84	2.81	1.78	0.35	0.65	0.4	0.03	4.32	4.45	11.6
	E.E.		0.20	0.31	0.15	0.05	0.08	0.12	0.04	0.95	0.69	2.98
	Promedio		1.83	3.67	1.37	0.39	0.69	0.52	0.09	5.65	3.03	8

Oxidos amorfos por oxalato: Si_o, Al_o, Fe_o y Al_o. Oxidos cristalinos por ditionito Al_d, Fe_d y Mn_d.

Cuadro 40. Valores de metales pesados en muestras compuestas de cada unidad de suelo del DDR 100 Alfajayucan, Hgo.

Sitio Muestreado	Tipo de Suelo	No Muestra	Co (L d. ⁻¹ /-0.8)	Pb (L.d. ⁻¹ /-0.03)	Cu (L d. ⁻¹ /-0.04) m g kg ⁻¹	Zn (L d. ⁻¹ /-0.05)	Ni (L.d. ⁻¹ /-0.07)	Cd (L d. ⁻¹ /-0.2)
Alfajayucan	Fluvisol	1	17.2	14.8	6.7	37	11.7	0.4
Alfajayucan	Fluvisol	8	14.8	18	5.9	39.5	20.3	0.4
Alfajayucan	Fluvisol	10	15.1	24.3	9	48.3	15.6	0.5
P.B. Juárez	Fluvisol	12	15.7	11.7	6.7	43.3	11	0.4
	Promedio		15.7	17.2	7.06	42.03	14.65	0.43
	E.E		0.53	2.69	0.67	2.46	2.14	0.02
Boxthó	Vertisol	2	18.2	18	10.5	52.3	17.2	0.5
Boxthó	Vertisol	3	20	14.8	7.5	52.7	19.5	0.5
Baxthé	Vertisol	4	19.4	30.5	11.6	56	21.8	0.6
Mayorazgo	Vertisol	5	16.3	21.1	10.5	55.5	21	0.6
	Promedio		18.48	21.1	10.03	54.13	19.88	0.55
	E.E		0.82	3.39	0.88	0.95	1.01	0.03
San Agustín	Phaeozem	6	13.9	24.3	9	52.7	15.6	0.4
Zoea	Phaeozem	7	15.4	21.1	9.2	42.5	12.5	0.5
Alfajayucan	Phaeozem	9	13.6	8.6	4.8	34.7	12.5	0.4
Alfajayucan	Phaeozem	11	13.9	30.5	10.9	47.9	12.5	0.5
	Promedio		14.2	21.13	8.48	44.45	13.28	0.45
	E.E.		0.41	4.61	1.30	3.86	0.77	0.03

L d Límite de detección.

Cuadro 41. Valores de pH, conductividad eléctrica, carbón orgánico, nitrógeno, relación carbono-nitrógeno, fósforo, cationes intercambiables, promedio y error estándar (E.E) del DDR 03 de Tula Hgo; (Siebe, 1994).

Localidad	Tipo de suelo	Tiempo de Riego. Años	pH CaCl ₂	C.E. mS cm ⁻¹	C.org. g kg ⁻¹	Nt g kg ⁻¹	C/N	P	Cationes		Inter cam biables	
									Ca	Mg	Na	K
Ulapa de Ocampo	VRe	80	7.53	0.24	25.5	2.65	10	74	38.0	13.1	4.5	3.8
			7.45	0.23	32.1	2.50	13	76	36.0	14.1	6.2	3.8
			7.82	0.30	22.6	2.09	11	78	40.0	12.3	7.7	4.2
			7.74	0.30	22.8	2.42	9	73	40.0	12.8	5.1	3.0
			7.64	0.27	25.75	2.42	10.75	75.2	38.5	13.08	5.88	3.7
			0.09	0.02	2.22	0.12	0.85	0.72	0.96	0.38	0.70	0.25
Juandhó	LPm	80	7.52	0.19	17.6	1.30	14	63	28.9	8.6	3.9	2.7
			7.50	0.19	18.4	1.61	11	58	31.5	9.7	3.8	2.6
			7.46	0.20	19.7	1.74	11	56	37.9	11.1	6.1	2.8
			7.53	0.20	19.8	1.71	12	53	34.6	10.5	4.1	3.0
			7.50	0.20	18.88	1.59	12	57.5	33.23	9.98	4.48	2.78
			0.02	0.00	0.53	0.10	0.71	0.82	1.95	0.54	0.55	0.09
Ulapa Tetepango	PHh	20	7.76	0.17	11.5	0.93	12	38	18.7	6.2	4.2	1.7
			7.85	0.16	12.0	0.92	13	35	16.0	5.6	3.2	1.8
			7.87	0.17	11.14	0.92	12	37	15.8	5.5	3.7	1.5
			7.88	0.15	12.0	0.92	13	39	15.6	5.6	3.4	1.8
			7.84	0.16	11.73	0.92	12.5	37.2	16.53	5.73	3.63	1.7
			0.03	0.00	0.16	0.00	0.29	0.65	0.73	0.16	0.22	0.07

Cuadro 41. Continuación.

Localidad	Tipo de suelo	Tiempo de Riego. Años	pH CaCl ₂	C.E. mS cm ⁻¹	C.org. g kg ⁻¹	Nt g kg ⁻¹	C/N	P	Cationes		Intercambiables	
									Ca	Mg	Na	K
Tlaxcoapan	VRe	Temporal	7.27	0.11	14.0	1.07	13	9	29.7	5.3	1.8	1.4
			7.36	0.12	16.0	1.28	13	20	28.3	5.1	2.5	1.9
			6.80	0.06	16.0	1.07	15	14	30.0	7.7	2.1	1.8
U.Tezontlaje	VRe	Temporal	6.71	0.05	16.1	1.18	14	12	29.5	7.7	1.5	1.7
			6.83	0.08	18.9	1.93	10	25	28.9	9.4	1.3	3.3
			6.65	0.07	20.5	1.94	11	34	23.5	8.1	1.4	2.8
			6.80	0.09	18.8	1.71	11	25	24.4	7.9	1.3	2.9
			6.61	0.07	19.7	1.62	12	33	28.8	10.1	1.3	2.5
	Promedio E.E.		6.88	0.08	17.5	1.48	12.4	21.5	27.9	7.66	1.65	2.29
			0.10	0.01	0.80	0.13	0.60	0.75	0.88	0.62	0.16	0.24
U.Tezontlaje	LPm	Temporal	7.59	0.27	29.1	2.79	10	21	46.0	3.7	1.3	3.1
			7.63	0.23	23.0	2.90	8	19	40.7	3.4	1.0	2.2
			7.58	0.30	27.1	2.58	10	22	33.3	2.6	1.1	2.5
			7.63	0.20	25.2	2.50	10	14	30.8	2.6	1.3	2.2
Tlaxcoapan	LPm	Temporal	7.59	0.11	24.8	1.91	13	23	47.7	2.9	1.3	1.0
			7.65	0.11	17.2	1.37	13	3	42.0	2.3	1.5	0.9
			7.62	0.12	16.5	1.47	11	27	36.9	1.9	1.1	0.9
			7.52	0.11	19.3	1.47	13	6	33.3	1.9	1.2	1.0
			7.60	0.18	22.8	2.12	11	16.8	38.84	2.66	1.23	1.73
				Promedio E.E		0.01	0.03	1.64	0.23	0.65	1.25	2.21

Cuadro 42. Valores de metales pesados, promedio y error estándar (E.E.) en diferentes localidades del DDR 03 de Tula Hgo; (Siebe, 1994).

Localidad	Tipo de suelo	Años de Riego.	Metales Pesados				
			Pb	Cd mg kg ⁻¹	Cu	Zn	
Ulapa de Campo	Vre	80	27	0.99	31	139	
			31	1.1	37	148	
			65	2	62	250	
			45	1.43	48	179	
			42	1.38	44.5	179	
	Promedio		8.58	0.23	6.81	25.17	
	E.E						
Juandhó	LPm	80	33	1.17	31	114	
			36	1.17	38	133	
			30	0.9	31	111	
			40	1.31	40	140	
			34.75	1.14	35	124.5	
	Promedio		2.14	0.09	2.35	7.10	
	E.E						
Ulapa Tetepango	Vre	20	23	0.51	27	93	
			16	0.42	23	75	
			27	0.6	30	102	
			19	0.49	24	81	
			21.25	0.51	26	87.75	
		Promedio		2.39	0.04	1.58	6.05
		E.E					
	PHh	20	12	0.35	18	58	
			16	0.35	16	56	
			13	0.34	16	55	
13			0.35	17	56		
13.5			0.35	16.8	56.25		
	Promedio		0.87	0.00	0.48	0.63	
	E.E						

Cuadro 42. Continuación ..

Localidad	Tipo de suelo	Años de Riego.	Metales Pesados			
			Pb	Cd mg kg ⁻¹	Cu	Zn
Ulapa Tezontlaje	LPm	Temporal	11	0.17	9	35
			10	0.14	9	34
			14	0.14	7	33
Tlaxcoapan	LPm	Temporal	9	0.14	8	35
			12	0.13	9	32
			13	0.12	10	40
			13	0.12	8	31
			12	0.13	9	40
	Promedio		11.75	0.14	8.63	35
	E.E		0.6	0.01	0.32	1.20
Ulapa Tezontlaje	Vre	Temporal	11	0.14	12	49
			14	0.17	15	56
			13	0.15	12	53
			13	0.15	14	60
Tlaxcoapan	Vre	Temporal	13	0.13	10	39
			12	0.14	12	48
			13	0.14	12	46
			13	0.13	12	46
			12.8	0.14	12.38	49.63
	Promedio		0.31	0.00	0.53	2.32
	E.E					

Cuadro 43. Valores de pH, conductividad eléctrica, carbon orgánico, nitrógeno, relación carbono-nitrógeno, cationes intercambiables, promedio y error estándar (E.E) del DDR de Tecozautla Hgo; (Hernández, 1998).

Localidad	Tipo de Suelo	Tipo de riego Continuo	pH CaCl ₂	C.E. ms cm ⁻¹	C.org g kg ⁻¹	Nt g kg ⁻¹	C/N	Ca	Intercambiables		
									Mg cmol kg ⁻¹	K	Na
Mesilla	PHh	Agua de Pozo	6.03	0.54	18	1.2	15	16.5	2.7	1.1	0.22
			6.03	0.54	14	0.9	15	18.7	4.7	1.0	0.25
			6.03	0.54	16	1.05	15	17.6	3.7	1.05	0.24
			0	0	2	0.15	0	1.1	1	0.05	0.02
Gandhó	PHh	Agua de Pozo	7.34	2.12	26	2.1	12	29.0	5.0	3.4	2.1
			7.38	2.12	11	0.9	12	22.7	13.2	1.0	2.1
			7.36	2.12	18.5	1.5	12	25.8	9.1	2.2	2.1
			0.02	0.79	7.5	0.6	0	3.15	4.1	1.2	0
San Joaquín	PHvh	Agua de Pozo	6.63	0.44	15	0.7	21	26.5	10.0	0.8	1.0
			6.72	0.44	10	0.8	12	30.7	7.2	0.7	1.3
			6.68	0.44	12.5	0.75	16.5	28.6	8.6	0.75	1.15
			0.04	0	2.5	0.05	4.5	2.1	1.4	0.05	0.15

Cuadro 44. Valores de metales pesados, promedio y error estándar (E.E) en diferentes localidades del DDR de Tecozautla Hgo; (Hernández, 1998).

Localidad	Tipo de Suelo.	Tipo de riego Continuo	Zn	Metales pesados		
				Cu mg kg ⁻¹	Pb	Cd
Gandhó esquina.	PHh	Agua de pozo	61.9	14.4	37	0.7
Gandhó	PHh	"	42.5	13.3	18.6	0.5
Gandhó Tecoz	PHh	"	42.5	9.6	23.8	0.45
Gandhó Tecoz	PHh	"	44.2	11.4	19.2	0.5
Gandhó	PHh	"	36.7	8.8	11.9	0.3
Salitrera	PHh	"	37.5	23	19.9	0.7
Gandhó Esquina	PHh	"	53.6	12.9	30.4	0.5
Yetay Tecoz	PHh	"	42.1	14.4	30.4	0.75
	E.E		3.01	1.55	2.89	0.05
	Promedio		45.12	13.3	23.8	0.55
San Antonio	PHvh	Agua de pozo	46.7	9.6	27.8	0.5
San Antonio	PHvh	"	49.3	9.6	26.5	0.5
	E.E		1.3	0	0.65	0
	Promedio		48	9.6	27.5	0.5

Cuadro 45. Concentraciones de metales pesados en suelos (Alloway, 1990)

ELEMENTO	Límite normal (1)	Concentración crítica (2) (mg kg ⁻¹)
Cadmio Cd	0.01 - 2.0	3 - 8
Cobalto Co	0.5 - 65	25 - 50
Cobre Cu	2 - 250	60 - 125
Níquel Ni	2 - 750	100
Plomo Pb	2 - 300	100 - 400
Zinc Zn	1 - 900	70 - 400

- (1) Datos obtenidos de Bowen, H. J. M., *Environmental Chemistry of the Elements*. Academic Press, London (1979).
- (2) Valores considerados como tóxicos. Datos de Kabata-Pendias, A. and Pendias, H., *Trace Elements in Soils and Plants*. CRC Press, Boca Raton, Fla (1984).

ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

SUELO

En donde: 1- Vertisol. 2- Phaeozem 3- Leptosol

pH

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.439	0.219	1.070	0.358
Error	25	5.126	0.205		

Conductividad eléctrica

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	2.695	1.348	9.253	0.001
Error	25	3.641	0.146		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.066	1.000	
3	0.000	0.011	1.000

Carbón orgánico

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.016	0.008	0.339	0.715
Error	25	0.586	0.023		

Nitrógeno

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.542	0.271	78.416	0.000
Error	25	0.086	0.003		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

Carbono / Nitrógeno

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	91.567	45.784	17.046	
Error	25	67.145	2.686		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.001	1.000	
3	0.092	0.000	1.000

Fósforo

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	1314.031	657.015	1.023	0.374
Error	25	16053.488	642.140		

Calcio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	285.497	142.749	2.235	0.128
Error	25	1596.435	63.857		

Magnesio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	1.827	0.913	65.207	0.000
Error	25	0.350	0.014		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

Potasio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	1.471	0.735	0.943	0.403
Error	25	19.496	0.780		

Sodio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	2.936	1.468	49.303	0.000
Error	25	0.744	0.030		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

Plomo

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.629	0.314	71.775	0.000
Error	25	0.110	0.004		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

Cadmio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.247	0.12	9.919	0.001
Error	25	0.311	0.12		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.153	1.000	
3	0.000	0.003	1.000

Cobre

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.971	0.476	65.758	0.000
Error	25	0.181	0.007		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

Zinc

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	0.344	0.172	39.552	0.000
Error	25	0.109	0.004		

Diferencias significativas en:

SUELO	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.000	1.000

AGUA En donde: 1-Cruda 2-Pretratada 3-De pozo 4-De lluvia**pH**

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	3.523	1.174	13.804	0.000
Error	24	2.042	0.085		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.162	1.000		
3	0.000	0.000	1.000	
4	0.271	0.957	0.000	1.000

Conductividad eléctrica

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	3.388	1.129	9.192	0.000
Error	24	2.948	0.123		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.000	1.000		
3	0.001	0.430	1.000	
4	0.000	0.177	0.635	1.000

Carbón orgánico

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.273	0.091	6.615	0.002
Error	24	0.330	0.014		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.625	1.000		
3	0.368	0.185	1.000	
4	0.001	0.000	0.024	1.000

Nitrógeno

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.188	0.063	3.412	0.034
Error	24	0.441	0.018		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.017	1.000		
3	0.092	0.866	1.000	
4	0.010	0.349	0.368	1.000

Carbono / Nitrógeno

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	64.943	21.648	5.541	0.005
Error	24	93.769	3.907		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.013	1.000		
3	0.227	0.002	1.000	
4	0.050	0.937	0.009	1.000

Calcio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	688.583	229.528	4.616	0.011
Error	24	1193.349	49.723		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.120	1.000		
3	0.656	0.092	1.000	
4	0.003	0.040	0.004	1.000

Fósforo

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	2	11,136.036	5568.019	22.338	0.000
Error	25	6231.480	249.259		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3
1	1.000		
2	0.000	1.000	
3	0.000	0.981	1.000

Magnesio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	1.038	0.346	7.292	0.001
Error	24	1.139	0.047		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.001	1.000		
3	0.006	0.758	1.000	
4	0.000	0.173	0.382	1.000

Potasio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	SC Suma de Cuadrados	CM Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	8.584	2.861	5.546	0.005
Error	24	12.383	0.516		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.001	1.000		
3	0.055	0.489	1.000	
4	0.978	0.010	0.098	1.000

Sodio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	S C Suma de Cuadrados	C M Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	1.831	0.610	7.917	0.001
Error	24	1.950	0.067		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.001	1.000		
3	0.004	0.656	1.000	
4	0.000	0.108	0.329	1.000

Plomo

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	S C Suma de Cuadrados	C M Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.318	0.106	6.053	0.003
Error	24	0.420	0.018		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.003	1.000		
3	0.011	0.743	1.000	
4	0.001	0.204	0.434	1.000

Cadmio

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	S C Suma de Cuadrados	C M Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.398	0.133	19.894	0.000
Error	24	0.160	0.007		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.144	1.000		
3	0.036	0.255	1.000	
4	0.000	0.000	0.000	1.000

Cobre

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	S C Suma de Cuadrados	C M Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.440	0.147	5.086	0.007
Error	24	0.692	0.029		

Diferencias significativas en:

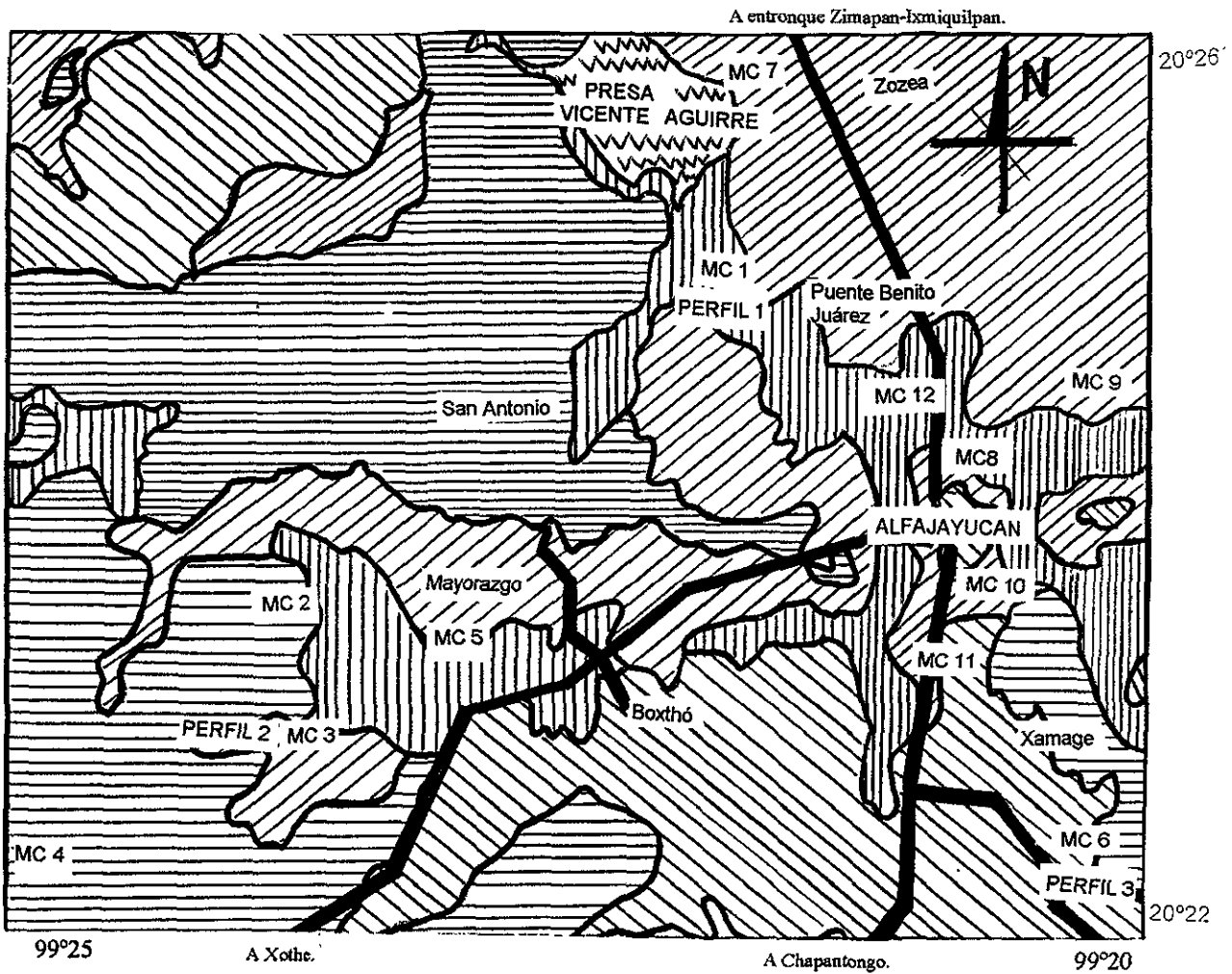
AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.005	1.000		
3	0.034	0.944	1.000	
4	0.002	0.248	0.316	1.000

Zinc

FV Fuente de Variación	GL Grados de Libertad	S C Suma de Cuadrados	C M Cuadrado Medio	F	P
Suelo	3	0.150	0.50	3.981	0.020
Error	24	0.302	0.013		

Diferencias significativas en:

AGUA	1	2	3	4
1	1.000			
2	0.005	1.000		
3	0.034	0.964	1.000	
4	0.016	0.748	0.765	1.000



Mapa No. 1 Mapa Geológico del Municipio de Alfajayucan

Fuente: CETENAL 1974 a.
Escala 1:50 000

ROCAS IGNEAS



B Basalto



T Toba

ROCA SEDIMENTARIA



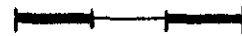
cg Conglomerado

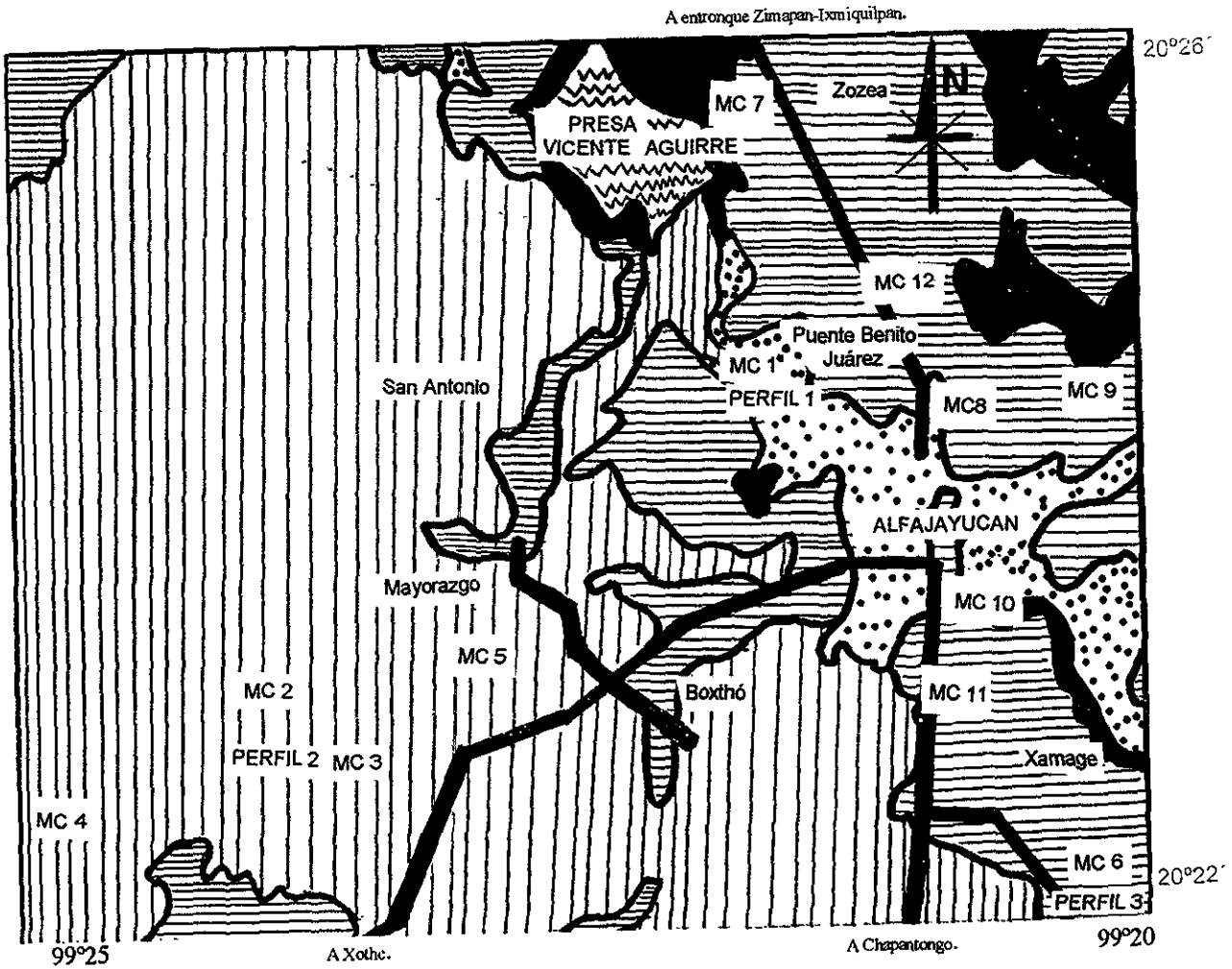
SUELO.



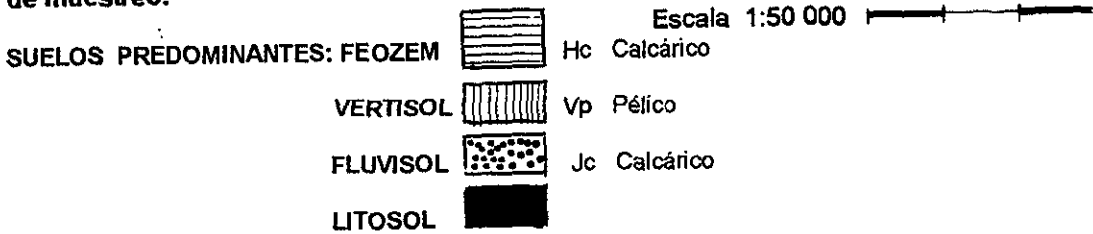
re Residual.

al Aluvial.





Mapa No. 2. Mapa Edafológico del Municipio de Alfajayucan y ubicación de los sitios de muestreo. Fuente: CETENAL 1974 b.

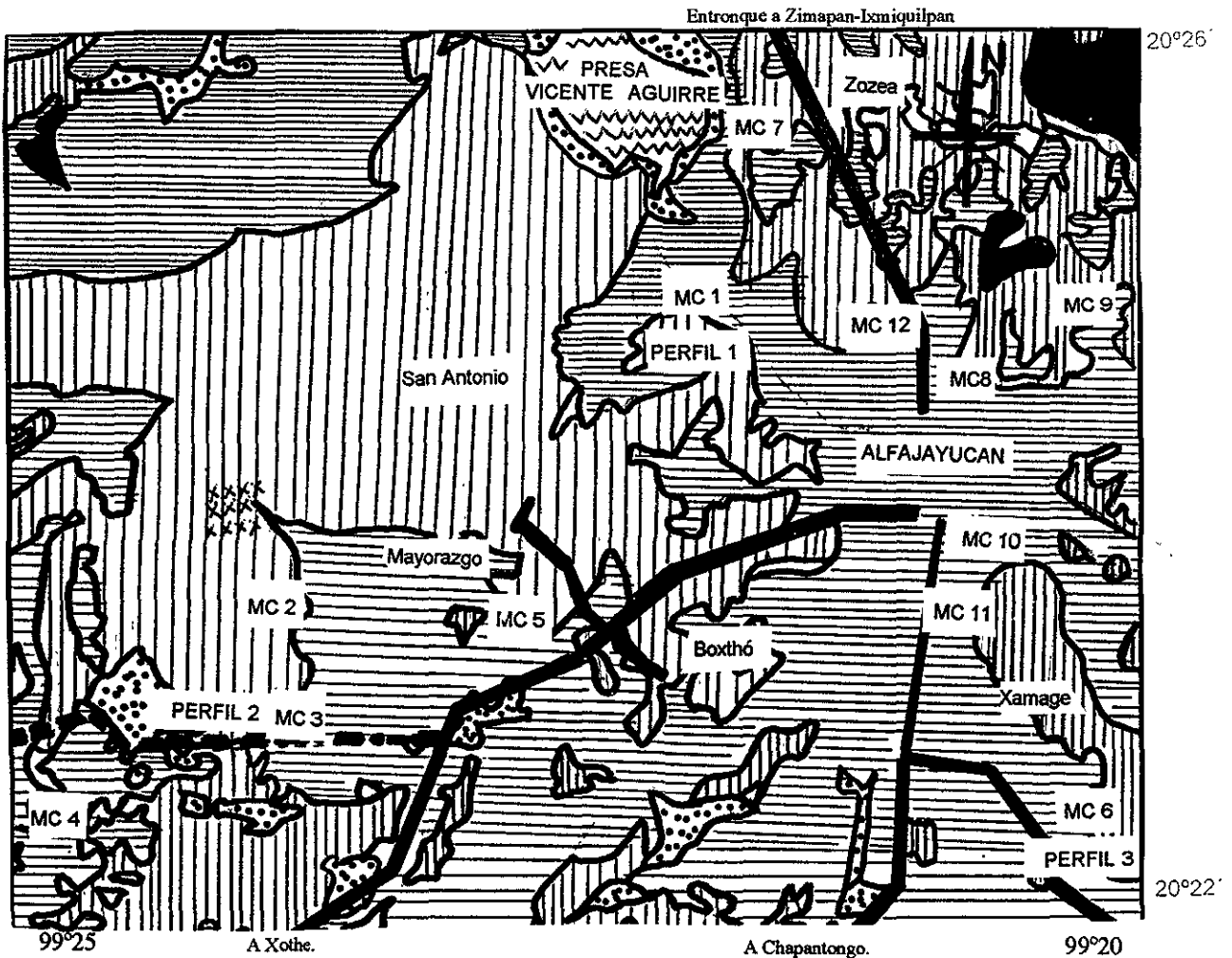


MUESTRAS COMPUESTAS
 1,8,9,10 Y 11
 2 Y 3
 4
 5
 6
 7
 12

LOCALIDAD
 ALFAJAYUCAN
 BOXTHÓ
 BAXTHÉ
 MAYORAZGO
 SAN AGUSTÍN
 ZOZEA
 PUENTE BENITO JUÁREZ

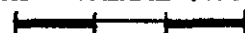
PERFIL No. 1
 PERFIL No. 2
 PERFIL No. 3

ALFAJAYUCAN
 BOXTHÓ
 EJIDO SAN AGUSTÍN



Mapa No. 3. Mapa de Uso del Suelo del Municipio de Alfajayucan Fuente: CETENAL 1975 c.

Escala 1:50 000



USO AGRÍCOLA

- Ar Agricultura de riego.
- Atp Agricultura de temporal permanente.
- Atn Agricultura de temporal nómada.

USO PECUARIO

- Pn Pastizal Natural.
- Pc Pastizal Cultivado.
- Pi Pastizal inducido.

ASOCIACIONES ESPECIALES DE VEGETACIÓN

- Ca Cardonal
- No Nopalera
- Ms Matorral subinermes
- S Vegetación secundaria

DESPROVISTO DE VEGETACIÓN

- Eo Erosión eólica
- Eh Erosión hídrica
- Er Eriales

CUERPOS DE AGUA

- Permanente
- Estacional